

## **7. AGGIORNAMENTO DELLE MAPPE A SCALA NAZIONALE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELLE STRUTTURE EDILIZIE**

*Giulio Zuccaro, Filomena Papa, Alessandro Baratta*

**Abstract:** The upgrading of the building structures Vulnerability Map at National Scale (VMNS) is the main goal of the work developed by this research unit. One of the main problem of the evaluation of the seismic VMNS of the residential building structures is the definition of a reasonable structural typology distribution for all the communes in Italy. Unfortunately data on the inventory of the building structure distribution are not available, but the data of the National Statistics Institute (ISTAT). These data are not exhaustive and not always reliable, therefore a methodology is proposed, already tested in a previous collaborative project between the LUPT Research Centre of the Naples University and the National Seismic Survey (SSN), in order to check and possibly correct the ISTAT data and eventually derive the VMNS. To this purpose an aerophotogrammetric technique, the Quick Assignment Procedure (Baratta et al. '89) has been applied on a sample of 79 communes chosen in order to be the most representative of the structural typologies in Italy. Then the most probable number of structural typologies in each class, according the MSK macro-seismic scale (equivalence to EMS is traced) for each commune in Italy has been defined. New classification of Communal Vulnerability is introduced so as new categorisation of Structural Characteristics by Commune. Eventually working on the seismic damage data base of the GNDT a possible generalisation of the actual DPM (based on the Irpinia typologies and the event of 1980) to the whole Italian territory is proposed.

### **7.1 Premessa**

Le attuali mappe di vulnerabilità prodotte dal SSN nel '96 furono sviluppate utilizzando distribuzioni tipologico - strutturali desunte dal censimento ISTAT '91 sulle abitazioni dei comuni italiani ed assumendo Matrici di Probabilità del Danno (DPM), espresse in abitazioni, calibrate sui dati raccolti in occasione del sisma dell'80 in Irpinia e dell'84 in Abruzzo (Di Pasquale et al. 1997).

Tali mappe, pur rappresentando al momento della loro redazione il miglior risultato ragionevolmente ottenibile a scala nazionale sulla base dei dati e delle conoscenze disponibili, si ritenne avessero ancora margini di affinamento specialmente nei riguardi di due aspetti fondamentali:

- a) le DPM utilizzate sono essenzialmente riferite ad un particolare set di tipologie strutturali e costruttive presenti in Irpinia ed Abruzzo, che evidentemente non possono considerarsi rappresentative dell'intero patrimonio edilizio nazionale;
- b) la distribuzione tipologica strutturale sull'intero territorio nazionale potrebbe non essere sufficientemente rappresentata dai dati ISTAT, sia per la scarsità di informazioni tecniche insita nel censimento e sia per l'incertezza sull'affidabilità di tali dati.

Per quanto attiene il punto a) ci si è potuti giovare dello studio di *Caratterizzazione Tipologica* condotto nell'annualità GNDT'97, integrata poi

nell'annualità '98. Lo scopo dello studio era quello di individuare dapprima le differenze riscontrabili, a macroscale, nelle tipologie strutturali in varie regioni d'Italia per poi indagare sulla possibile calibrazione di differenti Matrici di Probabilità di Danno per ciascuna *macroregione*. In (Zuccaro 1999a) si sono sintetizzati i risultati di tale studio, da cui tuttavia è emersa la difficoltà di individuare omogeneità tipologico-strutturali-costruttive per aree geografiche contigue, circostanza che risulta solo raramente riscontrabile. Pertanto, venuta meno la possibilità di definire *macroregioni* tipologiche, si è ritenuto di dover procedere alla individuazione di *classi comunali* aventi caratteristiche tipologico costruttive simili. Dall'altro lato, a causa e dell'esiguità di dati sul danno e della mancanza di completezza dei rilevamenti del danno per i terremoti successivi a quelli dell'Irpinia dell'80 e dell'Abruzzo dell'84, la ricercata "*regionalizzazione delle DPM*" è apparsa piuttosto incerta. Sulla base di tali considerazioni, si è quindi ritenuto che una possibile "*regionalizzazione delle DPM*" potesse essere prodotta spostando il problema sulla *caratterizzazione regionale* delle differenze tipologiche e quindi delle classi di vulnerabilità (assegnazione dei comuni analizzati a singole classi di caratterizzazione tipologica), per poi arrivare all'elaborazione di un'unica DPM su base statistica a scala nazionale, sfruttando al massimo la Banca Dati sul danno ad oggi disponibile.

Per quanto attiene il punto b), il progetto sviluppa un precedente lavoro condotto dal Centro Interdipartimentale di Ricerca L.U.P.T. dell'Università di Napoli "Federico II" su proposta e per conto del Servizio Sismico Nazionale dal titolo: "Vulnerabilità di Base del Patrimonio Edilizio Nazionale". Il lavoro, consegnato nel febbraio del 1999, ha portato alla definizione della distribuzione delle tipologie strutturali in 35 comuni (circa 27.000 edifici) scelti da un campione di 100, selezionati dal SSN e ritenuti significativi della popolazione di comuni ricadenti in zone a rischio sismico del territorio nazionale ( Zuccaro et al. 1999b). Tale progetto è stato integrato con il presente lavoro in ambito GNDT, attraverso la raccolta di dati sulla distribuzione tipologica di ulteriori 44 Comuni (in parte estratti dal suddetto campione dei 100 SSN); ciò ha consentito di migliorare le correlazioni con i dati ISTAT utilizzando la metodologia, in seguito descritta, delineata nell'ambito del progetto SSN-LUPT di cui sopra.

## 7.2 L'Inventario: fasi di lavoro

La valutazione della vulnerabilità delle strutture edilizie a scala territoriale richiede la definizione della distribuzione delle tipologie strutturali per ciascun centro urbano oggetto di studio. Un'analisi di questo tipo richiederebbe una raccolta dati a tappeto, da considerare onerosa sia sotto il profilo economico che temporale. Da ciò la necessità di affrontare il problema attraverso metodi speditivi finalizzati alla valutazione del numero più probabile di tipologie strutturali presenti all'interno dell'urbanizzato di un comune.

La metodologia speditiva cui gli estensori del presente lavoro si sono richiamati è nota come QAP (Quick Assignment Procedure); fu messa a punto nell'89 da Baratta e Zuccaro (Baratta et al. 1989), ed è stata già applicata con successo in Italia per numerosi Centri Storici, nell'ambito di progetti promossi e finanziati dal GNDT, dal SSN, dall'Osservatorio Vesuviano e dalla DG XII della Commissione dell'Unione Europea.

Il presente lavoro si articola essenzialmente in due fasi: quella di *Analisi e Raccolta Dati* e quella di *Elaborazione dei Risultati* a loro volta distinte in più attività.

### *Fase di Analisi e Raccolta Dati:*

- Scelta dei 44 centri abitati ritenuti significativi ai fini della calibrazione statistica a scala nazionale da aggiungere ai 35 già trattati nel progetto SSN-LUPT.
- Caratterizzazione Tipologica dei Comuni ed elaborazione di una Scheda Tipologico Strutturale per ciascuno di essi.
- Definizione delle classi tipologiche comunali
- Riconoscimento aerofotogrammetrico delle tipologie strutturali (classi A, B, C e D) e conteggio edifici.
- Schedatura a campione, secondo specifiche di I livello GNDT semplificata, su tutti i comuni analizzati e per una percentuale di circa il 10 % dell'intera popolazione di edifici.

### *Fase di Elaborazione dei Risultati:*

- Correzione della composizione percentuale delle tipologie strutturali (QAP).
- Calibrazione della stabilità statistica dei parametri di correzione delle quantità rilevate mediante aerofotogrammetria.
- Correlazione ai dati ISTAT.
- Calibrazione delle DPM a scala Nazionale
- Mappa di vulnerabilità a scala nazionale.

### 7.2.1 *Analisi e Raccolta Dati*

*Scelta dei 44 centri* (collaborazione di Marianna Della Bella)

I primi 35 comuni analizzati nell'ambito del lavoro SSN-LUPT furono scelti all'interno del campione dei 100 comuni selezionati dal SSN e con lo spirito di

coprire in modo più omogeneo possibile il territorio nazionale a più marcata sismicità. Questo campione di 100 comuni era stato accuratamente selezionato, estraendolo da gruppi di comuni (combinazioni), ottenuti attraverso le differenti combinazioni di valori relative ai seguenti criteri:

- Popolazione residente (3 classi di valori)
- Classificazione Sismica (2 classi di valori)
- % abitazioni ante 1919 (3 classi di valori)
- % abitazioni in c.a. (3 classi di valori)

In altre parole, tali criteri, combinati tra loro attraverso le classi di valori, individuarono 18 combinazioni non vuote, ovvero 18 insiemi non vuoti di comuni. Il campione di 100 da esse estratto fu selezionato in modo che i comuni risultassero ben distribuiti sul territorio nazionale, e che per essi fossero reperibili coperture areofotogrammetriche e mappe.

La Tabella 7.1 sintetizza i criteri e le combinazioni individuate.

Tabella 7.1. Le 18 combinazioni dei criteri di selezione dei comuni del campione (SSN –1994)

| Combinazioni | Popolazione residente | Classificazione sismica | % abitazioni ante '19 | % abitazioni in c.a. |
|--------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| n.1:         | ≤ 3000                | 6                       | ≤40                   | ≤ 40                 |
| n.2:         | tra 3001 e 10000      | 6                       | ≤40                   | tra 41 e 70          |
| n.3:         | ≤ 3000                | 6                       | tra 41 e 70           | ≤ 40                 |
| n.4:         | tra 3001 e 10000      | 6                       | ≤ 40                  | ≤ 40                 |
| n.5:         | ≤ 3000                | ≥ 9                     | tra 41 e 70           | tra 41 e 70          |
| n.6:         | tra 10001 e 100000    | ≥ 9                     | ≤ 40                  | >70                  |
| n.7:         | tra 10001 e 100000    | 6                       | ≤ 40                  | tra 41 e 70          |
| n.8:         | tra 3001 e 10000      | ≥ 9                     | ≤ 40                  | >70                  |
| n.9:         | ≤ 3000                | ≥ 9                     | >70                   | ≤ 40                 |
| n.10:        | ≤ 3000                | ≥ 9                     | ≤ 40                  | >70                  |
| n.11:        | tra 3001 e 10000      | ≥ 9                     | tra 41 e 70           | ≤ 40                 |
| n.12:        | tra 10001 e 100000    | ≥ 9                     | ≤ 40                  | ≤ 40                 |
| n.13:        | ≤3000                 | ≥ 9                     | ≤ 40                  | tra 41 e 70          |
| n.14:        | tra 10001 e 100000    | ≥ 9                     | ≤ 40                  | tra 41 e 70          |
| n.15:        | tra 3001 e 10000      | ≥ 9                     | ≤ 40                  | tra 41 e 70          |
| n.16:        | ≤ 3000                | ≥ 9                     | tra 41 e 70           | ≤ 40                 |
| n.17:        | tra 3001 e 10000      | ≥ 9                     | ≤ 40                  | ≤ 40                 |
| n.18:        | ≤ 3000                | ≥ 9                     | ≤ 40                  | ≤ 40                 |

Come evidenzia la tabella 7.1, nella selezione dei Comuni SSN non risultavano presenti combinazioni con popolazione superiore a 100.000 abitanti, che di contro, invece, risultano significative a livello nazionale, interessando un considerevole numero di abitanti. Inoltre nello svolgimento del precedente lavoro erano state anche riscontrate non poche difficoltà nel confronto con i dati ISTAT, quando i comuni analizzati risultavano suddivisi in una quantità non trascurabile di nuclei e case sparse variamente distribuite nei limiti amministrativi del territorio comunale. In

questi casi solo raramente sono risultate reperibili coperture aeree che interessassero l'intero territorio nel suo complesso; più frequentemente i voli, o almeno quelli ad una scala idonea al riconoscimento tipologico, coprono essenzialmente il centro urbano principale e da questo limite oggettivo è nata la difficoltà di confronto, di volta in volta affrontata, tra il dato Istat relativo all'intero territorio comunale ed il dato riconosciuto da foto relativo solo ad una porzione di esso.

Sulla base di tali considerazioni, al fine di rendere il più rappresentativo possibile il campione di comuni considerato, è sembrato opportuno nell'ambito del progetto GNDT integrare i comuni trattati nel progetto SSN-LUPT attraverso l'utilizzo di due nuovi criteri di selezione:

- fascia di popolazione (incluso anche classi con pop > 100.000 abitanti)
- alta percentuale popolazione capoluogo/popolazione totale.

Quindi nella scelta dei 44 comuni GNDT si è cercato di mediare tra le seguenti esigenze:

- Presenza di una copertura aerofotogrammetrica a scala adeguata
- Appartenenza alle 18 combinazioni già individuate
- Fascia di popolazione
- Alta percentuale pop-capoluogo/pop- tot
- Migliore distribuzione spaziale possibile sul territorio

I comuni complessivamente analizzati sono consegnati in appendice: all. 7.1 e 7.2.

Si riportano di seguito le frequenze dei comuni prescelti per ciascuna fascia di combinazioni SSN (Tab.7.2) e di popolazione (Tab.7.3).

Tabella 7.2. Distribuzione dei comuni SSN-GNDT nelle 18 combinazioni SSN

| ID Comb. Ssn | N° Comuni presenti per combinazione | N° Comuni scelti per combinazione in lavoro Ssn | N° Comuni scelti per combinazione in lavoro Gndt * | Tot Comuni scelti (Ssn e Gndt) per combinazione | %   |
|--------------|-------------------------------------|---|--|---|-----|
| 1            | 8                                   | -   | 1  | 1   | 13% |
| 2            | 9                                   | 1   | -  | 1   | 11% |
| 3            | 11                                  | 1   | -  | 1   | 9%  |
| 4            | 13                                  | 2   | -  | 2   | 15% |
| 5            | 32                                  | 1   | -  | 1   | 3%  |
| 6            | 34                                  | -   | 3  | 3   | 9%  |
| 7            | 35                                  | 1   | -  | 1   | 3%  |
| 8            | 38                                  | 2   | -  | 2   | 5%  |
| 9            | 50                                  | 2   | -  | 2   | 4%  |
| 10           | 73                                  | 1   | 2  | 3   | 4%  |
| 11           | 78                                  | 2   | -  | 2   | 3%  |
| 12           | 119                                 | -   | 1  | 1   | 1%  |
| 13           | 193                                 | 2   | 2  | 4   | 2%  |
| 14           | 215                                 | 1   | 2  | 3   | 1%  |
| 15           | 280                                 | 4   | 4  | 8   | 3%  |
| 16           | 425                                 | 2   | 4  | 6   | 1%  |
| 17           | 557                                 | 5   | 6  | 11  | 2%  |
| 18           | 737                                 | 8   | 6  | 14  | 2%  |

\* (N.B: 12 Comuni GNDT non figurano nelle selezioni in quanto non ricadenti nelle combinazioni secondo i criteri SSN o per fascia di popolazione o per zona sismica)

Tabella 7.3. Fasce di popolazione dei comuni del campione (SSN –GNDT)

| Fascia pop. | Intervallo di Popolazione | N°Comuni per fascia | N°Comuni Ssn per fascia | N° Comuni Gndt per fascia | Tot Comuni per fascia | %   |
|-------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-----|
| 1           | P < 10000                 | 7061                | 33                      | 28                        | 61                    | 1%  |
| 2           | 10000 < P < 50000         | 903                 | 2                       | 9                         | 11                    | 1%  |
| 3           | 50000 < P < 100000        | 90                  | -                       | 4                         | 4                     | 4%  |
| 4           | 100000 < P < 300000       | 35                  | -                       | 1                         | 1                     | 3%  |
| 5           | 300000 < P < 500000       | 5                   | -                       | -                         | 0                     | 9%  |
| 6           | 500000 < P < 1000000      | 3                   | -                       | -                         | 0                     | 0%  |
| 7           | P > 1000000               | 3                   | -                       | 1                         | 1                     | 33% |

*Caratterizzazione Tipologica* (collaborazione di Marianna Della Bella)

La caratterizzazione tipologica dei comuni è stata effettuata attraverso la compilazione di un Protocollo Guidato d'Intervista (PGI) sottoposto a tecnici dell'Ufficio Tecnico comunale e/o a professionisti esperti dell'area. Il PGI individua comparti omogenei nel centro analizzato, secondo i seguenti criteri:

- Epoca di Costruzione
- Materiali prevalentemente impiegati
- Tecniche costruttive in uso nell'epoca
- Tipologie verticali ed orizzontali prevalenti e/o presenti al contempo
- Informazioni sulle fondazioni e sul terreno nell'area.

I comparti vengono quindi localizzati attraverso una mappa tematica.

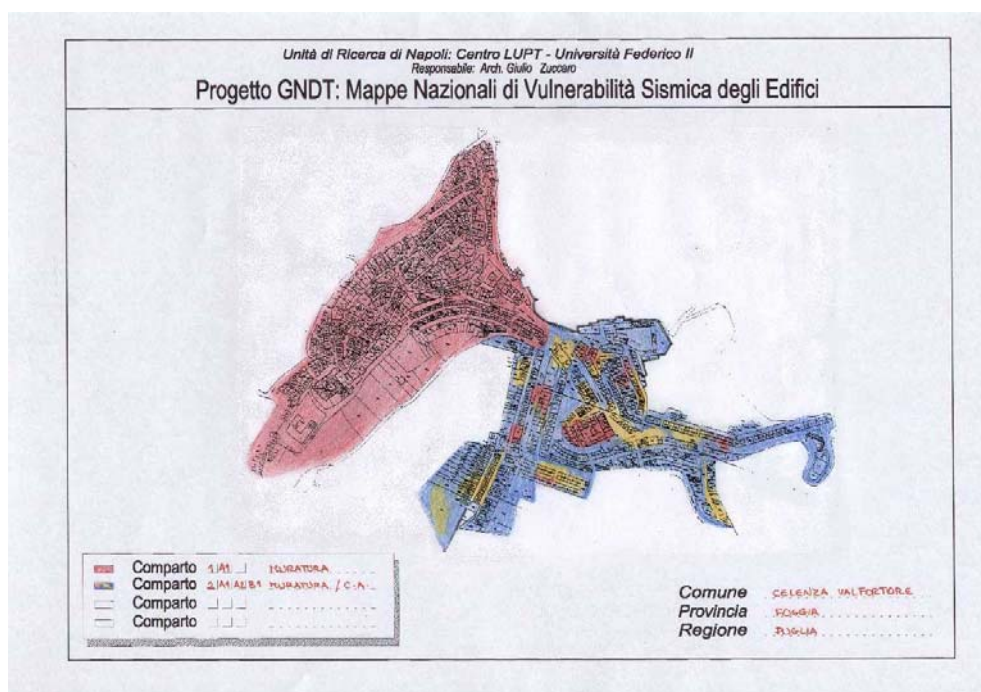


Figura 7.1. Esempio di mappa tematica con individuazione dei comparti omogenei

Per ciascun comune, quindi, è stato possibile predisporre una scheda Storico – Tipologico - Strutturale in cui si sono sintetizzate le seguenti categorie di informazioni:

- Cenni storici di carattere generale
- Zonizzazione delle espansioni urbane
- Materiali da costruzione impiegati
- Tipologie strutturali, verticali ed orizzontali, prevalenti nei comparti
- Fondazioni ed informazioni sul terreno di posa
- Tabella delle combinazioni tra tipologie verticali ed orizzontali nel comune
- Rilievo fotografico dei caratteri salienti del Centro

Di fronte all'ampio panorama costruttivo emerso dall'analisi degli abitati relativi ai 79 Comuni considerati, è scaturita la necessità di distinguere opportunamente le diverse tipologie murarie, che talvolta, pur contraddistinte con lo stesso codice GNDT in fase di rilevamento sul territorio, possono presentare sensibili differenze nella resistenza e nella risposta sotto eccitazione sismica.

A tale scopo è stata effettuata una suddivisione dei comuni analizzati in 4 *Classi Comunali di Caratterizzazione Tipologica* (CCCT; 0, I, II, III), sulla base della loro omogeneità costruttiva con specifico riguardo soprattutto alle strutture verticali. Va precisato che la CCCT definita 0 è da intendersi come la classe in cui le caratteristiche costruttive rispondono a criteri di tipo standard, ed in essa sono confluiti anche tutti i comuni che hanno presentato maggiori complessità nella definizione tipologico strutturale; per le altre CCCT le caratteristiche delle tipologie murarie in esse presenti sono descritte all'allegato 7.4. Si può osservare che parametri quali: epoca di costruzione, interventi di miglioramento o di ristrutturazione non sono rientrati nella procedura di assegnazione delle CCCT in quanto non sempre presenti nelle schede di rilevamento.

In seconda battuta, le osservazioni ed i dati raccolti nelle caratterizzazioni dei singoli comuni (a livello qualitativo e non quantitativo) hanno consentito di elaborare per ciascuna CCCT (e quindi per ciascun gruppo di comuni in essa ricadenti) una differente tabella per l'assegnazione degli edifici alle classi di vulnerabilità A, B, C, D (attraverso la combinazione strutture verticali – strutture orizzontali). Tali tabelle sono riportate in appendice agli allegati 7.3 (assegnazione standard corrispondente alla CCCT 0 e valida per tutto il territorio nazionale) e 7.5 (assegnazione per le altre tre CCCT, che può discostarsi dalla tabella di assegnazione standard).

Infine, è stato effettuato un confronto tra le tabelle di assegnazione delle 4 CCCT con quelle previste dalla scala macrosismica EMS per verificarne la compatibilità con quest'ultima (allegato 7.6 in appendice).

#### *Riconoscimento aerofotogrammetrico*

Con l'ausilio di uno stereocomparatore da tavolo si sono esaminate le coppie aerofotogrammetriche dei comuni selezionati. Due foto-interpreti esperti hanno effettuato il riconoscimento delle tipologie strutturali in base all'analisi a vista di indicatori ritenuti significativi (facciate, sbalzi, torrioni scale etc.) e traendo vantaggio anche dalle risultanze dello studio preliminare effettuato attraverso il PGI, le schede

di caratterizzazione tipologica e le mappe di localizzazione dei comparti omogenei. Gli edifici sono stati, quindi, contati e suddivisi per classe tipologica A, B, C, D (vedi appendice per le specifiche sulle tipologie).

#### *Schedatura a campione*

Nei 44 comuni selezionati sono state quindi effettuate raccolte dati sul campo relative ad un campione casuale di circa il 10% degli edifici del centro abitato. A tale scopo sono state utilizzate schede di I livello GNDT.

Gli edifici schedati sono stati successivamente assegnati alle classi A, B, C e D secondo le tabelle corrispondenti ai rispettivi gruppi CCCT (0, I, II, III), in base all'appartenenza del comune analizzato alla relativa CCCT. I dati sono stati quindi trasferiti in formato compatibile alla Banca Dati di Vulnerabilità GNDT - SSN al fine di poter eseguire le elaborazioni necessarie.

Come già precisato, altrove l'assegnazione alle varie classi tipologiche è stata effettuata attraverso una tabella "standard" valida indifferentemente su tutto il territorio nazionale (allegato 7.3), o attraverso le tabelle di assegnazione modificate per gruppi CCCT di comuni, riportate in appendice (allegato 7.5).

#### *7.2.2 Elaborazione dei Risultati*

Correzione della composizione percentuale delle tipologie strutturali (QAP).

Il primo obiettivo da conseguire per approfondire e migliorare il livello di conoscenza dell'inventario del patrimonio abitativo sotto il profilo sismico è la calibrazione di distribuzioni percentuali di tipologie strutturali, definite sulla base della classificazione di vulnerabilità macrosismica EMS.

Tale obiettivo può essere perseguito attraverso l'applicazione di una procedura di interpretazione delle tipologie per via aerofotogrammetrica e successiva correzione statistica dell'errore di riconoscimento sulla base di un opportuno campione di edifici selezionati con tecnica casuale e quindi schedati nel centro urbano oggetto di studio. La procedura cui si fa riferimento è nota in letteratura con l'acronimo del nome inglese QAP (Quick Assignment Procedure). La procedura vanta svariate applicazioni in progetti nazionali ed internazionali.

#### *Sintesi della Metodologia QAP*

Si riporta qui di seguito una sintesi della procedura di correzione statistica a campione per la determinazione delle distribuzioni tipologiche secondo la metodologia QAP (Baratta et al.1989).

La procedura prevede l'analisi statistica dell'errore attraverso la comparazione delle attribuzioni di classe degli edifici schedati con quelle degli stessi edifici riconosciuti. Profittando della grande dimensione del problema ( $N.ed. \rightarrow \infty$ ) si possono identificare le frequenze di attribuzione corretta o errata nelle classi con le probabilità di appartenenza alle classi.



Nel seguito "X" ed "Y" rappresentano variabili che possono assumere i valori "A", "B", "C", "D" corrispondenti alle denominazioni delle quattro classi di edifici.

Le probabilità  $f_x^*$  di identificazione nelle quattro classi ovverosia le probabilità che l'edificio sia riconosciuto in classe X sono misurate dalle frequenze:

$$f_x^* = \frac{N_x^*}{N} \quad (7.1)$$

dove

$N$  = numero totale edifici del centro esminato

$N_x^*$  = numero di edifici riconosciuti in classe X;

La probabilità  $p_x$  che il riconoscimento sia corretto (affidabilità) ovverosia la probabilità che un qualsiasi edificio appartenga realmente alla classe X posto che sia stato ivi riconosciuto, e la probabilità di scambio tra classi  $\beta_{xy}$  ovverosia le probabilità che l'edificio appartenga alla classe X posto che sia stato riconosciuto in classe Y possono essere rispettivamente stimate tramite le frequenze:

$$\beta_{xx} = \frac{\bar{N}_x}{N_x^*} \quad (7.2a)$$

$$\beta_{xy} = \frac{\bar{N}_{xy}}{N_y^*} \quad (7.2b)$$

dove  $\bar{N}_x$  = numero degli edifici schedati e correttamente riconosciuti in classe X;

$\bar{N}_x^*$ ,  $\bar{N}_y^*$  = numero degli edifici schedati e riconosciuti nelle classi X ed Y;

$\bar{N}_{xy}$  = numero degli edifici schedati e riconosciuti in classe Y ma appartenenti alla classe X

Gli estimatori  $\hat{\beta}_{xx}$ ,  $\hat{\beta}_{xy}$  si dimostrano essere *corretti* e *coerenti*, nel senso che coincidono con i valori medi di variabili aleatorie  $\tilde{\beta}_{xx}$ ,  $\tilde{\beta}_{xy}$ , con varianze

$$\text{Var}(\tilde{\beta}_{xx}) = \beta_{xx}(1 - \beta_{xx}) / \bar{N}_x^* \quad ; \quad \text{Var}(\tilde{\beta}_{xy}) = \beta_{xy}(1 - \beta_{xy}) / \bar{N}_y^* \quad (7.3a,b)$$

e che quindi tendono a zero al crescere della dimensione del campione.

Sulla base dei parametri precedenti si perviene alle percentuali corrette del riconoscimento attraverso la formula:

$$\hat{f}_x^* = \hat{p}_x f_x^* + \hat{\beta}_{xy} f_y^* + \hat{\beta}_{xz} f_z^* + \hat{\beta}_{xw} f_w^* \text{ con } X, Y, Z, W = \text{classi } A, B, C, D \quad (7.4)$$

e alle varianze della variabile aleatoria  $\tilde{f}_x$  :

$$\text{Var}[\tilde{f}_x] = (f_x^*)^2 \text{Var}[\hat{\beta}_{xx}] + (f_y^*)^2 \text{Var}[\hat{\beta}_{xy}] + (f_z^*)^2 \text{Var}[\hat{\beta}_{xz}] + (f_w^*)^2 \text{Var}[\hat{\beta}_{xw}] \quad (7.5)$$

Se tali variabili aleatorie si assumono a distribuzione Gaussiana è quindi possibile valutare i limiti di confidenza (ad esempio al 95-esimo percentile) degli estimatori.

#### *Risultati Correzione*

Attraverso la procedura descritta è stato possibile calcolare, per ciascun comune analizzato, le distribuzioni percentuali corrette sulle quattro classi di vulnerabilità A, B, C, D. I risultati di tali elaborazioni sono consegnati in appendice all'allegato 7.7, che fornisce, per ciascun comune del campione oggetto di studio, i valori medi corretti ed i relativi limiti di confidenza.

Questi ultimi sono generalmente contenuti fatta eccezione per qualche caso particolare di comune e di talune classi tipologiche, in cui una minore affidabilità emersa su alcuni dati rilevati in fase di intervista e/o schedatura, non ha consentito di raggiungere i livelli di confidenza medi ottenuti nella generalità dei casi. L'allegato 7.8 riporta le distribuzioni medie in percentuale e gli istogrammi per ciascun comune. Al riguardo si precisa che le quattro classi di vulnerabilità A, B, C, D cui si fa riferimento, sono state definite a partire dall'originaria classificazione MSK in tre classi; tuttavia, nell'ottica di distinguere la muratura dal cemento armato (coerentemente alla nuova impostazione dell'EMS e a quanto già sviluppato in altri lavori), quest'ultimo è stato interamente classificato in D, lasciando in C esclusivamente la muratura più resistente.

#### *Calibrazione della stabilità statistica dei parametri di correzione*

Dal confronto tra il 10% del campione di edifici riconosciuti direttamente in sito attraverso campagne di schedatura effettuate da gruppi di tecnici ed il corrispondente campione riconosciuto "a tavolino" per via aerofotogrammetrica, si sono desunti i valori medi delle probabilità di scambio e delle affidabilità del riconoscimento aerofotogrammetrico. Ciò ha consentito di individuare primi valori di riferimento, da utilizzare qualora si volesse semplificare la procedura QAP eludendo la fase di schedatura sul campo. Ovviamente tale ipotesi di lavoro potrà essere suffragata solo dopo essere entrati in possesso di dati più robusti relativi ad un più ampio campione di comuni. Si precisa che per calcolare i valori medi delle percentuali di scambio (beta) e delle affidabilità del riconoscimento, contenuti in tabella 7.4 per tutte le classi considerate, sono stati eliminati i valori 0% e 100% (ottenuti dall'analisi di correzione statistica QAP), nei casi in cui questi sono stati ritenuti non significativi per mancanza di dati sufficienti che consentissero, per quel comune e su quella tipologia, il confronto reale tra riconoscimento aerofotogrammetrico e schedatura sul campo.

Tabella 7.4. Statistica dei parametri di correzione calibrati sul campione (SSN –GNDT)

|                          | Prob. scambio tra cl. A e le altre |        |       |        | Prob. scambio tra cl. B e le altre |        |       |        |
|--------------------------|------------------------------------|--------|-------|--------|------------------------------------|--------|-------|--------|
|                          | Beta                               | Beta   | Beta  | Affid. | Beta                               | Beta   | Beta  | Affid. |
| Valori su 73 comuni      | B - A                              | C - A  | D - A | Cl. A  | A - B                              | C - B  | D - B | Cl. B  |
| <b>Media</b>             | 21,79%                             | 8,14%  | 2,94% | 69,77% | 45,10%                             | 23,92% | 5,46% | 32,51% |
| <b>Varianza</b>          | 5,58%                              | 1,91%  | 0,58% | 7,09%  | 7,55%                              | 5,15%  | 0,92% | 8,05%  |
| <b>Deviazione Stand.</b> | 23,61%                             | 13,82% | 7,61% | 26,63% | 27,48%                             | 22,70% | 9,61% | 28,38% |

**Valori su 35 Comuni**

|                          |        |        |       |        |        |        |       |        |
|--------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| <b>Media</b>             | 19,27% | 6,96%  | 1,10% | 77,86% | 45,76% | 16,90% | 4,44% | 41,25% |
| <b>Varianza</b>          | 4,69%  | 1,24%  | 0,11% | 5,99%  | 9,62%  | 3,92%  | 0,57% | 7,53%  |
| <b>Deviazione Stand.</b> | 21,66% | 11,11% | 3,35% | 24,47% | 31,01% | 19,79% | 7,58% | 27,44% |

|                          | Prob. scambio tra cl. C e le altre |        |        |        | Prob. scambio tra cl. D e le altre |        |        |        |
|--------------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|------------------------------------|--------|--------|--------|
|                          | Beta                               | Beta   | Beta   | Affid. | Beta                               | Beta   | Beta   | Affid. |
| Valori su 73 comuni      | A - C                              | B - C  | D - C  | Cl. C  | A - D                              | B - D  | C - D  | Cl. D  |
| <b>Media</b>             | 17,63%                             | 21,50% | 20,53% | 47,14% | 6,32%                              | 11,51% | 15,05% | 70,59% |
| <b>Varianza</b>          | 6,11%                              | 7,53%  | 4,98%  | 13,31% | 1,83%                              | 4,93%  | 5,52%  | 9,20%  |
| <b>Deviazione Stand.</b> | 24,73%                             | 27,43% | 22,31% | 36,48% | 13,53%                             | 22,20% | 23,49% | 30,32% |

**Valori su 35 Comuni**

|                          |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Media</b>             | 25,45% | 25,55% | 30,60% | 41,43% | 8,12%  | 7,82%  | 14,92% | 75,00% |
| <b>Varianza</b>          | 12,41% | 10,47% | 14,89% | 16,68% | 3,24%  | 2,07%  | 3,15%  | 6,85%  |
| <b>Deviazione Stand.</b> | 35,22% | 32,35% | 38,59% | 40,84% | 18,00% | 14,39% | 17,75% | 26,17% |

Dall'esame dei dati si può osservare che per i 73 comuni così come per i 35 SSN l'affidabilità nel riconoscimento delle classi A e D continua a rimanere piuttosto elevata, attestandosi su un valore medio del 70% circa, anche se con deviazioni standard che possono raggiungere il 30%. Il restante 30% si suddivide come probabilità di scambio con le altre classi, presentando, come è lecito aspettarsi, una percentuale dominante nella probabilità di scambio con la classe più vicina. Cioché, per la classe A questo 30% si suddivide tra un 20% circa di probabilità di scambio con la classe B, ed un restante 10% di probabilità di scambio con C e D. Viceversa, per la classe D questo 30% si suddivide tra un 15% circa di probabilità di scambio con la classe C, ed un restante 15% di probabilità di scambio con A e B.

Per le classi intermedie B e C, l'affidabilità nel riconoscimento non appare ancora soddisfacente, attestandosi per B su un valore medio del 35% circa e per C su un valore medio di circa il 45%, con deviazioni standard dello stesso ordine di grandezza. La classe B viene difficilmente scambiata (nel riconoscimento da foto) con D (cemento armato), mentre è in percentuale elevato lo scambio con A (per effetto di un'ipotesi cautelativa che condiziona il "fotointerprete" in caso di

incertezza) e con C. La classe C, invece, presenta mediamente una probabilità di scambio del 20% circa con tutte le altre classi.

Si può, tuttavia, affermare che i valori di probabilità relativi a B e C, pur risultando mediocri, mostrano un comportamento stabile almeno quanto quello delle altre classi. Ciò significa che, pur evidenziando le già espresse incertezze sulla riconoscibilità delle classi B e C, emerge una certa costanza nell'errore che fa ben sperare per applicazioni future da effettuare facendo a meno di schedature a campione sul campo.

Si rimanda alle tabelle in allegato: 7.9, 7.10, 7.11, 7.12, 7.13.

I risultati emersi dal presente lavoro, con un'analisi estesa a 79 comuni, confermano la QAP quale metodologia speditiva di buona affidabilità per la definizione delle distribuzioni tipologiche degli edifici a scala comunale. Ciò anche in virtù di un certo numero di applicazioni della stessa, nel tempo sviluppate, che ha permesso di raffinare le probabilità di scambio e le affidabilità di riconoscimento delle classi.

#### *Correlazione ai dati ISTAT* (collaborazione di Fabrizio Brammerini)

Nel settembre del '96, il SSN consegnava alla Protezione Civile una Mappa di Vulnerabilità a scala Nazionale basata su due risultati salienti raggiunti dai suoi ricercatori (Di Pasquale et al 1997):

- la definizione delle distribuzioni in classi tipologiche A, B, C1 e C2 del patrimonio edilizio dei comuni italiani espresse in abitazioni (le classi C1 e C2 corrispondono rispettivamente a quelle indicate come C e D nel presente lavoro, secondo le specifiche in precedenza illustrate). Tali distribuzioni sono state elaborate a partire dalla base dati ISTAT '91 assegnando alla classe A le abitazioni in muratura costruite prima del '45, alla classe B le costruzioni in muratura costruite tra il '45 ed il '60, alla classe C le costruzioni in muratura costruite dopo il '60 mentre alla classe D sono assegnate tutte le costruzioni in c.a..
- la trasformazione delle DPM Irpinia '80 (Braga et al. 1982) espresse in edifici per le tre classi tipologiche MSK (A, B, C) in DMP Irpinia Abruzzo '80-'84 espresse in abitazioni per le quattro classi tipologiche (A, B, C1 e C2).

In merito al primo risultato, l'attribuzione delle abitazioni alle classi tipologiche suddette venne realizzata, classificando integralmente il cemento armato nella classe C2, e distinguendo la muratura in classi di vulnerabilità attraverso l'ausilio dell'indicatore ISTAT "età di costruzione". Inoltre, la trasformazione in termini di abitazioni dei dati sul danneggiamento, contenuti nella Banca Dati di Vulnerabilità GNDT in forza al SSN ed espressi in edifici, veniva realizzata facendo affidamento ai valori medi abitazioni per edificio, calcolati sulla base delle schede contenute nella suddetta Banca Dati.

Il presente progetto ha inteso utilizzare il campione completo (SSN-GNDT) dei 79 comuni, analizzati attraverso la procedura QAP, al fine di determinare possibili correlazioni ai dati ISTAT espressi in abitazioni.

La procedura utilizzata nel presente lavoro per l'individuazione delle suddette correlazioni si fonda su due assunzioni fondamentali:

- il numero degli edifici per il centro urbano calcolato con la procedura speditiva QAP corrisponde al vero;
- il numero totale delle abitazioni del centro urbano desunto dai dati ISTAT corrisponde al vero.

Quest'ultima assunzione, fondata sulla considerazione che il dato ISTAT può non essere affidabile nel contenuto informativo relativo all'unità abitativa, ma in linea di principio non può non essere attendibile riguardo all'esistenza dell'unità medesima, si è invece rivelata, alla luce di controlli a campione effettuati, puramente teorica, anche se al momento non rimovibile.

Nonostante le assunzioni fatte, si possono, tuttavia, avanzare le seguenti osservazioni:

a) le unità abitative considerate dall'ISTAT sono esclusivamente a destinazione residenziale, laddove, invece, i dati raccolti con la presente metodologia possono cogliere anche unità abitative destinate ad altri usi, come di frequente accade nei nostri centri urbani. Tali unità sfuggono dal conteggio ISTAT e possono alterare, pertanto, il confronto con i dati raccolti;

b) il confronto tra il dato ISTAT espresso in abitazioni ed il dato puro QAP, che all'origine è espresso in edifici, soffre dell'incertezza legata all'operazione di trasformazione edifici – abitazioni. Tale trasformazione è stata operata utilizzando le medie di abitazioni per edificio, calcolate, per classe tipologica, sulla base dei dati raccolti sul campo per un 10% circa degli edifici di ciascun comune. Qualora, di contro, si volesse effettuare il confronto in edifici, se da un lato risulterebbero più affidabili i dati raccolti con la procedura QAP, dall'altro si dovrebbe, tuttavia, accettare l'incertezza delle trasformazione inversa del dato ISTAT da abitazioni in edifici, da dedurre sulla base dei fogli di famiglia;

c) ulteriore fattore da considerare è la non completa corrispondenza tra la data dell'ultimo censimento ISTAT disponibile ('91) e le date delle foto aeree disponibili su cui si è stato effettuato il riconoscimento.

Queste ultime osservazioni trovano conferma nelle tabelle di confronto (relative ai valori complessivi delle abitazioni e degli edifici) tra i dati raccolti nei comuni analizzati ed i corrispondenti dati contenuti banca dati ISTAT (vedi allegato 7.14).

Tali tabelle riportano, per ciascuno dei 79 centri studiati, il confronto tra il numero di abitazioni desunte dai dati Istat ed il numero di abitazioni calcolato sulla base delle risultanze della QAP; quest'ultimo ricavato in seconda battuta attraverso la già citata trasformazione degli edifici in abitazioni, ottenuta facendo affidamento sui valori medi di abitazioni per edificio, calibrati attraverso i dati raccolti sul campo nella schedatura di circa il 10% dell'abitato analizzato.

Dall'analisi di tali tabelle si evidenzia quanto segue:

- per circa il 50% dei comuni si ritrova uno scarto inferiore al 15%;
- per il 20% dei comuni tale scarto sale oltre il 30%;
- per il restante 30% lo scarto è contenuto tra il 15% ed il 30%.

Tali scarti, già presenti in certa misura nella prima versione del lavoro SSN, si riteneva potessero essere completamente annullati nella presente versione del lavoro, attraverso la migliore definizione dei limiti territoriali (somma di sezioni di censimento Istat, operata da F. Bramerini del SSN) entro cui il riconoscimento aerofotogrammetrico viene di fatto realizzato. Tuttavia, la permanenza di tali scarti, nonostante gli sforzi di fatto compiuti per ridurre le incertezze sulla corrispondenza tra le zone riconosciute dalla QAP e quelle censite dall'ISTAT, inducono a sottolineare il peso di altri elementi condizionanti, in parte già accennati in precedenza e che possono essere sintetizzati come segue:

- assenza nel censimento ISTAT di unità immobiliare a destinazione diversa da quella abitativa, che invece rimangono incluse nel riconoscimento QAP;
- incertezza sulle medie adottate per la conversione edifici-abitazioni, calcolate su un campione del 10% e non sulla intera popolazione di edifici.

Per indagare sulla effettiva rappresentatività di tali medie, si è proceduto ad una schedatura a tappeto per 6 dei 79 comuni analizzati. Il confronto tra le medie effettive (desunte dal rilievo a tappeto) e quelle valutate su un campione del 10 % ha mostrato una buona affidabilità del metodo; in particolare si è osservato che: se il campione schedato è di almeno il 10 % , si ritrova un errore medio del 20 % rispetto alle medie reali; tale errore scende al 15 % per un campione schedato del 20 %. Questo errore è stato ritenuto complessivamente accettabile anche in considerazione, di contro, delle già menzionate incertezze sul dato Istat.

Le tabelle delle medie sono consegnate in appendice (allegato 7.14); si osservi che le medie locali, ovvero calcolate sul campione di schede raccolto in sito, non sempre sono risultate significative, per l'esiguità (<10%), o la mancanza totale di edifici schedati di una certa classe. In tal caso si è assunto come valore medio quello desunto, per ciascuna classe tipologica, come media delle medie calcolata tra i comuni ricadenti nella stessa fascia di popolazione.

#### *La procedura*

Nel seguito viene sintetizzata per punti la procedura di correlazione adottata per il confronto con i dati Istat e la messa a punto di una mappa di vulnerabilità a scala nazionale.

- a) Si è proceduto in prima istanza al calcolo delle medie delle abitazioni per edificio effettuate per ciascun comune e per ciascuna classe tipologica (A,B,C,D) secondo quanto esposto in precedenza.
- b) Si è poi passati alla trasformazione in abitazioni delle distribuzioni tipologiche percentuali per classi di vulnerabilità, già espresse in edifici.
- c) Successivamente si è effettuata una classificazione dei 79 comuni analizzati attraverso la procedura di seguito descritta. Ciascun comune è stato classificato in base ad un parametro "v" detto "*Parametro di Vulnerabilità Comunale*", con valori compresi tra 0 e 1, espressivo della frequenza del danno medio, determinato saturando sulle 4 classi tipologiche per intensità media di riferimento VIII e classe di danno 3 (con riferimento alle DPM 2000, consegnate nel presente

lavoro). Un esempio del metodo di classificazione è consegnato in appendice allegato 7.15.

- d) In base all'analisi di cui al precedente punto c), i 79 comuni sono stati quindi classificati in sei gruppi differenti, corrispondenti a differenti livelli di vulnerabilità comunale del tipo:

|             |       |               |       |
|-------------|-------|---------------|-------|
| - gruppo G1 | 0.000 | $\leq v \leq$ | 0.166 |
| - gruppo G2 | 0.166 | $< v \leq$    | 0.333 |
| - gruppo G3 | 0.333 | $< v \leq$    | 0.500 |
| - gruppo G4 | 0.500 | $< v \leq$    | 0.666 |
| - gruppo G5 | 0.666 | $< v \leq$    | 0.833 |
| - gruppo G6 | 0.833 | $< v \leq$    | 1.000 |

Per ciascun gruppo di comuni così classificato, è stata calcolata una “*distribuzione centrale*”, intesa come la distribuzione di tipologie strutturali media tra le varie distribuzioni presenti in quel gruppo. Ciò significa che ciascuna gruppo di vulnerabilità comunale risulta rappresentata da una distribuzione centrale. In appendice all'allegato 7.16 si consegnano le distribuzioni centrali di ciascun gruppo ed il dettaglio dei comuni appartenenti ai singoli *Gruppi di Vulnerabilità*.

- e) Quindi, in riferimento alle distribuzioni tipologiche in abitazioni prodotte dal SSN per tutti i comuni italiani sulla base dei dati ISTAT, è stata calcolata la distanza fra tali distribuzioni e le sei distribuzioni centrali prima definite. In tal modo ciascuno dei circa 8000 comuni italiani è stato assegnato, in base al criterio della minima distanza euclidea tra le distribuzioni SSN e quelle centrali, ad una delle sei gruppi di vulnerabilità comunale definite in precedenza.
- f) A questo punto è stato possibile affrontare il problema di calibrazione dei dati applicando nuovamente la logica della procedura di correzione statistica QAP. I 79 comuni studiati in dettaglio sono stati assunti quali punti di confronto, al fine di calibrare la corretta appartenenza dei comuni classificati attraverso i dati Istat-SSN a ciascun gruppo di vulnerabilità, e quindi, sulla base delle affidabilità e delle probabilità di scambio tra gruppi ottenute, correggere i valori delle distribuzioni centrali da assumere a riferimento.

Di seguito si riporta la tabella 7.5 contenente i valori assunti dai parametri di correzione statistica (affidabilità e probabilità di scambio) ottenuti dalla descritta applicazione della procedura QAP per l'assegnazione ai gruppi di vulnerabilità comunale.

Tabella 7.5

|                                      | Gruppi di vulnerabilità comunale (x) |       |       |       |       |        |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                                      | G1                                   | G2    | G3    | G4    | G5    | G6     |
| Affidabilità dell'attribuzione       | 25%                                  | 47%   | 19%   | 33%   | 17%   | 100%   |
| Probabilità di scambio $\beta_{xG1}$ | [25%]                                | 56%   | 7%    | 6%    | 6%    | 0%     |
| Probabilità di scambio $\beta_{xG2}$ | 27%                                  | [47%] | 13%   | 13%   | 0%    | 0%     |
| Probabilità di scambio $\beta_{xG3}$ | 0%                                   | 19%   | [19%] | 42%   | 16%   | 4%     |
| Probabilità di scambio $\beta_{xG4}$ | 0%                                   | 0%    | 27%   | [33%] | 20%   | 20%    |
| Probabilità di scambio $\beta_{xG5}$ | 0%                                   | 0%    | 17%   | 50%   | [17%] | 16%    |
| Probabilità di scambio $\beta_{xG6}$ | 0%                                   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | [100%] |

La tabella 7.6 evidenzia le percentuali di appartenenza dei comuni italiani ai sei gruppi di vulnerabilità comunale, ottenute prima e dopo l'applicazione della procedura di correzione statistica.

Tabella 7.6

|   | Gruppi di vulnerabilità comunale (X) |     |     |     |     |    |
|---|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|
|   | G1                                   | G2  | G3  | G4  | G5  | G6 |
| Percentuale (non corretta) di comuni appartenenti al gruppo X | 15%                                  | 18% | 34% | 24% | 9%  | 0% |
| Percentuale (corretta) di comuni appartenenti al gruppo X     | 9%                                   | 23% | 18% | 30% | 12% | 8% |

Si può osservare dall'analisi delle distribuzioni tipologiche prodotte dal SSN sulla base dei dati ISTAT (vedi anche mappa all'allegato 7.17) che nessun comune ricade nel gruppo maggiormente vulnerabile (VI), contrariamente a quanto rilevato nel campione dei 79 comuni analizzato; ciò induce a credere che le attuali distribuzioni tipologiche assunte non colgano a pieno la complessiva distribuzione di vulnerabilità dei comuni italiani, il che viene confermato dal confronto delle percentuali di appartenenza dei comuni italiani ai sei gruppi di vulnerabilità comunale, ottenute prima e dopo l'applicazione della procedura di correzione statistica QAP, dove si nota che la moda passa da G3 a G4 (vedi tabella 7.6).

L'allegato 7.17 mostra la mappa di vulnerabilità dei comuni italiani così come è risultata dall'applicazione della procedura descritta. Tale mappa va letta con riferimento alle sei distribuzioni di affidabilità e probabilità di scambio consegnate in tabella 7.5. Queste consentono di valutare la probabilità che un comune assegnato ad una classe di vulnerabilità comunale appartenga effettivamente a quella oppure ad altra classe.

La mappa, espressiva di un rapporto relativo di potenziale danneggiamento tra i comuni, non è che, com'è ovvio, una delle possibili rappresentazioni della vulnerabilità a scala nazionale che si possono derivare dai dati disponibili.

Attraverso i parametri di correzione statistica dell'affidabilità di assegnazione di tabella 7.5 è possibile anche trasformare mediante la equazione (7.5) le distribuzioni centrali di riferimento delle sei classi di vulnerabilità comunale al fine di valutare lo scarto tra queste e le distribuzioni centrali che si otterrebbero dai comuni della banca dati ISTAT-SSN dopo la correzione statistica.

Detti:



- $\pi_{jk}$  il valore atteso delle percentuali di edifici del comune di classe “G<sub>k</sub>” (k=1, 2,.....,6) che ricadono in classe tipologico strutturale “j” (j=A, B, C, D);
- $\beta_{ik}$  la probabilità che il comune in oggetto, che è attribuito al gruppo “G<sub>k</sub>” secondo il data base ISTAT-SSN sia in effetti nel gruppo “G<sub>i</sub>” (i, k=1, 2,.....,6)
- $f_{ji}^*$  il valore della percentuale di edifici in classe tipologica “j” nella distribuzione centrale relativa al gruppo di comuni “G<sub>i</sub>”.

si ha:

$$\pi_{jk} = \sum_{i=1}^6 \beta_{ik} f_{ji}^* \quad (7.5)$$

Dopo la trasformazione le distribuzioni centrali di riferimento dei sei Gruppi di Vulnerabilità Comunale di tabella 7.7 assumono i valori di tabella 7.8.

Tabella 7.7

| <b>Gruppo</b> | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>Parametro di vulnerabilità comunale</b> |
|---------------|----------|----------|----------|----------|--|
| Gruppo G1     | 3,0%     | 2,3%     | 27,9%    | 66,8%    | $0.000 \leq v \leq 0.166$                  |
| Gruppo G2     | 12,3%    | 15,0%    | 26,5%    | 46,2%    | $0.166 < v \leq 0.333$                     |
| Gruppo G3     | 25,8%    | 27,0%    | 14,2%    | 33,0%    | $0.333 < v \leq 0.500$                     |
| Gruppo G4     | 47,1%    | 18,1%    | 11,3%    | 10,0%    | $0.500 < v \leq 0.666$                     |
| Gruppo G5     | 60,1%    | 23,9%    | 4,9%     | 11,1%    | $0.666 < v \leq 0.833$                     |
| Gruppo G6     | 85,1%    | 5,3%     | 1,6%     | 8,0%     | $0.833 < v \leq 1.000$                     |

Tabella 7.8

| <b>Gruppo</b> | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>Parametro di vulnerabilità comunale</b> |
|---------------|----------|----------|----------|----------|--|
| Gruppo G1     | 15,9%    | 13,4%    | 23,8%    | 47,0%    | $0.000 \leq v \leq 0.166$                  |
| Gruppo G2     | 16,1%    | 13,5%    | 23,3%    | 47,1%    | $0.166 < v \leq 0.333$                     |
| Gruppo G3     | 40,0%    | 19,6%    | 13,3%    | 27,0%    | $0.333 < v \leq 0.500$                     |
| Gruppo G4     | 51,5%    | 19,1%    | 8,9%     | 20,0%    | $0.500 < v \leq 0.666$                     |
| Gruppo G5     | 51,8%    | 18,6%    | 9,2%     | 20,5%    | $0.666 < v \leq 0.833$                     |
| Gruppo G6     | 85,1%    | 5,3%     | 1,6%     | 8,0%     | $0.833 < v \leq 1.000$                     |

In sostanza si tratta di effettuare una verifica dello scarto tra le distribuzioni Centrali calcolate sul campione analizzato e quelle complessive derivanti dalla totalità dei comuni ISTAT-SSN cui si è applicata la correzione QAP.

In figura 7.2 si sono messi a confronto le distribuzioni centrali dei sei Gruppi di Vulnerabilità Comunale prima e dopo la trasformazione secondo i parametri di affidabilità e probabilità di errore di scambio tra le classi riportati in tabella 7.5 ottenuti dall'elaborazione tramite QAP.

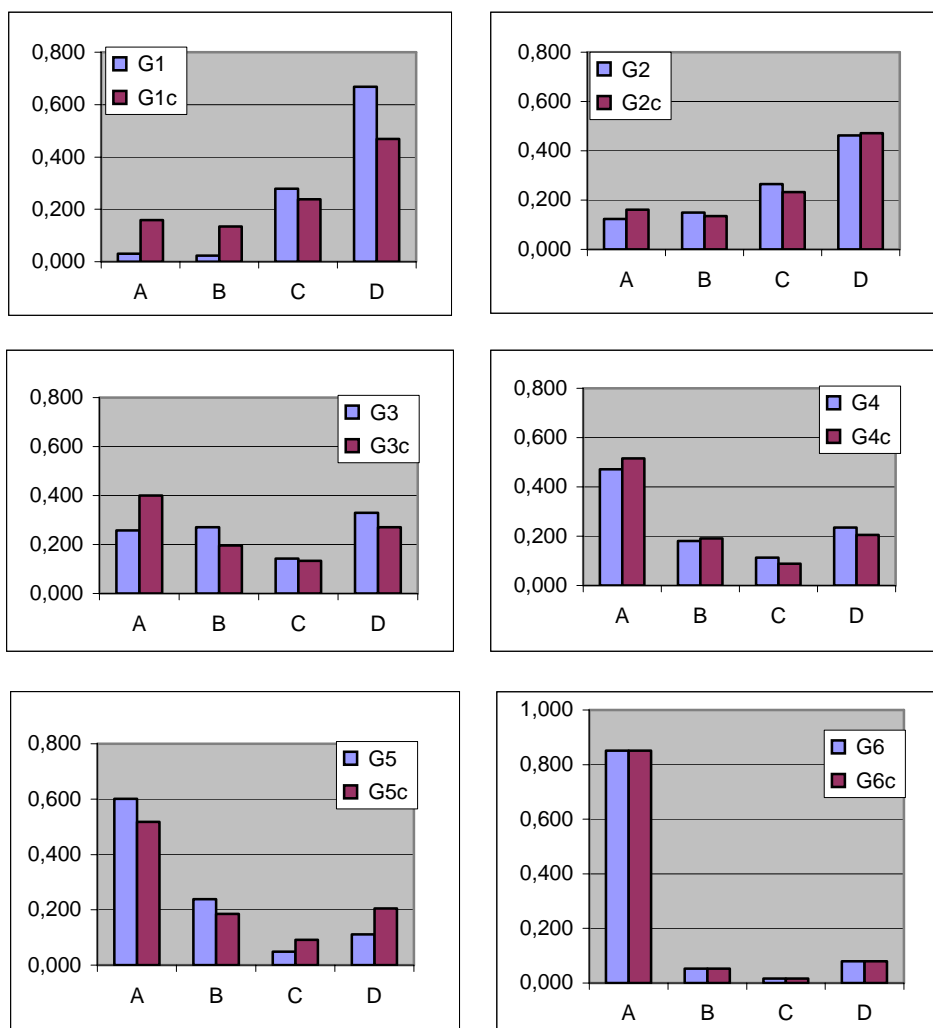


Figura 7.2. Confronto distribuzioni centrali prima e dopo la correzione

### 7.2.3 Conclusioni

Riguardo ai risultati ottenuti, si sottolinea che l'accresciuto numero di comuni per i quali si è pervenuti, pur nei limiti di affidabilità già esposti, alla distribuzione percentuale degli edifici in classi tipologico-strutturali (A,B,C,D), ha consentito di incrementare, rispetto a quanto fatto nel precedente progetto SSN-LUPT, il numero

dei gruppi di vulnerabilità comunale, in cui classificare i comuni italiani. Ciò ha messo in evidenza che le distribuzioni centrali dei singoli gruppi (da intendersi quali distribuzioni medie tra le varie distribuzioni dei comuni ricadenti nei singoli gruppi), assumono un andamento di tipo binomiale. Ciò fa intravedere la possibilità futura di assumere coefficienti binomiali associati a ciascun gruppo di vulnerabilità comunale, quando il campione di comuni analizzati raggiungerà percentuali statisticamente più significative (si auspica circa il 10% dei comuni classificati in zona sismica). Questo potrebbe essere impiegato quale parametro di riferimento in valutazioni comparative di vulnerabilità o in modellazioni di allocazione ottimale delle risorse.

Già allo stato attuale del lavoro, ad opinione degli scriventi, appare evidente che i criteri assunti nella scelta del presente campione di comuni hanno migliorato la rappresentatività dello stesso, nonostante la percentuale dei centri studiati rispetto al numero totale dei comuni italiani sia ancora esigua.

Quindi un miglioramento dei risultati conseguiti potrebbe essere raggiunto, in un prossimo futuro, acquisendo da un lato i risultati delle analisi relative a campagne di raccolta dati coordinate, in occasione di altri progetti, da altre UR del Gndt e dall'altro concentrando e limitando lo studio ai soli comuni ricadenti in zona sismica.

Ulteriori sviluppi della ricerca potrebbero consentire la determinazione delle distribuzioni centrali quale media delle distribuzioni tipologiche dei comuni ISTAT-SSN ricadenti nella stessa classe di vulnerabilità comunale e trasformarle attraverso i parametri di correzione statistica. In altri termini si opererebbe in tal modo un confronto diretto tra le distribuzioni centrali calcolate sui comuni del campione e quelle derivanti dalla totalità dei comuni ISTAT-SSN corrette mediante QAP.

### 7.3 Calibrazione delle DPM a scala Nazionale

(collaborazione di Francesco Cacace)

Le Matrici di Probabilità del Danno (DPM), impiegate attuali su tutto il territorio italiano, sono state elaborate sulla base dei danni rilevati sugli edifici dell'Irpinia in occasione del terremoto dell'80. Una più corretta analisi richiederebbe tuttavia che il campione impiegato per la calibrazione delle DPM fosse rappresentativo anche di tipologie costruttive ricadenti in altri ambiti territoriali. Ciò soprattutto in considerazione della ricchezza costruttiva che caratterizza il patrimonio edilizio italiano.

Purtroppo, non si dispone di dati estensivi e completi sul danno alle strutture, raccolti in occasione di eventi disastrosi del passato per altre regioni d'Italia. Ciò limita enormemente sia la possibilità di elaborare DPM regionali, sia di individuare delle DPM che si possano considerare realmente rappresentative a livello nazionale. Tra gli obiettivi del presente progetto era, pertanto, stato incluso quello di indagare sulla possibilità di allargare geograficamente la base dati su cui tarare le DPM ed al contempo verificare la congruità dei risultati conseguiti con quelli precedentemente determinati.

A tal fine è stato preso in considerazione il Data Base completo dei dati raccolti, attraverso tre differenti schede di rilevamento del danno, in occasione di un certo numero di eventi sismici (Banca Dati di vulnerabilità del GNDT):

1. Scheda Irpinia '80: scheda di rilevamento di danno per edifici ad uso abitazione o misti (Campania, Basilicata);
2. Scheda 5/84 (sisma 7-5-84): scheda di rilevamento lesioni ai fabbricati abitativi (regione Abruzzo)
3. Scheda Gndt 9/'86 (vari eventi)

I dati sul danneggiamento degli ultimi eventi sismici Umbria-Marche e Pollino non sono stati ancora resi disponibili.

È stata effettuata una scelta di 64 Comuni presenti nel Data base menzionato

- **26** rilevati con la scheda Irpinia '80.
- **30** rilevati con la scheda Abruzzo 5/84;
- **8** rilevati con la scheda GNDT 9/86;

per complessivi 51774 edifici, così suddivisi nelle 5 classi di intensità MCS considerate:

Tabella n.7.9 Comuni selezionati come campione del danneggiamento

| I | MCS | Abruzzo'84 |           | Irpinia '80 |           | GNDT '86 |           |
|---|-----|------------|-----------|-------------|-----------|----------|-----------|
|   |     | n. edif.   | n. comuni | n. edif.    | n. comuni | n. edif. | n. comuni |
|   | 5   | 183        | 1         |             |           | 510      | 2         |
|   | 6   | 3849       | 6         | 2892        | 4         | 271      | 1         |
|   | 7   | 10413      | 15        | 9532        | 9         | 2907     | 3         |
|   | 8   | 3566       | 8         | 10934       | 10        | 806      | 2         |
|   | 9   |            |           | 1390        | 1         |          |           |
|   | 10  |            |           | 4521        | 2         |          |           |

I suddetti Comuni sono stati scelti in base ai seguenti criteri:

- massima rappresentatività delle intensità;
- massima distribuzione sul territorio;
- massima rappresentatività delle tipologie presenti sul territorio (requisito spesso conseguente a quello della distribuzione geografica);
- completezza del rilevamento.

### *7.3.1 Considerazioni sulla completezza dei dati*

Una approfondita analisi condotta sulle informazioni contenute nella Banca Dati di vulnerabilità del GNDT ha evidenziato considerevoli limiti ed incertezze in merito alla loro completezza, nel senso che in molti casi si è riscontrata la mancanza di un rilievo completo, comprensivo anche del “non danneggiato”, di tutti gli edifici del centro colpito dal sisma.

In particolare, confrontando il numero degli edifici schedati, il numero complessivo degli edifici desumibili dal censimento ISTAT più vicino all’epoca del sisma ed il numero percentuale di edifici danneggiati per effetto dell’intensità al sito, solo i dati dell’evento Irpino dell’80 hanno mostrato più degli altri di possedere i requisiti di completezza necessari ad uno studio statistico robusto del danno. Tuttavia per vari comuni dell’Abruzzo i dati relativi all’evento dell’84 si sono rivelati accettabili sotto il profilo della completezza e sono stati inclusi nel campione.

Per quanto concerne, invece, i dati sul danneggiamento relativi ad altri eventi del passato (terremoto di Augusta, del Friuli etc.), dichiaratamente non completi, si è cercato di acquisire il requisito di completezza richiesto ricorrendo a stime fondate sui dati ISTAT aggiornati all’epoca dell’evento. Questo lavoro ha fornito risultati ragionevoli (ovvero medie di danno per classe tipologica ed intensità incluse nel range dei massimi valori di dispersione ottenuti sulla base del blocco di dati con requisiti accertati di completezza) solo per alcuni comuni; tale risultato era prevedibile alla luce delle già citate incertezze del dato Istat. In molti casi, come per l’evento del’76 in Friuli, i pochi dati disponibili non possono essere considerati significativi ai fini statistici, con grave perdita per la varietà delle tipologie danneggiate prese in esame.

A tale riguardo si fa osservare che le raccolte dati post-evento, incluse quelle effettuate dopo i recenti eventi di Umbria – Marche e del Pollino, ponendosi prioritariamente l’obiettivo di gestione tecnica dell’emergenza e quindi delle verifiche di agibilità su segnalazione del cittadino, difficilmente consentano di rispettare il requisito di completezza menzionato. Tale requisito, essenziale, di contro, per migliorare le stime di vulnerabilità, andrebbe perseguito in seconda battuta attraverso un lavoro di raccolta di tutti i dati all’interno di un centro urbano colpito. A tale scopo potrebbero essere adottate tecniche aerofotogrammetriche

speditive o attività di raccolta diretta sul campo con l'ausilio di poche squadre specializzate e mediante una scheda estremamente semplificata.

### 7.3.2 Considerazioni sulla struttura delle schede

Ciascuna delle schede menzionate al paragrafo precedente rappresenta un differente modello della realtà; è nata, pertanto, l'esigenza di omogeneizzare le informazioni raccolte in modo differente attraverso le varie schede, in modo da poter assegnare in maniera coerente, sulla scorta dei dati disponibili, ciascun edificio ad una delle classi di vulnerabilità A, B, C, D definite.

Tabella 7.10. Tabella assegnazioni tipologiche A, B, C, D per il Data base Irpinia '80

| IRPINIA                      | Struttura Verticale |           |              |                        |                         |                      |
|------------------------------|---------------------|-----------|--------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
|                              | PIETRE<br>1         | TUFO<br>2 | MATTONI<br>3 | CEMENTO<br>ARMATO<br>4 | STRUTTURA<br>MISTA<br>5 | NON<br>PRESENTE<br>∇ |
| <b>Struttura Orizzontale</b> |                     |           |              |                        |                         |                      |
| VOLTE 1                      | A                   | A         | A            | NP                     | A                       | A                    |
| SOLAI IN LEGNO 2             | A                   | A         | A            | NP                     | A                       | A                    |
| SOLAI IN FERRO 3             | A                   | B         | B            | NP                     | B                       | A                    |
| SOLAI IN C.A. 4              | A                   | C         | C            | D                      | C                       | B                    |
| NON PRESENTE <>              |                     |           |              |                        |                         |                      |
| ∇                            |                     |           |              |                        |                         |                      |
| <b>Copertura</b>             |                     |           |              |                        |                         |                      |
| LEGNO 1                      | A                   | A         | A            | D                      | A                       | A                    |
| CEMENTO ARMATO 2             | A                   | C         | C            | D                      | C                       | B                    |
| ALTRO 3                      | A                   | B         | B            | D                      | ND                      | ND                   |
| DIVERSE 4                    | A                   | ND        | ND           | D                      | ND                      | ND                   |
| NON PRESENTE <>              | A                   | ND        | ND           | D                      | ND                      | ND                   |

I criteri di assegnazione tipologica adottati per ciascuna scheda rispondono tutti al medesimo obiettivo di uniformità. La combinazione tra differenti strutture verticali ed orizzontali viene letta in termini di analisi del potenziale comportamento dell'edificio sotto sisma. Pertanto la classe tipologica assegnata all'edificio diventa anche una classe di vulnerabilità.

Per quanto attiene alla classificazione tipologica relativa ai dati raccolti con la scheda Irpinia '80 si rimanda alla tabella 7.10, per quelli raccolti con la scheda Abruzzo '84 alla tabella 7.11; infine per quelli relativi alla scheda GNDT 9/86, e simili, data la maggiore complessità, si rimanda all'allegato 7.3 in appendice (tabella di assegnazione standard).

Nelle tabelle di assegnazione tipologica 7.10 e 7.11 (Irpinia ed Abruzzo) si sono riportate anche le assegnazioni tipologiche relative alle combinazioni delle strutture verticali con le coperture. Ciò è stato necessario per compensare, in alcuni casi, la mancanza di dati alle strutture orizzontali e nei casi di costruzioni ad un unico piano.

Tabella 7.11. Tabella assegnazioni tipologiche A, B, C, D per il Data base Abruzzo

| ABRUZZO                      | Struttura Verticale |                          |                           |              |                        |                         |                      |
|------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
|                              | PIETRE<br>A1        | PIETRA<br>SBOZZATA<br>A2 | PIETRA<br>SQUADRATA<br>A3 | MATTONI<br>B | CEMENTO<br>ARMATO<br>C | STRUTTURA<br>MISTA<br>D | NON<br>PRESENTE<br>↕ |
| <b>Struttura Orizzontale</b> |                     |                          |                           |              |                        |                         |                      |
| VOLTE 1                      | A                   | A                        | A                         | A            | NP                     | A                       | A                    |
| SOLAI IN LEGNO 2             | A                   | A                        | A                         | A            | NP                     | A                       | A                    |
| SOLAI IN FERRO 3             | A                   | B                        | B                         | B            | NP                     | B                       | ND                   |
| SOLAI IN C.A. 4              | A                   | B                        | C                         | C            | D                      | C                       | B                    |
| NON PRESENTE ↕               |                     |                          |                           |              |                        |                         |                      |
| ↓                            |                     |                          |                           |              |                        |                         |                      |
| <b>Copertura</b>             |                     |                          |                           |              |                        |                         |                      |
| LEGNO 1                      | A                   | A                        | A                         | A            | D                      | A                       | A                    |
| CEMENTO ARMATO 2             | A                   | A                        | A                         | C            | D                      | C                       | ND                   |
| METALLICA 3                  | A                   | B                        | B                         | B            | D                      | B                       | ND                   |
| ALTRO 4                      | A                   | B                        | B                         | B            | D                      | ND                      | ND                   |

### 7.3.3 Considerazioni sui criteri di valutazione del danno

Le DPM calcolate in occasione dell'evento Irpino dell'80, così come quelle successivamente calibrate dal SSN nel '96, prendevano in considerazione, ai fini della valutazione complessiva del danno all'edificio, il solo parametro del danno alle strutture verticali. Ciò giustificato dalla buona correlazione osservata tra il danno alle strutture verticali e quello alle strutture orizzontali. Nel presente studio è stata condotta un'analisi indirizzata a verificare la permanenza di tale correlazione sulla base del nuovo e più ampio campione preso in considerazione. Ciò è stato effettuato per ciascun tipo di struttura (muratura e c.a.) e di scheda impiegata per la raccolta dati (Irpinia, Abruzzo, GNDT 9/86).

Dalle tabelle 7.12, 7.13, 7.14 e 7.15 si evince che, anche per il campione di comuni più ampio preso in esame, la correlazione tra il danno verticale ed orizzontale rimane essenzialmente confermata, almeno per gli edifici in muratura; si osserva, inoltre, che il massimo danno alle strutture orizzontali si riscontra frequentemente in corrispondenza della classe di danno precedente a quella di massimo danno alle strutture verticali.

Pertanto, ai fini della valutazione del danno apparente complessivo sulla struttura, tali osservazioni hanno indotto a considerare generalmente il danno alle sole strutture verticali; tuttavia si è potuto rilevare che, per un significativo numero di schede del DB, è presente l'indicazione sul solo danno alle strutture orizzontali, il quale è stato assunto in questi casi come danno rappresentativo dell'intera struttura.

Si sottolinea che le assunzioni sopra descritte rappresentano una ragionevole semplificazione nell'utilizzo dei parametri significativi in grado di descrivere il fenomeno del danneggiamento di un edificio a fini statistici; va sottolineato che sarebbe auspicabile tenere conto, in tali valutazioni, anche dei contributi di

resistenza offerti dai singoli elementi su cui si opera la misura del danno (scale e tamponature), nonché il loro peso effettivo nella valutazione del danno complessivo. Esistono già proposte in tal senso in letteratura, ma il set di dati attualmente a disposizione non si presenta omogeneo né esaustivo sotto il profilo della misura del danno alle parti strutturali, e ciò al momento introduce ulteriori elementi di incertezza in operazioni di tal specie.

Tabella 7.12 Correlazione del danno alle strutture verticali ed orizzontali (%)\*

| IRPINIA 80                     |   |                                  |    |    |    |    |    |
|--------------------------------|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|
| EDIFICI IN C.A.                |   | Danno alla struttura orizzontale |    |    |    |    |    |
|                                |   | 0                                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| Danno alla struttura verticale | 0 | 98                               | 2  | 0  | 0  |    |    |
|                                | 1 | 75                               | 23 | 2  | 0  |    |    |
|                                | 2 | 49                               | 32 | 12 | 4  | 2  |    |
|                                | 3 | 30                               | 28 | 24 | 17 |    |    |
|                                | 4 | 8                                | 14 | 13 | 21 | 44 |    |
| EDIFICI IN MURATURA            |   | Danno alla struttura orizzontale |    |    |    |    |    |
|                                |   | 0                                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| Danno alla struttura verticale | 0 | 93                               | 6  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                                | 1 | 52                               | 39 | 7  | 1  | 1  | 0  |
|                                | 2 | 17                               | 40 | 33 | 7  | 3  | 0  |
|                                | 3 | 7                                | 15 | 32 | 38 | 8  | 0  |
|                                | 4 | 1                                | 3  | 6  | 14 | 73 | 3  |
|                                | 5 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 1  | 99 |

Tabella 7.13 Correlazione del danno alle strutture verticali ed orizzontali (%)\*

| ABRUZZO 84                     |   |                                  |    |    |    |    |    |
|--------------------------------|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|
| EDIFICI IN C.A.                |   | Danno alla struttura orizzontale |    |    |    |    |    |
|                                |   | 0                                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| Danno alla struttura verticale | 0 | 92                               | 7  | 1  | 0  |    |    |
|                                | 1 | 42                               | 56 | 2  | 1  |    |    |
|                                | 2 | 40                               | 42 | 16 | 2  |    |    |
|                                | 3 | 50                               | 20 | 10 | 20 |    |    |
|                                | 4 | 50                               |    |    | 50 |    |    |
| EDIFICI IN MURATURA            |   | Danno alla struttura orizzontale |    |    |    |    |    |
|                                |   | 0                                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| Danno alla struttura verticale | 0 | 86                               | 11 | 2  | 1  | 0  | 0  |
|                                | 1 | 40                               | 49 | 9  | 1  | 0  | 0  |
|                                | 2 | 21                               | 36 | 35 | 7  | 1  | 0  |
|                                | 3 | 11                               | 14 | 31 | 37 | 6  | 1  |
|                                | 4 | 7                                | 5  | 13 | 30 | 37 | 7  |
|                                | 5 | 3                                | 1  | 2  | 4  | 16 | 75 |

\* frequenze espresse in percentuale (%) del numero totale di edifici di ciascuna riga

Tabella 7.14 Correlazione del danno **più frequente** alle strutture verticali ed orizzontali (%)

| GNDT 96                        |   |                                  |    |    |    |    |     |
|--------------------------------|---|----------------------------------|----|----|----|----|-----|
| EDIFICI IN C.A.                |   | Danno alla struttura orizzontale |    |    |    |    |     |
|                                |   | 0                                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5   |
| Danno alla struttura verticale | 0 | 99                               | 1  | 0  | 0  |    |     |
|                                | 1 | 59                               | 41 |    |    |    |     |
|                                | 2 | 46                               | 25 | 25 |    | 4  |     |
|                                | 3 | 71                               | 14 | 14 |    |    |     |
|                                | 4 | 33                               | 33 |    | 33 |    |     |
| EDIFICI IN MURATURA            |   | Danno alla struttura orizzontale |    |    |    |    |     |
|                                |   | 0                                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5   |
| Danno alla struttura verticale | 0 | 94                               | 5  | 1  | 0  | 0  |     |
|                                | 1 | 50                               | 43 | 6  | 1  | 0  | 0   |
|                                | 2 | 33                               | 26 | 36 | 4  | 0  | 0   |
|                                | 3 | 18                               | 18 | 17 | 43 | 3  | 1   |
|                                | 4 | 11                               | 10 | 12 | 17 | 47 | 4   |
|                                | 5 |                                  |    |    |    |    | 100 |

Tabella 7.15 Correlazione del danno **massimo** alle strutture verticali ed orizzontali (%)\*

| GNDT 96                        |   |                                  |    |    |    |    |    |
|--------------------------------|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|
| EDIFICI IN C.A.                |   | Danno alla struttura orizzontale |    |    |    |    |    |
|                                |   | 0                                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| Danno alla struttura verticale | 0 | 92                               | 7  | 1  | 0  | 0  |    |
|                                | 1 | 40                               | 56 | 3  | 0  | 0  |    |
|                                | 2 | 31                               | 39 | 30 |    |    |    |
|                                | 3 | 35                               | 25 | 20 | 20 |    |    |
|                                | 4 | 14                               | 32 | 36 | 9  | 9  |    |
| EDIFICI IN MURATURA            |   | Danno alla struttura orizzontale |    |    |    |    |    |
|                                |   | 0                                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| Danno alla struttura verticale | 0 | 83                               | 12 | 3  | 1  | 0  | 0  |
|                                | 1 | 40                               | 52 | 7  | 1  | 0  |    |
|                                | 2 | 24                               | 33 | 35 | 7  | 1  | 0  |
|                                | 3 | 16                               | 20 | 28 | 32 | 3  | 1  |
|                                | 4 | 11                               | 13 | 17 | 21 | 34 | 3  |
|                                | 5 | 17                               |    | 15 | 13 | 17 | 39 |



### 7.3.4 L'indice di danno

Un altro fattore delicato nelle valutazioni del danno è l'individuazione di un indice di danno cui ricondurre le valutazioni espresse dai rilevatori nelle operazioni di schedatura. Ovviamente anche in questo caso la presenza di differenti schede e relativi data base impone l'assunzione di criteri differenti che mirino ad un omogeneizzazione del valore finale dell'indice di danno.

#### Scheda Irpinia '80

Nella scheda *Irpinia '80* il danno viene, in una prima fase, rilevato su 6 elementi:

- strutture verticali
- strutture orizzontali
- tetti
- tamponamenti esterni
- pareti interne
- scale

e per 8 classi di danneggiamento.

Successivamente è stata introdotta una scheda *Irpinia'80 migliorata* in cui, per uniformarsi alla scala macrosismica MSK-76, furono ridotte le classi di danneggiamento da 8 a 6. Il Data base Irpinia contiene entrambe le tipologie di schede e quindi di dati. L'operazione di riduzione delle classi di danno, opportuna per omogeneità con le scale di danno utilizzate dalle schede che seguiranno, è stata eseguita in questo progetto coerentemente a quanto già effettuato dagli estensori (Braga et al. 1982) delle DPM '80 secondo la tabella di corrispondenza che segue.

Tabella 7.16. Trasformazione classi di danno scheda Irpinia '80 in Irpinia migliorata

|                        |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>D Irpinia '80</i>   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| <i>D Irpinia migl.</i> | 0 | 1 |   | 2 | 3 | 4 | 5 |   |

Numericamente si assume un valore di danno valutato come in tabella 7.16.

Per quanto detto al paragrafo precedente si considera rappresentativo ai fini della valutazione del danno globale il danno alla struttura verticale o, in assenza di questo, quello alla struttura orizzontale.

L'indice *Id* di danno si calcola quindi:

$$Id = \begin{cases} D_v & \text{se presente} \\ D_o & \text{se } D_v \text{ è assente} \end{cases}$$

dove :

$D_v$  = danno alla struttura verticale

$D_o$  = danno alla struttura orizzontale

### Scheda Abruzzo '84

Nella scheda *Abruzzo '84* il danno viene riportato per i seguenti elementi:

- strutture verticali
- strutture orizzontali
- tetti
- tamponamenti esterni
- pareti interne
- scale
- sporgenze
- emergenze

con 5 classi e valori da 1 a 5.

Numericamente si assumono i valori in tabella 7.17 per esprimere la misura del danno delle omonime classi di danneggiamento. Secondo quanto descritto nelle istruzioni della scheda; si è assunto, inoltre, il valore "0" = nessun danno:

Tabella 7.17. Trasformazione classi di danno scheda Abruzzo '84 in Irpinia migliorata

|                                |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Classe del Danno $D \equiv Id$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------|---|---|---|---|---|---|

Come per la scheda Irpinia '80 l'indice  $Id$  di danno si calcola:

$$Id = \begin{cases} D_v & \text{se presente} \\ D_o & \text{se } D_v \text{ è assente} \end{cases}$$

dove :

$D_v$  = danno alla struttura verticale

$D_o$  = danno alla struttura orizzontale

### Scheda GNDT '86

Nella scheda GNDT '86 il danno è descritto in maniera più analitica; infatti, oltre il livello di danno massimo, viene specificato il livello di danno più frequente e la sua estensione ai vari piani.

Gli elementi strutturali su cui si rileva il danno sono:

- struttura verticale
- struttura orizzontale
- scale
- tamponature

mentre la valutazione è espressa in percentuale di danno da 0 a 100%.

Anche in questo caso l'indice di danno viene valutato ancora facendo riferimento al danno verticale  $o$ , in mancanza di questi, al danno orizzontale. I dati sul danneggiamento a disposizione nella scheda sono:

$Md$  livello del danno massimo

$Ld_i$  livello del danno più frequente al piano  $i$ -simo

$Ed_i$  estensione del danno più frequente al piano i-simo

$Nd_i$  numero di piani aventi le stesse caratteristiche di danno al piano i-simo

Si consideri  $Ld_i$  = livello del danno più frequente al piano i-simo come “danno modale” della distribuzione del danno.

L’indice di danno si ottiene calcolando l’area dell’istogramma ottenuto assegnando ad ogni livello di danno l’estensione conosciuta (o, come vedremo, ipotizzata) corrispondente. L’istogramma si costruisce considerando in prima analisi il danno modale  $Ld_i$  con l’estensione corrispondente  $Ed_i$  ; successivamente si assegna al livello di danno massimo  $Md_i$  un valore di estensione (ipotizzato) pari a

$1 - Ed_i$  se  $1 - Ed_i < Ed_i$  o pari a

$Ed_i$  se  $1 - Ed_i \geq Ed_i$  .

Poiché la somma delle estensioni ai vari livelli di danno deve risultare pari ad 1, la percentuale che non fosse stata ancora utilizzata viene assegnata al livello di danno immediatamente inferiore a quello massimo, (senza mai superare  $Ed_i$  ) e così via sui livelli più bassi fino a raggiungere l’unità.

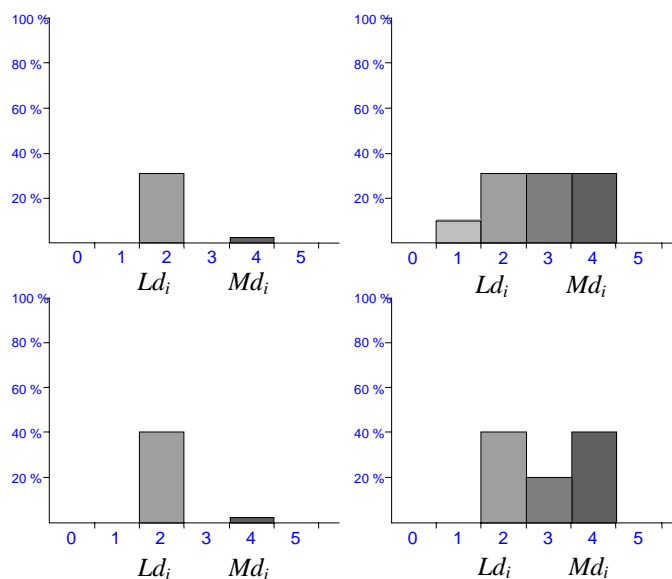


Figura 7.3. Assegnazione della distribuzione del danno per il calcolo dell’indice di danno – scheda GNDT ’86.

A titolo esemplificativo in figura 7.3 si rappresentano due casi possibili, in ciascuno di essi a sinistra è riportato il dato della scheda, a destra l’istogramma ottenuto.

L’indice finale si ottiene effettuando la media sul numero totale dei piani degli indici ottenuti ai vari piani dell’edificio.

Il valore *Idp* (*Indice di danno percentuale*) così determinato viene convertito in classe di danno mediante la tabella 7.18 che segue:

Tabella 7.18. Trasformazione percentuali di danno - classi di danno. Scheda GNDT '86

|            |   |     |     |     |     |      |
|------------|---|-----|-----|-----|-----|------|
| <i>Idp</i> | 0 | ≤20 | ≤40 | ≤60 | ≤80 | ≤100 |
| <i>Id</i>  | 0 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5    |

L'analisi della tabella 7.18 mostra che è stata operata una trasformazione lineare tra percentuale di danno ed assegnazione della classe di danneggiamento. Tale assunzione è giustificata dalla necessità di armonizzare questa valutazione con quelle delle schede precedenti in cui non vi sono motivi per ritenere che la progressione del danno tra le classi non sia lineare.

In realtà a nostro giudizio la progressione del danneggiamento sino al collasso non segue la linearità citata; tuttavia, dalle istruzioni di compilazione delle tre schede impiegate non si evince alcun elemento per ritenere che i rilevatori avessero in mente al momento della schedatura un modello di gradualità del danneggiamento diverso da quello lineare.

### 7.3.5 Risultati Statistici

Le correlazioni statistiche operate tra danno, tipologia ed intensità MCS hanno messo in evidenza una già nota scarsità di dati sul danneggiamento alle strutture per effetto di eventi di forte intensità (IX e X MCS). Al contrario il campione offre risultati statisticamente robusti per intensità VI e VII, leggermente meno per l'VIII grado MCS. Per quanto attiene il V grado i dati sono davvero scarsi e non completi, il che rende questo livello di intensità forse il più incerto nella previsione del danno, anche se evidentemente ciò è meno importante per il moderato livello di danno che produce.

Le cause delle su citate difficoltà sono da ricercare oltre che nella scarsità di dati rappresentativi di tutto il patrimonio culturale del costruito italiano, anche nel fatto che i dati attualmente inseriti nella banca dati di vulnerabilità rappresentano un campione disomogeneo, in quanto frutto di campagne di raccolta dati effettuate con schede diverse, ed incompleto, in quanto non sempre i dati comprendono tutti gli edifici sia danneggiati che non danneggiati. Ciò ha comportato un notevole lavoro di omogeneizzazione, in parte esposto ai paragrafi precedenti, nel tentativo di allargare il più possibile la base dei dati su cui tarare le DPM. Si è osservato che i dati del danno raccolti in occasione dell'evento dell'Irpinia rappresentano ancora il migliore set di dati attualmente disponibile per correlazioni del genere ricercato. Sulle altre campagne dati disponibili pesano i fattori negativi suddetti oltre alla mancanza di dati relativi alle alte intensità, ed infine va anche denunciata la mancanza di disponibilità di dati definitivi e completi sul danneggiamento degli ultimi eventi sismici quali: Umbria e Marche '97 e Pollino '99.

Lo spirito del lavoro è quello di produrre delle DPM il più rappresentative possibile del patrimonio immobiliare italiano. Ciò doveva quindi necessariamente limitare i dati dell'Irpinia, troppo numerosi rispetto agli altri e troppo poco rappresentativi delle tecnologie costruttive a scala nazionale, ed allargare la base dati utile alle correlazioni con eventi e tipologie il più distribuite possibile sul territorio italiano. Come si intuisce da quanto detto si è potuto operare in tal senso solo in parte, ovverosia solo quando il campione esaminato è risultato ragionevolmente esaustivo e completo.

L'analisi delle correlazioni statistiche ha mostrato che per le intensità VI e VII si è trovata una buona rispondenza all'ipotesi di binomialità della distribuzione del danno assunta già in passato per le DPM '80 (Braga et al. 1982). Anche l'intensità VIII risponde con sufficienza a tale ipotesi mentre per le intensità IX e X si è riscontrata una distribuzione statistica bimodale che trova qualche elemento di riscontro anche nelle analisi dell'Unità di Ricerca di Milano IRRS (Petrini, Meroni, comunicazione personale) oltre che da alcune correlazioni sul danno dell'80 (Braga, F. et al. 1982) sulle strutture in c.a. (effetto collasso oltre una soglia determinata).

Le correlazioni sul danno sono state sempre operate scegliendo l'edificio quale oggetto delle indagini di vulnerabilità. Giova ulteriormente sottolineare che la statistica ricercata è quella relativa al fenomeno di danneggiamento dell'edificio di assegnata classe tipologica sotto sisma. Pertanto all'edificio vanno riferite tutte le considerazioni ed elaborazioni statistiche del caso; successivamente attraverso opportuni fattori rappresentativi del valor medio del numero di abitazioni per edificio di assegnata tipologia si potranno operare le previsioni di danneggiamento in abitazioni se richiesto dalla necessità di operare proiezioni sul danno economico e/o alle persone.

### *7.3.7 DPM Proposte*

Le DPM proposte pertanto, assunta l'ipotesi di distribuzione binomiale del danno, sono state derivate, per quanto attiene le intensità VI, VII e VIII MCS, operando un "best-fitting" delle curve statistiche con il coefficiente binomiale che meglio approssimava i dati sperimentali. Per l'intensità V i coefficienti sono stati estrapolati mediando i dati statistici con quelli calcolati attraverso interpolazione polinomiale a partire dalle curve ottenute dalle intensità VI, VII ed VIII. Infine per le alte intensità si è ritenuto di non dover manipolare i dati statistici con estrapolazioni numeriche che avrebbero lasciato un imprecisato "range" di incertezza sui risultati. Si è preferito, pertanto operare sul, seppur povero risultato statistico a disposizione dalla banca dati italiana di vulnerabilità integrando il campione di edifici danneggiati in c.a., particolarmente povero in Italia mediando i risultati con dati sul danno raccolti in altri paesi (Turchia '99, Grecia '99).

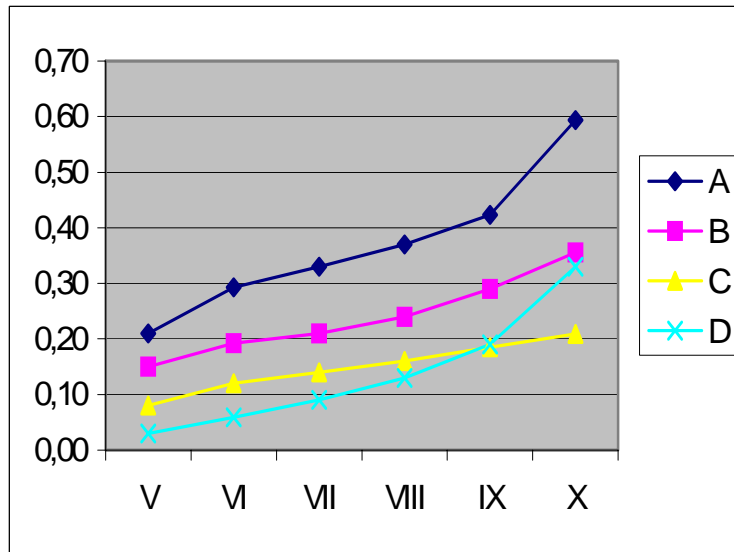


Fig.7.4 Coefficienti Binomiali proposti

La figura 7.4 mostra l'andamento dei coefficienti binomiali proposti per le quattro classi di vulnerabilità e per le 5 intensità considerate; in tabella 7.19 si consegnano i valori numerici.

Tabella 7.19 Coefficienti Binomiali GNDT 2000

|      | A    | B    | C    | D    |
|------|------|------|------|------|
| V    | 0,21 | 0,15 | 0,08 | 0,03 |
| VI   | 0,29 | 0,19 | 0,12 | 0,06 |
| VII  | 0,33 | 0,21 | 0,14 | 0,09 |
| VIII | 0,37 | 0,24 | 0,16 | 0,13 |
| IX   | 0,42 | 0,29 | 0,19 | 0,19 |
| X    | 0,59 | 0,36 | 0,21 | 0,33 |

Attraverso la nota relazione

$$V_{khi} = \frac{5!}{k!(5-k)!} \cdot p_{hi}^k (1-p_{hi})^{5-k}$$

dove  $V_{khi}$  rappresenta la probabilità di sperimentare sulla tipologia di classe "h", un livello di danno "k" per effetto di una azione di intensità "i". In altri termini per ciascun valore di  $p_{hi}$  si deriva una colonna delle DPM cercate.

Dal confronto fra i coefficienti proposti e quelli impiegati dal SSN per gli scenari di vulnerabilità pubblicati nel '96 si riscontra un buon accordo per le intensità basse mentre appaiono più modeste le stime di danno derivanti dalle DPM 2000 rispetto a quelle del '96.

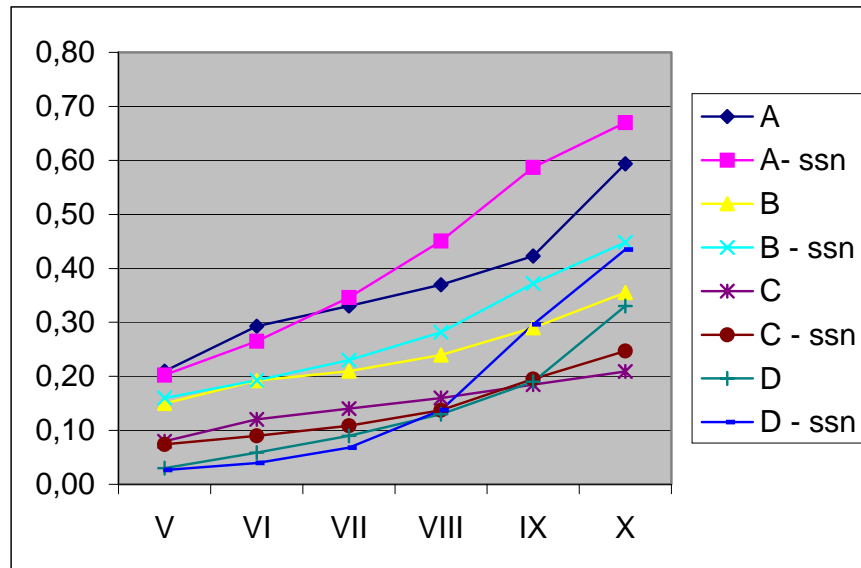


Fig.7.5 Coefficienti Binomiali proposti a confronto con quelli SSN'96

Come già detto in precedenza varie possono essere le motivazioni alla base di questa differenza, tuttavia un confronto con le curve di fragilità prodotte per altra via (Indici di Vulnerabilità di Danno) dall'UR di Milano (IRRS) nell'ambito dello stesso progetto mostrano un buon accordo con le DPM 2000.

### 7.3.7 Conclusioni e prospettive future

L'analisi condotta sui dati di danneggiamento attualmente disponibili ha messo in evidenza limiti e prospettive della metodologia.

Le DPM proposte risultano meno penalizzanti delle precedenti DPM proposte (Irpinia '80 e SSN '96) specialmente alle alte intensità; ciò può essere dovuto sia all'ampliamento, seppur contenuto, di dati sul danneggiamento relativo a tipologie strutturali di altri siti (oltre l'Irpinio) e sia dalla scelta di prendere in considerazione quantità di dati confrontabili nelle varie classi di intensità, cercando di evitare macroscopici scompensi delle valutazioni statistiche di vulnerabilità alle varie classi di intensità. Il tentativo infine di inserire dati sul danneggiamento che fossero i più rappresentativi possibile, sotto il profilo tipologico, del territorio italiano può senz'altro aver contribuito ad appiattire le curve di vulnerabilità di figura 7.5. Il confronto delle DPM proposte con altre funzioni di vulnerabilità derivate mediante tecniche di raccolta dati II livello (Grimaz S. et al 1997) mostra incoraggianti accordi tra i risultati; possibili

integrazioni future delle tecniche di valutazione delle correlazioni di vulnerabilità attraverso analisi multicriterio sono auspicabili. La ricerca ha inoltre individuato ampi margini di miglioramento a condizione che vengano superati problematiche tuttora presenti, in particolare:

- occorre lavorare sulla costruzione di una Banca Dati di vulnerabilità a fini statistici che armonizzi le varie modellazioni della realtà rappresentate dalle molteplici schede utilizzate per la raccolta dati negli ultimi 20 anni;
- occorre indagare sulla completezza dei dati sul danno raccolti e verificare la possibilità di completare il campione con gli edifici non danneggiati attraverso ricerche catastali, storiche e/o recuperando coppie aerofotogrammetriche antecedenti e susseguenti l'evento studiato;
- valutare la possibilità di integrare dati sul danneggiamento provenienti da paesi esteri che possano omogeneizzarsi a quelli italiani per affinità costruttive degli edifici;
- valutare la possibilità di includere stime sul danneggiamento mediante modellazioni numeriche (in particolare per il c.a.);
- preparare una scheda estremamente semplice e di rapida compilazione, avulsa dal contesto dell'agibilità, ed una squadra di rilevatori addestrati alla raccolta dati finalizzata alla determinazione di correlazioni tipologia-danno-intensità in occasione di futuri eventi;
- spingere le istituzioni in possesso di dati utili al miglioramento delle stime sul danno a mettere a disposizione della comunità scientifica i dati in loro possesso.

### **Bibliografia**

- Baratta, A. & Zuccaro, G. 1989. Valutazione Preliminare di Rischio Sismico per gli Insediamenti Urbani (Il Centro Storico di Napoli) - Atti del "4° Convegno Nazionale - L'ingegneria Sismica In Italia", Milano.
- Braga, F., Dolce, M. & Liberatore, D. 1982. A Statistical Study on Damaged Buildings and Ensuing review of MSK-76 Scale, Southern Italy November 23 1980 Earthquake, Progetto Finalizzato di Geodinamica, CNR Italia, Pub. No. 503 (7ECEE, Athens), Edizioni Scientifiche Associate, Roma.
- Di Pasquale, G. & Orsini, G. 1997. Proposta per la valutazione di scenari di danno conseguenti ad un evento sismico a partire dai dati ISTAT, *Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria Sismica in Italia*, Taormina: 477-486.
- Grimaz S., Meroni F., Petrini V., Tomasoni R., Zonno G. - "Progressi nel settore della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura derivanti dall'analisi dei dati di danneggiamento del terremoto del Friuli", *La scienza e i terremoti - Analisi e prospettive dall'esperienza del Friuli - 1976/1996*, 14-16 Novembre 1996, Udine, Forum ed. Udine, pp. 89-96; 1997.
- Zuccaro, G., Della Bella, M. & Papa, F. 1999a. Caratterizzazione tipologico strutturale a scala nazionale, *Atti 9° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria Sismica in Italia*, Torino.
- Zuccaro, G. & Baratta, A. 1999b. Valutazione di Base del Patrimonio Edilizio Nazionale. Rapporto Finale. Convenzione SSN-Centro LUPT Università di Napoli.