

6. DISTRIBUZIONE NAZIONALE DELLA VULNERABILITA' MEDIA COMUNALE

Fabrizio Meroni, Vincenzo Petrini, Gaetano Zonno

Abstract: The vulnerability assessment on large areas was carried out on residential buildings adopting a statistical approach that has been developed for this purpose. In fact, even though the method for evaluating single buildings vulnerability is quite well defined, it cannot be applied to large areas, not only because it would cost too much in money and time to survey each building, but also because the result would be useless at this scale, where the information needed for decision making is less detailed. Census data are a primary source in this case: they cover homogeneously the whole country though the information they provide permits only to estimate the total number of buildings, the total volume and a poor classification in terms of age and few typological parameters. The collection and review of available data regarding previous buildings vulnerability surveys performed by GNDT and census archives has been organised inside a database for the calibration of buildings vulnerability functions in the investigated area. The vulnerability evaluation for all Italian municipalities has been performed as a weighted mean of the average vulnerability index for each census classes.

6.1 Introduzione

Un elemento fondamentale nei processi decisionali connessi con la politica di riduzione del rischio sismico è la valutazione del comportamento strutturale sotto azioni sismiche di intensità distruttiva. Una delle strategie di difesa dai terremoti è quella di migliorare la qualità del costruito riducendo la sua danneggiabilità a livelli accettabili. Per le nuove costruzioni il raggiungimento di tale livello è implicitamente ottenuto con l'osservanza delle norme antisismiche, per gli edifici esistenti invece il problema si pone preliminarmente con la valutazione della loro attuale predisposizione al danneggiamento, ossia della loro vulnerabilità, e successivamente nella scelta delle priorità e delle tecniche di intervento da adottare per raggiungere il livello di sicurezza prefissato.

Le procedure utilizzabili per condurre tali operazioni possono avere vari livelli di dettaglio in funzione della qualità e quantità di informazioni che si acquisiscono per ogni singolo edificio e in base al numero di edifici da studiare. In un'ottica di mitigazione del rischio sismico queste analisi vanno condotte su interi ambiti territoriali o urbani e quindi su una pluralità di edifici che, spesso, come ad esempio accade per il patrimonio edilizio italiano o europeo in genere, sono prevalentemente costituiti da edifici costruiti in epoche passate in assenza di normative antisismiche e generalmente in muratura. Ciò porta conseguentemente a ricercare delle procedure di valutazione della vulnerabilità che

partendo da un'acquisizione speditiva di informazioni, affidata anche ad operatori non esperti, permetta di formulare una stima oggettiva sufficientemente attendibile della danneggiabilità sismica senza ricorrere a modelli troppo raffinati.

In questo contesto, la valutazione della vulnerabilità sismica si configura come una fase di diagnosi preventiva per scopi pianificatori che si realizza attraverso l'acquisizione di una serie di indicatori primari di vulnerabilità sulla base dei quali sia possibile definire oltre che una misura della qualità delle costruzioni anche una base di conoscenza che consenta di individuare dei riferimenti oggettivi per una razionale azione di consolidamento. L'attendibilità delle valutazioni dipende da un lato dalla corretta individuazione degli indicatori più significativi e dall'altro dalla bontà della procedura che traduce le informazioni contenute in tali indicatori in una misura della danneggiabilità. La conferma della validità dei modelli può essere ottenuta con studi a posteriori qualora si abbiano a disposizione dati sui terremoti passati e quando la procedura sia automatizzata così da permettere anche applicazioni ripetitive di calibratura senza eccessivi oneri di tempo.

6.2 Valutazione della vulnerabilità sismica

Per la valutazione della vulnerabilità di edifici ordinari sono stati proposti una molteplicità di metodi, classificati in modo razionale da A. Corsanego (Corsanego, Petrini 1990 & Corsanego 1991). In detti lavori i vari metodi sono suddivisi in funzione della quantità di informazione necessaria alla loro applicazione, del tipo di parametri usati per descrivere l'input sismico, del tipo di parametri usati per descrivere il danno, del tipo di operazioni compiute nella loro applicazione, del tipo di risultati e del numero di passi richiesti per raggiungere il risultato.

La procedura proposta da D. Benedetti e V. Petrini (Benedetti, Petrini 1984), si colloca tra i metodi ibridi ed è stata adottata dal Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti (GNDT) del C.N.R. Tale approccio si basa sull'analisi di una serie di informazioni sulle caratteristiche degli elementi costitutivi dell'edificio che vengono raccolte tramite schede. La procedura di derivazione soggettiva e basata su giudizi, permette di valutare la vulnerabilità in funzione di un certo numero di parametri ritenuti rappresentativi della predisposizione dell'edificio in muratura a subire danni per effetto di un evento sismico. In particolare alcuni parametri rendono conto del comportamento degli elementi strutturali e non, altri del comportamento d'insieme dell'organismo costruttivo.

La vulnerabilità degli edifici V è assegnata in modo convenzionale, usando un indice numerico che varia tra 0 (per edifici che rispettano le normative sismiche vigenti) e 100 (edifici con caratteristiche scadenti), sulla base di undici parametri. Per ognuno degli undici parametri viene attribuita una classe delle quattro disponibili, da A, la classe migliore a D, la classe peggiore; per ogni parametro vengono fornite delle descrizioni che consentono di assegnare l'edificio ad una delle quattro classi con un sufficiente grado di oggettività. Al fine

di costituire un indice numerico, ad ogni classe è stato attribuito un punteggio p_i , a volte diverso da parametro a parametro; ad ogni parametro inoltre è attribuito un peso w_i (vedi tabella 6.1 - per edifici in muratura).

L'indice di vulnerabilità è definito come somma pesata dei punteggi di ogni parametro:

$$V = \sum_i p_i w_i \quad (6.1)$$

Punteggi e pesi sono determinati attraverso analisi statistiche dei dati di danneggiamento raccolti in occasione di terremoti recenti.

Tabella 6.1 - Valori numerici dei parametri dell'indice di vulnerabilità V (6.1). I pesi dei parametri 5, 7 e 9 variano in un intervallo compreso tra 0.131 - 0.261 in funzione di alcuni elementi: percentuale degli orizzontamenti rigidi e ben collegati, presenza di piani porticati, peso della copertura (Benedetti, Petrini 1984) e (Aa.Vv. 1993)

i	Parametri	Classi (p_i)				w_i
		A	B	C	D	
1	Tipo ed organizzazione del sistema resistente	0	0	20	45	0.261
2	Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	0.065
3	Resistenza convenzionale	0	5	25	45	0.392
4	Posizione edificio e fondazioni	0	5	25	45	0.196
5	Orizzontamenti	0	5	15	45	var.
6	Configurazione in pianta	0	5	25	45	0.131
7	Configurazione in elevazione	0	5	25	45	var.
8	Distanza massima murature	0	5	25	45	0.065
9	Copertura	0	15	25	45	var.
10	Elementi non strutturali	0	0	25	45	0.065
11	Stato di fatto	0	5	25	45	0.261

La validazione della procedura sopra illustrata, viene compiuta mediante lo studio della correlazione tra l'indice di vulnerabilità e un indice di misura del danneggiamento. In particolare per la valutazione del danno si è fatto riferimento a due criteri di stima. Un primo indicatore è quello adottato dal GNDT (Angeletti 1984 - Angeletti et al. 1988). Il danno viene rilevato attraverso la compilazione di un apposita sezione della scheda di valutazione della vulnerabilità (GNDT 1994), in cui quattro matrici descrivono gli stati di danno dell'edificio in funzione dell'estensione e della gravità delle lesioni in modo dettagliato, per ogni singolo piano e per ogni componente strutturale. La traduzione di tutto questo in un indice di danno è ottenuta mediante medie pesate del tipo:

$$d = \sum_{ij} S_i F_j D_{ij} \quad (6.2)$$

dove D_{ij} è l'indice di danno nella i -esima componente costruttiva (strutture verticali, strutture orizzontali, scale, tramezzi) ubicata nello j -esimo piano ed S_i e F_j , sono coefficienti ponderali che caratterizzano la componente ed il piano.

6.2.1 Relazioni danno-vulnerabilità-azione sismica

L'indice di vulnerabilità V e l'indice di danno d sono infine usati per definire la relazione tra danno, vulnerabilità ed azione sismica y . La relazione $d(y, V)$ è ottenuta attraverso l'analisi statistica dei dati di rilievo su edifici danneggiati in recenti terremoti. Si ricavano un insieme di curve che identificano la correlazione tra vulnerabilità e danno su alcuni edifici colpiti dai terremoti del Friuli e dell'Italia Centrale (1976 e 1984). Le curve di fragilità desunte, sono state riviste e calibrate a partire dalla loro prima elaborazione e pubblicazione (Guagenti, Petrini 1989), utilizzando dati di vulnerabilità di edifici in muratura provenienti da quattro centri studiati in modo intensivo (Venezia, Tarcento, San Daniele e Barrea) (Meroni et al. 1995; Grimaz et al. 1997; Meroni et al., 2000).

Nel corso dell'attività GNDT del triennio 1996-1998, si è intrapreso uno studio volto al miglioramento dei modelli di vulnerabilità. In particolare sono stati introdotti alcuni aggiornamenti nel calcolo dell'indice di vulnerabilità analizzando gli effetti delle interazioni tra gli edifici in un aggregato strutturale.

Recenti attività hanno permesso l'ampliamento del sistema esperto (Cella et al., 1994; Meroni et al., 2000) realizzato al fine di valutare in modo automatico, per mezzo di un insieme di regole codificate, la vulnerabilità di edifici inseriti nel loro contesto strutturale. Questo strumento permette, in un ambiente costituito sull'integrazione di un GIS e di un sistema esperto, la valutazione della variazione della vulnerabilità dovuta alla presenza degli aggregati strutturali, producendo mappe di *vulnerabilità effettiva*.

Un secondo sistema esperto (Grimaz et al. 1996; Meroni et al., 2000), ha permesso anche un aggiornamento della procedura di calcolo dell'indice di danno. Lo strumento automatico quantifica il livello di danno subito da edifici colpiti da un sisma, per mezzo di una nuova scala di danno (*indice GSD*) che segue una procedura congruente con quella introdotta per la scala macrosismica EMS 1992, specificamente sviluppata per edifici in muratura. La valutazione quantitativa del danno è stata operata attraverso una lettura del dissesto orientata alla stima della compromissione della funzionalità strutturale dell'edificio. Tale funzionalità viene distinta in due componenti, quella primaria (strutture verticali, orizzontamenti, copertura e fondazioni) e quella secondaria (tamponamenti, comignoli, intonaco e manto di copertura). Sono definiti sei gradi di danneggiamento, ad ognuno dei quali si associa uno scenario di dissesto dell'edificio. Successivamente, attraverso l'osservazione di elementi ausiliari quali la ripristinabilità, l'agibilità e la probabilità di vittime si perviene ad un giudizio sintetico di danno e ad un indice numerico. L'*indice GSD* permette di associare al danno fisico anche una valutazione di massima del danno economico e sociale, nonché aspetti che riguardano la gestione dell'emergenza post-sisma.

Partendo da questi studi, le relazioni (Guagenti, Petrini 1989) sono state profondamente riviste, disponendo anche di un insieme di dati più ampio e raffinato rispetto a quanto utilizzato in precedenza. Le nuove curve di fragilità (figura 6.1), rappresentano il danno atteso al variare dell'accelerazione del suolo (pga , espressa in figura 6.1 in frazioni di g). Nel calcolo della relazione $d(y, V)$, si è assunto un legame tra accelerazione del suolo y e valori di intensità macrosismica I , ricavato empiricamente da (Guagenti e Petrini, 1989) del tipo:

$$\ln y = a I + b \quad \text{con} \quad a = 0.602, \quad b = 7.073 \quad (6.3)$$

Le diverse curve si riferiscono ad edifici con differenti valori dell'indice di vulnerabilità, supposto variare convenzionalmente tra -25 e 100. Queste relazioni risultano più affidabili e robuste rispetto a quelle utilizzate in precedenza in vari studi di rischio svolti in ambito GNDT. Esse costituiscono un agile strumento per valutare il valore atteso del danno e del numero di crolli una volta che siano note la pericolosità sismica del territorio, la consistenza del patrimonio edilizio presente sullo stesso e la sua vulnerabilità.

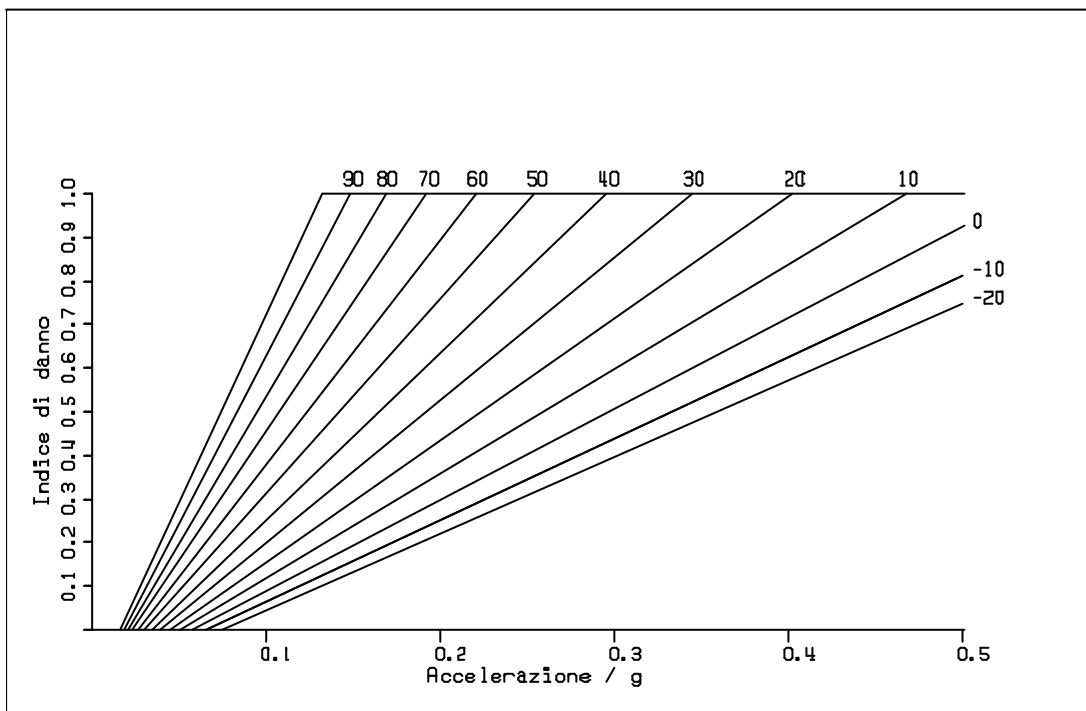


Fig. 6.1 - Curve di fragilità per edifici in muratura con parametri stimati sui dati dei comuni di Venezia, Tarcento, San Daniele e Barrea (da Grimaz et al. 1997).

6.2.2 Valutazione della vulnerabilità di edifici su aree estese

Per condurre studi atti a determinare consistenza e vulnerabilità del costruito è evidente la pratica impossibilità di effettuare indagini di dettaglio del tipo descritto al paragrafo precedente per la totalità del patrimonio edilizio su aree estese: si deve quindi fare ricorso a stime approssimate, ad esempio applicando un procedimento finalizzato a stime di rischio per l'intero territorio nazionale (Colonna et al. 1994).

All'interno della categoria di metodi detti *convenzionali* (Petrini 1995) si possono includere le metodologie di stima della vulnerabilità su grande scala e con dati di scarsa qualità (dati ISTAT - foto aeree e da satellite). Tali procedure necessitano di compiere preventivamente valutazioni accurate dell'indice di vulnerabilità in zone limitate ove siano disponibili dati in forma puntuale (anche con l'uso di GIS connessi a Sistemi Esperti). In un secondo tempo ed utilizzando i dati disponibili a grande scala, si individua un insieme limitato di classi di edifici e l'informazione viene estrapolata producendo una valutazione della vulnerabilità per l'intera area in esame, eventualmente compiuta per aree omogenee dal punto di vista delle tecniche di costruzione.

Nell'approccio descritto in questo lavoro, la stima della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio nazionale deriva dall'uso combinato di due insiemi di dati: i dati dei censimenti ISTAT ed i dati raccolti in diverse occasioni con le schede di vulnerabilità sviluppate dal GNDT. In dettaglio questi due insiemi di dati sono stati così strutturati.

1. Database dei dati di censimento italiani: la fonte dei dati sono le pubblicazioni dell'Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT - di Roma. In particolare si sono utilizzati i dati sugli edifici residenziali provenienti dal "13° censimento generale della popolazione, 1991" (ISTAT 1991).

Da tali dati si è ricavata, per ogni comune e per ogni sezione di censimento, una stima del numero di edifici e del volume dell'edificato; poiché queste informazioni non sono direttamente riportate tra i dati pubblicati, è stato necessario desumerle dalle esigue informazioni disponibili. Per quanto riguarda in calcolo del numero di edifici presenti nella sezione di censimento, non rilevato dalla scheda censuaria redatta per unità abitativa, si è utilizzata l'informazione disponibile nel campo ISTAT "N. abitazioni del fabbricato", in cui viene riportato per classi il numero di abitazioni dell'edificio in cui tale unità abitativa è inserita. Per il computo del numero di edifici della sezione di censimento sono stati quindi utilizzati i corrispondenti valori medi delle suddette classi, cumulando le frazioni di edifici rilevate.

Per quanto riguarda in calcolo del volume degli edifici presenti nella sezione di censimento, l'informazione è stata dedotta dal campo contenente la superficie dell'abitazione opportunamente corretto in modo tale da considerare le eventuali porzioni di edificio non rilevate dalla scheda censuaria redatta esclusivamente per l'edilizia residenziale. A tal fine il campo "Superficie" è stato moltiplicato per un fattore correttivo che tenesse in

considerazione il numero di abitazioni ad uso non abitativo e rurale. Il valore risultante è stato quindi moltiplicato per una altezza media delle abitazioni di 3 metri, dato non rilevato dall'ISTAT.

Da fonte ISTAT si ricavano invece direttamente le informazioni utili a ripartire il patrimonio edilizio in classi sulla base delle suddivisioni riportate nella tabella 6.2. Le informazioni sono state raggruppate sia a livello di sezione di censimento che a livello comunale, in funzione della scala geografica richiesta dall'analisi compiuta.

Tabella 6.2 - Classi tipologiche degli edifici identificate dai dati ISTAT

Tipologia Strutturale	Età dell'edificio	Numero di piani	Contesto Strutturale	Stato di Manutenzione
1. Muratura	1. Età < 1919	1. 1 o 2 piani	1. Edificio isolato	1. Buono
2. Cemento armato	2. 1919 ≤ Età ≤ 1945	2. 3, 4 o 5 piani	2. Edificio aggregato	2. Cattivo
3. Edifici su pilotis	3. 1946 ≤ Età ≤ 1960	3. 6 o più piani		
4. Altre tipologie	4. 1961 ≤ Età ≤ 1971			
	5. 1972 ≤ Età ≤ 1981			
	6. Età > 1981			

La suddivisione degli edifici secondo lo stato di manutenzione è stata ricavata indirettamente dai dati ISTAT. Infatti è nota l'importanza dello stato di manutenzione delle costruzioni ai fini del loro comportamento sismico; purtroppo questa informazione non è disponibile nei dati ISTAT. Analizzando i dati raccolti con le schede di vulnerabilità, si è potuto constatare che la presenza di impianti efficienti è sistematicamente associata a valori dell'indice di vulnerabilità inferiori rispetto a quelli relativi ad edifici carenti dal punto di vista impiantistico; si è quindi deciso di assumere la presenza di impianti efficienti come misura indiretta dello stato di manutenzione dell'edificio e si è operata una ulteriore distinzione in due classi in base alle informazioni sugli aspetti impiantistici presenti nei dati ISTAT. I campi della scheda censuaria considerata sono: "Acqua potabile", "Impianti igienico-sanitario", "Impianti per la scarico dell'acqua", "Collegamento alla rete fognaria", "Vasca da bagno e/o doccia", "Impianti acqua calda per uso igienico-sanitario" e "Impianto fisso di riscaldamento".

Infine è calcolata per ogni classe tipologica della sezione di censimento o comune la percentuale del numero di edifici, la percentuale della superficie totale e la percentuale del numero di abitanti residenti alla data del censimento. Tutti i dati sono stati memorizzati su supporto informatico su base GIS Arc/Info ove ogni coverage contiene oltre ai confini comunali e/o di sezione di censimento, il file dati ISTAT in formato Info database relazionabile alla coverage. Il computo delle quantità di edificato con le relative tipologie edilizie, il numero di abitazioni e di edifici rielaborati sui dati ISTAT, sono riassunti nella tabella 6.3.

Tabella 6.3 - Classi tipologiche degli edifici identificate dai dati ISTAT

Volume Totale (in m ³)	Muratura (in m ³)	Cemento Armato (in m ³)	Numero Abitazioni	Numero Edifici	Numero Residenti
7.060.707.224	3.424.553.523	3.636.153.701	24.752.389	11.270.085	56.263.786

Una volta suddiviso il patrimonio edilizio in classi, si pone il problema di assegnare ad ogni classe una descrizione di vulnerabilità; per questo si è fatto ricorso all'archivio delle schede di vulnerabilità complete di primo e secondo livello, suddividendo la totalità degli edifici censiti con gli stessi criteri già usati per la classificazione ISTAT del patrimonio edilizio.

2. Database dei dati di rilievo della vulnerabilità: Banca dati di vulnerabilità GNDT.

La principale fonte di raccolta dati di vulnerabilità del patrimonio edilizio italiano è la banca dati del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.

Questo database è stato realizzato mediante una pesante attività di revisione e riorganizzazione delle circa 13.000 schede di vulnerabilità complete di 1° e 2° livello raccolte dal GNDT dal terremoto di Parma del 1983. Tale database è stato integrato, al termine del 1999, con le circa 15.000 schede complete di 1° e 2° livello raccolte nel corso del censimento LSU degli edifici pubblici. Sono state valutate nuove distribuzioni degli indici di vulnerabilità per le classi di edifici desumibili dai dati ISTAT 1991, anche utilizzando le schede LSU raccolte per le regioni Abruzzo, Campania, Molise, Basilicata, Calabria e Sicilia, in precedenza quasi completamente scoperte.

Lo strumento adottato per il rilievo è stata la "*Scheda per il rilievo dell'esposizione e della vulnerabilità degli edifici*", elaborata da Benedetti D. e Petrini V. (Benedetti, Petrini 1984) e sue successive modifiche nel corso degli anni (GNDT 1994). Questo database (tabella 6.4) contiene informazioni relative ad edifici pubblici e privati riferite a comuni la cui localizzazione è mostrata nella mappa seguente (figura 6.2).

Tabella 6.4 - Schede di vulnerabilità memorizzate nella banca dati GNDT

	Muratura	Cemento armato	Pilotis	Capannoni	Totale
Edifici pubblici	20570	1091	23	207	21891
Edifici privati	5899	324	11	4	6238
Totale	26469	1415	34	211	28129

L'approccio metodologico (Meroni et al., 1999) adottato è riassunto nei seguenti passi:

- tutti gli edifici sono raggruppati nelle poche classi desumibili dai dati di censimento ISTAT (muratura, cemento armato, età, numero di piani, etc. ...);

- tutte le schede di vulnerabilità di 1° e 2° livello presenti nella banca dati GNDT collezionate durante le varie campagne di rilievo nel corso degli anni (sia a scala regionale, che a livello locale) sono riorganizzate secondo le medesime classi tipologiche dedotte dai dati di censimento;
- vengono analizzate statisticamente le distribuzioni degli indici di vulnerabilità all'interno di queste classi identificabili sui dati di censimento; se possibile, queste analisi vengono regionalizzate, compiendo analisi statistiche separate, per ogni regione che può essere assunta omogenea dal punto di vista delle tecniche costruttive.

Le forme funzionali che meglio si adattano ai dati sono o la distribuzione di Weibull, con parametro di forma $a_w > 1$, o la distribuzione Gamma, anch'essa con parametro di forma $a_T > 1$, o una combinazione di queste due distribuzioni Weibull + Gamma. Per ogni classe tipologica ISTAT sono calcolati i primi quattro momenti della distribuzione dei valori dell'indice di vulnerabilità e sono stimati i valori dei parametri di una funzione interpolante facendo ricorso al metodo della massima verosimiglianza. Sono quindi calcolate le corrispondenti densità di probabilità ricavate mediante regressione sui dati; infine sono ricavati i valori dei parametri della distribuzione;

- viene calcolato un indice medio di vulnerabilità per ogni sezione di censimento o per ogni comune pesando i valori medi di vulnerabilità di ogni classe sul volume dell'edificato presente in tale classe.



Fig. 6.2 - Localizzazione dei comuni sui quali è stato compiuto un rilievo di vulnerabilità tramite schede di 1° e 2° livello GNDT.

6.3 Valutazione della vulnerabilità media comunale

Presentiamo ora l'applicazione della metodologia sopra esposta per il calcolo di mappe di vulnerabilità sull'intero territorio italiano. All'interno di questo progetto GNDT, in prima approssimazione e data l'estensione del territorio considerato, la valutazione della vulnerabilità degli 8101 comuni italiani viene condotta a scala comunale. Una maggiore disponibilità di dati di rilievo, provenienti da sopralluoghi su edifici compiuti nel corso di studi di vulnerabilità di carattere locale, permetterà in futuro l'uso del maggior livello di dettaglio realizzabile tramite i dati disaggregati a livello di sezione di censimento. Ciò permetterà di condurre in zone sismicamente più attive studi di rischio più approfonditi (Petrini V. ed., 1995; Meroni et al., 1999), anche individuando regionalizzazioni delle distribuzioni di vulnerabilità che possano evidenziare eventuali particolari caratteristiche dell'edificato, tipiche dell'area in esame.

In questa applicazione, dalla banca dati GNDT composta di circa 28.000 edifici rilevati con schede di vulnerabilità GNDT di 1° e 2° livello è stata fatta una estrazione che permettesse di ottenere valori statisticamente significativi dell'indice di vulnerabilità specifici per le classi di edifici ISTAT. Purtroppo non in tutte le classi di vulnerabilità desumibili dai dati ISTAT sono state identificate delle distribuzioni di valori di vulnerabilità significative dal punto di vista statistico. Sono stati allora compiuti degli accorpamenti in classi più generali. Nelle tabelle 6.5 (rispettivamente per edifici in muratura in buono e cattivo stato di manutenzione, e per edifici in cemento armato e pilotis) sono indicati per ogni classe, il numero di edifici considerato, il valore medio ed il coefficiente di variazione dell'indice di vulnerabilità; sono inoltre riportati per confronto, nell'ultima riga di ogni tabella, i valori relativi alla totalità dei dati considerati.

E' importante notare, per gli edifici in cemento armato, l'esiguità di dati presenti nella banca dati (solo 470 edifici) e censiti utilizzando la scheda di vulnerabilità GNDT per il cemento armato (GNDT, 1994). Tale strumento è stato utilizzato solo in poche campagne di rilevamento, ed è ora praticamente abbandonato; ciò non ha reso possibile ottenere valori statisticamente significativi degli indici di vulnerabilità all'interno delle classi ISTAT. Si è quindi utilizzata una analisi già disponibile (Petrini V. ed., 1995) basata unicamente sulla suddivisione del campione rilevato solamente secondo la classe di età di costruzione degli edifici. Allo stesso modo non è stato possibile identificare gli indici di vulnerabilità per edifici su pilotis, presenti nella banca dati GNDT con solo poche decine di schede complete di 1° e 2° livello. Un'ultima aggregazione generale è stata compiuta sul numero di piani degli edifici utilizzando solo due classi di altezza: edifici con 1 o 2 piani / edifici con 3 o più piani.

Nelle figure 6.4a, 6.4b e 6.5 sono riportate le corrispondenti densità di probabilità ricavate mediante regressione sui dati; infine nella tabella 6.6 sono indicati il tipo di funzione utilizzato ed i valori dei parametri della distribuzione.

L'esame della tabella 6.5 e delle figure 6.3 consente di riconoscere agevolmente alcune caratteristiche significative delle distribuzioni di vulnerabilità.

Tabella 6.5a - Numero di edifici, valore medio e coefficiente di variazione dell'indice di vulnerabilità per le diverse classi di edifici censiti sul territorio italiano. Edifici in muratura

<u>Buono Stato di Manutenzione</u>						
Valori medi e coefficienti di variazione dell'indice di vulnerabilità per le diverse classi di edifici in muratura						
	1 o 2 piani					
	Edifici Isolati			Edifici Aggregati		
	N. edif.	Vuln. med.	Coeff. var.	N. edif.	Vuln. med.	Coeff. var.
pre 1919	285	24.4	0.252	570	27.8	0.259
1919-1945	411	20.7	0.254	380	20.2	0.238
1946-1960	869	16.8	0.259	438	19.1	0.230
1961-1971	881	15.2	0.243	467	15.9	0.224
1972-1981	245	13.7	0.224	118	15.2	0.207
post 1981	161	13.5	0.230	123	13.5	0.233
tutti gli edif.	2852	17.3	0.244	2096	18.6	0.232
	3 o più piani					
	Edifici Isolati			Edifici Aggregati		
	N. edif.	Vuln. med.	Coeff. var.	N. edif.	Vuln. med.	Coeff. var.
pre 1919	502	28.5	0.248	1763	33.4	0.255
1919-1945	589	24.7	0.238	633	28.3	0.267
1946-1960	737	21.9	0.263	473	23.8	0.248
1961-1971	477	17.7	0.264	260	22.2	0.261
1972-1981	131	16.0	0.238	64	21.9	0.290
post 1981	85	12.7	0.260	42	19.7	0.308
tutti gli edif.	2521	20.3	0.252	3235	24.9	0.272
<u>Cattivo Stato di Manutenzione</u>						
Valori medi e coefficienti di variazione dell'indice di vulnerabilità per le diverse classi di edifici in muratura						
	1 o 2 piani					
	Edifici Isolati			Edifici Aggregati		
	N. edif.	Vuln. Med.	Coeff. var.	N. edif.	Vuln. Med.	Coeff. var.
pre 1919	514	33.6	0.278	1716	41.7	0.240
1919-1945	775	25.1	0.304	617	27.2	0.296
1946-1960	1269	21.8	0.289	680	22.5	0.301
1961-1971	1070	18.5	0.259	484	19.7	0.260
1972-1981	215	16.8	0.234	105	19.1	0.277
post 1981	125	15.1	0.261	92	15.0	0.255
tutti gli edif.	3968	21.8	0.271	3694	24.2	0.272
	3 o più piani					
	Edifici Isolati			Edifici Aggregati		
	N. edif.	Vuln. med.	Coeff. var.	N. edif.	Vuln. med.	Coeff. var.
pre 1919	532	38.9	0.254	2936	43.7	0.217
1919-1945	526	30.2	0.266	639	31.9	0.280
1946-1960	608	25.4	0.260	426	28.8	0.254
1961-1971	381	22.1	0.252	186	24.7	0.254
1972-1981	45	19.6	0.201	33	21.7	0.264
post 1981	29	19.7	0.317	38	27.2	0.334
tutti gli edif.	2121	26.0	0.258	4258	29.7	0.267

Tabella 6.5b - Numero di edifici, valore medio e coefficiente di variazione dell'indice di vulnerabilità per le diverse classi di edifici censiti sul territorio italiano. Edifici in cemento armato e pilotis

Edifici in Cemento Armato			
	N. edif.	Vuln. Med.	Coeff. var.
1945-1960	59	35.7	0.436
1961-1971	215	38.4	0.400
post 1972	196	32.6	0.454
tutti gli edif.	470	35.6	0.430

La dipendenza dalla classe di età è abbastanza marcata per le murature e (tabella 6.5a e figura 6.3) mentre lo è molto meno nel caso degli edifici in cemento armato (tabella 6.5b), soprattutto per effetto della maggior dispersione dei valori di vulnerabilità, per l'esiguo numero di schede di vulnerabilità per edifici di questa tipologia e per la parziale efficienza della scheda di vulnerabilità per edifici in cemento armato (GNDT, 1994). L'influenza del livello di manutenzione è abbastanza leggibile nei valori medi (figura 6.3) mentre risulta meno evidente nelle distribuzioni (figura 6.4a e 6.4b); anche in queste si può tuttavia notare una maggior presenza di alti valori dell'indice di vulnerabilità. Anche l'altezza dell'edificio gioca un ruolo importante, indicando valori medi dell'indice di vulnerabilità più elevati per edifici con maggior numero di piani, a parità di classe tipologica considerata (edifici in buono e cattivo stato di manutenzione / isolati ed aggregati). Un'ultima annotazione riguarda l'impossibilità di identificare chiari comportamenti dell'indice di vulnerabilità in funzione della tipologia strutturale degli edifici (isolati o aggregati). Infatti ciò conferma l'indicazione emersa da anche da altri studi (Meroni et al., 2000) che evidenziano l'importanza dell'esatta posizione di ogni edificio all'interno dell'aggregato strutturale di appartenenza.

Come si nota dalla tabella 6.6, le forme funzionali che meglio si adattano ai dati sono o la distribuzione di Weibull, con parametro di forma $a_w > 1$, o la distribuzione Gamma, anch'essa con parametro di forma $a_r > 1$, o una combinazione lineare di queste due distribuzioni con coefficienti ponderali pari a p e $(1-p)$ rispettivamente:

$$f_v(v) = a_w \rho_w (\rho_w v)^{a_w-1} \exp [-(\rho_w v)^{a_w}] \quad (6.4)$$

$$f_v(v) = \frac{\rho_r a_r v^{a_r-1} \exp (- \rho_r v)}{\Gamma (a_r)} \quad (6.5)$$

$$f_v(v) = p a_w \rho_w (\rho_w v)^{a_w-1} \exp [-(\rho_w v)^{a_w}] + (1 - p) \frac{\rho_r a_r v^{a_r-1} \exp (- \rho_r v)}{\Gamma (a_r)} \quad (6.6)$$

Tabella 6.6 - Forme funzionali e parametri delle distribuzioni dell'indice di vulnerabilità per le diverse classi di edifici censiti sul territorio italiano. I parametri delle distribuzioni di vulnerabilità si riferiscono alle classi di edifici ISTAT di tabella 6.5. L'ordine delle distribuzioni è riferito alle tipologie di edifici identificate tramite i codici delle tipologie ISTAT presenti in tabella 6.2

Tipo di funzione	Parametri					Tipologia ISTAT
	ρ_w	a_w	ρ_Γ	a_Γ	p	
Gamma			0 32204	15 901	0 00000	1 1 1 1 1
Gamma			0 30944	16 550	0 00000	1 1 2/3 1 1
Weibull+Gamma	0 02571	8 4151	0 36136	17 503	0 23467	1 2 1 1 1
Gamma			0 36588	18 199	0 00000	1 2 2/3 1 1
Weibull+Gamma	0 02937	11 6640	0 41818	18 878	0 27019	1 3 1 1 1
Gamma			0 32734	15 369	0 00000	1 3 2/3 1 1
Weibull+Gamma	0 02913	11 7870	0 48109	21 357	0 36840	1 4 1 1 1
Weibull+Gamma	0 03040	19 6210	0 41353	18 959	0 22799	1 4 2/3 1 1
Weibull+Gamma	0 02876	11 7030	0 53169	22 731	0 43244	1 5 1 1 1
Weibull+Gamma	0 02952	11 6690	0 75020	34 800	0 38533	1 5 2/3 1 1
Weibull+Gamma	0 02970	13 2800	0 52225	21 881	0 36081	1 6 1 1 1
Weibull+Gamma	0 03165	21 0340	0 43319	18 440	0 41142	1 6 2/3 1 1
Gamma			0 28779	15 182	0 00000	1 1 1 2 1
Gamma			0 25810	15 089	0 00000	1 1 2/3 2 1
Gamma			0 41199	18 627	0 00000	1 2 1 2 1
Gamma			0 27304	14 560	0 00000	1 2 2/3 2 1
Weibull+Gamma	0 02798	12 5070	0 47800	21 983	0 16085	1 3 1 2 1
Weibull+Gamma	0 02419	9 1298	0 36308	19 006	0 26684	1 3 2/3 2 1
Weibull+Gamma	0 02856	12 5600	0 54269	23 938	0 30571	1 4 1 2 1
Weibull+Gamma	0 02369	7 0914	0 59577	34 800	0 59099	1 4 2/3 2 1
Weibull+Gamma	0 02632	11 8170	0 50326	24 370	0 68548	1 5 1 2 1
Weibull+Gamma	0 02357	8 4991	0 25112	13 530	0 50576	1 5 2/3 2 1
Weibull+Gamma	0 02805	12 7540	0 47588	20 220	0 48620	1 6 1 2 1
Weibull+Gamma	0 02681	9 0951	0 30860	17 049	0 52938	1 6 2/3 2 1
Weibull	0 01372	4 8181			1 00000	1 1 1 2 2
Weibull	0 01340	5 2352			1 00000	1 1 2/3 2 2
Weibull+Gamma	0 02053	6 1475	0 49446	34 883	0 47205	1 1 1 1 2
Weibull+Gamma	0 01949	7 5511	0 47573	34 809	0 37238	1 1 2/3 1 2
Weibull+Gamma	0 02384	7 6410	0 28867	17 344	0 38123	1 2 1 2 2
Weibull+Gamma	0 02108	6 3333	0 50459	34 801	0 48528	1 2 2/3 2 2
Weibull+Gamma	0 02612	9 2311	0 25590	14 038	0 25556	1 2 1 1 2
Gamma			0 25616	14 154	0 00000	1 2 2/3 1 2
Weibull+Gamma	0 02734	11 2310	0 27126	13 865	0 22078	1 3 1 2 2
Weibull+Gamma	0 02080	6 8956	0 56502	37 090	0 57150	1 3 2/3 2 2
Weibull+Gamma	0 02653	9 6266	0 30194	15 669	0 31769	1 3 1 1 2
Gamma			0 30750	15 505	0 00000	1 3 2/3 1 2
Weibull+Gamma	0 02893	14 7580	0 38070	17 926	0 17247	1 4 1 2 2
Gamma			0 32319	16 049	0 00000	1 4 2/3 2 2
Weibull+Gamma	0 02738	10 1950	0 42005	20 699	0 39919	1 4 1 1 2
Gamma			0 36165	17 015	0 00000	1 4 2/3 1 2
Weibull+Gamma	0 02792	9 8783	0 64767	34 800	0 48691	1 5 1 2 2
Weibull+Gamma	0 02586	8 1359	0 62472	34 801	0 46662	1 5 2/3 2 2
Weibull+Gamma	0 02906	21 2070	0 49961	22 315	0 25702	1 5 1 1 2
Gamma			0 60219	26 884	0 00000	1 5 2/3 1 2
Weibull+Gamma	0 02739	9 7561	0 37300	17 730	0 58287	1 6 1 2 2
Weibull+Gamma	0 02283	6 3903	0 36530	25 528	0 60732	1 6 2/3 2 2
Weibull+Gamma	0 02860	10 2960	0 38249	17 037	0 39214	1 6 1 1 2
Weibull+Gamma	0 02589	6 5554	0 76762	47 460	0 66262	1 6 2/3 1 2
Weibull+Gamma	0 02184	1 91560	0 14206	10 217	0 35846	2/3 1/2/3
Gamma			0 05249	3 629	0 00000	2/3 4
Gamma			0 04524	2 922	0 00000	2/3 5/6

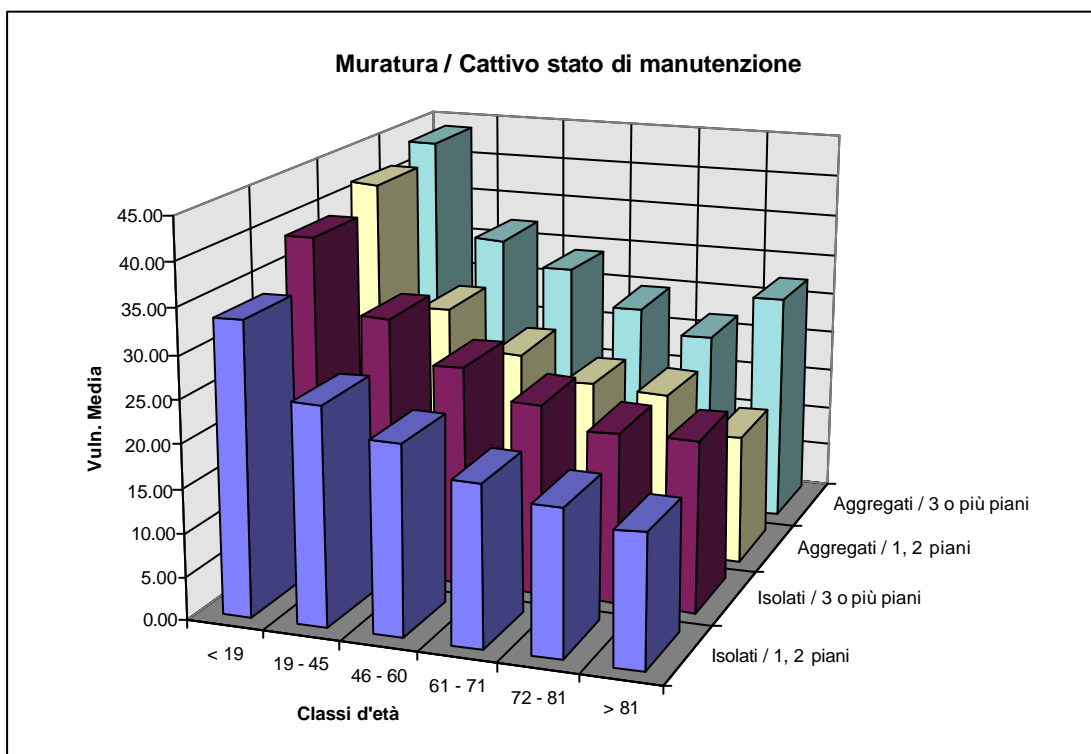
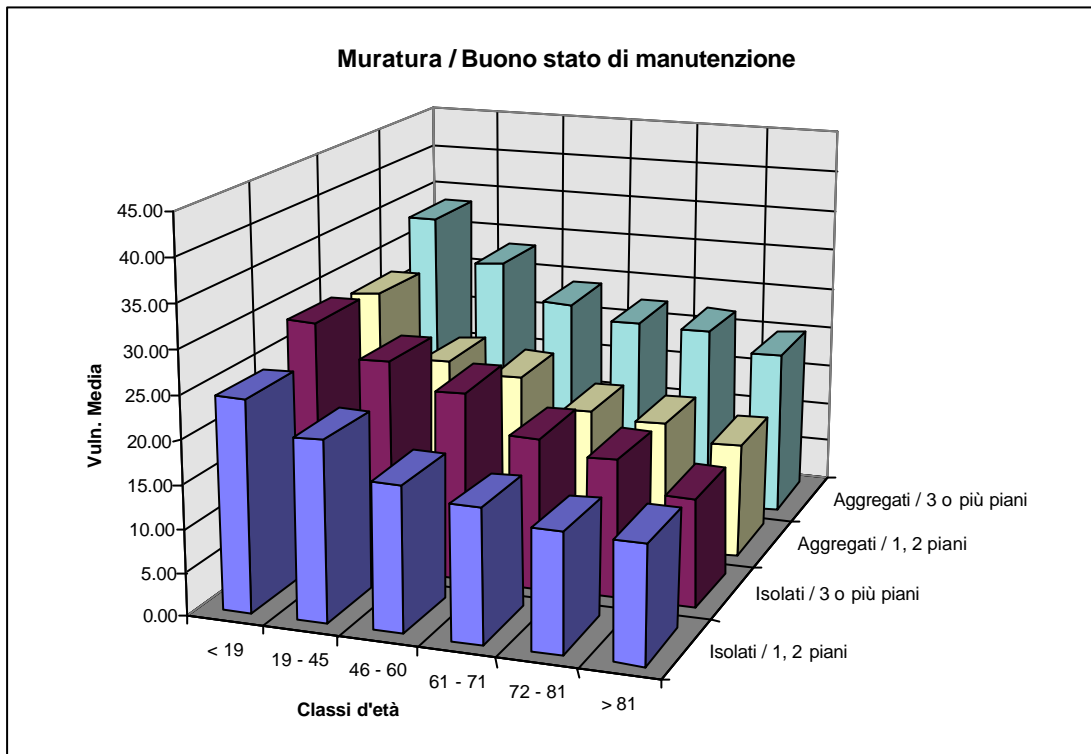


Fig. 6.3 - Vulnerabilità media per ogni classe tipologica ISTAT. Edifici in muratura in buono stato di manutenzione (sopra) ed in cattivo stato di manutenzione (sotto).

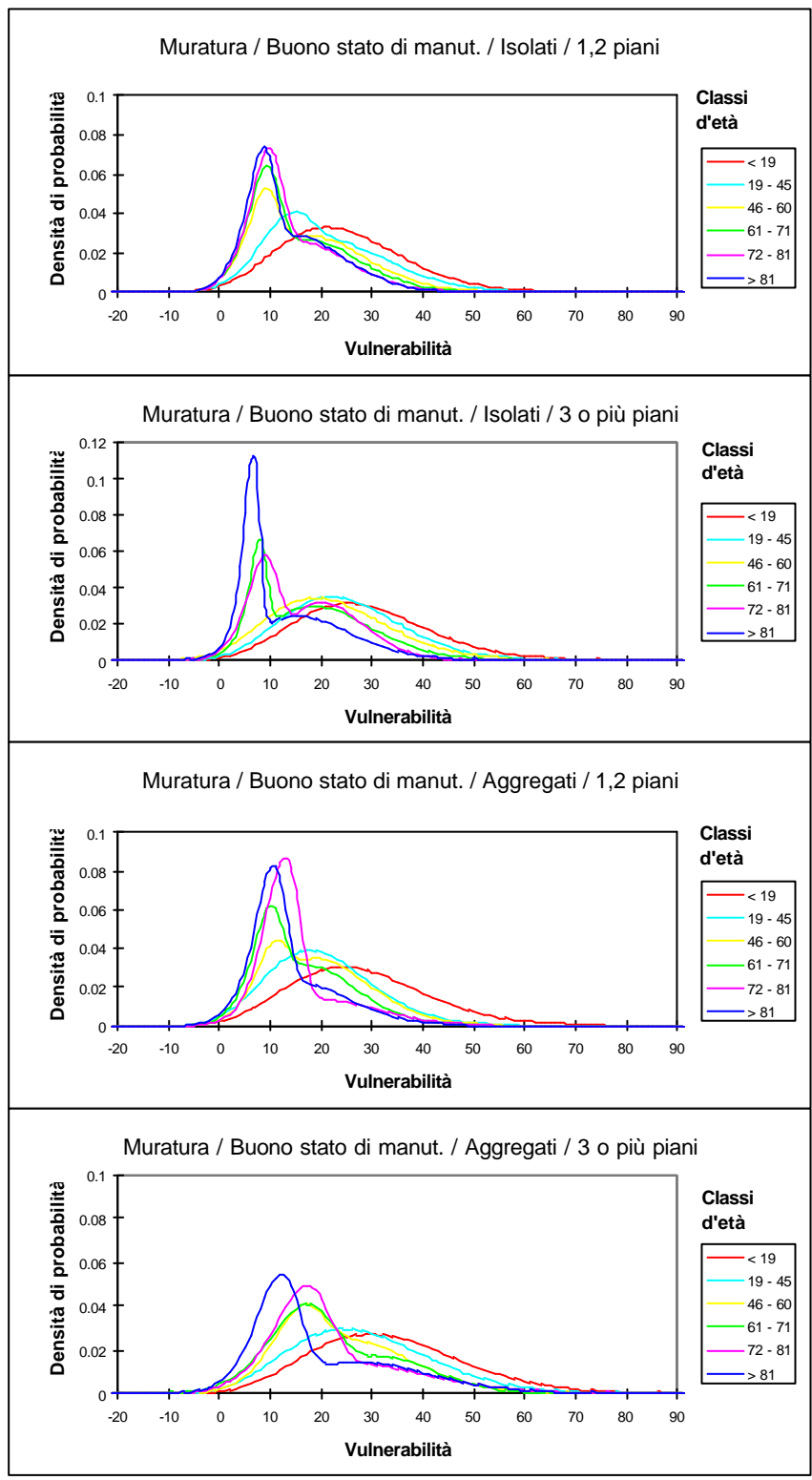


Fig. 6.4a - Funzioni densità di probabilità dell'indice di vulnerabilità per ogni classe tipologica ISTAT (edifici in muratura in buono stato di manutenzione).

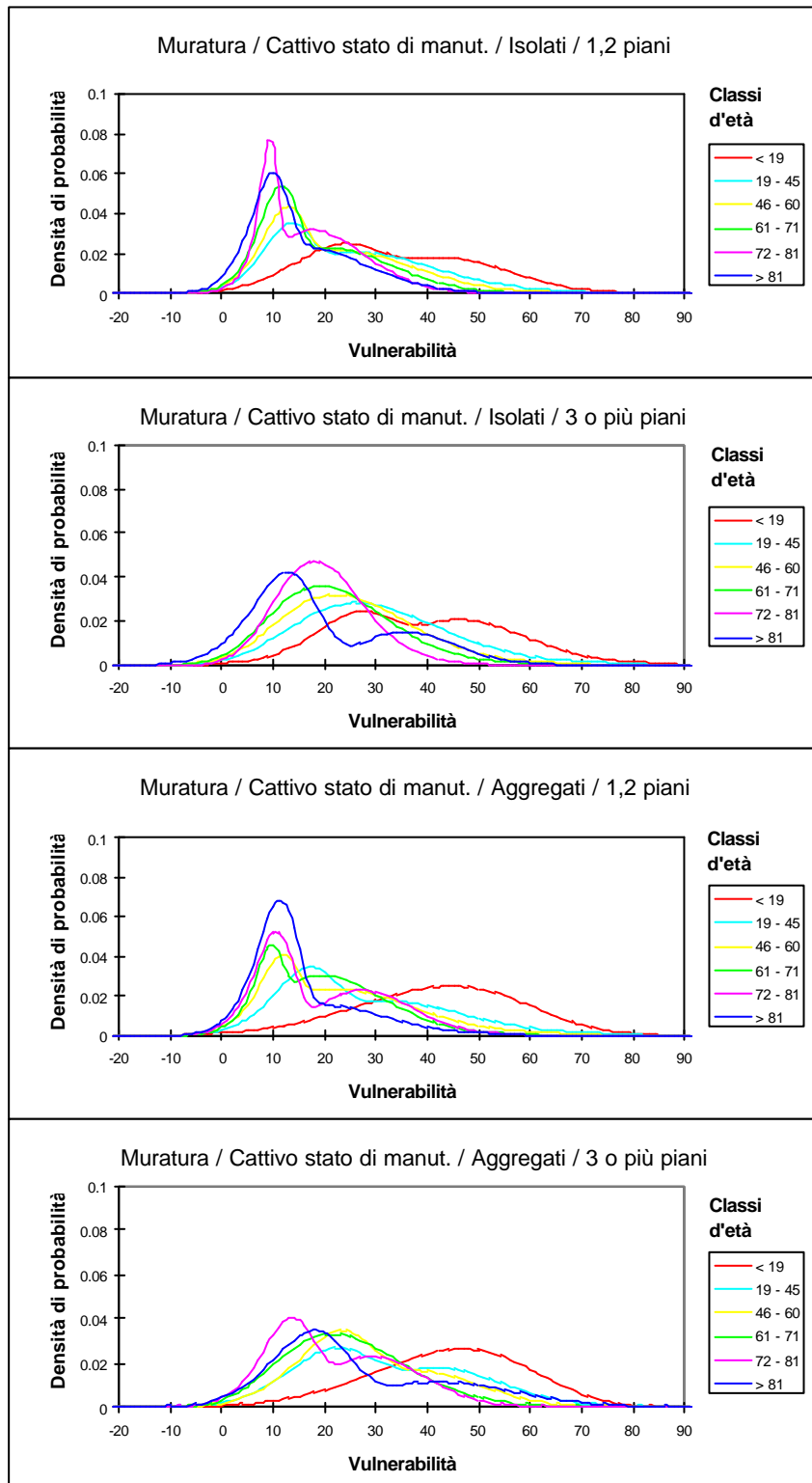


Fig. 6.4b - Funzioni densità di probabilità dell'indice di vulnerabilità per ogni classe tipologica ISTAT (edifici in muratura in cattivo stato di manutenzione).

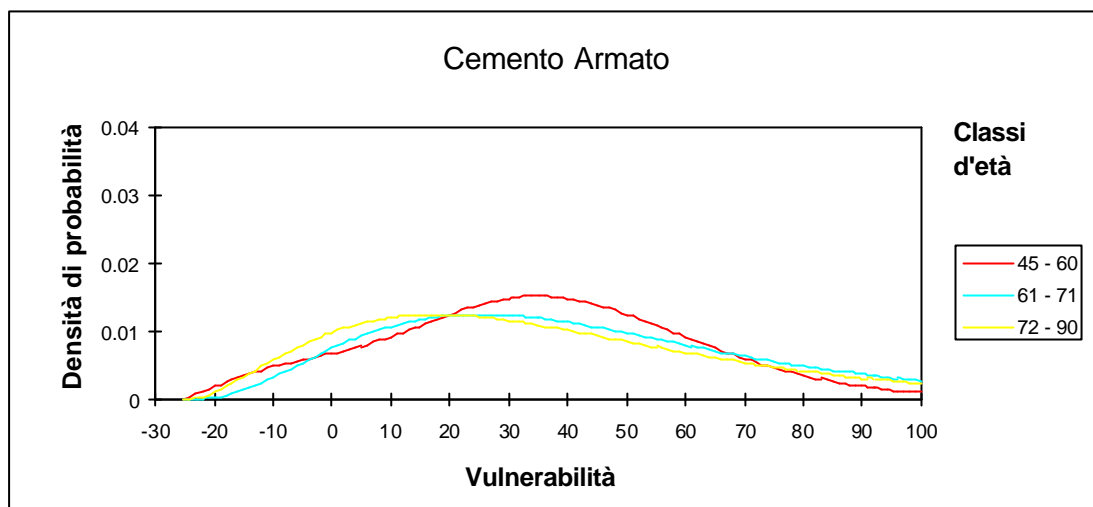


Fig. 6.5 - Funzioni densità di probabilità dell'indice di vulnerabilità per ogni classe tipologica ISTAT (edifici in cemento armato).

La mappa riportata nella figura 6.6, mostra i valori di vulnerabilità calcolati comune per comune sull'intero territorio italiano; tali valori sono racchiusi in un intervallo abbastanza ristretto (compreso tra 17 e 42). Il risultato è legato alla natura 'media' insita nel metodo, in cui sono utilizzati i soli valori medi delle distribuzioni degli indici di vulnerabilità nelle classi tipologiche ISTAT. Infatti tali valori, opportunamente pesati sui volumi dell'edificato, non sono necessariamente rappresentativi della vulnerabilità della classe (coefficienti di variazione dell'ordine di 0.2-0.3 per la muratura e di 0.4 per il cemento armato).

La mappa evidenzia principalmente tre zone ove i valori di vulnerabilità sono relativamente più elevati, in particolare nelle aree altamente urbanizzate e con elevata presenza di edificato in cemento armato costruito in epoche precedenti alla classificazione sismica. Si riconoscono in modo distinto i centri urbani ad elevata densità abitativa del centro-nord (Lombardia, Piemonte), l'area metropolitana di Roma, alcune aree della Puglia e della Sicilia. I risultati sono legati in maniera significativa alla valutazione della vulnerabilità degli edifici in cemento armato. Tuttavia è sembrato opportuno osservare che a differenza delle analisi statistiche di dettaglio compiute sugli edifici in muratura sulla base di un ormai cospicuo database, le analisi sul cemento armato sono invece state condotte su di un limitato insieme di edifici (quasi 500 edifici). Si ricorda inoltre la scarsa efficienza della scheda di vulnerabilità GNDT per edifici in cemento armato, con cui tali dati sono stati raccolti. Pertanto, per confronto con la precedente, è sembrato opportuno elaborare una seconda mappa di vulnerabilità, in cui il risultato riguarda esclusivamente gli edifici in muratura presenti sul territorio nazionale.

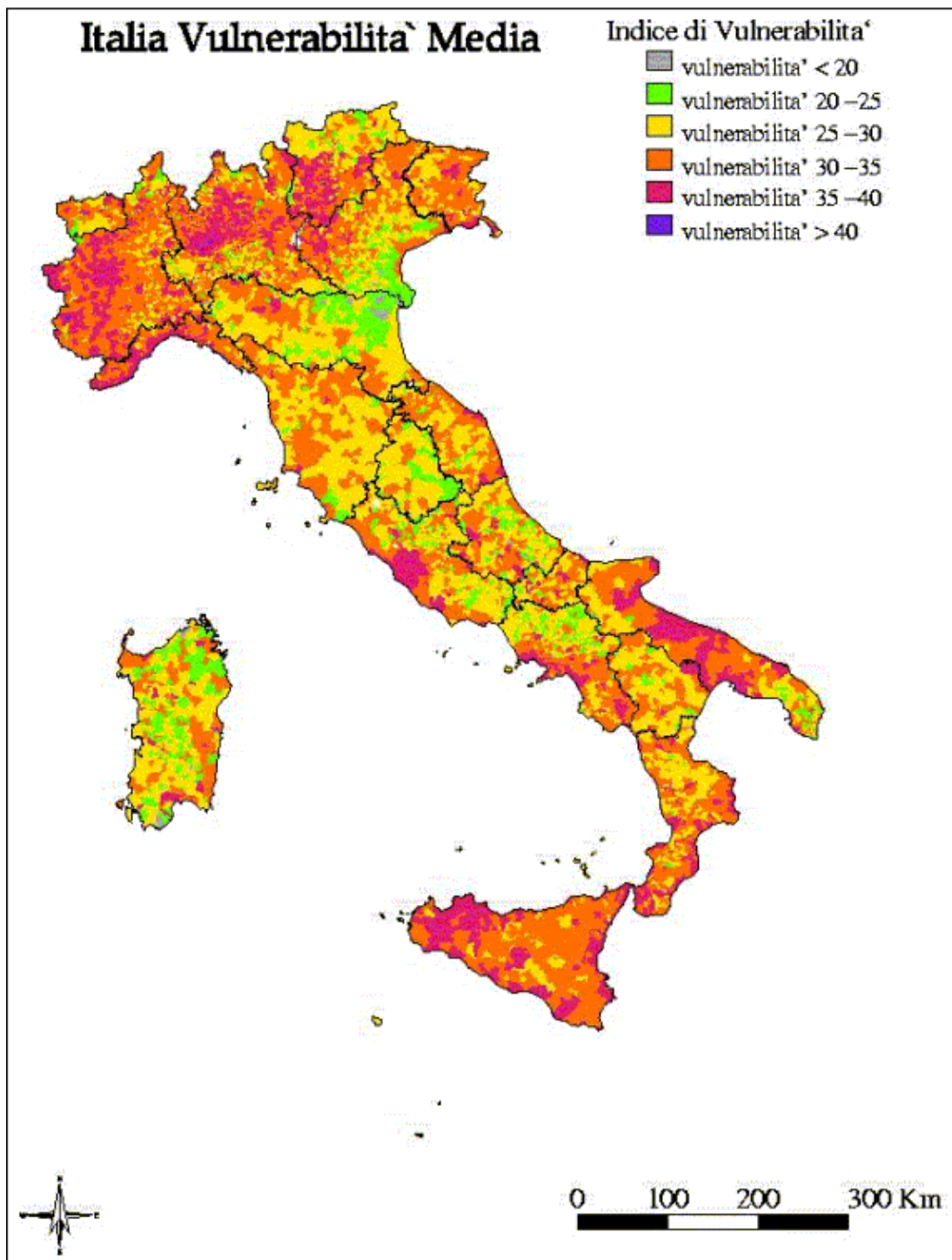


Fig. 6.6 - Mappa dell'indice di vulnerabilità media rispetto al volume dell'edificato, calcolato a livello comunale, per tutti gli edifici in muratura e cemento armato dell'intero territorio italiano.

6.3.1 *Vulnerabilità Media Comunale - Edifici in muratura*

Il calcolo della mappa di vulnerabilità dei soli edifici in muratura presenti sul territorio nazionale è stato effettuato applicando l'algoritmo descritto al paragrafo 6.2.2, ma escludendo nel calcolo dell'indice medio di vulnerabilità di ogni comune, il contributo apportato dalle classi di edifici (pesate sul loro volume) riguardanti gli edifici in cemento armato.

A tale scopo la mappa di figura 6.6 è stata ricalcolata includendo nel valor medio pesato dell'indice di vulnerabilità solo le varie classi di edifici in muratura ed escludendo il contributo del cemento armato. Il risultato che si ottiene è generalmente più basso di quello ricavato considerando tutti gli edifici realmente presenti sul territorio; tale andamento è chiaramente riconducibile al mancato contributo apportato dagli edifici in cemento armato, il cui valore medio dell'indice di vulnerabilità è generalmente più elevato di quello degli edifici in muratura (tabella 6.5). L'effetto sul risultato finale è infatti quello di produrre una sensibile riduzione dell'indice medio comunale, legato ad un più ristretto range di variabilità degli indici di vulnerabilità delle varie classi ISTAT considerate; a scala nazionale tale andamento produce una lieve riduzione del valore minimo e massimo della vulnerabilità comunale stimata.

Dalla mappa di figura 6.7, si può infatti riscontrare, una generalizzata riduzione della vulnerabilità dalla classe 25-35 alla classe 20-30, con il sostanziale assorbimento dei valori di picco presenti in corrispondenza delle aree ad elevata urbanizzazione e con forte presenza di edificato in cemento armato costruiti in epoche precedenti alla classificazione sismica. Rimane confermata la presenza di centri con valori di vulnerabilità relativamente più elevati in corrispondenza di centri urbani ad elevata densità abitativa del centro-nord (Piemonte, Liguria), alcune aree della Campania e della Sicilia.

Per valutare effettiva incidenza della vulnerabilità degli edifici in muratura sull'intero edificato dei comuni valutati nella mappa, è necessario affiancare nell'analisi dei risultati di figura 6.7, una seconda mappa (figura 6.8). In questa carta viene mostrata l'incidenza percentuale dell'edificato in muratura sul totale degli edifici rilevati tramite dati ISTAT a livello comunale sull'intero territorio italiano. Compiendo un confronto di questo tipo è facile evidenziare le zone in cui la presenza di edifici in muratura risulta significativa. Ad esempio si evince come nelle aree metropolitane ed in alcune aree costiere del sud l'edificato sia principalmente costituito da edilizia in cemento armato, tipologia non considerata nella mappa di vulnerabilità di figura 6.7.

Un importante elemento, da porre a commento dei risultati ottenuti, è quello legato al sostanziale basso livello di vulnerabilità riscontrato sui comuni italiani. Una caratteristica significativa dei dati di rilievo delle schede di vulnerabilità è la composizione del database GNDT. Infatti dei circa 28.000 edifici memorizzati nel database, solo poco più di 6.000 appartengono a normale edilizia residenziale privata. La gran parte della banca dati è quindi composta da edifici pubblici rilevati nel corso del progetto LSU o di analoghe precedenti campagne di raccolta dati.

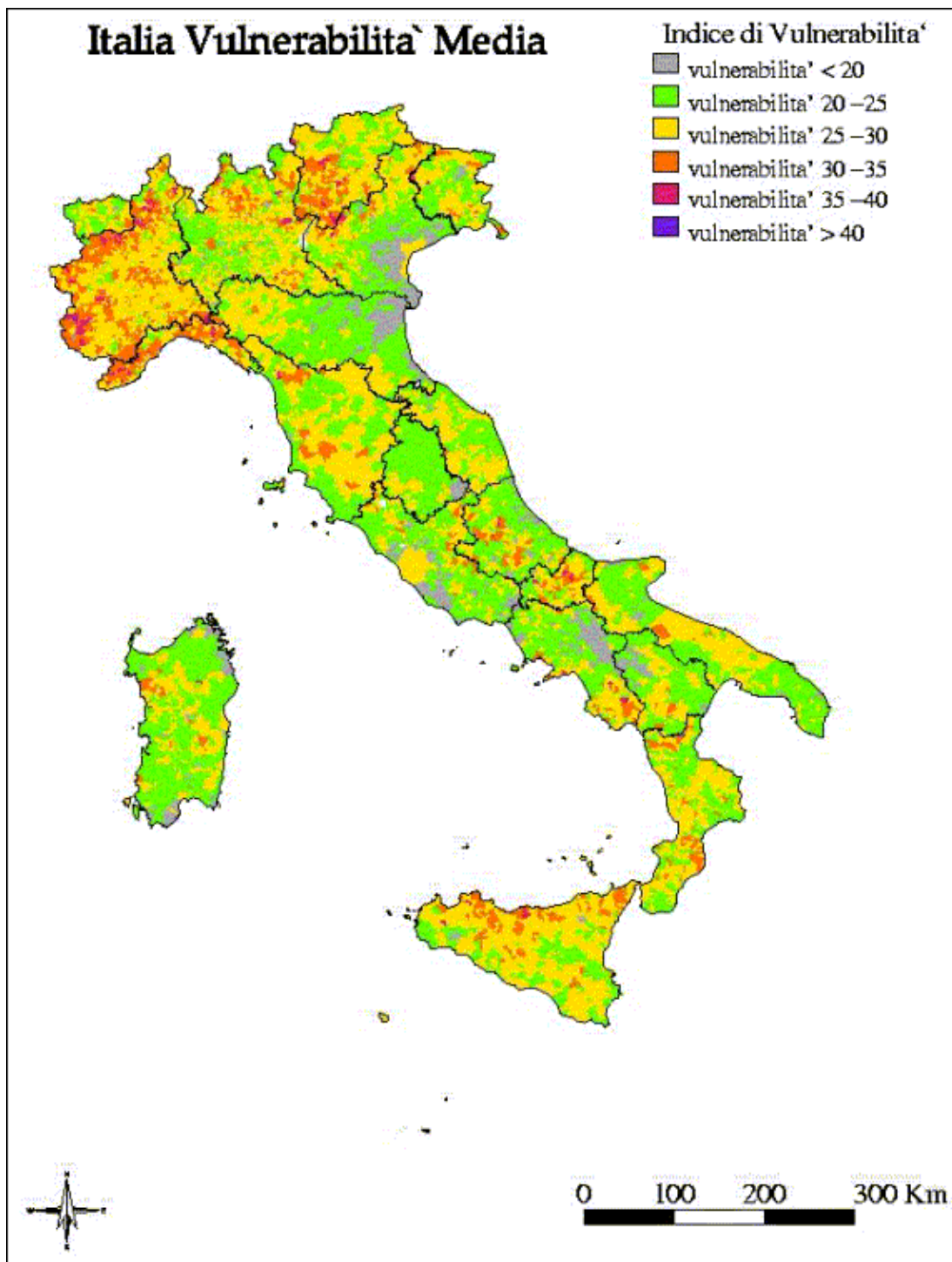


Fig. 6.7 - Mappa dell'indice di vulnerabilità media rispetto al volume dell'edificato, calcolato a livello comunale per i soli edifici in muratura dell'intero territorio italiano.

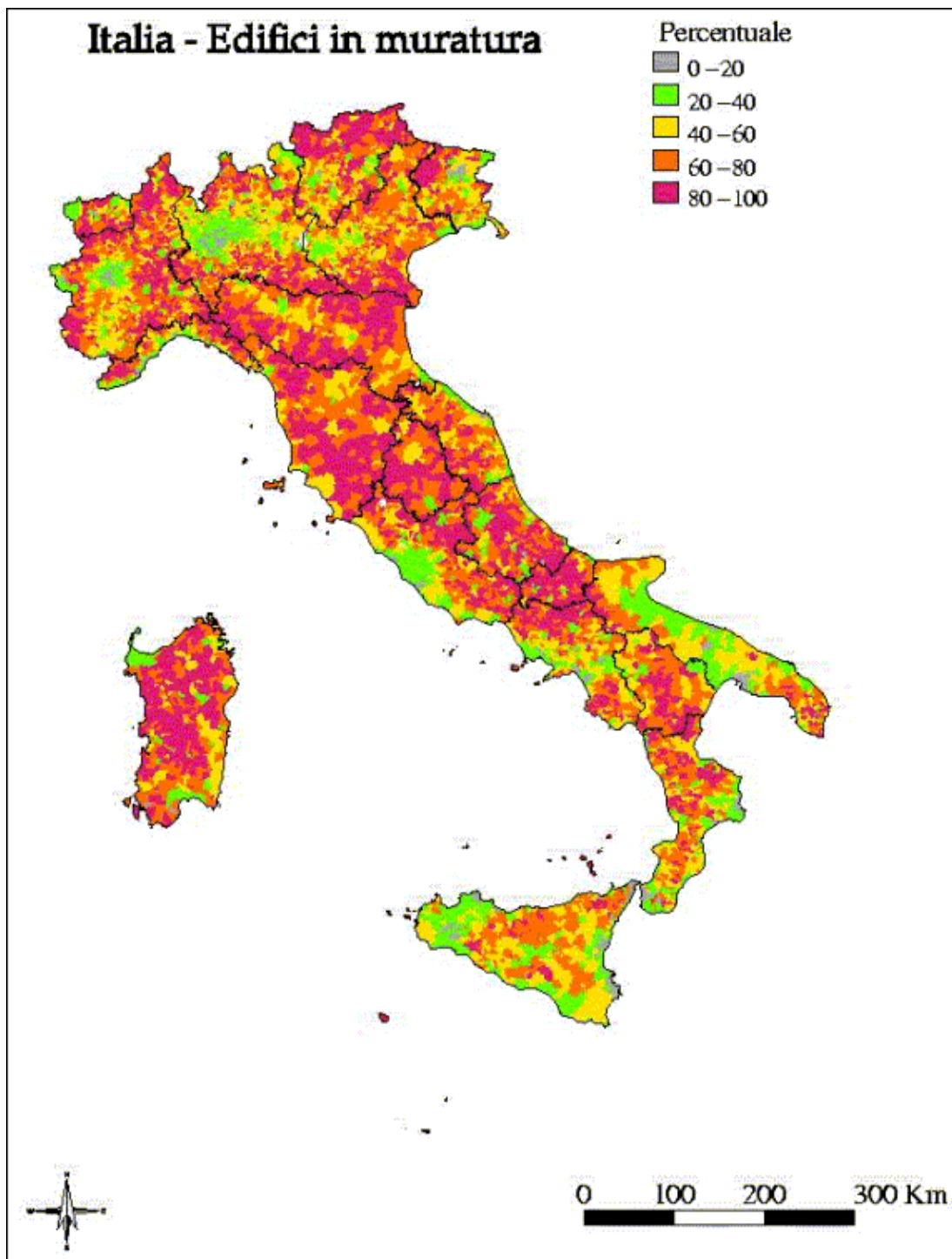


Fig. 6.8 - Mappa della distribuzione percentuale degli edifici in muratura sul totale dell'edificato calcolata sui dati ISTAT a livello comunale per l'intero territorio italiano.

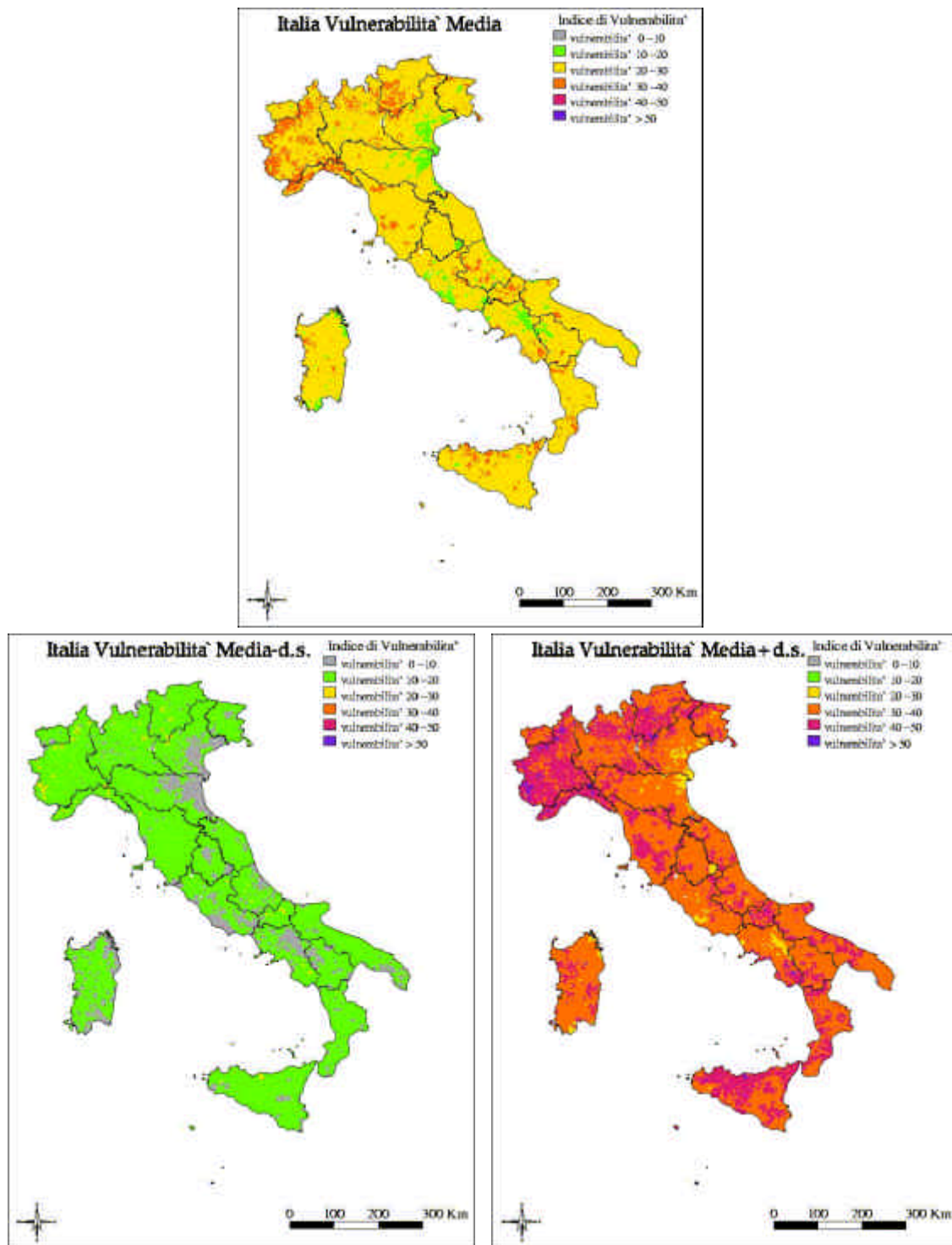


Fig. 6.9 - Mappa dell'indice di vulnerabilità medio calcolato a livello comunale per i soli edifici in muratura dell'intero territorio italiano. Mappe di vulnerabilità ottenute considerando il valore medio (caso b - in alto), ridotto (caso a - in basso a sinistra) ed incrementato (caso c - in basso a destra) del valore della deviazione standard dei valori di vulnerabilità presenti nelle varie classi ISTAT.

Si può ritenere, a livello generale, la qualità di tale edilizia migliore, o comunque sottoposta ad un migliore livello di manutenzione, rispetto all'edilizia ordinaria. Quindi, l'estrapolazione dei valori di vulnerabilità di tali edifici sull'intero territorio nazionale, porta ad un inevitabile riduzione dei valori medi comunali elaborati.

Per mostrare l'estrema incertezza insita nei risultati elaborati sono state calcolate altre due mappe, ottenute dal valor medio pesato dell'indice di vulnerabilità comunale (paragrafo 6.2.2), considerando tale valore prima ridotto e poi incrementato della deviazione standard degli indici di vulnerabilità relativi alle varie classi ISTAT. Le mappe che si ottengono possono essere considerate valori estremi degli indici di vulnerabilità comunale ottenibili con la metodologia presentata in questo rapporto. Infatti, le approssimazioni compiute in tutto il procedimento, sono tali da rendere problematico associare un indice di confidenza statistico agli indici di vulnerabilità media comunale elaborati. Le carte presentate in figura 6.9 riportano, con legende e campiture cromatiche diverse dalle precedenti, i risultati che possono essere indicativi dei range di variabilità della vulnerabilità media comunale italiana per gli edifici in muratura. Nelle tre mappe (figura 6.9) è possibile notare come i valori medi italiani possono passare da valori centrati tra 10-20 (caso a), tra 25-35 (caso b), e tra 35-45 (caso c). I tre casi estremi dell'indice medio di vulnerabilità sono ottenuti dai valori della media (caso b), della media ridotta (caso a) e della media aumentata (caso c) della deviazione standard relativa alle varie classi ISTAT.

Seguendo una procedura analoga a quella su esposta è stata calcolata una mappa riguardante la vulnerabilità media comunale per i soli edifici in cemento armato. Osservando i valori medi dell'indice di vulnerabilità per le classi di edifici in cemento armato (tabella 6.5b), risulta evidente che la vulnerabilità media comunale risulti in generale più elevata di quella prodotta per gli edifici in muratura. Purtroppo il risultato elaborato evidenzia una scarsa variabilità, concentrando l'indice medio comunale italiano nel range 35-45, con scarsissima differenziazione da comune a comune. Ciò è legato, in modo diretto, alla scarsa disponibilità di schede di vulnerabilità per edifici in cemento e quindi alla scarsa differenziazione dei valori medi dell'indice di vulnerabilità desumibili dalle classi ISTAT individuate in tabella 6.5b. Per tali ragioni la mappa di vulnerabilità per i soli edifici in cemento armato, essenzialmente monocromatica, è stata omessa dal presente lavoro.

I valori puntuali calcolati per ogni comune del territorio italiano sono stati riportati in forma tabellare e tutti i valori di vulnerabilità elaborati sono stati memorizzati sul CD-ROM allegato al presente volume. Gli indici di vulnerabilità calcolati sono riportati nelle colonne **V1 - V2 - V3 - V4 - V5 - V6**. I valori contenuti nelle colonne **V1 - V2 - V3** si riferiscono alla totalità degli edifici presenti sul territorio comunale (muratura e cemento armato); quelli riportati nelle colonne **V4 - V5 - V6** riguardano i soli edifici in muratura. Gli indici riportati nell'allegato sono stati calcolati considerando i valori medi pesati dell'indice di vulnerabilità (colonne **V2** e **V5**), ridotti (colonne **V1** e **V4**) ed incrementati (colonne **V3** e **V6**) del valore della deviazione standard degli indici di vulnerabilità nelle varie classi ISTAT.

6.4 Conclusioni

Questo lavoro fornisce una metodologia di utilizzo dei dati di censimento decennale ISTAT basata sull'analisi a vasta scala del patrimonio edilizio esistente, che permette di compiere valutazioni di vulnerabilità e quindi successive stime di rischio sismico. La sempre maggior disponibilità di rilievi effettuati tramite schede di vulnerabilità GNDT in zone ora scoperte del territorio nazionale (come ad esempio l'intera disponibilità dei dati degli edifici privati rilevati nel corso del progetto Lavori Socialmente Utili per le regioni Campania, Molise, Basilicata, Calabria e Sicilia), permetterà una migliore affidabilità delle stime compiute. Ove saranno disponibili dati a sufficienza tali stime potranno essere regionalizzate, così da coprire aree omogenee dal punto di vista delle tecniche costruttive. A questo fine sarà importante individuare una macroregionalizzazione del territorio secondo quest'ottica (Zuccaro et al. 1999).

Un ulteriore affinamento delle mappe di vulnerabilità nazionale, dovrà considerare gli indici di vulnerabilità medi territoriali non a livello comunale, ma a scala di sezione di censimento. Tale dettaglio permetterà di identificare con maggior precisione la composizione e la qualità dell'edificato dei vari nuclei abitativi, individuando con buona precisione la vulnerabilità delle zone definite dall'ISTAT come "centro", "nucleo" o "case sparse". Tale precisione sarà importante per la valutazione di scenari sismici di dettaglio.

Inoltre, un utilizzo più accurato delle elaborazioni compiute a scopi di valutazione dei valori attesi di danno all'edificato dovrà prevedere di utilizzare l'intera distribuzione degli indici di vulnerabilità per le varie classi di edifici (Petrini ed. 1995).

Gli autori considerano importante confrontare i risultati ottenuti con questa metodologia con quelli prodotti tramite la valutazione della vulnerabilità per classi tipologiche dell'edificato utilizzata nell'approccio delle Matrici di Probabilità di Danno (Zuccaro 1999).

Bibliografia

- Autori vari (1993): Rischio sismico di edifici pubblici - Parte I - Aspetti metodologici, GNDT, Bologna.
- Angeletti, P. (1984): Un modello per la valutazione dei costi di riparazione e adeguamento sulla base dei censimenti di danno e vulnerabilità, Atti seminario internazionale "Vulnerabilità ai terremoti e metodi per la riduzione del rischio sismico", Noto.
- Angeletti, P., Bellina, A., Guagenti, E., Moretti, A. & Petrini, V. (1988): Comparison between vulnerability assessment and damage index, some results, Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, volume 8 - pp.181-186.
- Benedetti, D. & Petrini, V. (1984): On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure, *L'industria delle Costruzioni*; volume 18, pp. 66-78;.
- Cella, F., Grimaz, S., Meroni, F., Petrini, V., Tomasoni, R., Zonno, G. (1994): A case study for seismic vulnerability assessment using GIS connected to Expert System, *Proceedings of the 9th Arc/Info European User Conference* - Paris - France, October 5th - 7th, 1994, pp. 421-448.
- Colonna, E., Molina, C. & Petrini, V. (1994): Criteri di valutazione della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio esistente sul territorio nazionale, *Ingegneria Sismica*, vol. 1 - Patron ed., pp. 16-24.
- Corsanego, A. & Petrini, V. (1990): Seismic Vulnerability of Buildings. Work in Progress, *SEISMED 2nd Workshop on Earthquake Vulnerability, Loss and Risk Assessment*, Trieste, Italy, December 10-15, 1990.
- Corsanego, A. (1991): Seismic vulnerability evaluations for risk assessment in Europe, Proceedings of the *Fourth International Conference on Seismic Zonation* - Stanford - California, August 25th - 29th, 1991, volume I, pp. 671-688.
- GNDT (1994): *Scheda di esposizione e vulnerabilità e di rilevamento danni di primo livello e secondo livello (muratura e cemento armato)*, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Roma.
- Grimaz, S., Meroni, F., Petrini, V., Ranù, G., Tomasoni, R. & Zonno, G. (1996): Expert system for damage assessment of buildings in seismic areas, *Cahiers du Centre de Geodynamique et de Seismologie*, Volume 12, pp. 83-103, Luxembourg.
- Grimaz, S., Meroni, F., Petrini, V., Tomasoni, R. & Zonno, G. (1997): Progressi nel settore della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura derivanti dall'analisi dei dati di danneggiamento del terremoto del Friuli, *La scienza e i terremoti - Analisi e prospettive dall'esperienza del Friuli - 1976/1996*, 14-16 Novembre 1996, Udine, Forum ed. Udine, pp. 89-96.
- Guagenti, E. & Petrini, V. (1989): Il caso delle vecchie costruzioni: verso una nuova legge danni-intensità, Proceedings of the *4th Italian National Conference on Earthquake Engineering*, - Milan - (Italy), vol. I, pp. 145-153.
- ISTAT (1991): *13° censimento generale della popolazione, 1991. Dati sulle caratteristiche strutturali della popolazione e delle abitazioni*. Roma.
- Meroni, F., Cella, F., Grimaz, S., Petrini, V., Tomasoni, R. & Zonno, G. (1995): Assessment of seismic effective vulnerability using Arc/Info connected to Nexpert, Proceedings of the

- Fifth International Conference on Seismic Zonation* - Nice - France, October 17th - 19th, 1995, vol. **I**, pp. 68-75.
- Meroni, F., Petrini, V. & Zonno, G. (1999). Valutazione della vulnerabilità di edifici su aree estese tramite dati ISTAT , *9° Convegno nazionale - L'ingegneria sismica in Italia*, 20-23 settembre 1999, Torino, CD-ROM.
- Meroni, F., Grimaz, S., Petrini, V. & Zonno, G. (2000). Seismic vulnerability curves: the italian experience, *submitted to Earthquake Spectra* - EERI, Oakland, California.
- Petrini V. ed. (1995): *Pericolosità sismica e prime valutazioni di rischio in Toscana*, Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico/ Regione Toscana-Dipartimento Ambiente, Milano.
- Petrini V. (1995): Overview report on vulnerability assessment, *Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation* - Nice - France, October 17th - 19th, 1995, volume **III**, pp. 1977-1988.
- Zuccaro, G. (1999): Valutazione a scala nazionale della vulnerabilità degli edifici ordinari, *Atti del 9° Convegno ANIDIS - L'ingegneria sismica in Italia* - Torino, 20-23 Settembre 1999, CD-ROM.
- Zuccaro, G., Della Bella, M. & Papa, F. (1999): Caratterizzazione tipologico strutturale a scala nazionale, *Atti del 9° Convegno ANIDIS - L'ingegneria sismica in Italia* - Torino, 20-23 Settembre 1999, CD-ROM.