



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti



Dipartimento della Protezione Civile



Centro Interdipartimentale di Ricerca LUPIT –
Università degli Studi di Napoli “Federico II”

INGV/GNDT- GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI

Programma quadro 2000-2002

TEMA 1 - Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale

**Progetto: SAVE - Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità Sismica del
Patrimonio Edilizio e dei Sistemi Urbani**

Task 1

**INVENTARIO E VULNERABILITÀ DEL PATRIMONIO EDILIZIO
RESIDENZIALE DEL TERRITORIO NAZIONALE, MAPPE DI
RISCHIO E PERDITE SOCIO-ECONOMICHE**



Uso e citazione di questo volume

Ne è vietato lo sfruttamento commerciale.

L'uso è consentito a condizione che ne venga citata correttamente la fonte.

Per le citazioni si raccomanda di utilizzare la seguente dicitura:

G. Zuccaro (CD a cura di), Inventario e vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale, mappe di rischio e perdite socio - economiche – Napoli, 2004.

In Copertina: Fernando Botero: *Earthquake* (immagine tratta da: www.1st-art-gallery.com)

© INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
GNDT - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti

Aprile, 2004



I.N.G.V. – Istituto Nazionale
di Geofisica e Vulcanologia
G.N.D.T. – Gruppo Nazionale
per la Difesa dai Terremoti



Dipartimento della Protezione Civile



Centro Interdipartimentale di Ricerca
LUPT – Università degli Studi di Napoli
“Federico II”

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI
Programma quadro 2000-2002
TEMA 1 - Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale

SAVE
Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del
patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 1
INVENTARIO E VULNERABILITÀ
DEL PATRIMONIO EDILIZIO RESIDENZIALE
DEL TERRITORIO NAZIONALE,
MAPPE DI RISCHIO
E PERDITE SOCIO - ECONOMICHE

A cura di:
Giulio Zuccaro

SAVE
Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del
patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Coordinatori del Progetto: *Mauro Dolce* – Università della Basilicata e *Giulio Zuccaio* – Università di Napoli

Titolo della ricerca:

Task 1 - Inventario e vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale, mappe di rischio e perdite socio - economiche

Responsabile scientifico del Task1:

Giulio Zuccaro – Università degli Studi di Napoli “Federico II”

La ricerca è stata svolta da:

Centro Interdipartimentale di Ricerca LUPT
Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Responsabile:

Giulio Zuccaro

Collaboratori esterni:

Francesco Cacace (Inventario, Vulnerabilità, Mappe di Rischio)

Marianna Della Bella (Questionario Web, Atlantis)

Filomena Papa (Modello Casualties)

Davide Delcogliano, Angelo Sgroi, Massimiliano Severino, Giacomo Di Pasquale (Danno Economico)

La realizzazione del rapporto è stata curata da:

Giulio Zuccaro

con la collaborazione di:

Francesco Cacace

INDICE

1 ASSEGNAZIONE DELLA CLASSE DI VULNERABILITÀ EMS IN FUNZIONE DELLE CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE, GEOMETRICHE, STRUTTURALI	2
1.1 Premessa - Definizione dell'Indice Sintetico di Danno medio SPD	2
1.2 Riorganizzazione dei dati disponibili in un DB omogeneo	3
1.3 Classificazione degli edifici secondo la tipologia della struttura verticale	5
1.4 Individuazione del peso di ciascun parametro sulla vulnerabilità	7
2 MIGLIORAMENTO DEGLI STRUMENTI DI ANALISI DELLA VULNERABILITÀ E DEL DANNO MEDIANTE SCHEDE DI ULTIMA GENERAZIONE (AEDES - MEDEA)	14
2.1 Introduzione	14
2.2 L'analisi del danno attraverso i meccanismi di collasso: la scheda MEDEA	15
2.3 Analisi dei dati raccolti mediante MEDEA per il Comune di San Giuliano di Puglia	18
2.4 Proposta per un indice di agibilità	20
2.5 Risultati	22
2.6 Osservazioni	27
3 MIGLIORAMENTO DELLE VALUTAZIONI DI VULNERABILITÀ DELLE STRUTTURE IN C.A. DIFFERENZIATE IN CLASSI TIPOLOGICHE	28
4 INVENTARIO DELLE DISTRIBUZIONI TIPOLOGICO STRUTTURALI DEL PATRIMONIO EDILIZIO	29
4.1 Introduzione	29
4.2 Integrazione ed ampliamento delle banca dati esistente di inventario delle distribuzioni tipologico strutturali	29
4.3 Correlazione fra il numero di abitazioni ed il numero di edifici	34
4.4 Attribuzione della classe di vulnerabilità	35
5 ANALISI DI VULNERABILITÀ A SCALA NAZIONALE, PARAMETRO DI VULNERABILITÀ COMUNALE, MAPPE DI VULNERABILITÀ	37
5.1 Analisi delle Matrici di Probabilità di Danno (DPM)	37
5.2 Parametro di vulnerabilità comunale	42
5.3 Mappe di vulnerabilità a scala nazionale	42
5.4 Controllo di validità mediante confronto fra le distribuzioni di vulnerabilità desunte dal dato ISTAT e quelle effettive rilevate	44
6 CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGICA : QUESTIONARIO INFORMATIVO TIPOLOGICO STRUTTURALE VIA WEB	48
7 ATLANTE MULTIMEDIALE	51
8 RISCHIO SISMICO A SCALA NAZIONALE	54
8.1 Pericolosità	54
8.2 Vulnerabilità	54
8.3 Esposizione	55
8.3.1 Casualties	55
8.4 Mappe di rischio	60
8.4.1 Confronto con le Mappe SSN 2001	78
9 PRIME VALUTAZIONI DELLE PERDITE SOCIO-ECONOMICHE	85
9.1 Premessa	85
9.2 Contenuto	86
9.3 Considerazioni conclusive	89

1 ASSEGNAZIONE DELLA CLASSE DI VULNERABILITÀ EMS IN FUNZIONE DELLE CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE, GEOMETRICHE, STRUTTURALI

1.1 Premessa - Definizione dell'Indice Sintetico di Danno medio SPD

La scala macrosismica Europea (E.M.S. '98) prevede che l'assegnazione di un edificio ad una classe di vulnerabilità dipenda prevalentemente dalla tipologia strutturale verticale, con un certo margine di incertezza così come evidenziato nella tabella pubblicata dalla EMS 98 e riportata in Fig. 1.1.

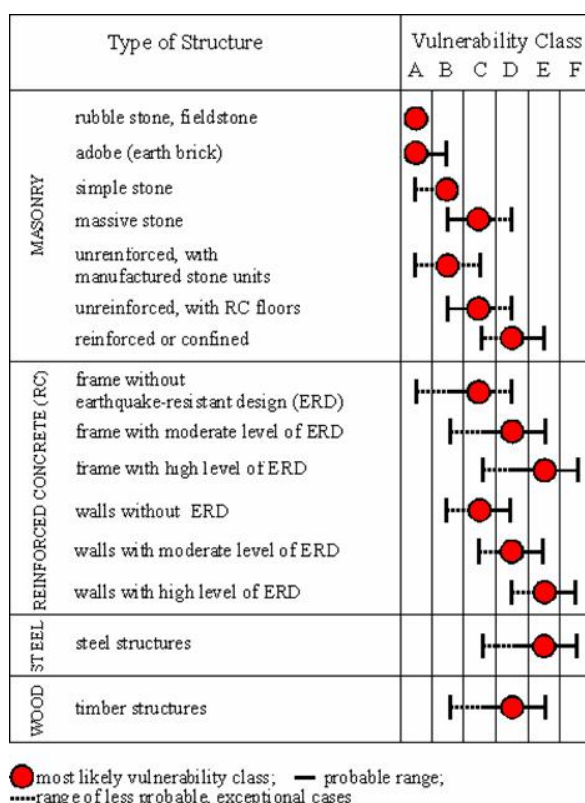


Fig. 1.1 - Classificazione di vulnerabilità secondo la scala EMS '98

Si osserva immediatamente che la percentuale d'incertezza espressa "dall'intervallo probabile" di assegnazione in alcuni casi può essere piuttosto ampio e quindi tale da influenzare anche pesantemente le analisi di rischio e di scenario.

Pertanto, si è ritenuto che, nel definire la classe di vulnerabilità di un certo edificio, fosse opportuno considerare in aggiunta altre caratteristiche strutturali che potessero meglio qualificare l'assegnazione ad una classe di vulnerabilità nell'intervallo di ammissibilità di assegnazione previsto dalla EMS stessa.

Al fine di valutare l'influenza di tali parametri sulla risposta strutturale sotto sisma di una assegnata tipologia verticale, si sono interpretati statisticamente i dati sul danneggiamento raccolti in occasione degli eventi sismici del passato. In particolare sono state costruite differenti distribuzioni

di danno (D0, D1,... D5) per categorie di edifici, con medesima struttura verticale, raggruppati in funzione dei parametri di cui si intendeva analizzare l'influenza.

Per effettuare agevolmente il confronto fra diverse distribuzioni di danno si è reso necessario definire un valore che esprimesse in maniera sintetica il danneggiamento complessivo. Questo valore, definito come Indice Sintetico di Danno medio (SPD) è individuato come l'ascissa baricentrica della distribuzione di danno. Il grafico in Fig. 1.2 chiarisce il significato di detto parametro.

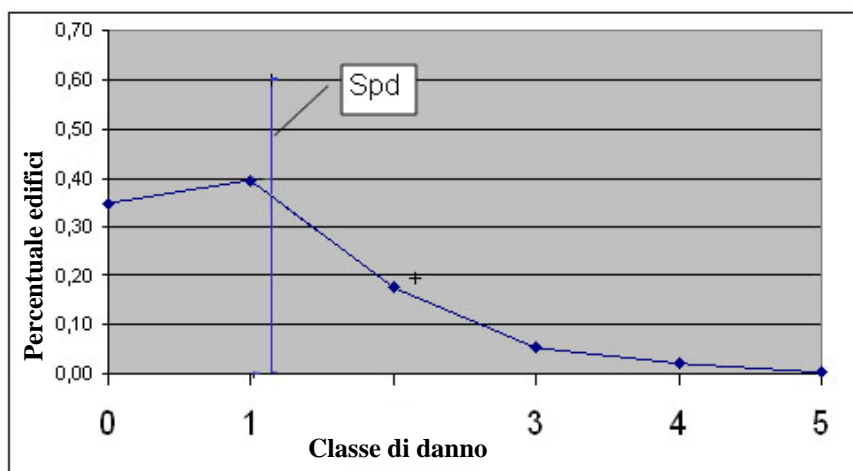


Fig. 1.2 - Parametro sintetico di danno

Va sottolineato che il valore di SPD è dimensionalmente un danno; fornisce pertanto una valutazione facilmente leggibile, in termini quantitativi, del danneggiamento complessivo di un gruppo di edifici.

1.2 Riorganizzazione dei dati disponibili in un DB omogeneo

Si sono analizzati i database sul danno disponibili da precedenti eventi sismici in Italia. In proposito va osservato che i dati sul danneggiamento sono disponibili in forma estremamente disomogenea, sia per il processo di evoluzione nel tempo delle schede di rilevamento del danno, sia perchè le campagne di rilevamento sono raramente state effettuate a tappeto, con criteri di scelta degli edifici da censire basati generalmente sulle richieste dei proprietari e con esclusione pressoché sistematica degli edifici con danno nullo.

Di seguito vengono elencati i DB utilizzati e le relative caratteristiche dei set di dati corrispondenti:

- **Irpinia '80 : Scheda Irpinia '80.**

Circa 38000 edifici. Grande mole di dati, quasi tutti i Comuni rilevati a tappeto, ma con un livello basso di informazioni per edificio. Intensità variabile da 5 a 10

- **Abruzzo '84 : Scheda Abruzzo '84.**

Circa 51100 edifici. Grande mole di dati, molti dei Comuni rilevati a tappeto, ma con un livello basso di informazioni per edificio. Intensità variabile da 5 a 8

- **Sicilia '90 : Scheda GNDT 9/86.**

Circa 12800 edifici. Evento di portata limitata, nessun Comune rilevato a tappeto (mancano gli edifici con danno 0), buon livello di informazioni per edificio. Intensità variabile da 5 a 7

- **Parma '83 : Scheda GNDT 9/86.**

Circa 380 edifici. Evento di portata limitata, rilevato solo un piccolo campione nel Centro di Parma, buon livello di informazioni per edificio. Intensità 7.

– ***Umbria- Marche '97: Scheda AeDES 9/97.***

Circa 42300 edifici. Grande mole di dati, rilevamento danno effettuato in base alle richieste pervenute al C.O.M. nessun Comune rilevato a tappeto. Buon livello di informazioni per edificio. Intensità variabile da 5 a 9

– ***Molise-Puglia '02: Scheda AeDES 5/2000***

Circa 22000 edifici. Grande mole di dati, rilevamento danno effettuato in base alle richieste pervenute al C.O.M. nessun Comune rilevato a tappeto. Buon livello di informazioni per edificio. Intensità variabile da 5 a 8,5

– ***Etna '02: Scheda AeDES 5/2000***

Circa 5100 edifici. Evento di portata limitata, rilevamento danno effettuato in base alle richieste pervenute al C.O.M. nessun Comune rilevato a tappeto. Buon livello di informazioni per edificio. Intensità variabile da 5 a 8.

L'insieme di tutti i dati elencati rappresenta un prezioso strumento per la conoscenza delle caratteristiche tipologiche e di vulnerabilità del patrimonio edilizio nazionale, tuttavia l'utilizzo di questi dati per qualunque tipo di elaborazione ed analisi richiede un preventivo lavoro di riorganizzazione di tutti i data-base parziali in un unico data base omogeneo. Come si è detto, infatti, i dati sono stati raccolti con scopi e schede di rilevazione differenti, di conseguenza i vari data-base parziali sono caratterizzati da tracciati-record che possono essere anche molto diversi fra loro. Occorre dunque costruire un data-base generale, individuando un tracciato-record in cui possano confluire i dati provenienti dai data-base parziali e definendo i criteri di assegnazione dei dati riportati in ognuno di questi ai campi del data-base generale.

Per chiarire il problema e come è stato risolto si riporta a titolo di esempio il dato relativo alla tipologia della struttura verticale. Nel tracciato-record del data-base generale si è definito il campo "struttura verticale", con i possibili valori.

Tab. 1.1 Valori assegnabili al campo "struttura verticale" nel DB generale di inventario

DB GENERALE	
Sv1	Pietrame irregolare
Sv2	Pietrame regolare
Sv3	Mattoni pieni o blocchetti in cls ad inerti ordinari
Sv4	Mattoni forati blocchetti in cls ad inerti leggeri
Sv5	Mattoni forati leggeri e di bassa resistenza
Sv6	Mista
Sv7	Intelaiata in c.a.
Sv8	Intelaiata in acciaio

Per ogni edificio contenuto nei diversi DB parziali, in funzione del dato relativo alla struttura verticale, si è assegnato il valore di SVi corrispondente. Si riportano, per alcune delle diverse schede di rilevamento dati, le corrispondenze:

Tab. 1.2 Tabelle di corrispondenza con il DB generale di inventario per la struttura verticale

IRPINIA 80	
Muratura pietrame	Sv1
Muratura tufo	Sv4
Muratura mattoni	Sv3
Cemento armato	Sv7
Struttura mista	Sv6

ABRUZZO 84	
Muratura pietrame	Sv1
Muratura mattoni 1	Sv4
Muratura mattoni 2	Sv4
Muratura mattoni 3	Sv3
Cemento armato	Sv7
Struttura mista	Sv6

GNDT 9/86 I liv.	
Muratura a sacco	Sv1
Muratura a sacco con <i>rinforzi</i> (spigoli, mazzette e/o ricorsi)	Sv1
Muratura in pietra sbazzata	Sv1
Muratura in pietra sbazzata con <i>rinforzi</i> c.s.	Sv1
Muratura in pietra arrotondata	Sv2
Muratura in pietra arrotondata con <i>rinforzi</i> c.s.	Sv2
Muratura in blocchetti di tufo o pietra ben squadrata	Sv2
Muratura in blocchetti di calcestruzzo ad inerti ordinari	Sv3
Muratura in blocchetti di calcestruzzo ad inerti leggeri (argilla espansa, etc.)	Sv4
Muratura in mattoni pieni o semipieno (foratura < 45%)	Sv3
Muratura in mattoni forati	Sv4
Pareti in calcestruzzo non armato	Sv3
Pareti in calcestruzzo armato	Sv7
Telai in cemento armato non tamponati o con percentuale ridotta di tamponature	Sv3
Telai in cemento armato con tamponature deboli (mattoni forati o presenza aperture molto ampie)	Sv7
Telai in cemento armato con tamponature consistenti	Sv7
Ossatura con profilati metallici	Sv8
Struttura mista	Sv6

Nel costruire il DB generale si è messo a punto un tracciato record in base ai parametri che si volevano esaminare e per ciascuno di essi è stato definito l'insieme dei "valori" possibili (Tab. 1.3)

Tab. 1.3

intensità	6	7	8	9	10	11		
Danno sintetico	0	1	2	3	4	5		
struttura verticale	pietrame irr.	pietrame reg.	mattoni pieni o blocch.	mista orizz	mattoni forati	mattoni forati leggeri	c.a.	
altra struttura verticale presente	pietrame irr.	pietrame reg.	mattoni pieni o blocch.	mista orizz	mattoni forati	mattoni forati leggeri	c.a.	
struttura orizzontale	volte	deformabile	semirigida	rigida	mista			
altra struttura orizzontale presente	volte	deformabile	semirigida	rigida	mista			
struttura copertura	leggera	pesante						
pilastrini isolati	si	no						
rinforzata	si	no						
collegamenti in orizzontale	catene	cordoli	nessun collegam.					
collegamenti in verticale	si	no						
spinte copertura	si	no						
numero piani	1	2	3	4	5	6	>6	
regolarità in alzata/pianta	si	no						
regolarità nella disposizione tamponature e bucatore	si	no	porticati					
posizione nell'aggregato	isolato	interno	estremità	angolo				
età	<1919	1919-1945	1946-1961	1962-1971	1972-1981	1982-1991	1992-2001	>2002
tipologia dell'ultimo intervento significativo	manutenzione	riparazione	miglioramento	adeguamento	sopraelev.			
epoca dell'ultimo intervento significativo	<1919	1919-1945	1946-1961	1962-1971	1972-1981	1982-1991	1992-2001	>2002

Sulla base di questa struttura generale, è stato pertanto costruito un unico DB, contenente i dati presenti nei diversi data-base, organizzati secondo un tracciato-record costruito ad hoc.

1.3 Classificazione degli edifici secondo la tipologia della struttura verticale

L'assegnazione di vulnerabilità secondo la scala EMS '98 è effettuata sostanzialmente, come accennato in precedenza, in base alla tipologia verticale; pertanto in prima istanza si sono raggruppati gli edifici secondo le differenti tipologie di struttura verticale e per ciascuna di esse, utilizzando la banca dati che raccoglie le informazioni (disponibili) sul danneggiamento raccolte in occasione degli eventi sismici del passato, si è calcolato il valore del parametro sintetico di danno SPD ai diversi livelli di intensità (Fig. 1.3).

L'analisi del grafico riportato in Fig. 1.3 mostra l'andamento del parametro SPD per le diverse tipologie verticali presenti in banca dati, e come sia possibile raggrupparle in classi tipologiche verticali a comportamento simile.

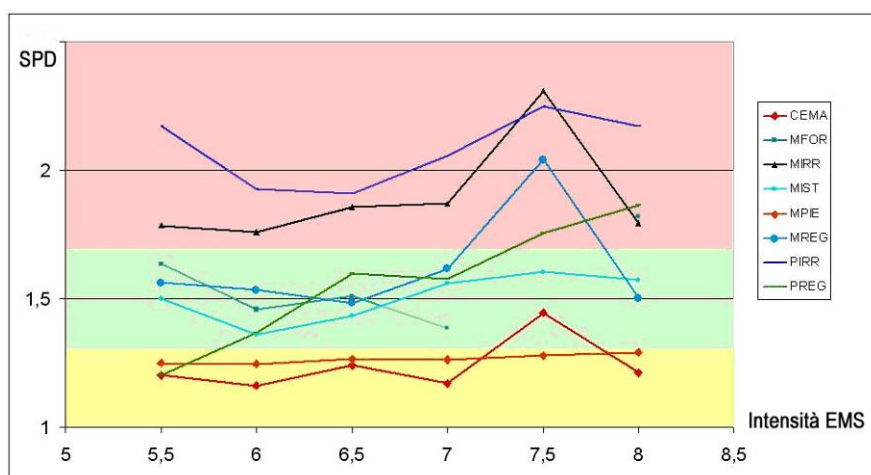


Fig. 1.3 - Andamento di SPD per le strutture: CEMA (cemento armato); MFOR (mattoni forati); MIRR (muratura irregolare); MIST (mista muratura/cemento armato); MPIE (mattoni pieni); MREG (muratura regolare); PIRR (pietrame irregolare); PREG (pietrame regolare)

Si è assegnata così in via preliminare ogni tipologia ad una classe di vulnerabilità EMS “verticale”, come riportato nella Tab. 1.. Si osservi che dall’analisi dei dati si è ritenuto opportuno distinguere nell’ambito della classe C il caso delle strutture miste.

Tab. 1.4 - Classificazione degli edifici secondo la tipologia della struttura verticale

A		Pietrame	Muratura Irregolare
B		Pietrame Squadrato	Muratura Regolare
C	C1	Mattoni Pieni	
	Cm	Mista	
D		Cemento Armato	Acciaio

Gli edifici sono stati quindi raggruppati secondo le categorie definite nella Tab. 1.4; successivamente sono stati calcolati i valori di SPD per ciascuna delle classi di vulnerabilità EMS “verticale” al variare della intensità sismica, così come riportato in Fig. 1.4.

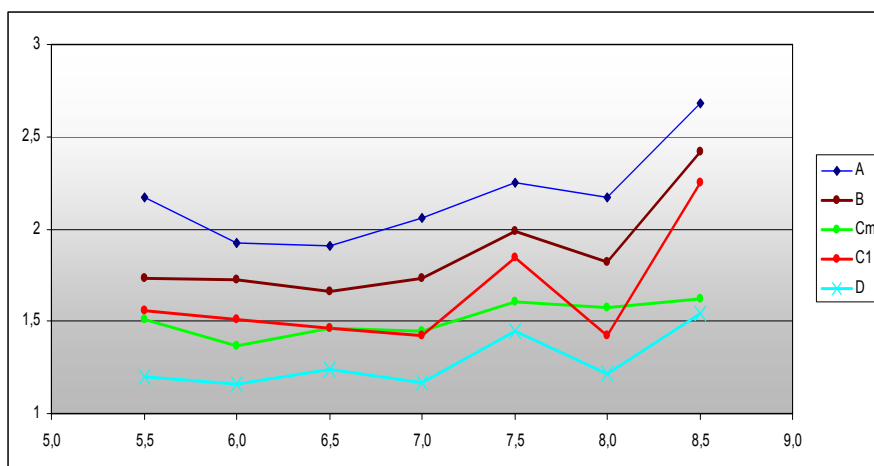


Fig. 1.4 - Andamento del parametro SPD per le classi tipologiche EMS verticali

Si osserva come l'andamento del parametro SPD sia ben distinto per le diverse classi di vulnerabilità "verticale". Si ritiene che le maggiori irregolarità del diagramma riscontrabili alle alte intensità siano da attribuire al campione di dati disponibile che risulta povero per valori di intensità molto distruttive.

Per ciascuna classe di vulnerabilità "verticale" sono stati quindi individuati i valori medi di SPD e gli intervalli di variazione. Tale valore medio (Fig. 1.5) è stato calcolato nell'intervallo di intensità VI-IX, poiché, per quanto detto, in questo intervallo la quantità e la qualità dei dati disponibili garantiscono una migliore attendibilità. Per valori minori di VI, infatti, la distribuzione del danno è molto sbilanciata verso il danno lieve, mentre per valori dell'intensità più alti di VIII i dati disponibili sono pochi e quasi tutti relativi al sisma del 1980 in Irpinia.

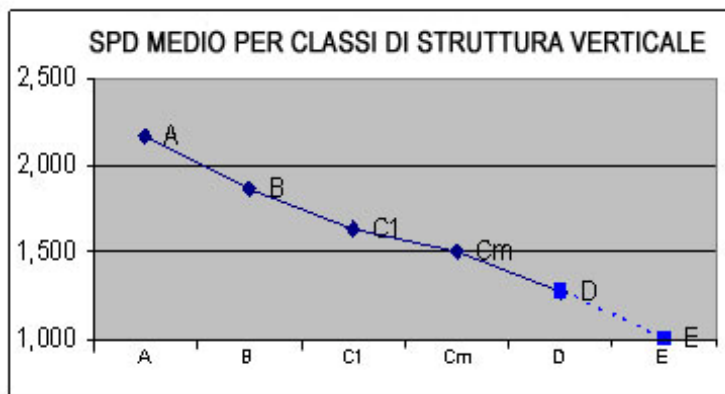


Fig. 1.5 - Valore medio del parametro SPD (per intensità comprese fra VI e IX) per le classi EMS verticali

Tale parametro (Fig. 1.5) rappresenta una prima indicazione del danno atteso, e quindi della vulnerabilità, in funzione della sola tipologia della struttura verticale.

La correlazione riportata in Fig. 1.5 tra tipo di struttura verticale e corrispondente intervallo di variazione di SPD rappresenta il criterio di riferimento assunto per le successive assegnazioni di vulnerabilità delle tipologie strutturali formulate sulla base del valore di SPD.

1.4 Individuazione del peso di ciascun parametro sulla vulnerabilità.

Come già commentato nei paragrafi precedenti, la sola informazione relativa al tipo di struttura verticale potrebbe non essere sufficiente a definire univocamente la classe di vulnerabilità; il comportamento dell'edificio, infatti, può essere notevolmente differente rispetto a quello definito dal valore medio di SPD riferito alla classe di vulnerabilità EMS "verticale" di appartenenza.

Indipendentemente dalla tipologia della struttura verticale dell'edificio, dunque, si possono individuare alcune caratteristiche in grado di migliorare o peggiorare il comportamento medio dell'edificio sotto l'azione sismica e di conseguenza l'assegnazione di vulnerabilità.

Tali caratteristiche, coerentemente ai dati presenti nei DB disponibili (vedi par. 1.2), possono sintetizzarsi nei parametri che seguono:

▪ tipologico - strutturali

- PS1 tipologia orizzontale
- PS2 tipologia copertura
- PS3 tetto spingente
- PS4 presenza di colonne isolate in edifici in muratura
- PS5 presenza di catene orizzontali
- PS6 strutture miste

- **geometriche e di sito**

- PG1 numero di piani, massima altezza
- PG2 regolarità in elevazione e/o in pianta
- PG3 regolarità delle tamponature esterne
- PG4 posizione dell'edificio (isolato, terminale, accorpato tra due edifici)
- PG5 topografia del sito

- **altre**

- PE1 età di costruzione
- PE2 danno preesistente
- PE3 anno di classificazione sismica del comune

E' importante sottolineare che non sempre si dispone delle informazioni relative a tutti i parametri su elencati; pertanto è stata messa a punto una procedura di valutazione della vulnerabilità in grado di considerare separatamente l'influenza di ogni singola caratteristica sull'assegnazione di vulnerabilità finale. In tal modo la procedura è applicabile indipendentemente dal numero di parametri noti.

Per ognuno dei parametri su elencati ed all'interno di ognuna delle classi di vulnerabilità "verticale" individuate in precedenza si sono raggruppati gli edifici in funzione dei "valori" del parametro considerato, riportati in Tab. 1.3 (ad esempio sono stati suddivisi gli edifici appartenenti alla classe di struttura verticale "A" in cinque gruppi in funzione della struttura orizzontale considerata).

Per ogni gruppo di edifici così definito si è costruita la distribuzione di danno e si è calcolato il valore di SPD (Fig. 1.6) ai diversi livelli di intensità. Si è poi valutata la variazione positiva o negativa di questo valore di SPD rispetto a quello riferito alla sola classe di vulnerabilità "verticale".

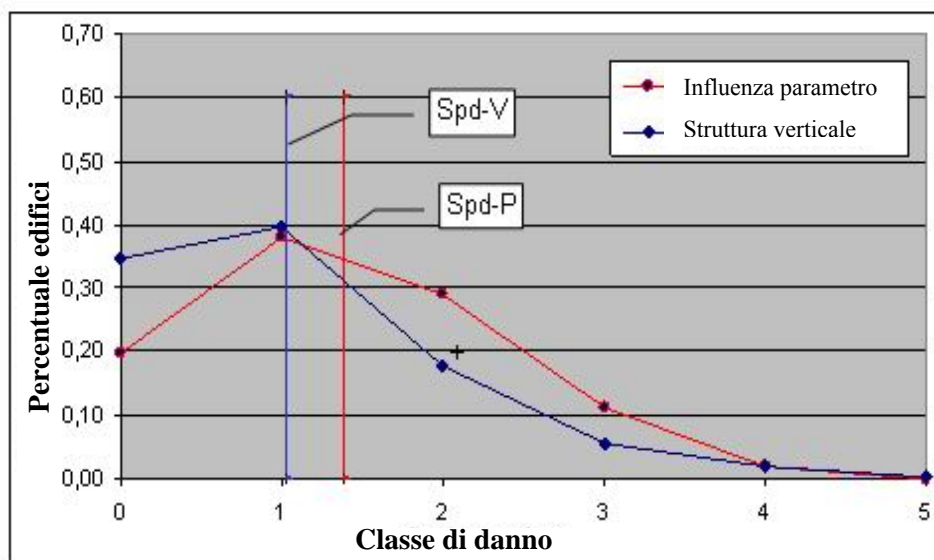


Fig. 1.6 - Influenza di un generico parametro tipologico sul valore di SPD per assegnata intensità.

Quindi, per ciascun gruppo di edifici (definito, come già precisato, dalla struttura verticale e da uno specifico "valore" del parametro analizzato) è stata calcolata la media di queste variazioni nell'intervallo di intensità comprese tra VI-IX, espressiva dell'influenza, in positivo o in negativo, di quella caratteristica costruttiva sulla struttura verticale considerata.

Di seguito si riportano a titolo d'esempio alcuni diagrammi (da Fig. 1.7 a Fig. 1.12) che, attraverso il valore medio delle variazioni sulle intensità tra VI-IX, esprimono l'influenza sulla vulnerabilità

determinata dai differenti “valori” di ogni singolo parametro (caratteristica costruttiva). In particolare, scarti positivi esprimono un incremento della vulnerabilità, tanto peggiorativo quanto più è elevato il valore dello scarto; viceversa scarti negativi esprimono un decremento della vulnerabilità, tanto migliorativo, quanto più, in valore assoluto, è elevato il valore dello scarto. L’interpretazione di tali diagrammi conferma, in termini qualitativi, ipotesi oramai acquisite; ad esempio (Fig. 1.7) che la presenza di solai in legno deformabili comporta maggiore vulnerabilità. E’ importante, comunque, sottolineare che questo tipo di analisi consente di *quantificare* il peso di ogni singolo parametro, ovvero di definire *quanto* ogni parametro contribuisca effettivamente ad aumentare o ridurre la vulnerabilità.

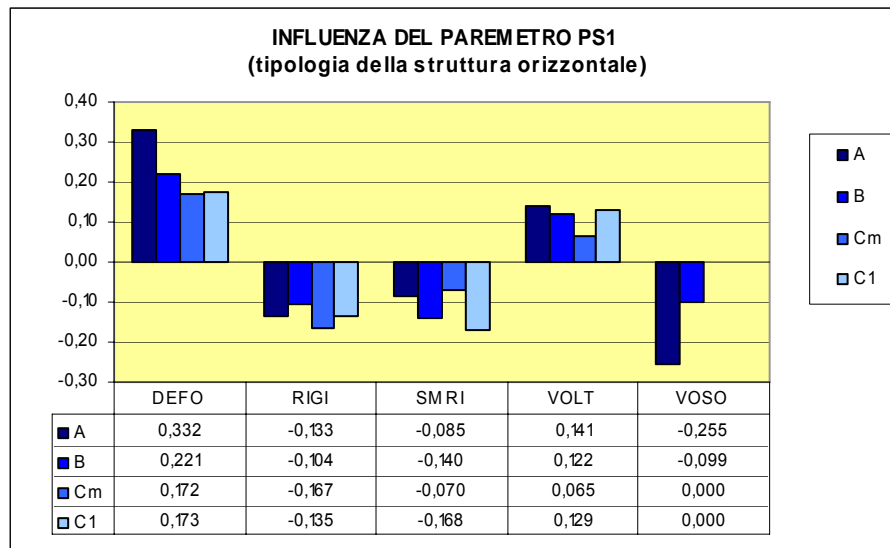


Fig. 1.7- Influenza del parametro struttura orizzontale

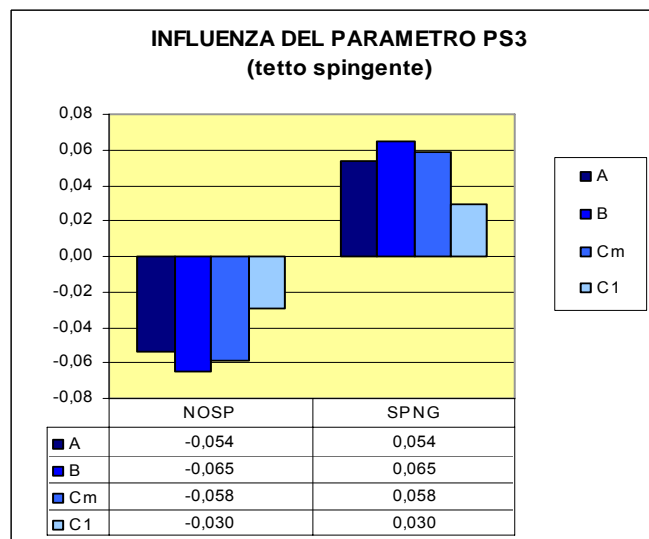


Fig. 1.8- Influenza del parametro struttura del tetto

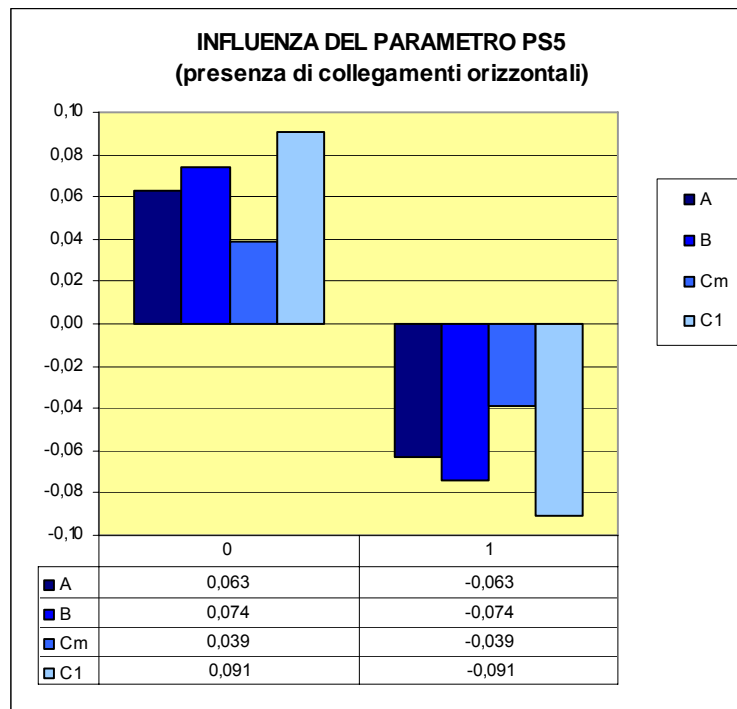


Fig. 1.9 - Influenza del parametro presenza di catene

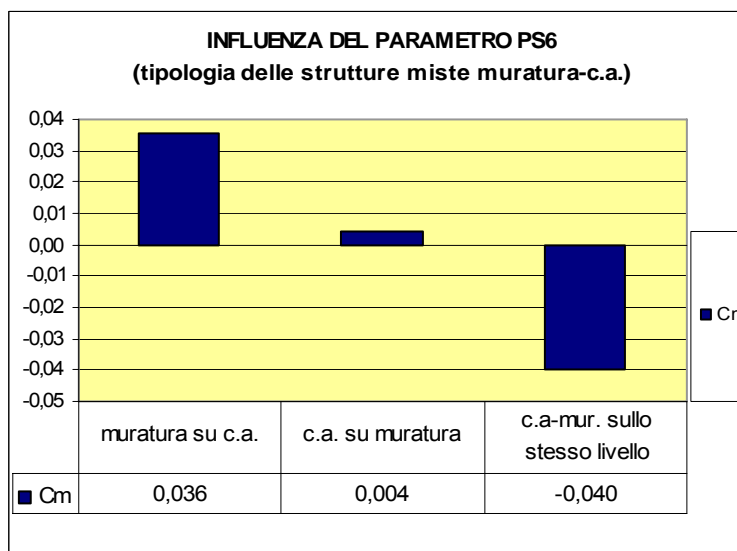


Fig. 1.10- Influenza del parametro tipo di struttura mista

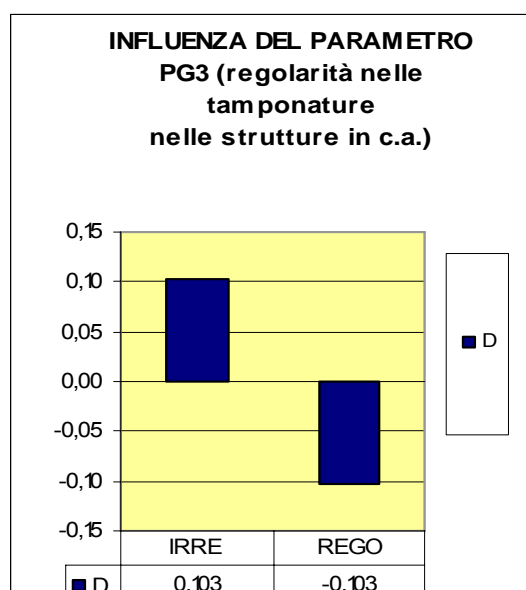


Fig. 1.11 - Influenza del parametro regolarità delle tamponature

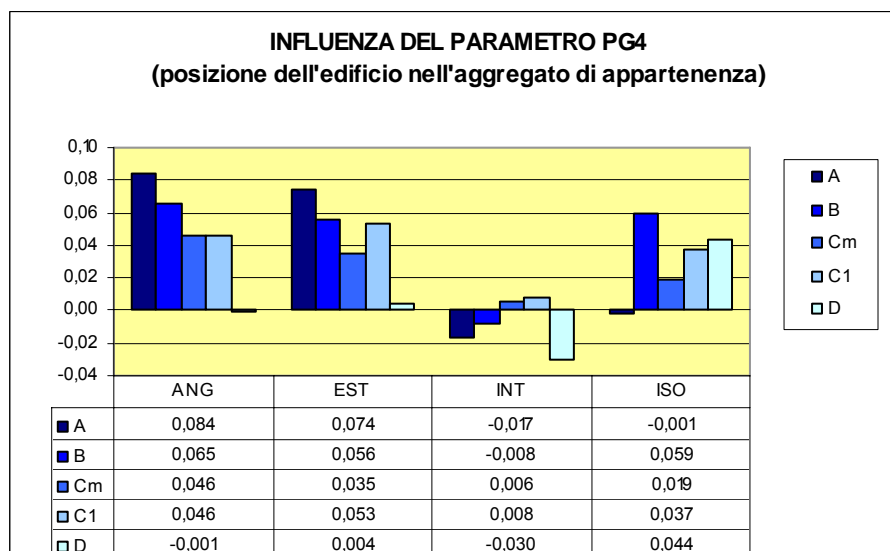


Fig. 1.12- Influenza del parametro posizione dell'edificio nell'aggregato

In questa ottica si sono quindi valutate le percentuali di variazione di SPD per tutti i parametri considerati, al fine di correggere la originale assegnazione alle classi di vulnerabilità.

La procedura di correzione della vulnerabilità per effetto di un singolo parametro " P_x " si può sintetizzare come segue:

1. ad ogni edificio si assegna una classe di vulnerabilità "verticale" EMS_v in funzione della struttura portante verticale;
2. si assume come punteggio di base il valore medio di SPD_v corrispondente alla classe EMS_v assegnata;
3. si moltiplica il punteggio di base per il coefficiente di influenza (positivo o negativo) corrispondente al valore del parametro " P_x " considerato;
4. si somma il valore così ottenuto al punteggio base di SPD e si ottiene in tal modo un punteggio "corretto" SPD.
5. si riassegna la classe di vulnerabilità in funzione del valore "corretto" di SPD, dal che ne deriva un possibile slittamento della classe di vulnerabilità rispetto a quella derivata dalla

sola struttura verticale. Gli intervalli di SPD attraverso i quali si definiscono le classi sono stati calibrati dall'analisi statistica del comportamento medio degli edifici raggruppati sulla base delle caratteristiche delle strutture verticali, (Tab. 1.5).

Tab. 1.5- Intervalli per l' assegnazione della vulnerabilità in funzione di Spd

A	B	C	D	E
-	2.0	1.7	1.4	1.0
2.0	1.7	1.4	1.0	-

Questa procedura permette di considerare l'influenza di un singolo parametro nella valutazione della vulnerabilità.

Qualora invece, come generalmente accade, si disponga di più parametri è possibile determinare la vulnerabilità complessiva tenendo conto della influenza combinata delle caratteristiche note. In proposito occorre osservare che non tutti i parametri possono essere considerati variabili indipendenti: ad esempio, se un edificio in muratura possiede solai in legno, probabilmente l'età della sua costruzione sarà anteriore al 1919; pertanto non sarebbe corretto, nel valutare il punteggio complessivo di vulnerabilità, sommare semplicemente la variazione determinata dalla presenza di solai in legno con quella determinata dall'età. Analogamente non sono indipendenti, ad esempio, la tipologia di copertura e la tipologia degli orizzontamenti, l'età ed il numero di piani etc. Si è pertanto definita una legge di correlazione che consenta di tener conto delle dipendenze reciproche fra i diversi parametri nella valutazione complessiva di vulnerabilità.

Dal punto di vista operativo si è costruita una matrice di non correlazione fra i parametri dipendenti. In altri termini:

- si è stabilito quali parametri possono essere considerati tra loro dipendenti
- per ogni coppia di parametri e per ogni possibile combinazione dei valori assunti dai parametri si è valutata, sul totale degli edifici considerati, la percentuale p_{ind} di edifici per i quali non si è osservata la contemporanea presenza della coppia di valori considerata.

La matrice così definita è una matrice di non-correlazione fra i parametri dipendenti q .

Tab. 1.6 - Matrice di non correlazione fra parametri dipendenti

		STROOP		STRORIZ					ETA						NFIAN		
		LEGGERA	PESANTE	DEFO	SEVIRIG	RIG	VOLT	VOSOL	< 1919	1919-1945	1946-1961	1961-1971	1971-1981	1981 >	1-2	3-4	5-6
NFIAN	1-2	0,4036	0,8469	0,7517	0,8111	0,8179	0,9264	0,9995	0,7444	0,8764	0,8118	0,9239	0,9405	0,9993			
	3-4	0,8482	0,9146	0,9061	0,9164	0,9344	0,9665	0,9982	0,8985	0,9633	0,9196	0,9678	0,9812	0,9981			
	5-6	0,9962	0,9884	0,9978	0,9893	0,9983	0,9977	0,9999	0,9978	0,9980	0,9903	0,9961	0,9985	0,9990			
	7-8	0,9998	0,9964	0,9999	0,9968	0,9999	0,9999	1,0000	0,9998	0,9998	0,9972	0,9991	0,9998	0,9997			
ETA	> 1919	0,6444	0,9576	0,8386	0,9755	0,8845	0,9343	0,9989							SYM		
	1919-1945	0,8568	0,9768	0,9476	0,9682	0,9357	0,9864	0,9989									
	1946-1961	0,8535	0,8944	0,9652	0,8359	0,9310	0,9921	0,9994									
	1962-1971	0,9626	0,9303	0,9903	0,9101	0,9910	0,9974	1,0000									
	1972-1981	0,9351	0,9830	0,9717	0,9786	0,9797	0,9930	1,0000									
	1982->	0,9997	0,9955	0,9999	0,9962	0,9999	1,0000	1,0000									
STRORIZ	DEFO	0,6699	0,9793						SYM						SYM		
	SEVIRIG	0,8415	0,7493														
	RIG	0,6340	0,9420														
	VOLT	0,8623	0,9743														
	VOSOL	0,9972	0,9993														
STR COP	LEGGERA			SYM					SYM						SYM		
	PESANTE																

La formula finale di valutazione della vulnerabilità combina fra loro tutti i parametri sommando le influenze dei singoli parametri indipendenti e quelle della media dei parametri dipendenti presi proporzionalmente ai coefficienti di non-correlazione.

$$SPD_{EMS} = SPD_{v_{EMS}} \left(1 + \sum_{s=1}^n q_s + \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m \delta_{i,j} (p_j + p_i) c_{i,j}}{m-1} \right) \quad (1.1)$$

dove

q = valore del parametro indipendente

p = valore del parametro dipendente

n = numero dei parametri indipendenti

m = numero dei parametri dipendenti

$c_{i,j}$ = coefficienti di correlazione (i.e. Tab. 1.6)

$\delta_{i,j}$ = operatore di Kronecker $\delta_{i,j} = 0$ se $i = j$, $\delta_{i,j} = 1$ se $i \neq j$

Si correggono così i valori dell'SPD medio relativo alla sola struttura verticale con le percentuali di SPD peggiorative o migliorative normalizzate rispetto al numero dei fattori di vulnerabilità considerati e presenti sul singolo fabbricato,

La procedura definita in tal modo consente di assegnare la classe di vulnerabilità EMS in automatico ad edifici di cui sia nota la tipologia strutturale verticale ed altre caratteristiche tipologiche (di struttura, geometria, età etc) anche con livello di informazione disponibile non omogeneo.

6. Calcolato il valore corretto di Spd atteso, in funzione di questo si assegna la classe di vulnerabilità secondo gli intervalli in .

Tab. 1.5 , in maniera del tutto analoga a quanto illustrato in precedenza per il caso del singolo parametro.

2 MIGLIORAMENTO DEGLI STRUMENTI DI ANALISI DELLA VULNERABILITÀ E DEL DANNO MEDIANTE SCHEDE DI ULTIMA GENERAZIONE (AEDES - MEDEA)

2.1 Introduzione

La valutazione del danno sugli edifici causato da un evento sismico costituisce problematica di centrale interesse nell'ambito della comunità scientifica. L'attenzione dei ricercatori è in particolare rivolta all'individuazione di criteri e metodi che consentano un'oggettività di valutazione, in base alla quale formulare le più idonee correlazioni tra il parametro di misura del cimento sismico ed il danno. Allo stato attuale esistono notevoli incertezze ed ambiguità sia nella definizione dei gradi di danno da assumere sia nell'identificazione dello stesso da parte degli operatori preposti alle campagne di sopralluogo. A questo si aggiunge che nella fase di emergenza post-sisma i tecnici sono spesso chiamati a prendere decisioni in merito all'effettiva agibilità degli edifici, pur non essendo ancora stati definiti criteri "oggettivi" in grado di fornire indicazioni sui livelli di sicurezza richiesti caso per caso.

Lo strumento attualmente utilizzato nelle campagne di sopralluogo post-sismiche è la nota scheda AeDES - *Scheda di I° Livello di Rilevamento Danno, Pronto Intervento e Agibilità per Edifici Ordinari nell'Emergenza post-sismica*, messa a punto tra il 1996 – 97 da un gruppo di lavoro congiunto Servizio Sismico Nazionale – Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti, che fu possibile testare per la prima volta in occasione dell'evento sismico umbro-marchigiano del 1997, benché ancora in una versione preliminare; in un secondo momento è stato predisposto un Manuale di compilazione della stessa (Baggio et al. 2002), allo scopo di formalizzare una definizione di agibilità condivisa in ambito scientifico, nonché di standardizzare procedure e metodologie di valutazione.

Per quanto attiene l'analisi del danno tale strumento, raccogliendo le esperienze maturate nel settore in un periodo oltre che ventennale, prevede un rilevamento delle caratteristiche del danneggiamento attraverso una definizione dell'estensione e del livello di gravità del danno, definito da variabili "linguistiche" e coerente con i livelli definiti all'interno delle scale macrosismiche. Questo approccio, che presenta notevoli vantaggi all'interno di un percorso speditivo di analisi del manufatto danneggiato, risulta in qualche modo carente allorché tale danno lo si voglia catalogare e quindi interpretare in termini di caratteristiche del quadro fessurativo e relativi meccanismi di collasso attesi. Tale processo valutativo, che senza dubbio rientra in un automatico ed imprescindibile percorso di analisi che ciascun rilevatore è chiamato a seguire in una valutazione di agibilità, non è presente, tuttavia, in maniera esplicita nell'attuale strumento di schedatura. Ciò a scapito di una possibile elaborazione statistica di dati, che più da vicino hanno a che vedere con una reale interpretazione strutturale del danno, ovvero con una sensibilità all'interpretazione del danno osservato attraverso criteri base sul comportamento delle strutture; ciò anche quale ausilio alle valutazioni di agibilità, oltre che come parametro di riferimento nell'ambito di valutazioni economiche del danno diretto in termini statistici.

In quest'ottica, viene proposta una metodologia speditiva di analisi del danno sismico (Zuccaro et al. 2002) attraverso il riconoscimento delle caratteristiche del quadro fessurativo presente correlato

ad un'interpretazione in termini di meccanismi di collasso. A tal fine, raccogliendo quanto ad oggi esistente come stato dell'arte sull'argomento, nonché le esperienze maturate sul campo dall'osservazione diretta di diverse casistiche di danneggiamento sismico, è stato messo a punto un manuale contenente abachi sintetici di riferimento in termini di tipo di danno ai diversi elementi strutturali e meccanismi di collasso. Questo approccio, ancora in via sperimentale, è stato codificato in uno strumento di raccolta dati sul campo (Scheda MEDEA), testato per la prima volta in un contesto di ricerca in occasione del terremoto del Molise, a supporto dell'attuale scheda di agibilità. Il lavoro che è qui esposto presenta le risultanze di tale attività.

2.2 L'analisi del danno attraverso i meccanismi di collasso: la scheda MEDEA

MEDEA (Manuale Di Esercitazioni sul Danno Ed Agibilità) nasce come uno strumento multimediale, indirizzato all'addestramento dei professionisti preposti alla raccolta dati sul danno sismico ed alla verifica di agibilità post-sismica su strutture edilizie ordinarie, che nella sua idea originaria si proponeva come: a) un manuale di base per una più omogenea categorizzazione sia dei singoli elementi strutturali, sia delle tipologie di danno per ciascuno di essi; b) uno strumento didattico da utilizzare in corsi di formazione indirizzati a tecnici preposti a verifiche di agibilità in fase di emergenza; c) uno strumento di supporto per una scheda di agibilità più avanzata rispetto alla scheda attualmente in uso; d) un supporto alle analisi macrosismiche sul campo.

L'intero prodotto è strutturato in modo che all'utente sia consentita una graduale acquisizione di conoscenza. Le diverse sezioni dello strumento didattico multimediale realizzano un percorso guidato di formazione in grado, per passi successivi, di creare nei fruitori una sensibilità sia di interpretazione delle caratteristiche tipologiche dell'edificio sia di interpretazione e valutazione del danno essenziali al giudizio finale di agibilità.

MEDEA è distinto in quattro sezioni principali, organizzate secondo un principio di continuità logica e strettamente interconnesse tra loro, grazie a funzionalità di ricerca, interrogazione e collegamenti ipertestuali. La parte centrale di MEDEA è costituita da un catalogo dettagliato dei principali danni ad elementi strutturali e non strutturali. La classificazione dei danni alle strutture degli edifici ordinari è accompagnata da una loro interpretazione in chiave di possibili meccanismi di collasso. Pertanto il catalogo è organizzato sulla base di regole logiche che indirizzano la identificazione del meccanismo più probabile.

L'*Abaco dei meccanismi di collasso* nasce da un accurato lavoro di sintesi, nell'ambito del quale si è cercato di classificare i principali meccanismi di collasso riconoscibili per una costruzione ordinaria in muratura. Sulla base di questa classificazione generale sono stati riconosciuti 16 differenti meccanismi di collasso correlati a danni sismici e descritti attraverso schemi di riferimento, note e foto. Gli abachi dei meccanismi sono riportati in Fig. 2.1 e Fig. 2.2, da cui è possibile desumere che i meccanismi di collasso sono stati distinti in:

- a) *meccanismi globali*, intendendosi con quest'accezione quei meccanismi che interessano la struttura nel suo complesso e, quindi relativi all'evolversi di quadri fessurativi in un numero di elementi sufficiente a determinare la totale compromissione dell'equilibrio statico e dinamico del sistema strutturale; tali meccanismi sono stati distinti in:
 - *meccanismi nel piano*: si manifestano quando le pareti della scatola muraria, sollecitate da azioni complanari in entrambi i versi, rispondono attraverso l'insorgere della classiche lesioni ad x, le quali evidenziano la formazione di bielle compresse diagonali. Tali meccanismi sono da ricondurre alla scarsa capacità di reagire a trazione del materiale murario;
 - *meccanismi fuori del piano*: si manifestano attraverso un cinematismo fuori del piano di una o più pareti della scatola muraria che, soggetta ad azioni sismiche, perde la propria configurazione originaria. L'insorgere di un simile meccanismo spesso denota il mancato ammorsamento fra i muri di facciata e quelli ortogonali, eventualmente favorito dall'azione spingente di solai e coperture;

- *altri meccanismi*: rientrano in questa categoria quei meccanismi che non sono direttamente riconducibili a meccanismi nel piano o fuori del piano, ma che comunque possono interessare la struttura nel suo complesso, dando vita a collassi globali (es. sfilamento delle travi del solaio, martellamento tra strutture adiacenti, etc.);






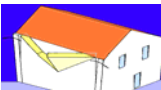




MECCANISMI GLOBALI					
1	Da Taglio della parete per azioni nel piano		2	Da Taglio della parete per azioni nel piano localizzato solo nella zona alta	
3	Da Ribaltamento della Intera Parete		4	Da Ribaltamento Parziale della Parete	
5	Da Instabilità (verticale) della parete		6	Da Rottura a flessione della parete	
7	Da Scorrimento di piano orizzontale		8	Da cedimento fondale	
9	Da irregolarità tra strutture adiacenti		10	Per sfilamento delle travi del solaio dalla parete di supporto	

Fig. 2.1 - Abaco dei meccanismi globali

b) *meccanismi locali*, intendendosi con quest'accezione quei meccanismi che interessano parti marginali della struttura ed il cui evolversi, pur pregiudicando il singolo elemento, in genere non compromette l'intero equilibrio strutturale; tali meccanismi sono stati distinti in:

- *meccanismi per dislocazioni locali*: sono quelli, per esempio, che si manifestano per cedimento di archi, piattabande o in porzioni di struttura caratterizzate da irregolarità strutturali di varia natura, cui spesso sono connesse significative variazioni di rigidezza (esempio: consolidamenti inopportuni, inserimento di strutture in cemento armato di rigidezza incongruente con quella delle murature, etc.). Il fenomeno comporta generalmente la disgregazione e l'espulsione del materiale nelle zone interessate;
- *meccanismi per elementi spingenti*: sono determinati dall'azione di singoli elementi che producono spinte orizzontali sulle strutture su cui insistono: sono esempi i puntoni di un tetto e le strutture voltate la cui azione spingente non sia contrastata da adeguati collegamenti.

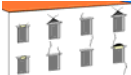



MECCANISMI LOCALI					
11	Per cedimento di achitravi e/o piattabande		12	Da irregolarità del materiale, debolezze locali, etc.	
13	Da ribaltamento della parete del timpano		14	Da ribaltamento della parte alta del cantonale	

Fig. 2.2- Abaco dei meccanismi locali

L'*Abaco dei danni* fornisce una classificazione dei principali danni riscontrabili a vista (danno osservato o apparente) per singoli elementi: strutture verticali, strutture orizzontali, scale, elementi non strutturali (23 tipologie di danno agli elementi verticali; 13 tipologie di danno agli elementi orizzontali; 7 tipologie di danno alle scale; 6 tipologie di danno agli elementi non strutturali)











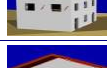



Ogni danno è descritto attraverso una scheda contenente schemi, commenti ed una rassegna iconografica illustrativa di livelli di gravità del danno crescente secondo una scala predefinita, coerente con i risultati delle ricerche di settore condotte in ambito GNDT-SSN.

Infine viene fornita un'ipotesi di associazione ad altre possibili evidenze di danno sull'elemento in esame o su altri elementi che siano tra loro congruenti rispetto ad un meccanismo di collasso scelto tra quelli di riferimento.

Quest'ultimo aspetto risulta senza dubbio tra i più interessanti, in quanto, pur non avendo la pretesa di essere esaustivo e rigorosamente certo, fornisce all'utente una chiave di lettura del singolo danno in termini globali rispetto alla risposta dell'intero sistema strutturale; ciò attraverso l'analisi in chiave diagnostica dell'intero quadro fessurativo, caratterizzato da evidenze di danno di diverso tipo, ma tutte compatibili rispetto un unico meccanismo. Il tentativo è, quindi, quello di fornire all'utente uno strumento che lo guidi nell'analisi della struttura attraverso associazioni successive tra i danni presenti in modo da riconoscerli come congruenti rispetto ad un possibile comportamento globale.

Nelle Fig. 2.3e Fig. 2.4 sono riportati gli abachi dei danni alle strutture verticali ed orizzontali, così come schematizzati in MEDEA, con le relative associazioni ai meccanismi di collasso.

Sulla base dell'approccio descritto è stato strutturato uno strumento di raccolta dati sul campo (Scheda MEDEA), che in combinazione con una "versione modificata" della scheda Aedes (Dolce et al. 2004) è stata utilizzata in una campagna di raccolta dati nel Comune di San Giuliano di Puglia; alcune utili osservazioni sull'analisi dei dati raccolti attraverso la scheda MEDEA sono illustrati al paragrafo 2.3.

Abaco dei danni alle strutture verticali			Meccanismi
V1		Lesioni ad andamento diagonale nei maschi murari	1, 6, 12
V2		Lesioni ad andamento diagonale localizzate ai livelli superiori nei maschi murari	2, 6
V3		Lesioni ad andamento diagonale in corrispondenza dei cantonali	1, 7
V4		Lesioni ad andamento diagonale a separare un angolo in sommità	2, 14
V5		Lesioni ad andamento diagonale a separare un angolo in basso	8
V6		Lesioni ad andamento diagonale nei parapetti sopra ed attraverso architravi di porte e finestre	4, 7, 11, 12, 14, 15
V7		Lesioni ad andamento diagonale che corrono lungo l'intera altezza dell'edificio tendendo verso gli angoli in basso	1
V8		Lesioni ad andamento diagonale nel timpano	1, 2
V9		Lesioni ad andamento verticale in corrispondenza di incroci tra muri (cantonali e/o croci di muro)	3, 4, 6, 10,
V10		Lesioni ad andamento diagonale nelle pareti trasversali e/o di spina	1, 2, 3, 4
V11		Deformazione permanente di catene e/o presidi d'ancoraggio fino a rottura di catene o sfilamento dell'ancoraggio stesso	1, 2, 3, 4, 6, 10
V12		Lesioni da distacco sul contorno del timpano del tetto	13
V13		Lesioni ad andamento verticale nei parapetti tra le aperture o nelle fasce di piano	4, 11, 12, 14, 15
V14		Lesioni ad andamento orizzontale in corrispondenza degli orizzontamenti	3, 4, 7,










V15		Lesioni ad andamento orizzontale in testa e/o al piede di maschi murari	1, 2
V16		Schiacciamento locale della muratura con o senza espulsione di materiale	1, 12, 16
V17		Lesioni diagonali a partire da discontinuità tra due edifici adiacenti (es: per differenza di quota tra due impalcati)	9, 12
V18		Lesioni ad andamento verticale lungo la linea di interfaccia tra due edifici adiacenti	9, 12
V19		Espulsione di materiale in corrispondenza degli appoggi di travi (a livello di piano e/o di copertura) dovuta a martellamento del solaio sulla parete	5, 10, 13, 15
V20		Deformazione nel piano della parete in direzione trasversale (spanciamento)	5, 6
V21		Fuori piombo/Rotazione incipiente della parete	3, 4, 16
V22		Lesioni diagonali per cedimento delle fondazioni	8
V23		Lesioni verticali per cedimento delle fondazioni	8

Fig. 2.3 - Abaco dei danni alle strutture verticali

Abaco dei danni alle strutture orizzontali			Meccanismi
H1		Lesioni in chiave nelle volte	16
H2		Lesioni alle reni nelle volte	16
H3		Lesioni al piede nelle volte	16
H4		Schiacciamento al piede nelle volte	16
H5		Lesioni trasversali nelle volte a botte	
H6		Lesioni da distacco delle volte dai muri	
H7		Sfilamento/rottura di catene o cedimenti incipienti di contrafforti o altri presidi di annullamento della spinta nelle volte	8, 16
H8		Lesioni parallele all'orditura di solai e coperture	1, 2, 3, 4, 5
H9		Lesioni ortogonali all'asse delle nervature di solai e coperture	
H10		Sfilamento dagli appoggi delle travi portanti e/o dei travetti secondari di solai e coperture	3, 4, 5, 6, 10, 13, 14, 15
H11		Cedimento degli appoggi e/o porzioni di muro a sostegno delle travi di solai e coperture	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 14, 15
H12		Lesioni da distacco dai muri	3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 15
H13		Perdita di verticalità delle capriate (per deformazione del piano di falda)	7

Fig. 2.4 - Abaco dei danni alle strutture orizzontali

2.3 Analisi dei dati raccolti mediante MEDEA per il Comune di San Giuliano di Puglia

La Scheda MEDEA ha consentito di raccogliere informazioni sui meccanismi di collasso incipienti riconoscibili sulle strutture danneggiate in muratura e di avanzare un'ipotesi sulla genesi

del collasso globale dell'edificio, raggiunto per l'innescarsi di vari meccanismi di collasso la cui sequenza è sensibilmente correlata alle caratteristiche tipologico strutturali del manufatto, oltre che a quelle intrinseche dei materiali impiegati.

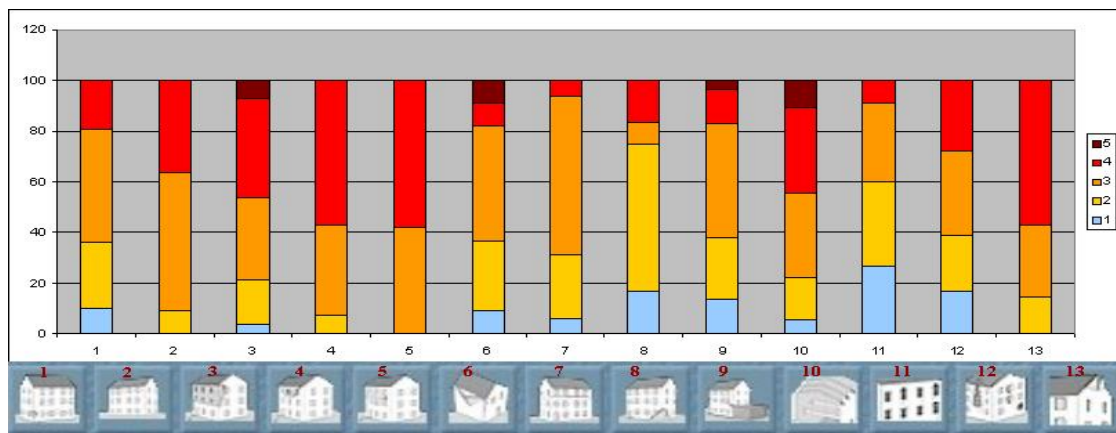


Fig. 2.5 - Frequenza delle tipologie di meccanismo di collasso osservate rispetto al danno globale.

Le elaborazioni dei dati raccolti sul campo hanno consentito in prima istanza di analizzare la correlazione tra i diversi meccanismi di collasso ed il danno globale agli edifici, informazione quest'ultima prevista nella "versione modificata" della scheda Aedes (Dolce et al. 2004). I risultati di tali elaborazioni sono diagrammati in Fig. 2.5, da cui si evince che ai meccanismi da ribaltamento (tipo 3, 4 e 5) rispetto a quelli nel piano (tipo 1 e 2) è associata una frequenza maggiore di danno globale elevato (D4-D5).

Quindi per ciascun edificio è stato individuato il meccanismo di collasso riconosciuto come prevalente (nel senso più avanti esplicitato al par. 2.4) e tali meccanismi sono stati raggruppati in quattro classi (nel piano, fuori del piano, altri meccanismi globali, meccanismi locali) al fine di valutare in modo sintetico la distribuzione di queste classi rispetto al danno globale; tali risultati sono mostrati in Fig. 2.6, dalla cui analisi si può osservare quanto segue:

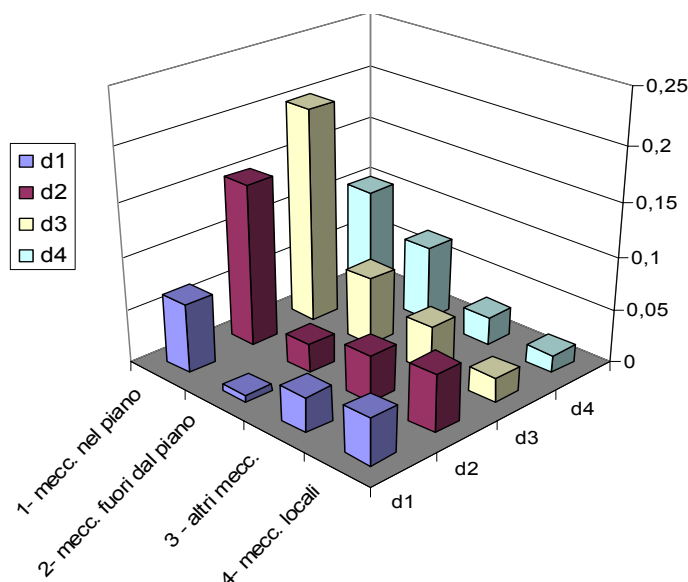


Fig. 2.6 - Frequenza dei meccanismi di collasso prevalenti suddivisi per classi rispetto al danno globale.

- c) i meccanismi nel piano (tipo 1 e 2) sono in generale i più frequenti e crescono in modo direttamente proporzionale al crescere del danno fino a raggiungere un massimo al danno D3 (circa del 20%); ciò dimostra la graduale entrata in gioco del meccanismo al crescere del

danneggiamento fino a D3. Si osserva poi una frequenza per D4 pari circa al 9 %. La constatazione di un picco per D3 ed un decremento per D4 non deve sorprendere se si assume che nel percorso di danneggiamento oltre D3 fino al collasso totale D5 è ragionevole pensare che si realizzino importanti dislocazioni responsabili dell'insorgere di altri tipi di meccanismo significativi, diversi da quelli nel piano;

- d) i meccanismi fuori del piano (tipo 3, 4, 5 e 6), si presentano con frequenze più basse rispetto a quelli nel piano e presentano un andamento crescente con il danno, ovvero risultano quasi assenti per danno D1 e circa pari al 6% per danno D4. Ciò conferma l'interpretazione data al punto precedente sulla genesi del collasso complessivo della fabbrica. In altri termini i meccanismi fuori del piano, tranne casi particolari, non si presentano ai gradi bassi di danno, laddove in prima battuta insorgono meccanismi nel piano, mentre diventano più frequenti in prossimità del collasso della struttura, ovvero quando la risposta alle azioni taglianti nei maschi murari è sensibilmente compromessa;
- e) gli altri meccanismi (tipo 7, 8, 9 e 10) così come i meccanismi locali intervengono con frequenze aventi un andamento a campana (con un picco rispettivamente in D3 e in D2) che ricalca l'andamento dei meccanismi nel piano, anche se con percentuali di frequenza sensibilmente inferiori.

In definitiva, osservando dalla Fig. 2.6 le frequenze dei meccanismi rispetto al danno, si può riconoscere una priorità nella comparsa dei meccanismi di collasso sulla fabbrica, che vede insorgere prima quelli nel piano, che rappresentano la prima risposta dell'edificio all'azione sismica, insieme alla contemporanea comparsa di altri meccanismi locali. Successivamente al crescere del danneggiamento globale, cui corrisponde un generale scompaginamento della scatola muraria, crescono anche i meccanismi del tipo fuori del piano fino al collasso totale, ove i meccanismi fuori del piano e quelli nel piano presentano probabilità comparabili di comparizione. Naturalmente molto gioca nella genesi del collasso appena delineata la qualità dei collegamenti tra le pareti e tra queste e gli orizzontamenti, oltre che il tipo di materiale utilizzato nella fabbrica.

2.4 Proposta per un indice di agibilità

E' stata messa a punto una metodologia di valutazione di un cosiddetto Indice di Agibilità I_A da associare all'edificio analizzato, sulla base dei dati raccolti con la scheda MEDEA. Tale metodologia è fondata sull'analisi del livello di evoluzione del meccanismo di collasso riconosciuto come prevalente per quell'edificio; essa prevede l'assegnazione di un punteggio ai possibili meccanismi riconosciuti per quell'edificio ed è connessa all'associazione tra i meccanismi presenti ed i danni rilevati.

Come già precisato nei paragrafi precedenti, infatti, MEDEA definisce una corrispondenza tra i meccanismi di collasso e le tipologie di danno ad essi compatibili; le associazioni illustrate nelle Fig. 2.3e Fig. 2.4, sono state formalizzate in una matrice di compatibilità, che è presentata in forma estesa in Fig. 2.7 e che è alla base della procedura di raccolta dati. Al rilevatore è, infatti, richiesto di individuare i possibili meccanismi di danneggiamento sull'edificio e per ciascuno di essi riconoscere la presenza dei danni tra quelli ritenuti come compatibili nello schema di cui alla Fig. 2.7, assegnando, tra l'altro, a questi danni rilevati un punteggio variabile tra 1 e 3 per livello di gravità crescente.

Si precisa, al riguardo, che è prevista la possibilità che il rilevatore possa evidenziare la presenza di danni "spuri", ovvero danni che egli non riesce ad attribuire in maniera esplicita ad alcun meccanismo; in tal caso, al netto dell'ipotesi che eventuali associazioni danni/meccanismi possano essere sfuggite alla valutazione esperta alla base di MEDEA (e questo potrà far parte di futuri sviluppi della ricerca, da condurre a valle di estese campagne di raccolta dati), ciò può essere attribuito a due differenti motivazioni: a) quel danno risulta così lieve o così isolato da non far temere l'attivarsi di un potenziale meccanismo; b) il rilevatore non è stato in grado di riconoscere da quei danni l'esistenza di un meccanismo. In questa seconda ipotesi, l'orientamento che si è inteso

seguire nella metodologia è quello di recuperare tali danni “spuri” nella procedura solo a condizione che essi abbiano una compatibilità tra loro e che l’assegnazione del meccanismo MEDEA sia univoca (ciò, naturalmente, significa che, affinché questa valutazione sia possibile, i danni spuri rilevati devono essere superiori ad uno).

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23
M1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
M4	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
M5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
M6	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M7	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
M9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
M10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
M11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M12	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
M13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
M14	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
M16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0

Fig. 2.7 - Matrice di compatibilità meccanismi/danni (alle strutture verticali)

La metodologia messa a punto consiste nell’attribuire ai diversi meccanismi di collasso riconosciuti dal rilevatore (oppure interpretati in automatico attraverso una valutazione esperta dei danni cosiddetti “spuri”) un punteggio che sia espressivo del grado di avanzamento del meccanismo stesso in una scala che va dall’attivazione iniziale al collasso. Ciò consente di riconoscere quello che può definirsi il meccanismo prevalente e di attribuire ad esso un valore sintetico, da interpretare nel senso di un Indice di Agibilità I_A dell’edificio.

A tale scopo, anche sulla base delle considerazioni esposte al paragrafo 2.3 si è associato ad ogni meccanismo un coefficiente di “importanza” C_I (Tab. 2.1), proporzionale alla potenzialità di quel meccanismo di condurre rapidamente al collasso. Ciò allo scopo di distinguere situazioni di collasso locale da condizioni di collasso totale e, nell’ambito di quest’ultimo, condizioni di danneggiamento da ascrivere allo sviluppo di meccanismi nel piano, che generalmente si associano ad una buona risposta dell’organismo strutturale, da quelle connesse allo sviluppo di meccanismi fuori piano, che sono indice di un equilibrio molto più instabile e che più rapidamente possono evolvere verso il collasso della struttura (vedi par. 2.3).

Tab. 2.1 - Coefficienti di importanza attribuiti ai meccanismi

Codice	Meccanismo	C_I
M1	Da taglio della parete per azioni nel piano	0.5
M2	Da taglio della parete per azioni nel piano localizzato solo nella parte alta	0.5
M3	Da ribaltamento dell’intera parete	1
M4	Da ribaltamento parziale della parete	1
M5	Da instabilità (verticale) della parete	1
M6	Da rottura a flessione della parete	1
M7	Da scorrimento di piano orizzontale	0.5
M8	Da cedimento fondale	0.5
M9	Da irregolarità tra strutture adiacenti	0.5
M10	Per sfilamento delle travi di solaio dalla parete di supporto	0.5
M11	Per cedimento di architravi o piattabande	0.25
M12	Da irregolarità del materiale, debolezze locali etc.	0.25
M13	Da ribaltamento della parete del timpano	0.25

M14	Da ribaltamento della parte alta del cantonale	0.25
M15	Da ribaltamento della fascia sottotetto	0.25
M16	Da rotazione di spalle di volte o archi	0.25

La procedura di valutazione dell'Indice di Agibilità I_A di un edificio è quindi articolata nei seguenti passi:

- a) si calcola il livello medio di danno associato al meccanismo *i-esimo* in riferimento ai danni ad esso compatibili osservati; quest'operazione viene effettuata per tutti i meccanismi di collasso riconosciuti dal rilevatore ed eventualmente per quelli interpretati in automatico attraverso una valutazione esperta dei danni cosiddetti "spuri":

$$\overline{Ld_i} = \frac{\sum_{j=1}^n Ld_{ij}}{k_i} \quad (2.1)$$

in cui

Ld_{ij} livello di gravità del danno j rispetto al meccanismo i , con un valore variabile tra 0 e 3
 n numero totale di danni dall'abaco MEDEA
 k_i numero di danni osservati tra i compatibili al meccanismo i

- b) si calibra ulteriormente il valore di cui al punto precedente, mediandolo con il valore massimo tra i punteggi associati ai danni compatibili con il meccanismo *i-esimo* e si ottiene:

$$Ld_i = \frac{\overline{Ld_i} + Ld_{\max}}{2} \quad (2.2)$$

essendo

$$Ld_{\max} = \text{Max} (Ld_i) \quad (2.3)$$

- c) quindi si calcola l'indice P_i , espressivo del livello di attivazione del meccanismo *i-esimo*;

$$P_i = Ld_i \cdot C_I \quad (2.4)$$

in cui

C_I coefficiente di importanza del meccanismo, di cui alla Tab. 2.1

- d) avendo individuato, quindi, quale meccanismo prevalente quello cui è associato l'indice P_i più elevato, si normalizza rispetto al massimo valore di Ld_{ij} pari a 3 e si ottiene l'Indice di Agibilità I_A dell'edificio, compreso fra 0 ed 1, come:

$$I_A = P_{i \max} / 3 \quad (2.5)$$

con

$P_{i \max}$ indice P_i associato al meccanismo riconosciuto come prevalente.

2.5 Risultati

La metodologia descritta al paragrafo precedente è stata applicata al set di dati raccolti nella campagna di sopralluoghi condotta sul comune di San Giuliano di Puglia (Dolce et al. 2004). Per tutti gli edifici rilevati con la scheda MEDEA è stato valutato l'Indice di Agibilità I_A così come rappresentato in Fig. 2.8.

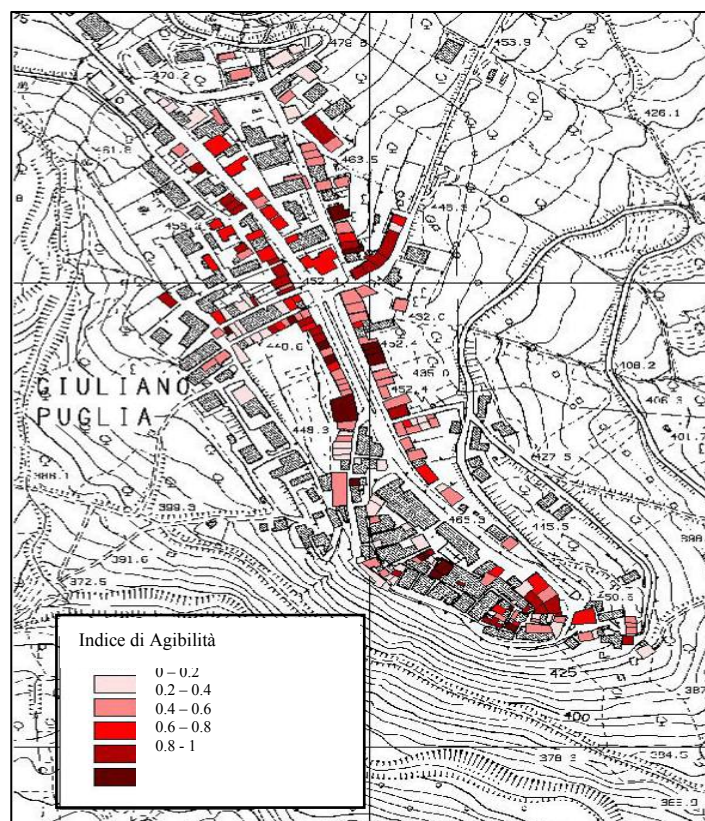


Fig. 2.8 - Distribuzione dell'Indice di Agibilità in San Giuliano di Puglia

Si fa osservare che tale indice è strettamente connesso ad una valutazione sullo stato di avanzamento del meccanismo prevalente, al fine di valutare se si sia attivato o meno un cinematisma e quanto la struttura sia distante dalla soglia del collasso. In altre parole tale indice dipende esclusivamente da una valutazione, in chiave diagnostica, del danno strutturale subito dal manufatto e mira ad orientare verso un giudizio sulla capacità prestazionale che l'edificio è ancora in grado di offrire. Questa valutazione naturalmente ha a che vedere con le condizioni di agibilità dell'edificio, ma a tale analisi sfuggono evidentemente alcuni elementi che comunque, nell'orientamento cui attualmente è ispirata la filosofia dell'agibilità nel nostro paese, concorrono a condizionare l'esito finale, quali situazioni connesse ad eventuali danni non strutturali, rischi indotti da circostanze esterne, condizioni di particolare vulnerabilità intrinseca del fabbricato, etc.

Ciò significa che, in questa impostazione metodologica, un confronto ideale tra i risultati ottenuti dalle elaborazioni di cui sopra e gli esiti di agibilità effettivi, quali sono risultati dai sopralluoghi condotti sul campo dalle squadre di rilevatori ufficiali coordinate dal COM, non ha di fatto una grossa rilevanza. Soprattutto se, in aggiunta, si considera che nel caso specifico di San Giuliano di Puglia gli esiti di agibilità sono stati in qualche misura condizionati dalla particolare situazione locale.

Comunque, dall'esame dei dati di cui alla Fig. 2.8 si è potuto rilevare che gli edifici cui corrisponde un Indice di Agibilità più basso sono quelli cui corrisponde un esito di agibilità (quale è risultato dal rilievo della campagna di sopralluoghi di cui al par. 2.3) di tipo A (Agibile) o B (Temporaneamente Inagibile, ma Agibile con provvedimenti di pronto intervento), piuttosto che un'inagibilità secca di tipo E (secondo le definizioni della nota scheda AeDES).

Nella Tab. 2.2 si mettono a confronto, in riferimento agli edifici cui è stato associato un esito di inagibilità E, il danno globale osservato con gli intervalli dell'Indice di Agibilità calcolato.

Da un primo esame dei dati, da validare comunque in ulteriori campagne di sopralluoghi, risulta che per $I_A > 0.44$ con buona probabilità l'edificio risulta inagibile.

Naturalmente, tenuto conto del forte grado di danneggiamento complessivo del Comune di S.Giuliano di Puglia, sarebbe auspicabile disporre di analoghe rilevazioni comparate in Comuni meno colpiti, ove si possano riscontrare delle condizioni di distribuzione del danno e dell'agibilità più variegate.

Tab. 2.2 - Intervallo di Variazione di I_A e del danno globale D_G per gli edifici con esito di Agibilità E

Edifici non Agibili	Danno Globale D_G	I_A	Media	Dev. standard
Esito E	D3	0,44 – 0,78	0,607	0,105
Esito E	D4	0,6 – 0,94	0,774	0,099

Sulla base delle considerazioni precedentemente esposte e tenuto conto del significato attribuito all'Indice di Agibilità I_A , appare evidente che quest'ultimo risulti meglio correlato al danno piuttosto che all'esito di agibilità effettivo. In tal senso, più interessante è risultato, quindi il confronto tra I_A ed il danno globale D_G rilevato sul campo con l'ausilio della scheda "AeDES modificata (Dolce et al. 2004).

Dal confronto, eliminando alcuni record palesemente inattendibili per probabili errori di rilevazione, è emersa una incoraggiante corrispondenza; in particolare in Tab. 2.3 sono riportati per ciascun livello di danno globale (da D1 a D4, in quanto dall'analisi sono state escluse le situazioni di assenza di danno – D0 – e di collasso totale – D5) i valori minimi e massimi di I_A , nonché di media e deviazione standard.

Tab. 2.3 - Valori I_A rispetto al danno globale D_G

Danno Globale D_G	Minimo	Massimo	Media	Dev. standard
D1	0,063	0,333	0,161	0,064
D2	0,111	0,667	0,264	0,146
D3	0,333	0,778	0,533	0,143
D4	0,563	0,944	0,794	0,128

Si sono diagrammate le Gaussiane corrispondenti ai valori statistici di variazione riportati in Tab. 2.3; su tale grafico si è sovrapposto il valore di $I_A = 0.44$ individuato, dagli esiti di Tab. 2.2 quale "soglia di riferimento" per l'agibilità. Le funzioni di probabilità sono state troncate e normalizzate ad 1 all'interno dell'intervallo di ammissibilità dell'Indice di Agibilità.

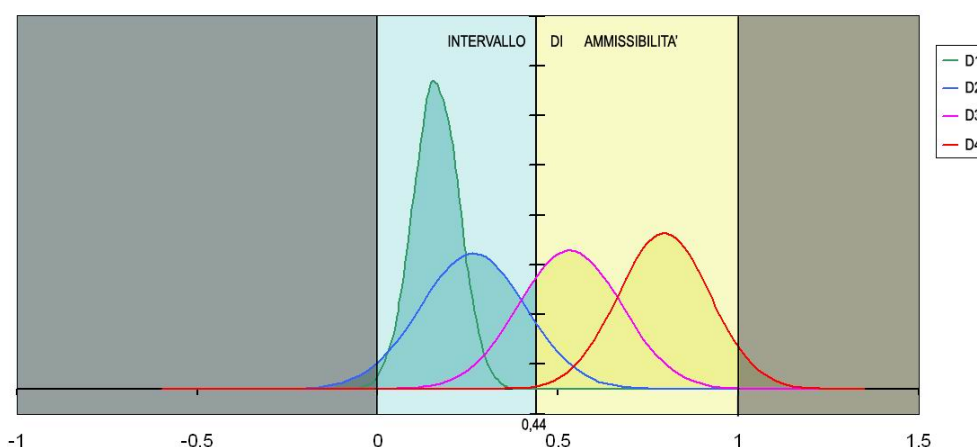


Fig. 2.9 - Distribuzione dell'Indice di Agibilità per i vari livelli di danno globale osservato

Si osserva dalla Fig. 2.9 che il valore del limite inferiore dell'Indice di Agibilità desunto dai pochi dati a disposizione, fissato in $I_A = 0.44$, trova tuttavia una sua coerenza nella correlazione con l'indice di danno globale. Infatti la quasi totalità della distribuzione del danno D4 e la maggior parte del danno globale D3 cadono al di sopra di $I_A = 0.44$, mentre al di sotto di tale valore troviamo parte della distribuzione D3, quasi la totalità di D2 e tutta la distribuzione D1. Si osserva anche che per

livello di danno D1 o D4 le campane raffiguranti la distribuzione di I_A risultano più strette ovvero con varianze inferiori che mostrano la forte correlazione tra danno ed Indice di Agibilità. In Fig. 2.10 si consegnano le prime stime di probabilità che una struttura che sperimenti un assegnato danno globale sia dichiarata agibile così come desunte dalle correlazioni tra I_A ed il danno globale di Fig. 2.9.

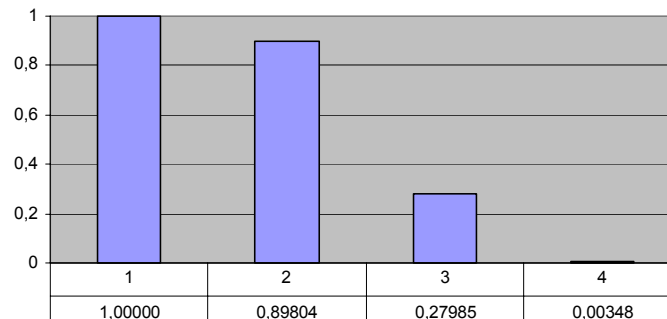


Fig. 2.10 - Probabilità che un edificio che sperimenti un assegnato livello di danno globale sia agibile

Il grafico di Fig. 2.10 individua una prima stima della distribuzione degli edifici agibili aventi danno globale (secondo la scala EMS 98) incluso tra D1 e D4. L'analisi dei dati raccolti per il comune di S. Giuliano di Puglia ha, infatti, consentito di valutare un primo valore di riferimento I_A da assumere quale valore di soglia, nonché delle distribuzioni probabilistiche del danno globale rispetto all'Indice di Agibilità. Naturalmente sia il parametro di soglia che le distribuzioni di probabilità presentano ampi margini di miglioramento, attraverso l'elaborazione di set di dati più corposi e più robusti. Ciononostante la procedura illustrata individua un interessante approccio per una valutazione speditiva dell'agibilità in emergenza post-sismica, anche finalizzata ad una prima stima economica dei costi in emergenza; tenuto conto, tra l'altro, che le inagibilità cui ci riferisce sono quelle strettamente connesse a cause strutturali, e quindi sono quelle più significative sotto il profilo dell'impatto dell'evento in termini di danni economici al patrimonio edilizio e numero di senzatetto. La possibilità di stabilire una correlazione in termini probabilistici tra percentuale di edifici inagibili e danno globale, che com'è noto è un parametro di facile e veloce valutazione nell'ambito di campagne speditive di sopralluoghi, potrebbe rappresentare un traguardo di un certo interesse per una prima speditiva stima di agibilità su un territorio colpito da un evento.

Si è tentata una valutazione analoga a quella appena descritta, valutando per ciascun edificio rilevato un indice di danno medio d_m , attraverso l'elaborazione dei dati di cui alla sezione 4 (Fig. 2.11) della scheda Aedes - danni ad elementi strutturali (Baggio et al. 2002).

Livello - estensione Componente strutturale - Danno preesistente		DANNO ⁽¹⁾									
		D4-D5 Gravissimo			D2-D3 Medio grave			D1 Leggero			Nullo
		> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Strutture verticali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
2	Solai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
3	Scale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
4	Copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
5	Tamponature-tramezzi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
6	Danno preesistente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>

Fig. 2.11 - Sezione 4 della scheda AeDES – Danni ad elementi strutturali

Si precisa che per la valutazione di d_m si è considerato separatamente il danno alle strutture verticali (riga 1) ed il danno alle strutture orizzontali (riga 2), assumendo come valore di riferimento il

maggiore tra i due. In particolare tale danno è stato valutato partendo dall'ipotesi di base di un livello di gravità decrescente linearmente, nell'ambito di ciascun intervallo di danno, dal danno gravissimo D4-D5 con estensione $> 2/3$ (colonna A) fino al danno leggero D1 con estensione $< 1/3$ (colonna I), associando a ciascuno di essi un valore normalizzato P_d rispetto alla combinazione ritenuta più penalizzante (A + F), così come riportato in Tab. 2.4.

Tab. 2.4 - Attribuzione dei valori di base alle condizioni di danno “puro” previste dalla scheda

Danno da sezione 4	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Valore di partenza	100	80	60	50	30	20	15	10	5
Valore normalizzato P_d	83,33	66,67	50,00	41,67	25,00	16,67	12,50	8,33	4,17

Da queste attribuzioni di base si è passati ai valori P_d corrispondenti a ciascuna delle combinazioni possibili consentite dalla compilazione in multiscelta della scheda, e quindi, fissate delle soglie di riferimento, ai corrispondenti valori di d_m assunto variabile, come l'indice di danno globale, tra 0 e 5 (Tab. 2.5).

Tab. 2.5 - Valori di d_m rispetto al punteggio P_d derivante dalla combinazioni possibili dei danni

Valore di P_d	$90 \leq P_d$	$60 \leq P_d < 90$	$25 \leq P_d < 60$	$10 \leq P_d < 25$	$P_d < 10$
Valore di d_m	5	4	3	2	1

Elaborando i dati attraverso il procedimento sopra descritto, si è valutato per ciascun edificio l'indice di danno medio d_m e lo si è confrontato, come già fatto per il danno globale, con l'Indice di Agibilità I_A ; dal confronto è emersa la corrispondenza illustrata in Tab. 2.6.

Tab. 2.6 - Valori di I_A rispetto al danno medio d_m

Danno medio d_m	Minimo	Massimo	Media	Dev. Standard
d1	0,062	0,667	0,216	0,139
d2	0,111	0,916	0,306	0,173
d3	0,125	1	0,523	0,215
d4	0,5	1	0,756	0,158

Come per il danno globale si sono diagrammate, in Fig. 2.12, le Gaussiane corrispondenti ai valori statistici di variazione riportati in Tab. 2.6 su cui si è sovrapposto il valore di $I_A = 0.44$ individuato, dagli esiti di Tab. 2.2, quale “soglia di riferimento” per l'agibilità.

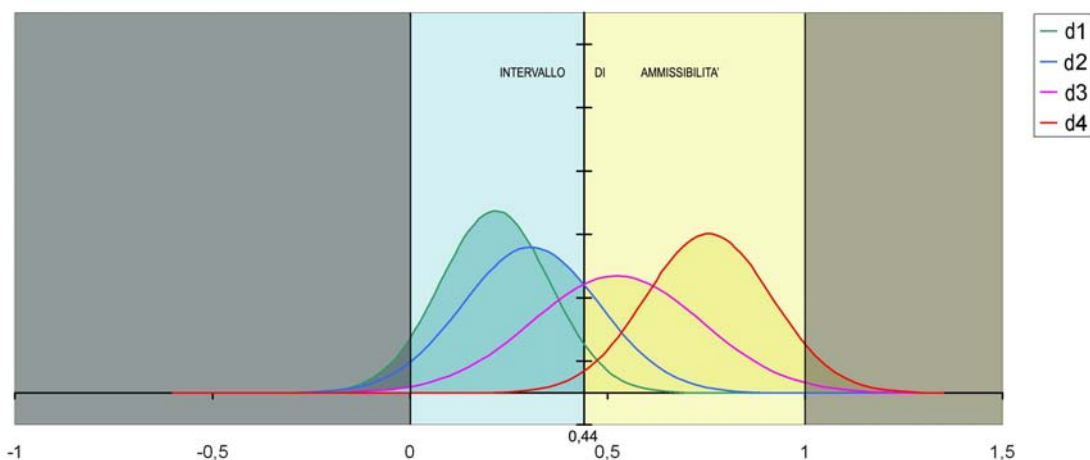


Fig. 2.12 - Distribuzione dell'Indice di Agibilità per i vari livelli di danno medio AeDES osservato

I grafici di Fig. 2.12 mostrano una maggiore sovrapposizione tra le distribuzioni del danno rispetto all'Indice di Agibilità. Tale maggiore ambiguità tra I_A e danno AeDES, specie per i livelli di danno

basso (D1 e D2), può essere attribuita all'accorpamento dei livelli di danno previsti dalla scheda AeDES (vedi Fig. 2.11). Ciò significa che tale indice di danno, tra l'altro non di immediata e speditiva valutazione sull'edificio, più difficilmente si presta, rispetto al danno globale, a valutazioni ed utilizzi del tipo descritto in precedenza.

2.6 Osservazioni

La procedura si propone di offrire uno strumento atto ad agevolare le valutazioni di agibilità sulla base dell'interpretazione dei meccanismi di collasso incipienti osservati sulle costruzioni in muratura danneggiate a seguito di un evento sismico. A partire dalla classificazione dei meccanismi e dai danni ad essi compatibili proposta da MEDEA (Papa et al. 2001) si è introdotto un Indice di Agibilità in grado di dare un orientamento rispetto allo stato della costruzione nel percorso che porta la struttura dallo stato di equilibrio pre-evento all'eventuale collasso.

La procedura, calibrata su un primo set di dati disponibili raccolti a San Giuliano in occasione dell'ultimo evento sismico in Molise (2002), ha mostrato incoraggianti risultati.

L'Indice di Agibilità I_A , lungi dal proporsi come un mero automatico strumento di valutazione dell'agibilità che sempre rimane a carico della professionalità ed esperienza dei singoli tecnici preposti alle verifiche statiche di agibilità, offre all'attenzione degli operatori e dei ricercatori un ulteriore parametro di valutazione euristico tra edifici colpiti da un evento sismico, ancor più se meglio calibrato attraverso ulteriori set di dati.

Inoltre, sviluppi futuri in grado di definire un più robusto valore di soglia e più raffinate distribuzioni di probabilità del danno globale rispetto all'Indice di Agibilità, rappresentano un interessante prospettiva per pervenire a stime speditive di agibilità su un territorio colpito da un evento, anche finalizzate ad una prima quantizzazione dei costi in emergenza.

3 MIGLIORAMENTO DELLE VALUTAZIONI DI VULNERABILITÀ DELLE STRUTTURE IN C.A. DIFFERENZIALI IN CLASSI TIPOLOGICHE.

La metodologia messa a punto sfrutta le peculiarità tipiche degli edifici in c.a. progettati per soli carichi verticali o con norme sismiche di vecchia generazione, per fissare un meccanismo di collasso molto probabile rispetto al quale è più agevole effettuare sia i rilievi necessari alla determinazione delle caratteristiche geometriche e meccaniche che hanno maggiore influenza sul comportamento sismico, sia i calcoli per la determinazione della resistenza sismica.

La metodologia, denominata VC (Vulnerabilità degli edifici in Calcestruzzo armato), è stata implementata in ambiente Windows Excel, utilizzando procedure in Visual Basic, ed è stata estesamente utilizzata nella valutazione di edifici scolastici di molte zone d'Italia, soprattutto della Basilicata e del Molise, supportandola con rilievi e caratterizzazioni sperimentali dei materiali.

I dettagli della procedura di analisi sono descritti in maniera esauriente nella documentazione relativa ai prodotti del Task 2.

La stessa procedura è stata verificata rispetto a risultati sperimentali relativi a prove su tavola vibrante di modelli in grande scala. Ciò ha permesso di migliorarne le capacità di valutazione, grazie anche alla ricalibrazione di alcuni parametri fondamentali. I modelli sperimentali ben rappresentavano tipologie edilizie degli anni '70, con strutture progettate per sostenere soli carichi verticali, seppur su una casistica piuttosto limitata.

In altre attività di ricerca svolte per conto del Dipartimento della Protezione Civile, sono stati studiati progetti di edifici in c.a. costruiti in varie epoche e in varie regioni, svolgendo estese analisi parametriche in campo non lineare, che prendevano in considerazione caratteristiche diverse delle strutture a telaio, tipiche di edifici degli anni '60 – '70. Si sono considerati telai con travi emergenti o con travi a spessore, con tamponature a tutti i piani, o assenti al piano terra o, ancora, assenti a tutti i piani, riproducendo così condizioni di irregolarità tipiche quali quelle illustrate in Fig. 3.1.

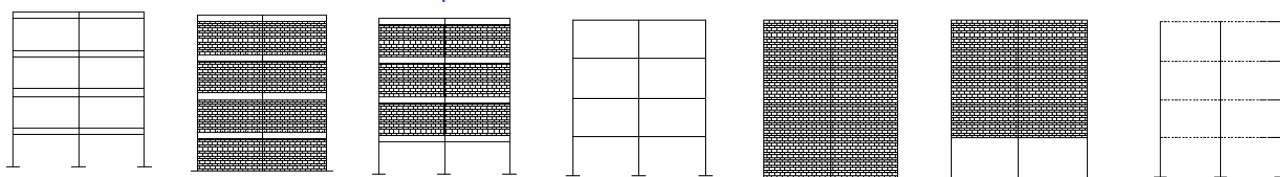


Fig. 3.1 - Tipologie strutturali prese in esame (telai con travi emergenti, con travi a spessore, con solai)

A partire da questi risultati, nell'ambito del presente progetto, si sono confrontati gli esiti della metodologia messa a punto nel Task 2 (v. prodotto 13) con i risultati dell'indagine numerica, per verificarne l'affidabilità nell'applicazione agli edifici ordinari.

La descrizione delle tipologie strutturali prese in esame e gli esiti del confronto sono riportati, per unitarietà di trattazione, nella documentazione relativa ai prodotti del task 2. Occorre qui sottolineare come tali esiti abbiano confermato il buon accordo tra i risultati delle simulazioni dinamiche non lineari e quelli della procedura VC, confermando la validità della procedura e la sua applicabilità agli edifici residenziali esistenti, per lo più progettati per sostenere i soli carichi verticali.

4 INVENTARIO DELLE DISTRIBUZIONI TIPOLOGICO STRUTTURALI DEL PATRIMONIO EDILIZIO

4.1 Introduzione

L'obiettivo di questa sezione del progetto di ricerca consiste nella definizione di una distribuzione degli edifici in classi tipologiche di vulnerabilità per ciascuno dei Comuni italiani. A tale proposito è importante considerare che l'unico tipo di dato ad oggi disponibile per l'intero territorio nazionale è il dato ISTAT sulle abitazioni rilevato in occasione del censimento 1991, che pertanto rappresenta la base dati di riferimento per tutte le elaborazioni svolte. In particolare si sono utilizzate come dato di partenza le elaborazioni ISTAT su popolazione ed abitazioni del Servizio Sismico Nazionale.

Il dato ISTAT è notoriamente un dato "povero" di informazioni sulla tipologia strutturale; pertanto questo dato è stato posto a confronto con un data-base riferito ad un ampio campione di edifici censiti nell'ambito di campagne di rilevamento effettuate nel corso degli anni passati. Dal confronto fra le due banche dati si estrapolano le distribuzioni di vulnerabilità per ogni Comune, mediante la procedura esposta nel seguito.

4.2 Integrazione ed ampliamento delle banca dati esistente di inventario delle distribuzioni tipologico strutturali

Precedenti progetti congiunti Servizio Sismico Nazionale (DPC)-Gruppo Nazionale Difesa Terremoti rendevano disponibile una banca dati riferita ad un inventario di edifici (distribuiti in classi di vulnerabilità) per un campione di 78 Comuni. Nell'ambito del presente progetto, questa banca dati è stata integrata ed ampliata grazie alla disponibilità di ulteriori dati, raccolti con scopi diversi e con differenti schede di rilevamento nel corso di varie campagne di studio. Tali dati non erano mai stati utilizzati in maniera unitaria; pertanto ci si è posti l'obiettivo di recuperarli e sistematizzarli in un data-base unitario.

Le banche dati utilizzate sono:

1. Campagne di rilevamento post-sisma

- Rilievo post-sisma *IRPINIA 1980* (*scheda Irpinia '80*)
- Rilievo post-sisma *ABRUZZO 1984* (*scheda Abruzzo '84*)
- Rilievo post-sisma *PARMA 1983* (*scheda GNDT – GNDT 9/86*)
- Rilievo post-sisma *SICILIA 1990* (*scheda GNDT – GNDT 9/86*)
- Rilievo post-sisma *MARCHE 1997* (*scheda AeDes 9/97*)
- Rilievo post-sisma *POLLINO 1998* (*scheda AeDes 5/2000*)
- Rilievo post-sisma *MOLISE-PUGLIA 2002* (*scheda AeDes 5/2000*)
- Rilievo post-sisma *ETNA 2002* (*scheda AeDes 5/2000*)

2. Campagne di rilevamento per realizzazione inventario edifici

- Rilievo degli edifici della città di Catania (*scheda Catania*)
- Campagna di rilevamento L.S.U. (dati informatizzati dalla società GEODATA) (*scheda speditiva*)

- Campagna di rilevamento L.S.U. (dati informatizzati dall'Unità di Ricerca GNDT/AQ) *(scheda speditiva)*
- Campagna di rilevamento dei centri storici dei comuni del Matese nella Regione Molise *(scheda speditiva)*
- Campagna di rilevamento dell'area Flegrea
- Campagna di rilevamento nei Comuni Vesuviani

In dettaglio:

Rilievo post- sisma degli eventi sismici Umbria-Marche

La banca dati comprende un gran numero di edifici danneggiati in occasione del sisma Umbro-Marchigiano del 1997. In particolare gli edifici presenti nel data-base si riferiscono a circa 200 comuni distribuiti nelle province di Pesaro, Ancona, Macerata ed Ascoli Piceno.

Va sottolineato che per nessuno di questi comuni si dispone del dato completo relativo all'intero edificato, in quanto nel data-base sono presenti unicamente gli edifici danneggiati e manca qualsiasi informazione relativa agli edifici con danno nullo. Ciò significa che per la maggior parte dei Comuni si dispone di un campione di edifici piuttosto limitato.

La scheda di rilevamento utilizzata è la "Scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento ed agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica" nella versione 09-97.

Campagna di rilevamento LSU – dati GEODATA

Nell'ambito della campagna di rilevamento di diversi progetti L.S.U., svolti a partire dal 1986, sono stati rilevati numerosi edifici utilizzando la scheda speditiva tratta da quella GNDT 9/86 semplificata.

La società GEODATA, incaricata dal D.P.C. di informatizzare i dati rilevati e di georeferenziare in formato G.I.S. gli edifici esaminati, ha fornito quanto informatizzato al momento dello svolgimento del progetto. I dati sono stati forniti sotto forma di G.I.S., in formato ArcView.

Sono stati selezionati 33 Comuni tra quelli completati al momento dello svolgimento del progetto SAVE..

Si precisa che di questi Comuni quattro erano già presenti in altri data-base, e precisamente: S.Giuseppe Vesuviano, Cercola e Trecase (presenti nel DB dei Comuni vesuviani) e Cercepiccola (presente nel DB dei Comuni del Matese).

Per ognuno dei Comuni sono stati analizzati i dati disponibili, sia quantitativamente che qualitativamente:

- è stata verificata la posizione sul territorio comunale degli edifici rilevati in rapporto alla perimetrazione delle località ISTAT e delle zone censuarie, al fine di individuare zone ove fosse possibile un confronto omogeneo con i dati ISTAT;
- è stata analizzata la completezza del set di dati raccolti in rapporto al totale degli edifici del Comune o della località di riferimento, valutando caso per caso l'effettiva rappresentatività del campione rilevato;
- i dati, forniti separatamente per i singoli comuni, sono stati riorganizzati in un unico data-base. Purtroppo tali dati risultavano informatizzati con criteri disomogenei (tracciati record differenti per i diversi comuni, codici alfanumerici non compatibili con quelli riportati nelle schede, etc.), il che ha richiesto un paziente lavoro di ricodifica ed omogeneizzazione dei formati, con l'eliminazione dei dati palesemente incongruenti.

A seguito di questo lavoro si sono individuati i Comuni considerati utilizzabili ai fini dell'aggiornamento dell'inventario del patrimonio edilizio, che sono evidenziati in Tab. 4.1.

Tab. 4.1 – Selezione dei Comuni utilizzati del rilevamento LSU ed informatizzazione GEODATA

COMUNI GEODATA						
cipc	utile	Nome	schede mur	schede ca	abitanti	Classe popol.
62004	ok	Apollosa	420	162	2750	1
61007	ok	Bellona	677	254	5109	2
65016	quasi tutto il centro	Bracigliano	253	88	5227	2
61016	solo una sezione	Carinaro	194	19	6350	2
61103	solo pochi edifici	Casapesenna	150	36	6461	2
69017	ok	Casoli	665	112	5971	2
68011	ok	Cepagatti	401	238	9093	2
62022	ok	Ceppaloni	7013	136	3396	1
70018	MAT	Cercepiccola	295	16	727	1
63026	VES	Cercola	409	194	18572	3
66045	ok	Gagliano Aterno	524	4	313	1
63034	solo parte del centro sez. non identificate	Giugliano in Campania	3094		91265	4
69043	ok	Guardiagrele	799	23	9903	2
69048	ok	Lettopalena	357	41	409	1
68022	ok	Manoppello	623	264	5630	2
61052	ok	Mondragone	515	35	24028	3
70041	ok	Montagano	673	19	1248	1
63050	piccola parte del centro sez. identificate	Nola	469		32721	3
68027	pochi edifici	Penne	77	33	12486	3
61060	ok	Pignataro Maggiore	418		6472	2
66072	non referenziato correttamente	Pizzoli	624	160	3021	1
66082	ok	Rocca di Mezzo	698	225	1426	1
63067	VES	San Giorgio a Cremano	384	359	52807	4
63068	VES	San Giuseppe Vesuviano	1672	260	23152	3
78123	ok	San Marco Argentano	420	92	7646	2
62068	ok	San Salvatore Telesino	492	90	3695	1
67041	piccola parte del centro sez. non identificate	Teramo	801	98	47935	3
63091	VES	Trecase	955		9179	2
69096	ok	Treglio	123	3	1236	1
69099	piccola parte del centro-sez. non identificate	Vasto	1342	32	35116	3

Campagna di rilevamento LSU – dati GNDT-AQ

Parte dei dati raccolti nella campagna LSU sono stati informatizzati dall'unità di ricerca GNDT-AQ.

I comuni presenti nel data-base sono 79, di cui 13 già presenti nel set di comuni fornito da GEODATA. Questo set di dati non presenta i problemi di informatizzazione e di codifica del set dati GEODATA; tuttavia la raccolta dati copre solo un campione dell'edificato del Comune. Pertanto, ove non è stato possibile reperire la cartografia di riferimento con la localizzazione degli edifici schedati non si è potuto operare alcuna estrapolazione statistica all'intero Comune; sono stati considerati solo 21 comuni dei 79 inclusi nel DB di questi, solo 3 (in grassetto in Tab. 4.2) sono stati utilizzati.

Tab. 4.2 - Selezione dei Comuni utilizzati del rilevamento LSU ed informatizzazione GNDT-AQ

COMUNI GNDT-AQ con cartografia			
NOME	CIPC	utile	schede mur
Cansano	66018	solo parte della sez. cens. 1	105
Castelluccio Inferiore	76022	centro quasi completo - presente per intero nel DB POLLINO	436
Chiaromonte	76028	sez. cens. 2,3,4,complete, parte delle sez. cens. 1,5,6 (probabilmente c'è quasi tutto l'abitato)	268
Civitella Messer Raimondo	69024	Centro quasi completo (sez. cens.1)	126
Lauria	76042	POLLINO	605
Mattinata	71031	sez. cens. 1,5 complete sez. cens. 2,3,4,5,6,7 parziali sez. cens. cens. 8 manca	680
Monte Sant'Angelo	71033	sez. cens. 2,3,4,5,6,7,8 ok sez. cens. da 9 a 18 mancano	1070
Montemarano	64058	sez. cens. 3 tutta –sez. cens. 2 parziale	305
Noepoli	76055	sez. cens 1,2 ok sez. cens.ioni 3,4,5 mancano.	318
Pennapiedimonte	69064	OK	231
Pescocostanzo	66070	parte del centro	247
Pizzoferrato	69066	OK	132
Rocca Pia	66083	solo parte della sez. cens. 1 che coincide con il centro	145
Roccamorice	68034	quasi tutta la sez. cens. 1 manca la sez. cens. 2	175
San Giorgio Lucano	77025		396
San Giovanni Rotondo	71046	solo sez. cens. 1 e 2 (il centro ne ha 38)	729
Senise	76085	solo sez. cens. 1 (il centro ne ha 13)	373
Summonte	64105	OK	118
Taranta Peligna	69089	solo pochi edifici	103
Terranova di Pollino	76088	solo metà della sez. cens. 1 e della sez. cens.2 (che formano il centro)	326
Tione degli Abruzzi	66100	quasi tutta la sez. cens. 1 che coincide col centro	218

Per ognuno dei Comuni sono stati analizzati i dati disponibili, sia quantitativamente che qualitativamente, in modo del tutto analogo a quanto fatto per i comuni del set GEODATA.

Va sottolineato che l'unità di ricerca GNDT-AQ ha fornito anche 11 cartografie per i Comuni di Caldera, Capitignano, Castel Saraceno, Cersosimo, Episcopia, Francavilla sul Sinni, San Costantino Albanese, Sanseverino, Teana, Valsinni, per i quali tuttavia non si sono reperiti i dati rilevati.

Campagna di rilevamento dei centri storici dei comuni del Matese nella Regione Molise

In questo data-base sono disponibili i dati relativi a 18 comuni, limitatamente al centro storico, con le cartografie referenziate.

Per la maggior parte di essi è stato possibile integrare i dati con una ulteriore schedatura sul campo, che ha consentito di colmare i vuoti della precedente schedatura, effettuata con obiettivi differenti e pertanto non completa.

Tab. 4.3 - Selezione dei Comuni utilizzati del rilevamento nei Comuni del Matese

COMUNI MATESE				
nome	CIPC	utile	schede mur	abitanti
Baranello	70002	integrato con rilievo sul campo	253	2636
Bojano	70003	rilevato solo in piccola parte	178	8314
Campochiaro	70007	rilevato solo in piccola parte	87	634
Cantalupo nel Sannio	94005	integrato con rilievo sul campo	237	736
Castelpizzuto	94011	integrato con rilievo sul campo	128	143
Cercemaggiore	70017	integrato con rilievo sul campo	329	4274
Cercepiccola	70018	integrato con rilievo sul campo	274	727
Colle d'Anchise	70020	rilevato solo in piccola parte	57	818
Frosolone	94022	rilevato solo in piccola parte	518	3364
Guardiaregia	70028	integrato con rilievo sul campo	168	776
Pettoranello del Molise	94034	integrato con rilievo sul campo	221	426
Roccamandolfi	94040	integrato con rilievo sul campo	599	1071
San Giuliano del Sannio	70067	rilevato solo in piccola parte	104	1076
San Massimo	70070	integrato con rilievo sul campo	102	723
San Polo Matese	70071	integrato con rilievo sul campo	155	445
Sepino	70075	OK	400	2177
Spinete	70076	integrato con rilievo sul campo	114	1433
Vinchiaturro	70084	OK	243	2781

Campagna di rilevamento dell' area flegrea.

Sono disponibili i dati completi relativi a tre Comuni dell'area flegrea: *Pozzuoli, Monte di Procida e Bacoli*.

È inoltre disponibile, per 36 comuni compresi nella "zona gialla" di attenzione per il vulcano dei campi flegrei, un dato parziale, con cartografia referenziata, il cui dato è stato integrato mediante una procedura di interpretazione del dato ISTAT.

Fra questi 36 comuni sono stati scelti 4 Comuni (*Casalnuovo, Calvizzano, Volla e Casalnuovo*), sui quali è stata effettuata una integrazione mediante riconoscimento aerofotogrammetrico. Ciò ha consentito di calibrare meglio la procedura di integrazione, pertanto sono utilizzati anche altri Comuni scelti fra i 32 rimanenti.

Rilievo post- sisma dell'evento del Pollino.

Sono stati utilizzati i dati relativi a tre Comuni (*Lauria, Castelluccio Inferiore, Rivello*), per i quali è stata effettuata una schedatura a tappeto su tutto il territorio comunale, a cura dell'Unità di Ricerca dell'Università della Basilicata.

Progetto Catania.

E' disponibile il dato completo di tutti gli edifici della Città di *Catania*.

Rilievo post- sisma dell' evento sismico di S. Giuliano di Puglia .

E' disponibile il dato completo di tutti gli edifici del Comune di *S. Giuliano di Puglia*, rilevato a tappeto nell'ambito del presente progetto.

4.3 Correlazione fra il numero di abitazioni ed il numero di edifici

Come è noto, il dato ISTAT disponibile (1991) è riferito alle abitazioni; pertanto, la procedura si è posta come primo obiettivo la definizione dei corretti rapporti abitazioni/edifici, al fine di convertire il dato ISTAT in un dato riferito agli edifici.

Il rapporto Δ_{ab} che esprime il numero di abitazioni per edificio è estremamente variabile in funzione della tipologia dell'edificio e della densità edilizia del Comune di appartenenza. Nell'ambito dei dati ISTAT disponibili, sono stati, quindi, individuati alcuni parametri da cui tale rapporto può dipendere, e precisamente, in riferimento all'edificio:

- età di costruzione (6 classi di età);
- numero di piani (2 classi: fino a 2 piani /oltre 2 piani);
- tipologia della struttura verticale (2 classi : muratura o c.a.);

MURATURA 1-2 PIANI <1919	C.A. 1-2 PIANI <1919	MURATURA ≥ 3 PIANI <1919	MURATURA ≥ 3 PIANI <1919	.. .	MURATURA 1-2 PIANI 1919-1945	C.A. 1-2 PIANI 1919-1945		C.A. ≥ 3 PIANI >1971

in riferimento al Comune:

- dimensione demografica.

Le combinazioni possibili fra questi parametri sono 192, ovvero 24 classi tipologiche ISTAT C_{ist} per 8 gruppi omogenei (per intervallo demografico) di Comuni.

Le classi sono:

Classi Demogr. Comunali	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8
	< 500	fino a 2000	fino a 5000	fino a 10.000	fino a 50.000	fino a 250.000	fino a 500.000	oltre 500.000

Ulteriori criteri di classificazione dei comuni che possono essere presi in considerazione sono: la posizione geografica, il rapporto percentuale muratura/c.a., la caratterizzazione tipologica a scala comunale (caratteristiche costruttive, materiali, epoca di insediamento originale e fasi di espansione etc.) al fine di definire gruppi omogenei di appartenenza del Comune. Questi parametri sono stati oggetto di studio nella parte del progetto relativa alla definizione dell'indice di qualità tipologico costruttiva del Comune che è riportata nel CD allegato alla presente relazione; tuttavia la valutazione di questo parametro a larga scala (vedi procedura di acquisizione dati via Web sul CD)

richiedeva tempi non compatibili con le scadenze del presente progetto, futuri sviluppi della ricerca potranno giovare di questo parametro per la più precisa classificazione dei comuni.

Il rapporto Δ_{ab} , per ciascuna di queste combinazioni si determina procedendo come segue.

Dal DB di inventario degli edifici rilevati mediante schede (par. 4.2):

1. si individuano gli edifici per i quali sono noti tutti i parametri su elencati e si suddividono nelle 192 classi individuate;
2. si calcola il rapporto $G\Delta_{ab}(C_{ist}) = N. \text{ abitazioni} / N. \text{ edifici}$ medio per ognuna delle 192 classi (ossia i valori medi, per ognuno degli 8 gruppi omogenei di Comuni, del rapporto Δ_{ab} in ognuna delle 24 classi tipologiche ISTAT).

Dal DB ISTAT del 1991:

3. si estrae per ogni Comune il numero complessivo delle abitazioni $Ab(C_{ist})$ in ognuna delle 24 classi;
4. si assegna il singolo Comune alla classe demografica di appartenenza e quindi per ognuna delle 24 classi nell'ambito del singolo Comune si applicano i rapporti medi $G\Delta_{ab}(C_{ist})$ desunti dal DB inventario, trovando così il numero di edifici per classe ISTAT, $E(C_{ist})$:

$$E(C_{ist}) = \frac{Ab(C_{ist})}{G\Delta_{ab}(C_{ist})} \quad (4.1)$$

5. sommando gli edifici delle 24 classi tipologiche ISTAT si trova infine il numero totale di edifici del Comune.

$$E_{tot} = \sum_{C_{ist}=1}^{24} E(C_{ist})$$

4.4 Attribuzione della classe di vulnerabilità

Il secondo passo della procedura prevede l'attribuzione di una classe di vulnerabilità per gli edifici di cui al dato ISTAT, utilizzando la stessa classificazione introdotta al paragrafo precedente. Tale attribuzione si determina come di seguito descritto:

1. utilizzando i dati di cui ai rilevamenti diretti sul campo, di cui al par. 4.2, si desumono, in ogni Comune e per ognuna delle 24 classi tipologiche ISTAT (vedi par. 4.3), le distribuzioni degli edifici in classi di vulnerabilità k ($k = A, B, C, D, E$);
2. raggruppando tra loro tali dati rispetto all'appartenenza agli 8 gruppi omogenei di Comuni di cui al par. 4.3, si definiscono per ciascun gruppo omogeneo g le distribuzioni medie in classi di vulnerabilità k

$V_{gk}(C_{ist}) =$ distribuzione percentuale in classi di vulnerabilità k per ognuna delle classi tipologiche C_{ist} nell'ambito dei Comuni appartenenti al gruppo omogeneo g

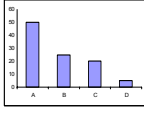
MURATURA 1-2 PIANI <1919	MURATURA ≥ 3 PIANI <1919	MURATURA 1-2 PIANI 1919-1945	C.A. 1-2 PIANI 1919-1945	...	MURATURA ≥ 3 PIANI >1981	C.A. ≥ 3 PIANI >1981
								

Fig. 4.1 – Esempio di distribuzione in classi di vulnerabilità k per ognuna delle classi tipologiche C_{is} per il gruppo omogeneo g di Comuni

$$\sum_{k=1}^5 V_{gk}(C_{ist}) = 1 \quad (4.2)$$

3. quindi, ritornando ai dati ISTAT, a ciascun Comune si applica il set di 24 distribuzioni in classi di vulnerabilità k che caratterizza il gruppo omogeneo cui il Comune stesso è stato assegnato; in tal modo si ottiene per ciascun Comune del territorio nazionale il *numero di edifici con classe di vulnerabilità K in ciascuna delle 24 classi tipologiche C_{ist}*

$$E_k(C_{ist}) = V_{gk}(C_{ist}) \cdot E(C_{ist}) \quad (4.3)$$

essendo $E(C_{ist})$ il numero totale di edifici del Comune, ricavato con la $E(C_{ist}) = \frac{Ab(C_{ist})}{G\Delta_{ab}(C_{ist})}$ (4.1);

4. quindi, sommando le 24 colonne per classe di vulnerabilità k si ottiene per ogni Comune il numero totale di edifici nelle classi di vulnerabilità k e quindi le relative distribuzioni percentuali (Tab. 4.4)

Tab. 4.4

			E(Cist)	VgA	EA (Cist)
EDIFICI MURAT	1-2 PIANI	< 1919	757	0,75	569
EDIFICI MURAT	1-2 PIANI	1919-1945	146	0,64	94
.....		
EDIFICI MURAT	> 2 PIANI	< 1919	84	0,73	61
EDIFICI MURAT	>2 PIANI	1919-1945	117	0,62	72

$$E_k = \sum_{C_{ist}=1}^{24} E_k(C_{ist}) \quad (\text{numero totale di edifici con classe di vulnerabilità } k \text{ nel Comune}) \quad (4.4)$$

$$V_k = \frac{E_k}{E} \quad (\text{percentuale di edifici con classe vulnerabilità } K \text{ nel Comune}) \quad (4.5)$$

5 ANALISI DI VULNERABILITA' A SCALA NAZIONALE, PARAMETRO DI VULNERABILITÀ COMUNALE, MAPPE DI VULNERABILITA'

5.1 Analisi delle Matrici di Probabilità di Danno (DPM)

E' noto che in un'analisi di vulnerabilità effettuata con un approccio tipo DPM il risultato finale è evidentemente influenzato dalla scelta della matrice DPM di riferimento.

Essendo sull'argomento disponibili diversi contributi, anche piuttosto recenti, e considerando che fra gli scopi del presente progetto non rientrava una analisi finalizzata alla definizione di nuove DPM, si sono considerate alcune fra le DPM più recenti, ed in particolare:

- DPM Irpinia '80;
- DPM elaborata dal Servizio Sismico Nazionale (DPC) nel 1997 (G. Di Pasquale et al.);
- DPM ricavate in occasione del progetto GNDT 2001 e successivamente modificate in (Bernardini 2003) che corregge alcune incongruenze delle GMDT 2001 e le estrapola alle classi E ed F;
- DPM costruite per deduzione diretta dalle descrizioni che definiscono la scala macrosismica EMS (Giovinazzi et al. 2001);
- DPM definite dal Gruppo di Lavoro GNDT-SSN nella "Relazione finale della Commissione Tecnico Scientifica per l'aggiornamento dell'inventario e della vulnerabilità degli edifici residenziali e pubblici" nel 2002;

Nelle figure da Fig. 5.1e Fig. 5.5 si riportano i diagrammi con l'andamento dei coefficienti binomiali per ognuna delle DPM sopra elencate.

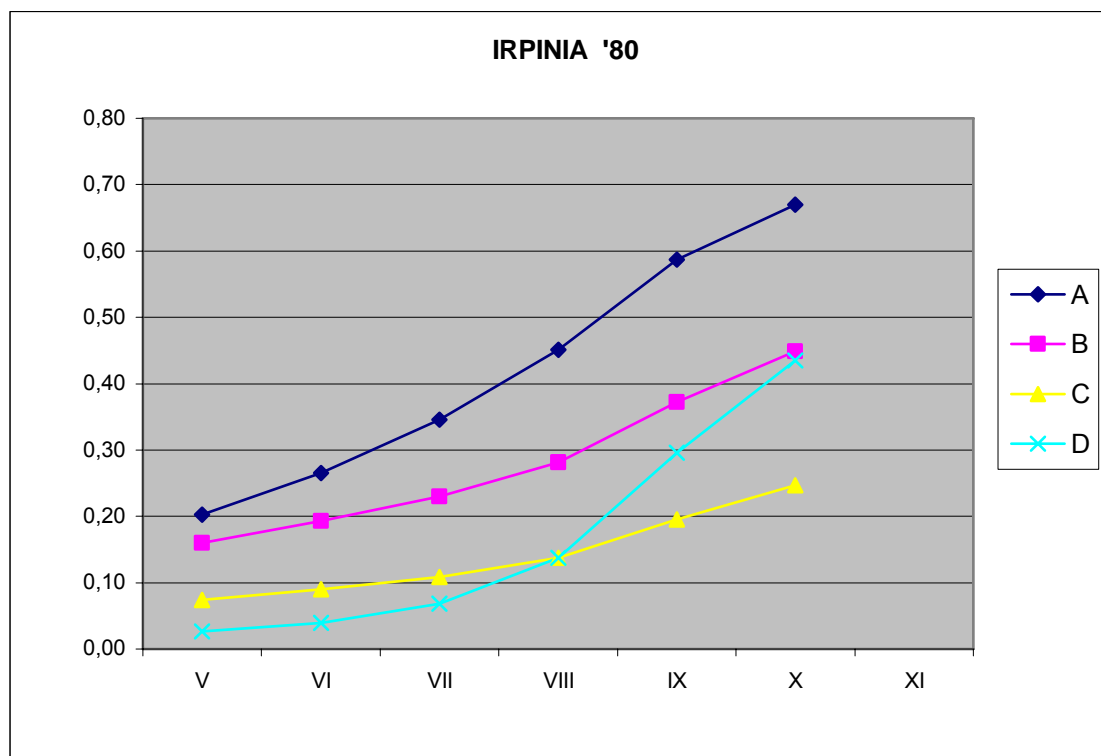


Fig. 5.1 - DPM Irpinia 1980

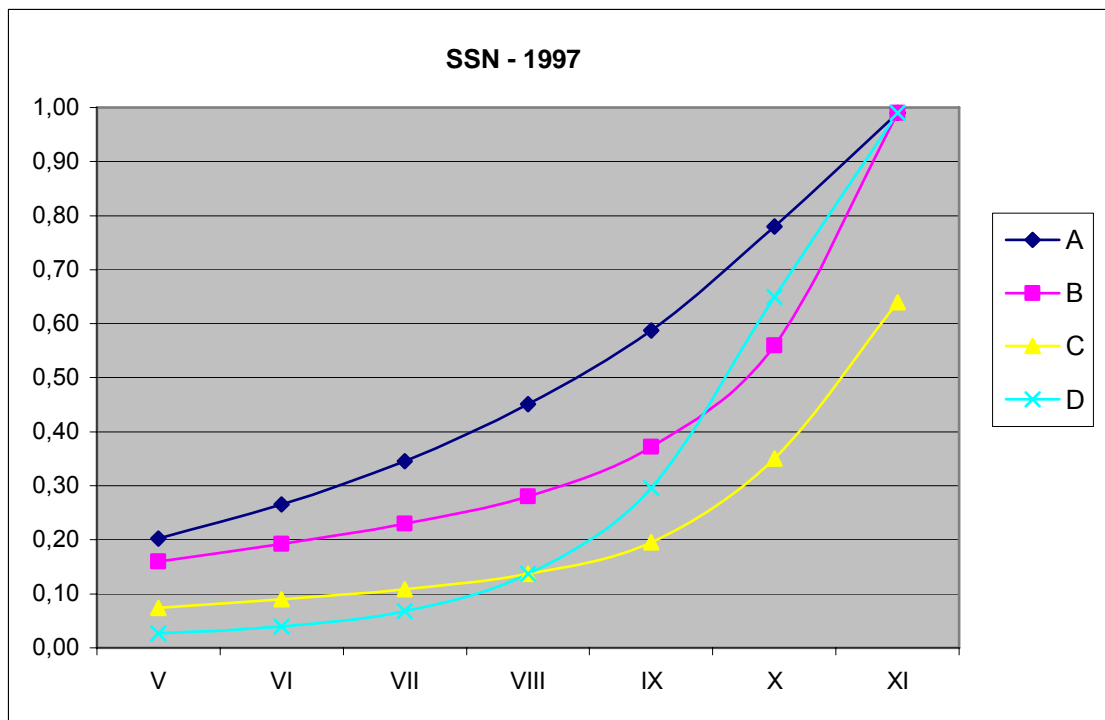


Fig. 5.2 - DPM SSN 1997

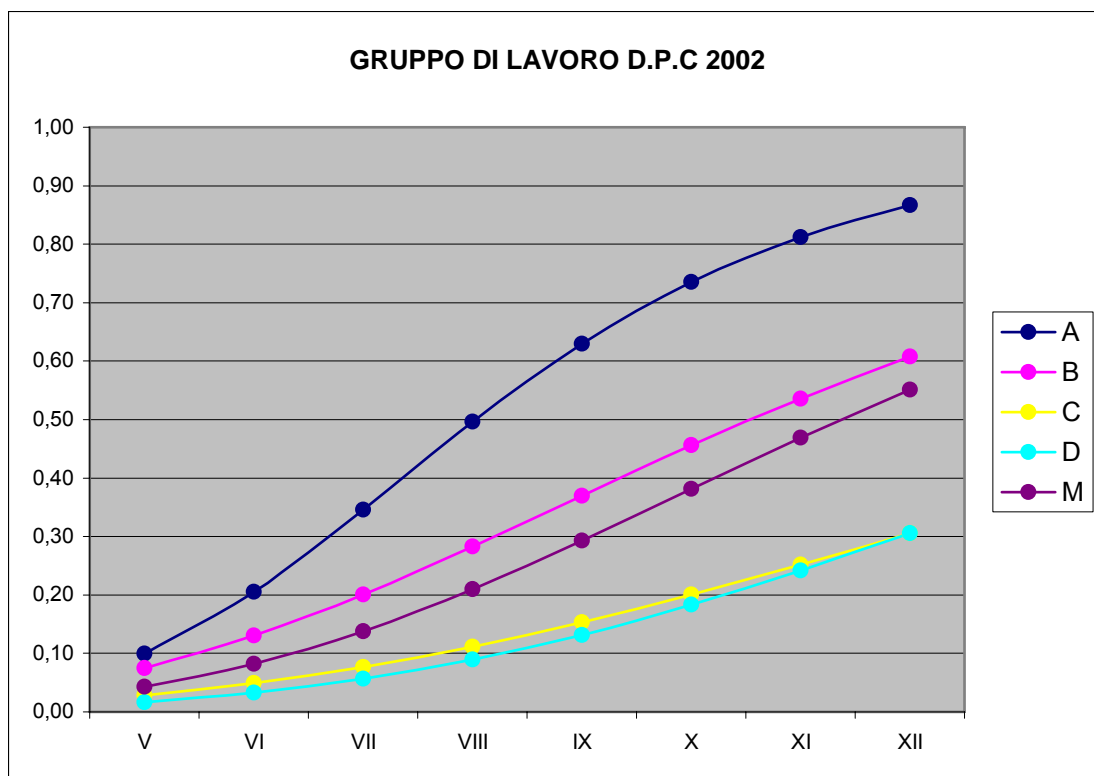


Fig. 5.3 - DPM Gruppo di Lavoro DPC 2002

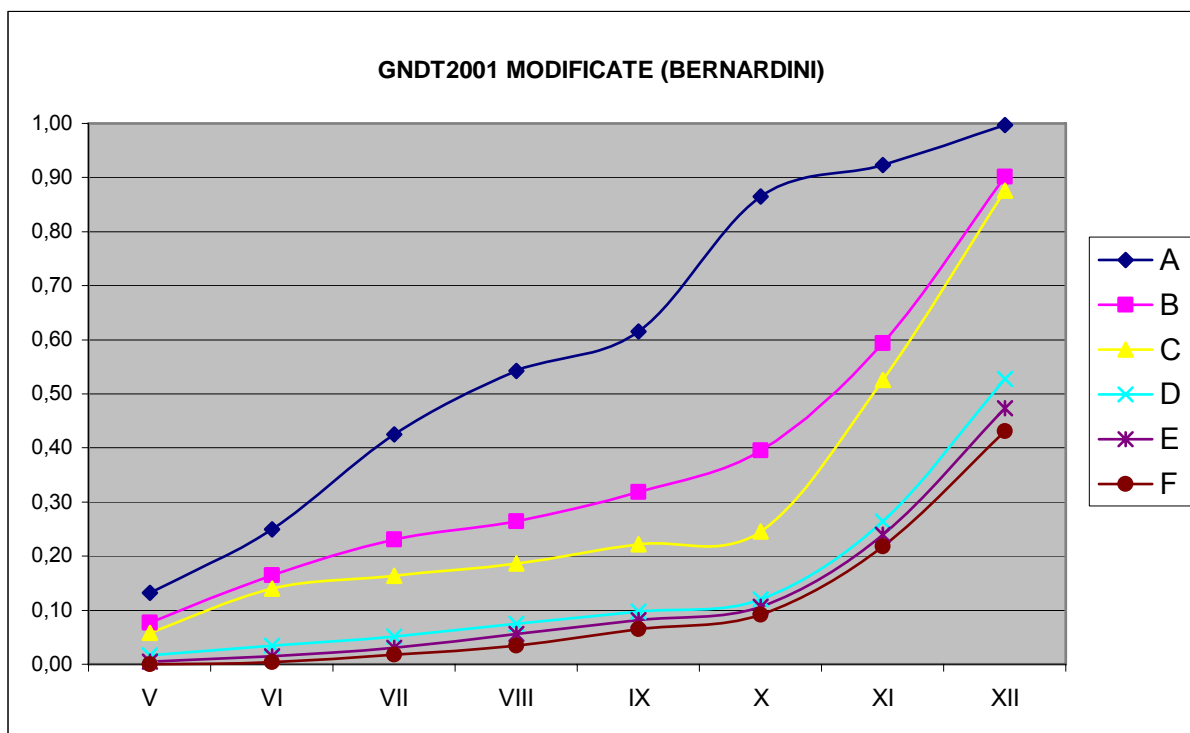


Fig. 5.4 - DPM GNDT modificate 2001

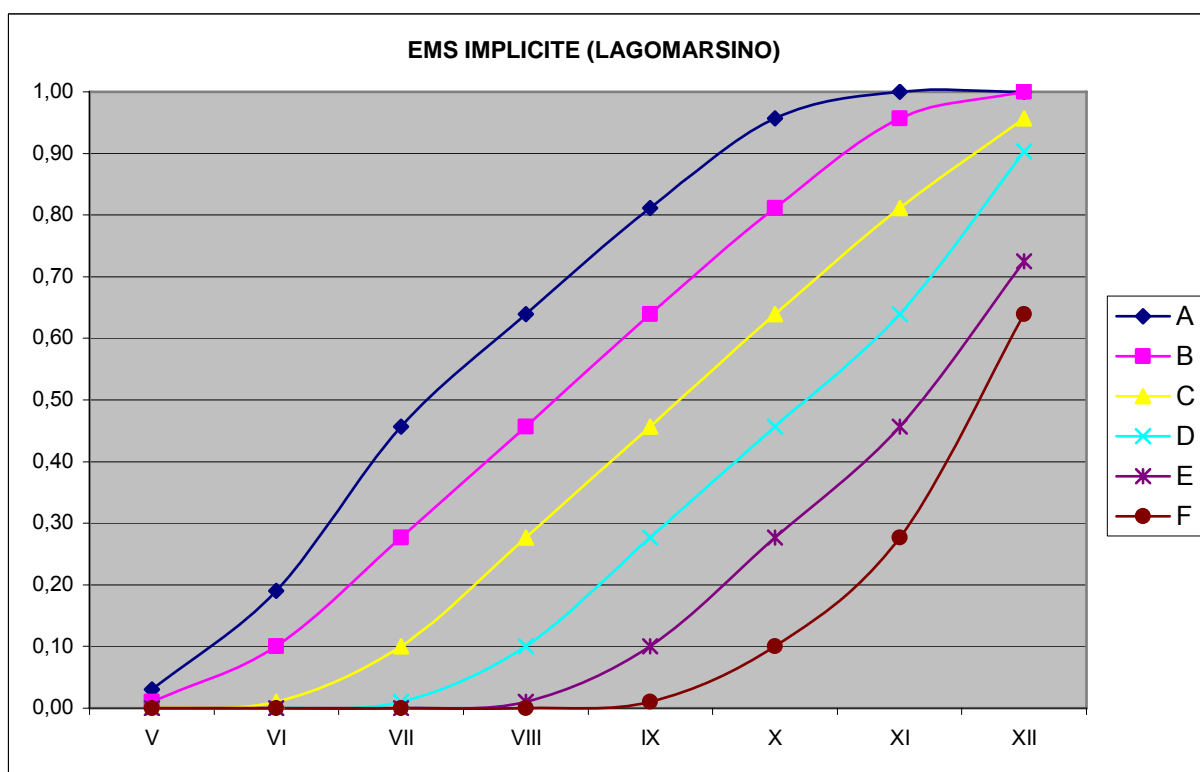


Fig. 5.5 - DPM EMS implicite

Le analogie e le differenze fra queste diverse matrici sono state analizzate confrontando l'andamento dei coefficienti binomiali, confronto che risulta più leggibile se effettuato separatamente per classe tipologica (da Fig. 5.6 a Fig. 5.9). E' opportuno ricordare peraltro che per intensità superiori a X i valori sono necessariamente approssimati o ricavati semplicemente per estrapolazione, essendo ovviamente scarno il campione di dati.



Fig. 5.6 – Confronto tra i coefficienti binomiali delle DPM per la classe A

Per la classe tipologica “A” i diagrammi sono abbastanza concordi, col un leggero scostamento della curva EMS, che sottostima leggermente i danni alle intensità basse e sovrastima i danni per intensità alte.

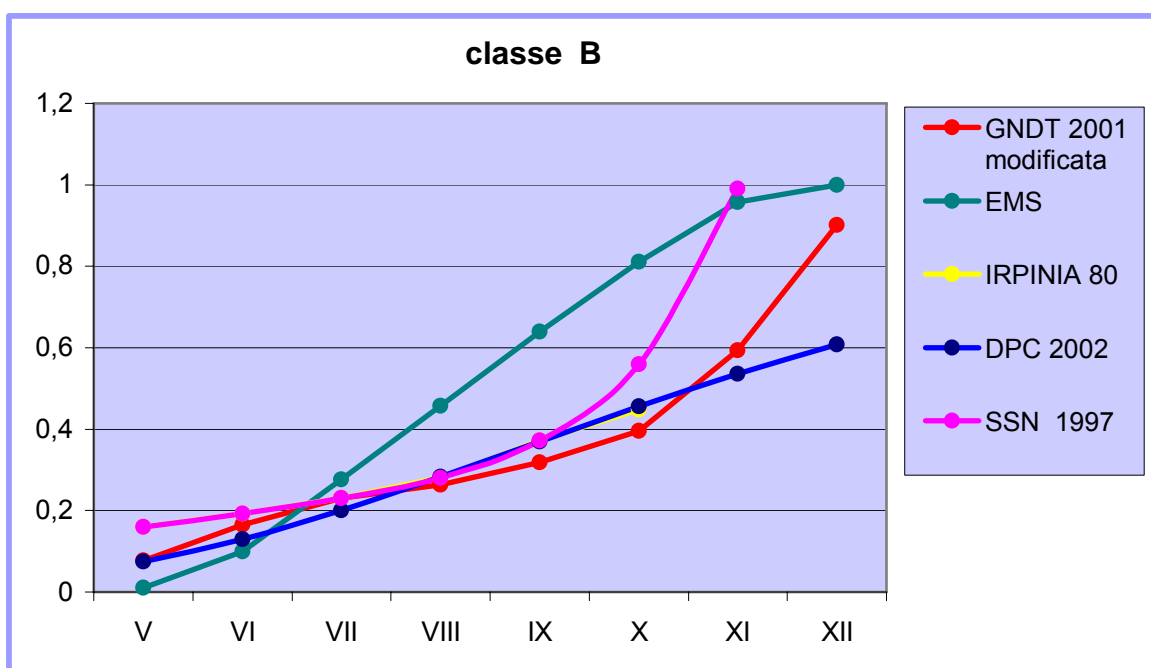


Fig. 5.7 - Confronto tra i coefficienti binomiali delle DPM per la classe B



Fig. 5.8 - Confronto tra i coefficienti binomiali delle DPM per la classe C

Per le classi tipologiche “B” e “C” ancora una volta la curva EMS si discosta dalle altre, stavolta in maniera più marcata; gli altri diagrammi sono pressoché coincidenti fino al grado X, oltre il quale le differenze sono più decise ma, per quanto detto in precedenza, non particolarmente significative.

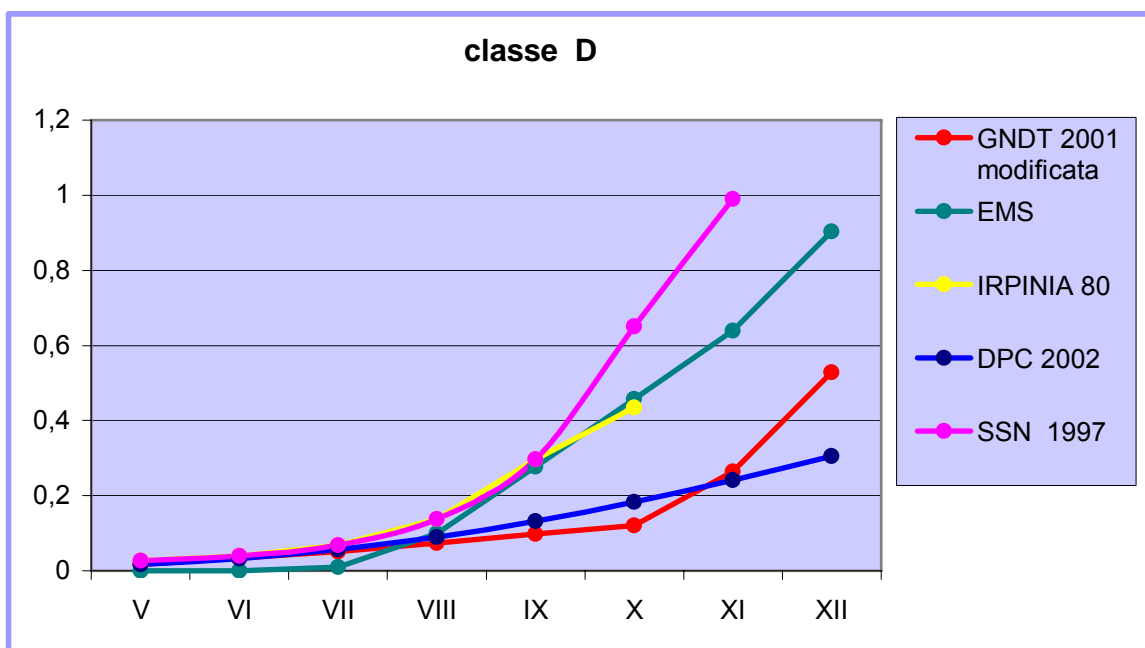


Fig. 5.9 - Confronto tra i coefficienti binomiali delle DPM per la classe D

Per la classe tipologica “D” la curva EMS si accorda molto bene con quella IRPINIA 80, e con SSN 1997 (quest’ultima leggermente più danneggiante). Sono meno danneggianti le curve GNDT 2001 e DPC 2002, come peraltro sembrerebbe lecito aspettarsi, trattandosi di edifici in c.a., generalmente dotati di buona duttilità ed efficienza strutturale.

Dal confronto effettuato le DPM GNDT 2001 così come modificate in (Bernardini 2003) sembrano mediare meglio le caratteristiche delle diverse curve di descrizione del rapporto sollecitazione-danno. Pertanto si è scelto di utilizzare queste le per la valutazione finale del Rischio.

5.2 Parametro di vulnerabilità comunale

Combinando per ogni Comune la distribuzione in classi di vulnerabilità di cui al cap. 4 con le DPM di cui al par. 5.1, si può determinare la distribuzione di danneggiamento per i diversi livelli di intensità.

Per ognuna di queste distribuzioni si può, quindi, determinare il parametro sintetico SPD, già descritto al par. 1.1 (Fig. 5.10)

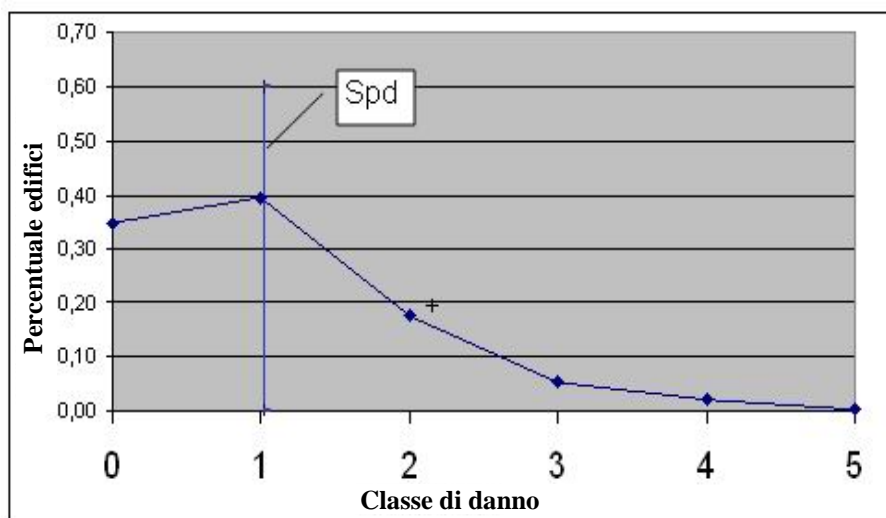


Fig. 5.10 – Parametro sintetico di danno

Fissato un intervallo di intensità (ad es. VI-IX), il valore di SPD medio può essere interpretato come parametro espressivo della vulnerabilità del Comune.

Pertanto, una volta determinato l'SPD medio del Comune, l'Indice di Vulnerabilità Comunale I_v può essere determinato assegnando al Comune una classe tipologica di vulnerabilità in funzione di tale valore medio di SPD, analogamente all'assegnazione di vulnerabilità del singolo edificio secondo gli intervalli già presentati al par. 1.4 e riportati in Tab. 5.1.

Tab. 5.1

A	B	C	D	E
-	2.0	1.7	1.4	1.0
2.0	1.7	1.4	1.1	-

In proposito è importante chiarire che l'Indice di vulnerabilità comunale I_v non va confuso con le classi tipologiche strutturali presenti nel Comune, bensì esso rappresenta la propensione media a subire danni da sisma da parte dell'intera distribuzione tipologico strutturale del patrimonio edilizio comunale.

5.3 Mappe di vulnerabilità a scala nazionale

Sulla base della procedura descritta è stata messa a punto una mappa di vulnerabilità a scala nazionale, espressa in termini di Indice di Vulnerabilità Comunale, così come presentato in Fig. 5.11

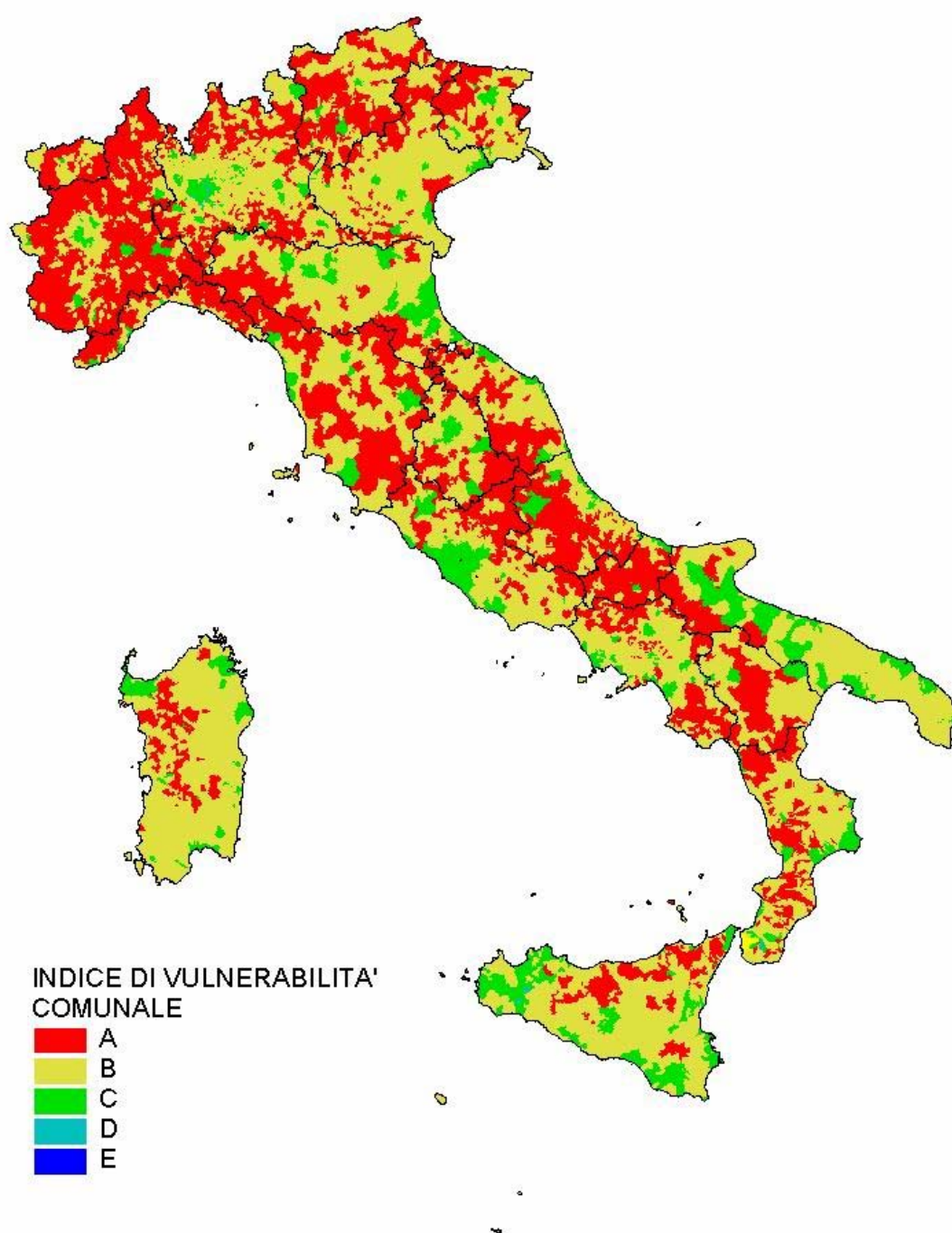


Fig. 5.11 – Mappa di vulnerabilità a scala nazionale

5.4 **Controllo di validità mediante confronto fra le distribuzioni di vulnerabilità desunte dal dato ISTAT e quelle effettive rilevate.**

Appare chiaro che l'analisi di vulnerabilità presentata ai paragrafi precedenti, è fortemente influenzata dalle distribuzioni in classi di vulnerabilità trovate per i singoli Comuni, come descritto al par. 4.4.

Al fine di verificare la validità della procedura adottata, si sono confrontate le distribuzioni di vulnerabilità ottenute processando i dati ISTAT con quelle risultanti da analisi di dettaglio sul singolo Comune. Si sono scelti per il confronto i Comuni per i quali si è ritenuto sufficientemente completo il dato disponibile .

In particolare si sono utilizzati 168 Comuni, distribuiti come segue:

- 78 Comuni del precedente progetto GNDT 2001
Distribuzione tipologico strutturali in classi di vulnerabilità desunta mediante riconoscimento aerofotogrammetrico corretto statisticamente mediante un campione di schede rilevate sul campo.
- 7 Comuni dell'area Flegrea
Distribuzione tipologico strutturali in classi di vulnerabilità desunta mediante riconoscimento aerofotogrammetrico corretto statisticamente mediante un campione di schede rilevate sul campo.
- 39 Comuni dal DB "Abruzzo 84"
Distribuzione tipologico strutturali in classi di vulnerabilità desunta mediante la procedura precedentemente illustrata (SPD corretto) dalle schede "Abruzzo '84" rilevate sul campo.
- 29 Comuni dal DB "Irpinia 80".
Distribuzione tipologico strutturali in classi di vulnerabilità desunta mediante la procedura precedentemente illustrata (SPD corretto) dalle schede "Irpinia 80" rilevate sul campo .
- 5 Comuni dal DB "LSU"
Distribuzione tipologico strutturali in classi di vulnerabilità desunta mediante la procedura precedentemente illustrata (SPD corretto) dalle schede "speditive" rilevate sul campo. Si sono scelti i Comuni per i quali il dato rilevato è stato ritenuto sufficientemente completo, purtroppo pochi rispetto al numero dei Comuni rilevati.
- 6 Comuni dal DB "Matese"
Distribuzione tipologico strutturali in classi di vulnerabilità desunta mediante la procedura precedentemente illustrata (SPD corretto) dalle schede "speditive" rilevate sul campo. Si sono scelti i comuni per i quali il dato rilevato è stato ritenuto sufficientemente completo. Per alcuni di questi Comuni il dato è stato integrato mediante rilevazione con una ulteriore schedatura, con la quale è stato possibile colmare i vuoti della precedente, effettuata con obiettivi differenti e pertanto non completa.
- 3 Comuni dal DB "Pollino"
Distribuzione tipologico strutturali in classi di vulnerabilità desunta mediante la procedura precedentemente illustrata (SPD corretto) dalle schede "Aedes" rilevate sul campo.
- 1 Comune dal DB "Catania"
Distribuzione tipologico strutturali in classi di vulnerabilità desunta mediante la procedura precedentemente illustrata (SPD corretto) dalle schede rilevate sul campo nel corso del "Progetto Catania".

Il confronto fra le distribuzioni di vulnerabilità è stato effettuato calcolando per ogni Comune C ed ogni classe di vulnerabilità k la differenza ΔV_k

$$\Delta V_k = V_{IST}(C,k) - V_{RIL}(C,k) \quad (5.1)$$

dove:

$V_{IST}(C,K)$ rappresenta la percentuale di edifici di classe k (k = A, B, C, D, E) nel comune C desunta con la procedura di cui al par. 4.4 dai dati ISTAT

$V_{RIL}(C,K)$ rappresenta la percentuale di edifici di classe k (k = A, B, C, D, E) nel comune C ricavata direttamente dai dati schedati mediante la procedura di cui al par. 1.4.

Nei grafici da Fig. 5.12 a Fig. 5.15 si riportano i valori V_{IST} (in rosa) e di V_{RIL} (in blu) a confronto per le diverse classi di vulnerabilità.

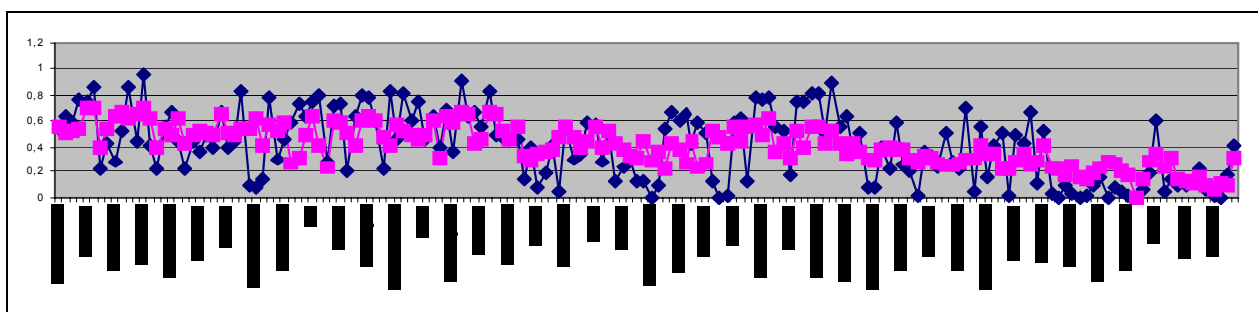


Fig. 5.12 – Confronto V_{IST} (in rosa) e di V_{RIL} (in blu) per la classe di vulnerabilità ‘A’

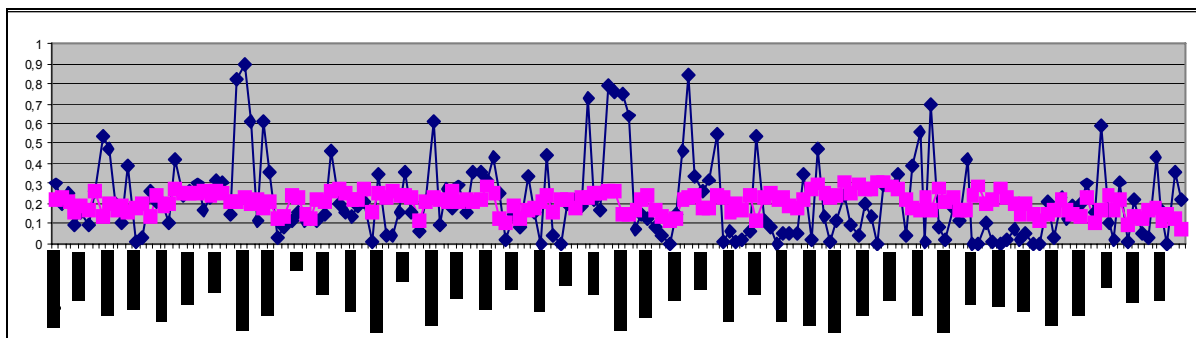


Fig. 5.13 - Confronto V_{IST} (in rosa) e di V_{RIL} (in blu) per la classe di vulnerabilità ‘B’

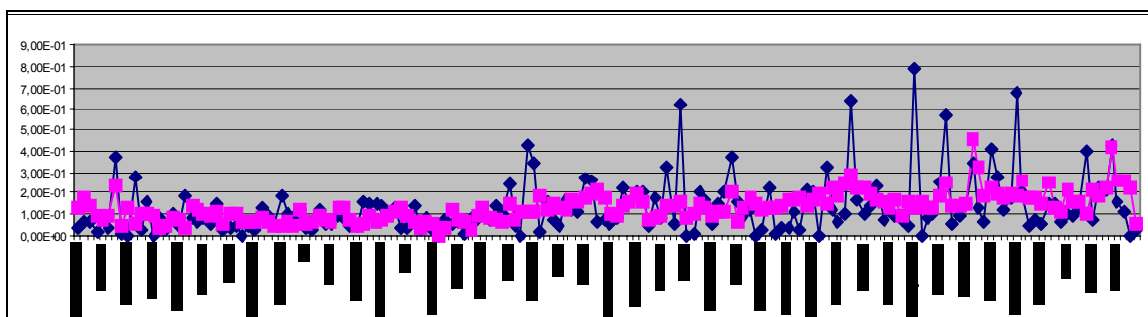


Fig. 5.14 - Confronto V_{IST} (in rosa) e di V_{RIL} (in blu) per la classe di vulnerabilità ‘C’

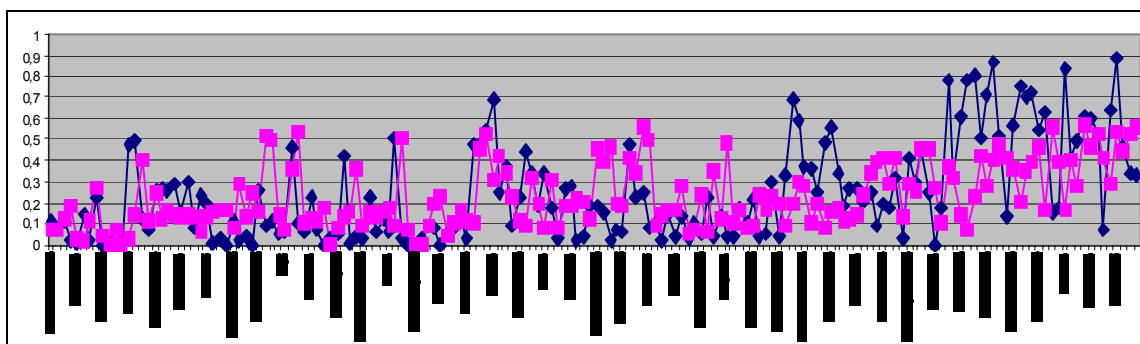


Fig. 5.15 - Confronto V_{IST} (in rosa) e di V_{RIL} (in blu) per la classe di vulnerabilità "D"

Un confronto sintetico più significativo può essere effettuato in termini di media delle differenze (in valore assoluto) tra i valori di V_{IST} e di V_{RIL} .

$$\Delta V_{med} = \frac{\sum_k |\Delta V_k|}{4} \quad (5.2)$$

Nel diagramma di Fig. 5.16 si riporta l'andamento del ΔV_{med} sul set di 168 comuni.

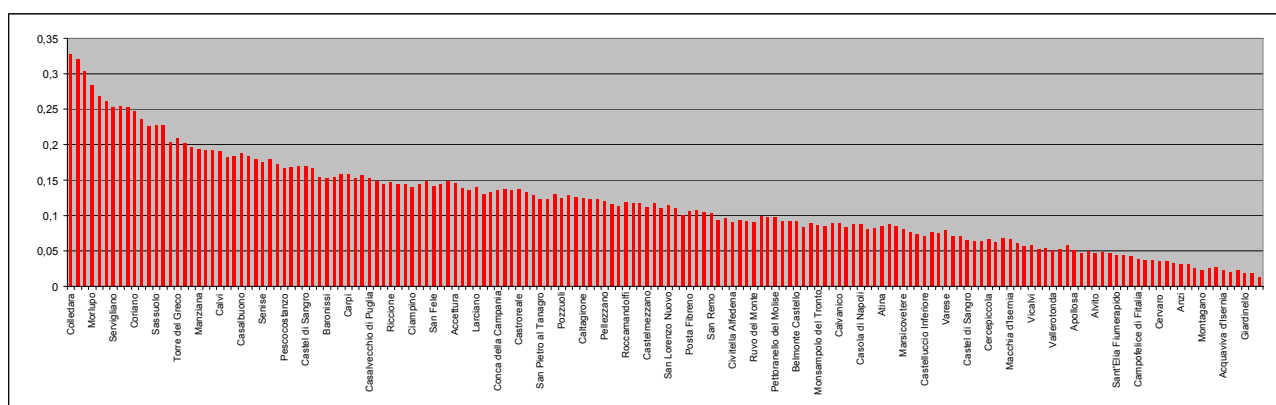


Fig. 5.16 - Andamento del ΔV_{med} sul set di 168 Comuni considerati

Analizzando il grafico di Fig. 5.16, si può osservare che solo per un piccolo numero di Comuni l'errore medio è significativo (maggiore di 0.30) mentre per la maggior parte di essi, tale indice si attesta su valori piuttosto bassi (inferiori al 0.10), come si evince dal grafico di riepilogo in Fig. 5.17.

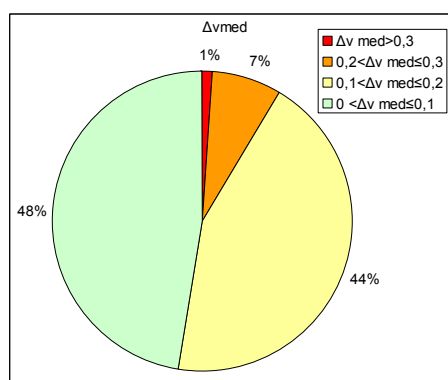


Fig. 5.17 – Percentuale di Comuni con indice di errore ΔV_{med} di valore x

Si è ritenuto utile effettuare un controllo anche sul possibile errore nella stima del danneggiamento complessivo del Comune. Come parametro di confronto è stato scelto l'Indice di Vulnerabilità Comunale I_{VC} , valutato mediante il parametro SPD con la procedura precedentemente illustrata. Per i 168 Comuni di confronto si è valutato sia l'indice I_{VC}^R riferito alle distribuzioni di vulnerabilità rilevate, sia l'indice I_{VC}^S riferito alle distribuzioni di vulnerabilità desunte dal dato ISTAT.

Dal confronto effettuato si osserva che (Fig. 5.18 e Fig. 5.19):

- per 93 dei 168 Comuni i due indici di vulnerabilità non presentano variazioni;
- per 29 Comuni il valore di I_{VC}^S risulta sovrastimato di una classe;
- per 35 Comuni il valore di I_{VC}^S desunto dal dato ISTAT risulta sottostimato di una classe;
- per soli 10 Comuni il valore di I_{VC}^S desunto dal dato ISTAT risulta sottostimato di due classi.

Il risultato di confronto appare ragionevolmente confortante, considerando gli elevati margini di incertezza che caratterizzano il dato ISTAT e le stime effettuate; inoltre è importante sottolineare che il risultato potrà essere ulteriormente migliorato adottando una classificazione dei Comuni (al momento basata solo sulla dimensione demografica) dipendente anche da considerazioni generali sulla caratterizzazione tipologica.

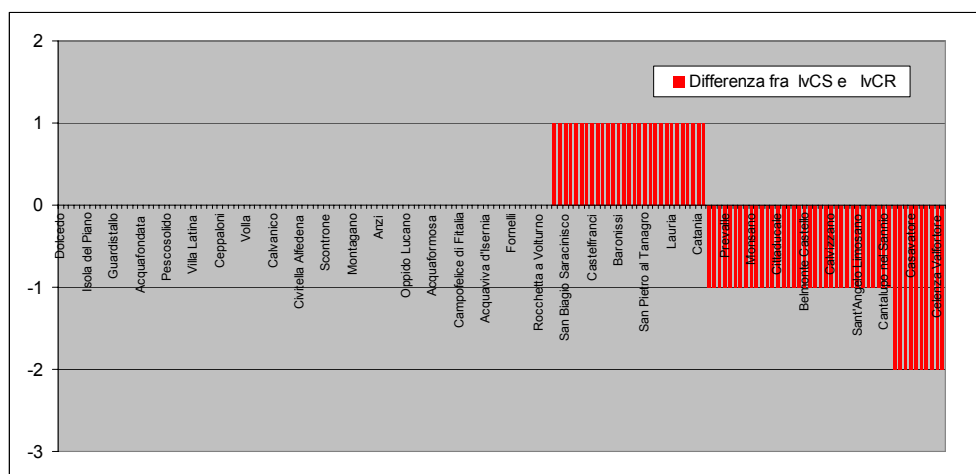


Fig. 5.18 - Differenza fra I_{VC}^S ed I_{VC}^R sul set di 168 Comuni considerati

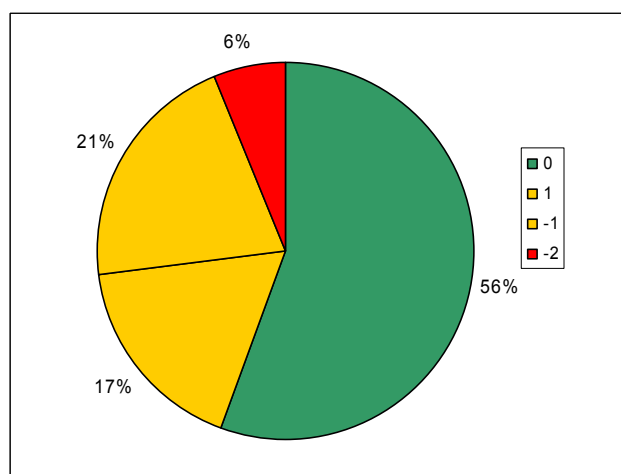


Fig. 5.19 – Distribuzione dei Comuni in funzione dello scarto tra I_{VC}^R e I_{VC}^S

6 CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGICA : QUESTIONARIO INFORMATIVO TIPOLOGICO STRUTTURALE VIA WEB

Nell'ambito di una precedente esperienza di ricerca LUPT-GNDT-SSN, nel 2002 (Zuccaro et al. 2002-1), veniva sviluppato un modello di indagine e classificazione delle caratteristiche tipologico strutturali degli edifici ordinari dei comuni italiani, basato su un semplice protocollo guidato di intervista da sottoporre agli Uffici Tecnici Comunali. Il metodo attraverso l'acquisizione di informazioni mirate sulla qualità dei materiali, sulle tecniche costruttive adottate all'epoca del suo originario insediamento e nelle varie fasi storiche di espansione, sulla diffusione di interventi di adeguamento o miglioramento sismico messi in atto dalle autorità etc., consente di descrivere sinteticamente il patrimonio edilizio di un comune e di pervenire alla sua complessiva caratterizzazione tipologico costruttiva. Il modello consente inoltre, mediante opportune elaborazioni dei dati così raccolti, di valutare un indice sintetico "Iq" espressivo della "qualità" degli edifici in muratura del Comune.

Nel progetto "Save" ci si è proposti di aggiornare ed integrare il protocollo di intervista, inserendo ulteriori domande e realizzando un form di interrogazione via web.

La possibilità di utilizzare uno strumento multimediale con supporto grafico alla compilazione e risposte a scelta pre definita ha semplificato notevolmente la lettura del questionario e la compilazione delle risposte, minimizzando gli errori e le ambiguità e consentendo di raccogliere automaticamente le risposte in un data-base opportunamente predisposto.

Il questionario è stato pubblicato in un sito Web; successivamente un campione di Comuni è stato inviato via "e-mail" a procedere alla sua compilazione.

I risultati dell'attività sono stati più che incoraggianti, infatti in poco tempo si è potuto disporre dei dati relativi a circa 50 Comuni, con impiego di risorse e di tempo decisamente inferiore a qualunque altra tecnica di rilevamento (es. sopralluoghi o interviste telefoniche), mantenendo comunque un bassissimo livello di errore.

La procedura, consegnata nel CD allegato, consentirà futuri sviluppi della ricerca; infatti essa permetterà l'acquisizione di un ampio campione di informazioni sulla qualità delle caratteristiche tipologico costruttive dei comuni a scala nazionale con limitato impegno di risorse, il che consentirà di effettuare classificazioni di comuni non solo attraverso le classi demografiche ma anche attraverso un indice di qualità del tessuto edilizio più "intelligente", che potrà migliorare la classificazione di vulnerabilità comunale.

Si riportano alcune "schermate" del questionario.

S.A.V.E. Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani
 Questionario informativo via web di caratterizzazione tipologico strutturale

Home | Generale | Murature | Solai

DATI di CARATTERE GENERALE




Primo stadio di caratterizzazione tipologica, teso all'acquisizione di informazioni di massima sulla morfologia del territorio e sulle caratteristiche costruttive del Comune

Comune 1:

Provincia 2:

1 Inserire il nome del Comune per intero e senza punteggiatura come da denominazione ufficiale
 2 Inserire la sigla della Provincia come da denominazione ufficiale

Configurazione dei blocchi edilizi




 a blocco  isolata  a schiera

Eventi significativi 3

00 00 0000
 00 00 0000
 00 00 0000

3 Indicare fino a tre eventi sismici significativi nella notazione giorno/mese/anno

Orografia

 piana ☐  lieve pendenza ☐  forte pendenza ☐

Materiali 4

Tipo di materiale 01 Tipo di materiale 02 Tipo di materiale 03

0% 0% 0%

4 Indicare sino a tre tipi di materiali delle strutture murarie specificandone la percentuale di diffusione. Nel caso di più materiali la somma delle singole percentuali dovrà essere 100. Se il materiale impiegato nelle costruzioni non è assimilabile a nessuna delle sette tipologie indicate in elenco scegliere in funzione della resistenza meccanica (alta/media/bassa resistenza)

Fig. 6.1 - Schermata principale

DATI MURATURE: paramenti e sezione

Indicare sino a tre tipi murari fra gli undici raffigurati, selezionando la percentuale di presenza ed il tipo di sezione della struttura muraria. La somma delle singole percentuali dovrà essere 100. La scelta del tipo di sezione fornisce un'informazione aggiuntiva sul collegamento dei paramenti murari: [vedi esempio](#)

MURATURA IRREGOLARE:

TIPO1: elementi di forma arrotondata variamente disposti

percentuale di presenza

tipo di sezione

TIPO1.2: elementi di forma arrotondata con ricorsi di mattoni

percentuale di presenza

tipo di sezione

TIPO2: elementi di forma spigolosa

percentuale di presenza

tipo di sezione

TIPO2.2: elementi di forma spigolosa con ricorsi di mattoni

percentuale di presenza

tipo di sezione

MURATURA PSEUDOREGOLARE:

TIPO4: elementi sbazzati lastriformi

percentuale di presenza

tipo di sezione

TIPO4.1: elementi sbazzati lastriformi con ricorsi di mattoni

percentuale di presenza

tipo di sezione

TIPO5: elementi di forma sbazzata

percentuale di presenza

tipo di sezione

TIPO5.1: elementi di forma sbazzata con ricorsi di mattoni

percentuale di presenza

tipo di sezione

Fig. 6.2 - Schermata per l'immissione delle informazioni sugli edifici in muratura

DATI su COPERTURE ed ORIZZONTAMENTI

Indicare la percentuale di diffusione nell'abitato per le coperture e per gli orizzontamenti raffigurati. La somma delle percentuali dei tipi scelti per le coperture e quella dei tipi scelti per gli orizzontamenti deve essere pari a 100

COPERTURE

tipi spingenti	tipi poco spingenti	tipi non spingenti
		
0% <input type="text"/> percentuale di diffusione	0% <input type="text"/> percentuale di diffusione	0% <input type="text"/> percentuale di diffusione

ORIZZONTAMENTI

volte	solai in legno	solai putrelle e voltine
		
0% <input type="text"/> percentuale di diffusione <input type="checkbox"/> impiego di catene <input type="checkbox"/> impiego di cordoli	0% <input type="text"/> percentuale di diffusione <input type="checkbox"/> impiego di catene <input type="checkbox"/> impiego di cordoli	0% <input type="text"/> percentuale di diffusione <input type="checkbox"/> impiego di catene <input type="checkbox"/> impiego di cordoli
solai putrelle e tavelloni	solai in laterocemento del tipo SAP	solai in laterocemento
		
0% <input type="text"/> percentuale di diffusione <input type="checkbox"/> impiego di catene <input type="checkbox"/> impiego di cordoli	0% <input type="text"/> percentuale di diffusione <input type="checkbox"/> impiego di catene <input type="checkbox"/> impiego di cordoli	0% <input type="text"/> percentuale di diffusione <input type="checkbox"/> impiego di catene <input type="checkbox"/> impiego di cordoli

Fig. 6.3 - Schermata per l'immissione delle informazioni sugli edifici in c.a.

7 ATLANTE MULTIMEDIALE

Il CD allegato alla presente relazione descrittiva delle attività del Task 1 del progetto SAVE, contiene “Atlantis”, uno strumento multimediale, che raccoglie tutte le elaborazioni effettuate dal Centro di Ricerca LUPT sul tema del rischio sismico a scala nazionale incluso i riferimenti in merito ai dati ed alle fonti delle analisi sviluppate su un considerevole numero di parametri utili a descrivere gli aspetti salienti che caratterizzano le tipologie strutturali di un comune, integrando le precedenti esperienze di ricerca GNDT-LUPT-SSN. Esso rappresenta dunque una antologia multimediale; utile e rapido strumento di consultazione sia dei prodotti del progetto SAVE che dei precedenti progetti di ricerca sul tema della caratterizzazione tipologica comunale, della vulnerabilità, dell'esposizione e del rischio a scala nazionale.



Fig. 7.1 – Schermata generale di “Atlantis”

In sintesi Atlantis contiene:

- la mappa tematica delle classi di vulnerabilità per tutti i 27 comuni per i quali era disponibile la georeferenziazione delle caratteristiche tipologiche degli edifici;
- le mappe di vulnerabilità comunale a scala nazionale;
- le mappe di rischio sismico espresse sia in termini di danno al patrimonio edilizio che alla popolazione;
- la relazione finale del task 1 del progetto SAVE;
- La Relazione finale del progetto “Vulnerabilità di Base del Patrimonio edilizio nazionale” LUPT-SSN -1998;
- La Relazione finale del progetto “Aggiornamento delle Mappe a scala Nazionale di Vulnerabilità sismica delle strutture edilizie” LUPT-GNDT-2001;

- La relazione finale del progetto “Modello di Caratterizzazione tipologica a scala nazionale” LUPT-SSN -2002;
- Esemplificazione della procedura di compilazione del Protocollo Guidato di Intervista via web.

A parte le analisi di rischio sismico di cui si dirà più nel dettaglio nei paragrafi successivi va sottolineata la portata delle analisi di caratterizzazione tipologica a scala comunale incluse nel CD.

Infatti tali analisi vanno poste in stretta connessione con la considerazione che sul territorio nazionale le tecniche costruttive sono andate differenziandosi nel tempo, in ragione di culture e condizionamenti locali, che in taluni casi hanno notevolmente inciso sulle caratteristiche e sulla qualità della muratura, determinando sostanziali differenze anche in termini di risposta sismica da regione a regione.

Le ricadute operative di una siffatta analisi di dettaglio sono molteplici e possono essere sintetizzate come segue.

In prima istanza un'analisi tipologica approfondita sul territorio nazionale costituisce un ausilio prezioso per i rilevatori impegnati in campagne di rilevamento di vulnerabilità e di agibilità nelle fasi pre e post evento. Allo stato attuale, infatti, i tecnici specializzati disponibili, raramente sono sufficientemente preparati riguardo alle tipologie e tecniche costruttive locali in essere nei siti sui quali sono chiamati ad operare. Un complesso di informazioni puntuali, spesso non direttamente rilevabili sul campo, contribuisce alla formazione di una conoscenza di base dell'area in cui il tecnico è chiamato a lavorare, colmando in parte quel “gap” di informazioni che solo alcuni tecnici locali, non sempre disponibili o sufficienti, hanno acquisito in anni di attività nel sito. Queste analisi di dettaglio, inoltre, mirano a produrre materiale con valenza didattica, la cui esigenza è diventata piuttosto pressante in un momento in cui l'attività di formazione di tecnici viene individuata tra le esigenze primarie di protezione civile.

Un secondo ed ugualmente importante riscontro da ascrivere alle analisi di caratterizzazione tipologico strutturale va individuato nella possibilità di fornire indicazioni per una *regionalizzazione* delle funzioni di vulnerabilità attualmente impiegate indifferentemente su tutto il territorio nazionale.

Tale obiettivo si inquadra, più in generale, nell'ambito delle esigenze di sicurezza, e al tempo stesso di conservazione dei centri storici, fattori che necessitano di uno studio attento e consapevole sulla vulnerabilità strutturale delle fabbriche. Pertanto, la caratterizzazione tipologica a scala nazionale, tesa a definire tipologie strutturali prevalenti negli insediamenti italiani, rappresenta senz'altro il primo passo da compiere nell'ambito di valutazioni di vulnerabilità del costruito più attente e consapevoli. Allo stato attuale, infatti, i ricercatori del settore sono da un lato impegnati nella definizione di metodologie di lavoro che, sulla base di dati “poveri”, consentano di ricostruire l'inventario del patrimonio edilizio nazionale (distinto in classi tipologiche di vulnerabilità secondo quanto definito dalla scale macrosismiche); dall'altro sulla possibile “regionalizzazione” delle Matrici di Probabilità di Danno (DPM), attualmente calibrate esclusivamente sulla base di dati sul danneggiamento osservati solo in alcune regioni italiane. L'individuazione di aree omogenee per caratteristiche tipologico strutturali (con particolare attenzione alle costruzioni in muratura, che, com'è noto, sono presenti nei nostri centri storici con un'enorme varietà di configurazioni), accompagnata da analisi di dettaglio, che contemplino approfondimenti significativi in grado di sostanziare una “regionalizzazione” tipologico strutturale, è indirizzata a contestualizzare le attuali

DPM ed a fornire gli strumenti necessari per una loro più razionale utilizzazione in campo nazionale.

Infine, l'analisi di cui si tratta si ritiene possa costituire una base di riferimento interessante per l'individuazione, a livello locale, di tipologie costruttive tipiche, da rilevare in termini speditivi nella immediata fase post sismica per la taratura delle proiezioni di danno complessive. Tali scenari, già prodotti dal Servizio a valle di un evento, sono caratterizzati da un determinato grado di incertezza, che può essere ridotto effettuando delle previsioni più accurate basate su specifiche informazioni provenienti in tempo reale dall'area colpita. Tali informazioni dovranno necessariamente essere sintetiche e dovranno riguardare speditive analisi di danneggiamento relative ad oggetti e manufatti caratteristici dell'area. A tale scopo l'analisi di caratterizzazione tipologica può fornire indicazioni utili per l'individuazione di indicatori idonei a consentire stime di maggior precisione.

8 RISCHIO SISMICO A SCALA NAZIONALE

La valutazione del rischio sismico è stata condotta assumendo come unità territoriale minima il singolo Comune e valutando i diversi parametri che concorrono alla stima del rischio.

8.1 Pericolosità

La valutazione della pericolosità non rientrava fra gli obiettivi del progetto di ricerca, infatti si prevedeva di utilizzare le analisi di pericolosità disponibili più aggiornate ed accreditate. Al momento, l'analisi di pericolosità più completa, disponibile in via ufficiale, risulta quella effettuata dal Servizio Sismico Nazionale (DPC) nel 2001 (SSN - 2001). La valutazione del rischio è stata pertanto condotta assumendo come dato di pericolosità quanto riportato in questo studio.

Quali parametri espressivi della pericolosità si sono considerati :

- la probabilità annua di superamento di un assegnato livello di intensità;
- il valore massimo atteso dell'intensità per un periodo di ritorno di 95, 475, 975, 2475 anni.

Limitatamente al periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di superamento del 10% in 50 anni) si è utilizzato anche lo studio recentemente presentato dal DPC (Stucchi 2004), che utilizza come parametro di scuotimento la Accelerazione di Picco al Suolo (PGA). Le funzioni di vulnerabilità assunte dal presente progetto sono espresse in Intensità il che ha richiesto la trasformazione dei valori di PGA in Intensità. Questi sono stati ricavati mediante la relazione di conversione (8.1) (Margottini et. al. 1987)

$$I = \frac{\log(PGA)}{0.22} - 2.388 \quad (8.1)$$

I valori di intensità che risultano da questo studio sono generalmente più alti di quelli ipotizzati dal Servizio Sismico Nazionale (DPC) per lo stesso periodo di ritorno. Va comunque osservato che i valori di I possono cambiare anche significativamente in funzione della relazione di conversione PGA-intensità scelta.

8.2 Vulnerabilità

Come si è detto, l'unità minima di analisi è il singolo Comune, e l'oggetto dell'analisi di rischio sono l'edilizia residenziale e la popolazione esposta.

	A	B	C	D	E	F
V	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0
VI	0,17	0,15	0,12	0,06	0,03	0,01
VII	0,29	0,21	0,14	0,09	0,06	0,04
VIII	0,37	0,24	0,16	0,13	0,11	0,08
IX	0,42	0,29	0,19	0,17	0,16	0,15
X	0,59	0,36	0,21	0,21	0,21	0,21
XI	0,63	0,54	0,45	0,46	0,47	0,5
XII	0,68	0,82	0,75	0,92	0,93	0,99

Tab. 8.1 - Coefficienti binomiali p_{hi}

Pertanto si sono utilizzate le Matrici di Probabilità di Danno (DPM) di cui al par. 5 e specificatamente quelle estraibili attraverso la nota relazione (8.2) dai coefficienti binomiali riportati in Fig. 5.4 e in Tab. 8.1:

$$V_{khi} = \frac{5!}{k!(5-k)!} \cdot p_{hi}^k (1-p_{hi})^{5-k} \quad (8.2)$$

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.

8.3 Esposizione

Tenuto conto che nella valutazione del rischio si è considerato separatamente il rischio per l'edificato (crolli, inagibili e danni attesi) e quello per la popolazione (vittime, feriti e senza tetto), si sono considerati quali parametri di esposizione:

- il numero di edifici (e di abitazioni) del Comune, per quanto riguarda la valutazione del rischio per il patrimonio edilizio;
- il numero di abitanti, per quanto riguarda la valutazione del rischio per la popolazione (*casualties*).

Come già precisato nei capitoli precedenti, il dato di riferimento per valutare entrambi i parametri di cui sopra è stato il Censimento ISTAT 1991, non essendo purtroppo disponibili, al momento delle elaborazioni del presente progetto, i dati del censimento 2001.

Pertanto, sulla base dei dati 1991, l'inventario del patrimonio edilizio, ovvero il numero di edifici (e in abitazioni) suddivisi per classi tipologiche di vulnerabilità è stato stimato con le procedure descritte nel par. 4.4.

Per quanto concerne la valutazione delle *casualties* si è proceduto con la metodologia descritta al paragrafo seguente.

8.3.1 Casualties

La valutazione delle perdite attese in termini di vite umane (*casualties*) per effetto di un evento sismico è piuttosto complessa, in quanto il numero di vittime, feriti e senzateetto può variare in maniera significativa da un terremoto ad un altro a causa di un numero notevole di fattori concomitanti.

In via preliminare va osservato che statistiche mondiali dimostrano che tali perdite possono ascrivarsi a tre cause principali:

- perdite derivanti da cause non strutturali; è un valore dominante per bassi livello di danno, ma fortemente variabile e difficile da prevedere;
- perdite derivanti da disastri indotti: è un fattore più raro, ma se esiste può dominare il totale;
- perdite derivanti da cause strutturali; è il fattore cui va attribuito il 75% delle perdite in caso di evento sismico; soprattutto per terremoti di grandi proporzioni le perdite dovute al collasso degli edifici dominano le perdite totali.

Ciò spiega perché sotto il profili metodologico, il numero di vittime e di feriti atteso a seguito di un evento sismico venga generalmente relazionato al danno strutturale.

Tale approccio viene ripreso nel presente lavoro, nel quale, con riferimento a studi consolidati nel settore (Coburn, et al. 1992), l'analisi prevede di stimare tali perdite come funzione del danneggiamento agli edifici, del numero di persone presenti negli stessi e di un coefficiente correttivo espressivo di un "range" di fattori che possono modificare il potenziale panorama di

mortalità (i.e. tempi e modalità di collasso, numero di piani, tipologia dell'edificio, intensità dell'evento, etc.).

$$k_S = D5 \times \left[\underbrace{M1 \times M2}_{\text{numero persone presenti}} \times \underbrace{M3 \times (M4 + M5 (1 - M4))}_{\text{fattori condizionanti}} \right] \quad (8.3)$$

con

D5 *percentuale di edifici collassati (danno d5)*

M1 *popolazione per edificio*

M2 *% occupanti al momento del terremoto*

M3 *% occupanti che rimangono intrappolati per crolli*

M4 *% occupanti che muoiono immediatamente durante il collasso*

M5 *% occupanti che muoiono dopo il collasso (mortalità addizionale)*

Il fattore M2 è fortemente condizionato dall'ora in cui avviene l'evento e dall'eventuale manifestarsi di foreshocks che mettono in allerta la popolazione. Naturalmente queste circostanze influenzano in maniera determinante il numero di persone che risulteranno presenti nell'edificio al momento dell'evento ($M1 \times M2$).

Quindi, indicando sinteticamente

$$(M1 \times M2) = N_{\text{presenti}} \quad (8.4)$$

$$M3 \times (M4 + M5 (1 - M4)) = Q \quad (8.5)$$

la relazione (8.3), espressiva del numero di perdite attese rispetto al numero di edifici collassati (danno strutturale = 5), può essere espressa come segue:

$$k_S = D5 \times N_{\text{presenti}} \times Q \quad (8.6)$$

Per la valutazione del coefficiente correttivo Q, che sintetizza le condizioni espresse dai fattori M3, M4, M5, sono state definite delle probabilità di vittime e feriti, dato un certo livello di danno, sia per edifici in muratura che per edifici in cemento armato (in considerazione delle differenti modalità di collasso che essi manifestano e che possono significativamente influenzare il numero delle perdite attese). Tali stime sono state fondate su studi esistenti e statistiche mondiali, criticamente ritirate sulla base di dati derivanti dai terremoti del Friuli (1976) e dell'Irpinia (1980).

Innanzitutto, tali statistiche mostrano che la distribuzione di vittime e feriti, tra le persone intrappolate nell'edificio, si articola come segue:

Tab. 8.2

Muratura	20 %	Morti	40 %	Cemento Armato
	30 %	Feriti gravemente con necessità di cure immediate	10 %	
	30 %	Ospedalizzati	40 %	
	20 %	Feriti Lievi	10 %	

ovvero, più in generale

Tab. 8.3

Muratura	20 %	Morti	40 %	Cemento Armato
	80 %	Feriti	60 %	

Pur essendo estremamente complesso definire un valore percentuale di presenti che rimangono intrappolati (M3), dipendendo tale valore da una molteplicità di fattori, quali i tempi e la modalità di collasso, il numero di piani e la tipologia dell'edificio, l'intensità dell'evento, etc., è possibile utilizzare quale unico valore di riferimento quello che nei medesimi studi di cui sopra è associato alla peggiore condizione possibile ed è assunto pari a circa il 70%.

Quindi ponendo per ipotesi che $M3 \cong 0.70$, i valori in Tab. 8.3 diventano:

Tab. 8.4			
Muratura	14 %	Morti	28 %
	56 %	Feriti	42 %

Pertanto, il coefficiente correttivo Q , che sintetizza le condizioni espresse dai fattori M3, M4, M5, può essere stimato pari a:

$$(\% \text{ Vittime}) \quad Q_V = \begin{cases} 0,14 & \text{muratura} \\ 0,28 & \text{cemento armato} \end{cases}$$

$$(\% \text{ Feriti}) \quad Q_F = \begin{cases} 0,56 & \text{muratura} \\ 0,42 & \text{cemento armato} \end{cases}$$

E quindi la relazione (8.6) $k_S = D5 \times N_{\text{presenti}} \times Q$ (8.6 diventa

$$(\text{Vittime}) \quad \begin{aligned} k_{SV} &= D5 \times N_{\text{presenti}} \times 0.14 && \text{per edifici in muratura} \\ k_{SV} &= D5 \times N_{\text{presenti}} \times 0.28 && \text{per edifici in cemento armato} \end{aligned} \quad (8.7)$$

$$(\text{Feriti}) \quad \begin{aligned} k_{SF} &= D5 \times N_{\text{presenti}} \times 0.56 && \text{per edifici in muratura} \\ k_{SF} &= D5 \times N_{\text{presenti}} \times 0.42 && \text{per edifici in cemento armato} \end{aligned} \quad (8.8)$$

Le relazioni (8.7) e (8.8) **(Feriti)**

$$k_{SF} = D5 \times N_{\text{presenti}} \times 0.56 \quad \text{per edifici in muratura}$$

$$k_{SF} = D5 \times N_{\text{presenti}} \times 0.42 \quad \text{per edifici in cemento armato}$$

(8.8 sono basate sull'ipotesi

che vittime e feriti dipendano esclusivamente dal numero di edifici collassati (danno strutturale = d5). Tuttavia è plausibile ipotizzare che una distribuzione di *casualties* esista anche in relazione agli altri livelli di danno; pertanto più in generale la relazione (8.6) $k_S = D5 \times N_{\text{presenti}} \times Q$ (8.6 può essere espressa come:

$$(\text{Vittime}) \quad k_{SV} = \sum_{j=0}^5 D_j \times N_{\text{presenti}} \times Q_{Vj} \quad (8.9)$$

$$(\text{Feriti}) \quad k_{SF} = \sum_{j=0}^5 D_j \times N_{\text{presenti}} \times Q_{Fj} \quad (8.10)$$

con D_j probabilità di danneggiamento di livello j degli edifici per l'arco temporale analizzato.

Tale valore è ottenuto, come convoluzione di probabilità tra i valori di pericolosità assunti, ovvero con le occorrenze annue di intensità macrosismica risentite al Comune (annue o in differenti archi temporali) e le probabilità di attingere un certo livello di danneggiamento per intensità (DPM).

Per quanto riguarda i fattori Q_{Vj} e Q_{Fj} , relazioni tra danni strutturali gravissimi (danno strutturale = d4) e numero di persone coinvolte sono più difficilmente agganciabili a statistiche esistenti. Su questo punto si può soltanto fare un'ipotesi ragionevole; per esempio che tali valori siano compresi tra 1/4 - 1/5 di quelli riscontrati per gli edifici collassati.

Sulla base delle considerazioni precedenti, quindi, possono essere ipotizzati i seguenti valori di Q_{Vj} e Q_{Fj} , che definiscono la probabilità di vittime e feriti, condizionata al danno strutturale:

$$\begin{array}{lcl}
 \text{(Vittime)} & \begin{array}{l} d = [0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5] \\ d = [0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5] \end{array} & \begin{array}{l} Q_{Vj} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.03 \ 0.14] \text{ Muratura} \\ Q_{Vj} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.06 \ 0.28] \text{ Cemento Armato} \end{array}
 \end{array} \quad (8.11)$$

$$\begin{array}{lcl}
 \text{(Feriti)} & \begin{array}{l} d = [0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5] \\ d = [0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5] \end{array} & \begin{array}{l} Q_{Fj} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.12 \ 0.56] \text{ Muratura} \\ Q_{Fj} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.10 \ 0.42] \text{ Cemento Armato} \end{array}
 \end{array} \quad (8.12)$$

Ai fini di un'analisi di rischio occorre, inoltre, conoscere il numero di oggetti esposti, ovvero stimare il numero di persone presenti negli edifici $N_{presenti}$, di cui alle (8.9) e (8.10).

A tale scopo, nell'analisi potrebbero essere considerate a rigore due differenti situazioni, che si riferiscono rispettivamente ad una condizione di rischio massimo e ad una condizione di rischio medio. Nel primo caso si dovrebbe ipotizzare l'edificio occupato dal massimo numero di persone; nel secondo caso lo stesso occupato da un numero medio di persone, stimato come percentuale dei residenti.

Tuttavia, tenuto conto che le statistiche dimostrano altamente improbabile una presenza negli edifici del 100% dei residenti, nella presente analisi si è scelto di considerare solo la condizione di un'occupazione media dell'edificio, ovvero di stimare il numero di persone presenti come percentuale rispetto al numero di residenti N_{res}

$$N_{presenti} = N_{res} \times W \quad (8.13)$$

Per la stima della percentuale W di residenti ci si è riferiti ad una distribuzione di presenza plausibile nell'arco di una giornata per edificio a destinazione residenziale (Tab. 8.5, Fig. 8.1)

Tab. 8.5 - Distribuzione di presenza nell'arco di una giornata per edificio a destinazione residenziale

Orario	0	4	8	3	16	20	24
% Presenti	100 %	90 %	50 %	100 %	50 %	70 %	100 %
Media	0.65						
Dev. Standard	0.27						

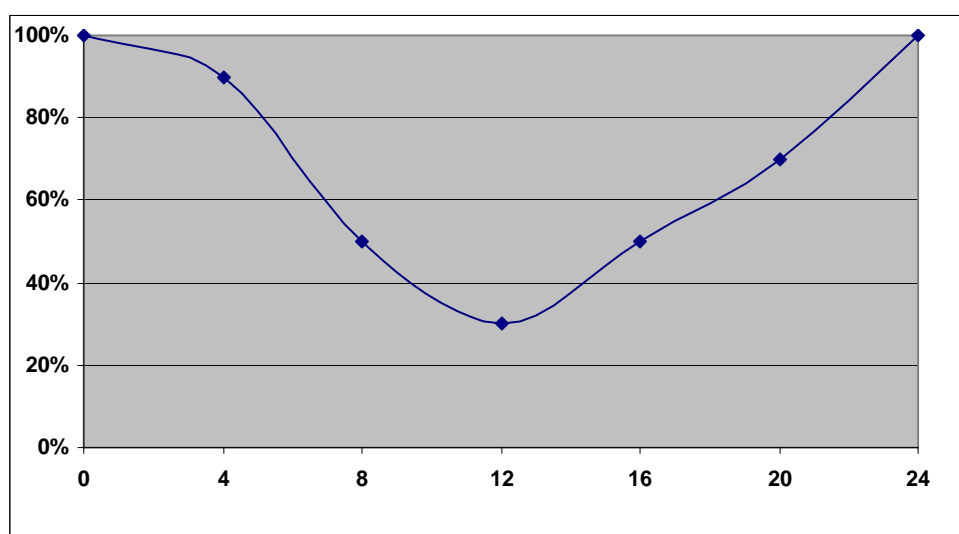


Fig. 8.1 - Distribuzione di presenza nell'arco di una giornata per edificio a destinazione residenziale

Pertanto nell'analisi si è assunta una presenza effettiva media del 65% degli residenti ($W = 0,65$)

Per quanto concerne la valutazione del numero di residenti, è stato necessario valutare preventivamente per ogni Comune il numero di occupanti per edifici distinti nelle differenti classi di vulnerabilità k . Questo perché, essendo il numero delle *casualties* dipendente dal danneggiamento agli edifici (come mostrato nelle (8.9) e (8.10)), occorre distinguere questi ultimi in funzione della loro differente propensione al danneggiamento ed in queste classi distribuire la popolazione esposta.

Sulla base dei dati disponibili, si è operato come di seguito descritto.

Dal Data Base ISTAT 1991 è possibile desumere il valore

- $N_{res}(C_{ist})$ = numero di residenti per Comune suddivisi nelle 24 classi tipologiche Istat C_{ist}

Dal DB di inventario degli edifici rilevati mediante schede (par. 4.2), è possibile desumere:

- $G\Delta_{res}(C_{ist})$ = numero di occupanti medio per edificio, per ognuna delle 24 classi tipologiche Istat C_{ist} in riferimento a ciascun gruppo omogeneo di appartenenza del Comune

Dalle elaborazioni di cui al cap. 4 è, inoltre, noto il valore

- $V_{gk}(C_{ist})$ = distribuzione percentuale degli edifici in classi di vulnerabilità k ($k = A, B, C, D, E$) per ognuna delle classi tipologiche C_{ist} nell'ambito dei Comuni appartenenti al gruppo omogeneo g

Pertanto, è possibile valutare la distribuzione percentuale $N_{res\ gk}(C_{ist})$ degli abitanti nelle classi k di vulnerabilità per ognuna delle 24 classi C_{ist} , nell'ambito dei Comuni appartenenti al gruppo omogeneo g :

$$N_{res\ gk}(C_{ist}) = V_{gk}(C_{ist}) \times G\Delta_{res}(C_{ist}) \quad (8.14)$$

Quindi, noto il numero di residenti per Comune suddivisi nelle 24 classi tipologiche Istat C_{ist} ($N_{res}(C_{ist})$), applicando le distribuzioni percentuali di cui alla $N_{res\ gk}(C_{ist}) = V_{gk}(C_{ist}) \times G\Delta_{res}(C_{ist})$

(8.14), il numero effettivo di occupanti distribuiti nelle 24 classi C_{ist} e nelle classi di vulnerabilità k ($N_{res\ k}(C_{ist})$), si ottiene come

$$N_{res\ k}(C_{ist}) = N_{res\ gk}(C_{ist}) \times N_{res}(C_{ist}) \quad (8.15)$$

Pertanto, il numero totale di occupanti per classe di vulnerabilità nel Comune è ottenuto come:

$$N_{res\ k} = \sum_{C_{ist}=1}^{24} N_{res\ k}(C_{ist}) \quad (8.16)$$

A questo punto, risultano note tutte le variabili di cui alle (8.9) e (8.10).

Pertanto i risultati di queste analisi possono sintetizzarsi come segue:

- definizione della probabilità di vittime e feriti, condizionata al danno strutturale (8.11) e (8.12);
- definizione delle probabilità di vittime e feriti, condizionata al danno strutturale, alla classe di vulnerabilità ed all'intensità;
- numero medio di persone presenti negli edifici per classe di vulnerabilità
(8.16) $N_{res\ k} = \sum_{C_{ist}=1}^{24} N_{res\ k}(C_{ist})$ (8.16);
- numero annuo atteso di vittime e feriti per Comune (8.9) e (8.10).

Per quanto attiene la valutazione del numero dei senzatetto si è operato con un'impostazione analoga alla precedente, stimando tale valore in relazione al numero di residenti in edifici inagibili

e, quindi, valutando la probabilità di inagibilità condizionata al verificarsi di un livello di un certo livello danno, (in questo caso indipendentemente dalla classe di vulnerabilità), attraverso elaborazioni statistiche dei dati riferiti agli ultimi recenti eventi sismici in Italia (Umbria-Marche 97, Pollino 98, Molise 02).

L'esame di questi data-base conferma che la probabilità di inagibilità non dipende sensibilmente dalla tipologia dell'edificio e dalla vulnerabilità dello stesso, ma principalmente dal danno strutturale. A rigore, l'interpretazione di tali data base mostra una probabilità di inagibilità anche per danni nulli (d0) o lievi-medi (d1-d2); ciò evidentemente determinato da casi di inagibilità indotta per rischio esterno, rischio geotecnico, o per esempio connesso a danni non strutturali. Tuttavia, tale probabilità non è risultata, al momento, sufficientemente robusta. Pertanto, nelle presenti elaborazioni si è scelto di considerare esclusivamente le inagibilità a partire da un danno strutturale d3, come evidenziato nella Tab. 8.6, riservando a future elaborazioni valutazioni più accurate anche per danni di livello inferiore, tarate su un più esteso campione di dati.

Tab. 8.6

Livello di danno d_j	0	1	2	3	4	5
fattore di inagibilità I_j	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00

Pertanto, il numero di senzatetto può essere espresso come:

$$S_T = \left[\sum_{j=0}^5 D_j \times I_j \times N_{res} \right] - k_{SV} \quad (8.17)$$

con

D_j probabilità di danneggiamento di livello j degli edifici per l'arco temporale analizzato d_j .
 I_j percentuale di inagibilità di cui alla Tab. 8.6
 N_{res} numero totale di residenti nel Comune
 k_{SV} numero di vittime calcolate secondo la (8.9)

8.4 Mappe di rischio

I risultati di cui alle mappe di rischio allegate sono stati calcolati come convoluzione di probabilità di danneggiamento degli edifici (crollati totali, danneggiati, inagibili) e della popolazione (vittime, feriti e senzatetto) in un pre-assegnato arco temporale (annuo, o per periodi temporali standard: 95, 475, 975, 2475 anni).

Come già detto nei paragrafi precedenti, si sono impiegate le analisi di inventario descritte al par.4, le analisi di pericolosità del CD SSN 2001 e la recente mappa di pericolosità con periodo di ritorno di 475 anni prodotta dal DPC (Stucchi 2004) e le matrici di vulnerabilità del danno di cui al par. 5.

Si consegnano di seguito i principali risultati delle analisi di rischio prodotte; i valori di rischio annuo per ogni Comune sono calcolate il in termini di :

- numero di edifici crollati e percentuale di edifici crollati rispetto all'edificato complessivo. Si considerano gli edifici con livello di danno D5,
- numero di edifici inagibili e percentuale di edifici inagibili rispetto all'edificato complessivo. Si considerano in questo caso gli edifici con livello di danno D4 e D5 ed il 50% degli edifici con livello di danno D3,
- numero di edifici danneggiati lievemente (agibili) e percentuale di edifici danneggiati lievemente rispetto all'edificato complessivo. Si considerano gli edifici con livello di danno D2 ed il 50 % degli edifici con livello di danno D3,

- numero di vittime attese e percentuale di vittime attese rispetto alla popolazione del Comune,
- numero di feriti attesi e percentuale di feriti attesi rispetto alla popolazione del Comune,
- numero di senzatetto attesi e percentuale di senza-tetto attesi rispetto alla popolazione del Comune.

I risultati sono sintetizzati nelle mappe di rischio che si riportano nel seguito.

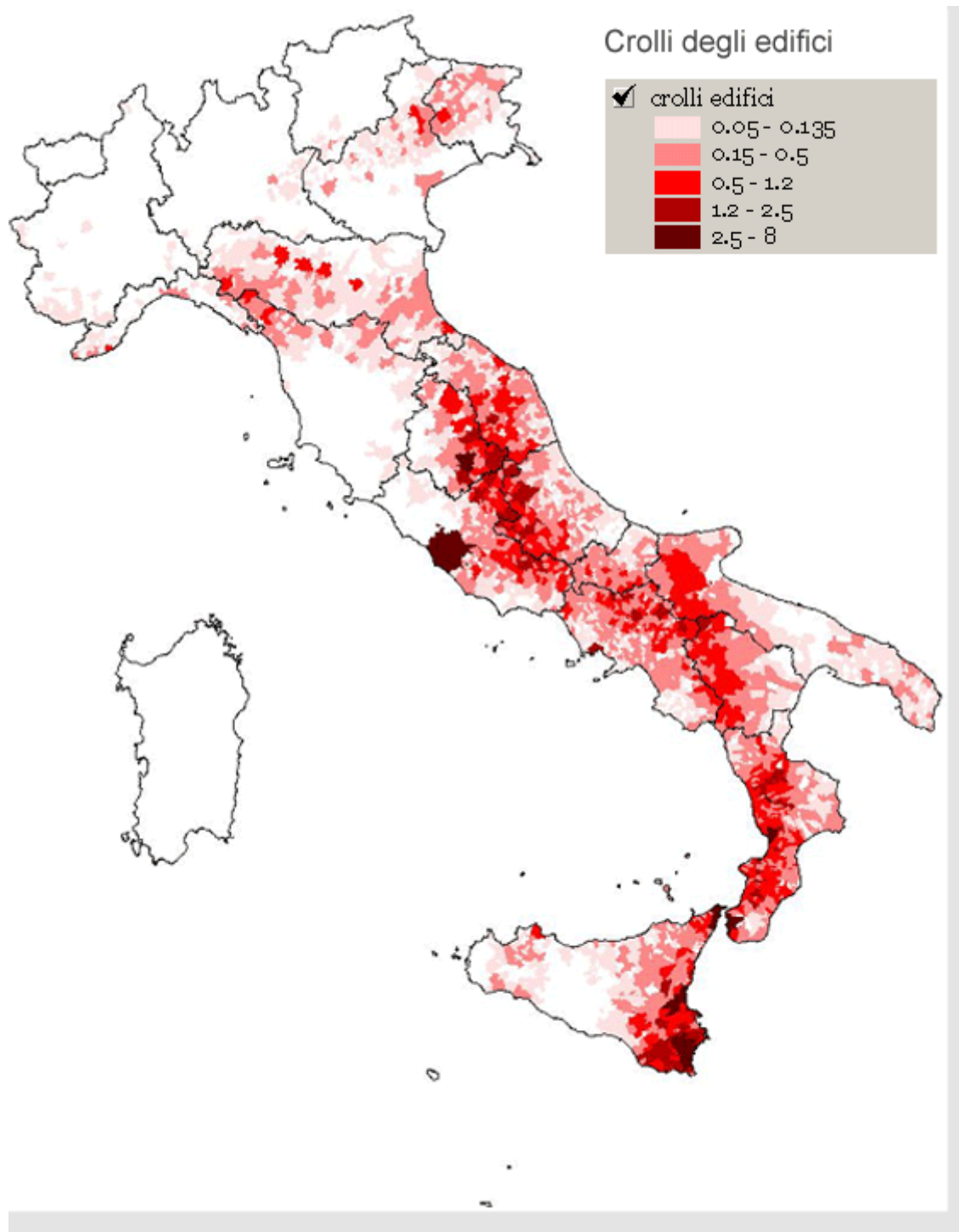


Fig. 8.2

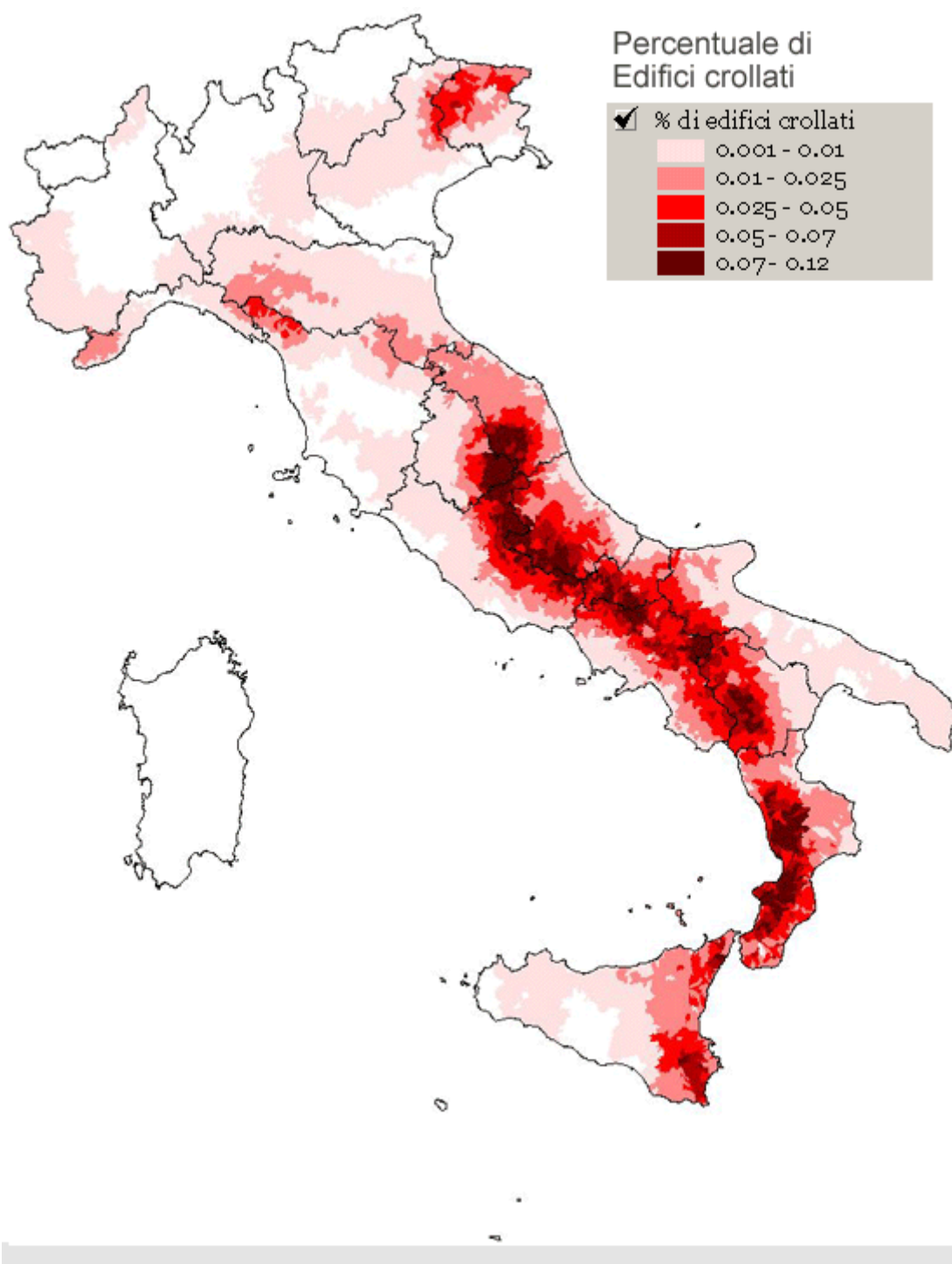


Fig. 8.3

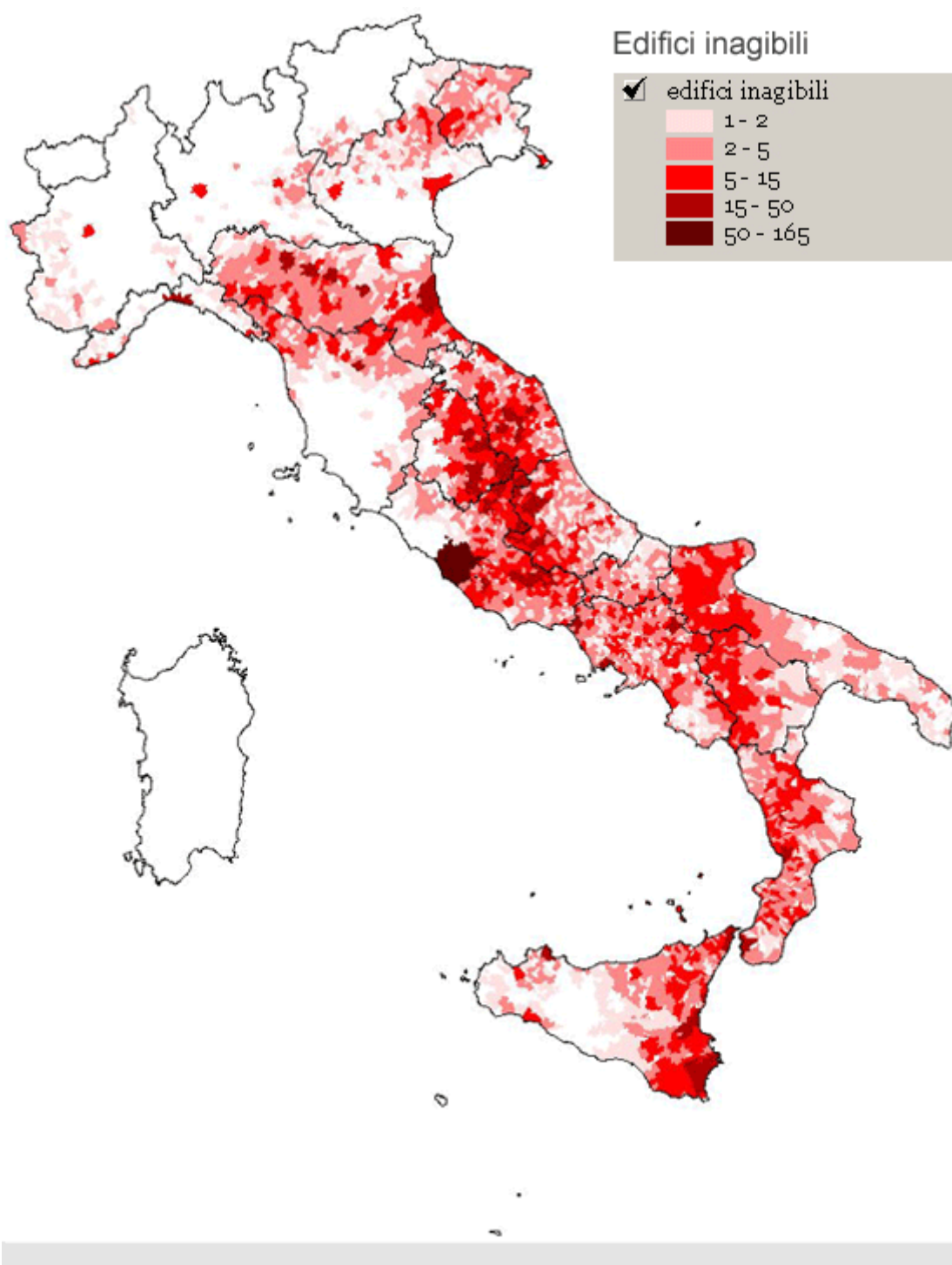


Fig. 8.4

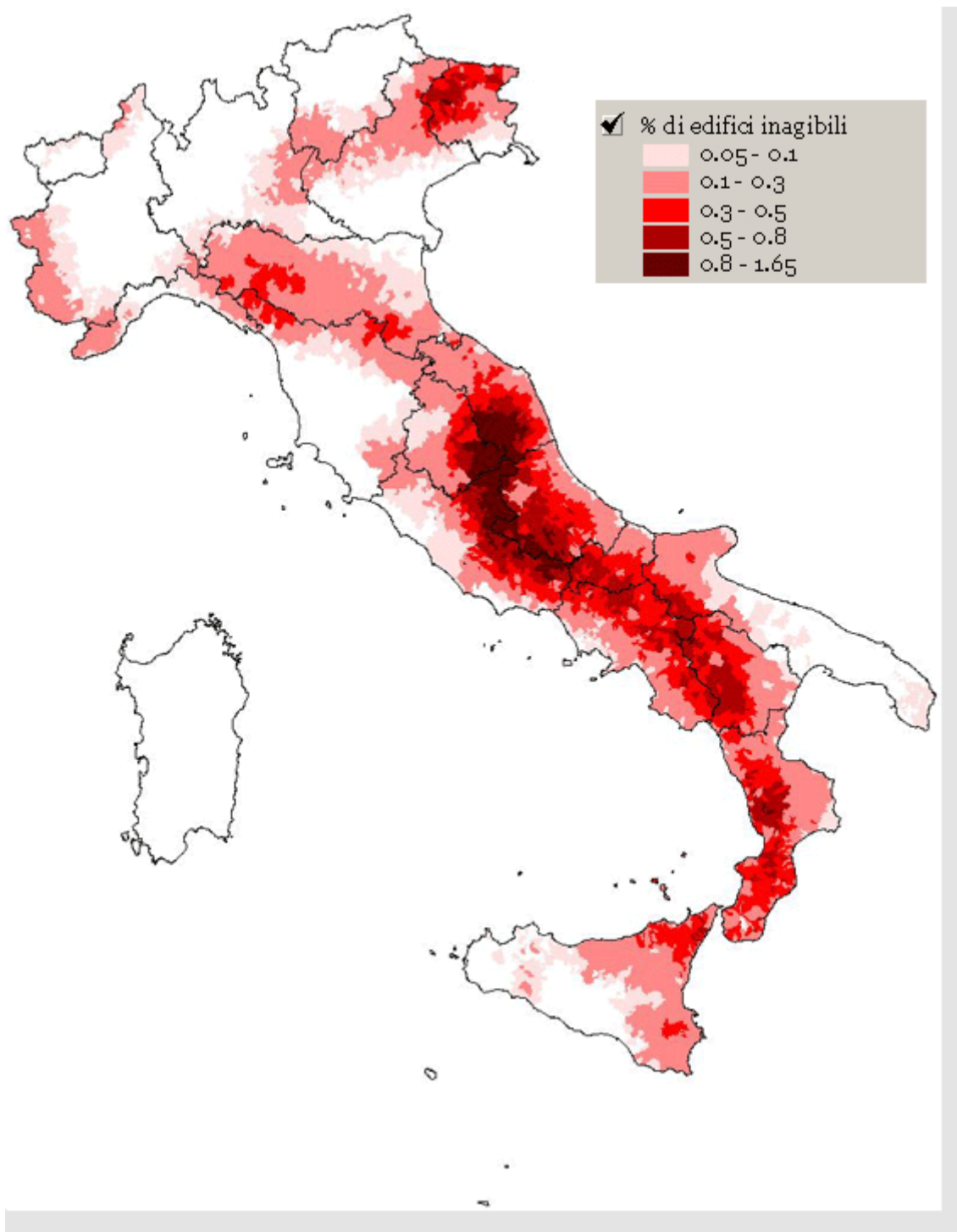


Fig. 8.5

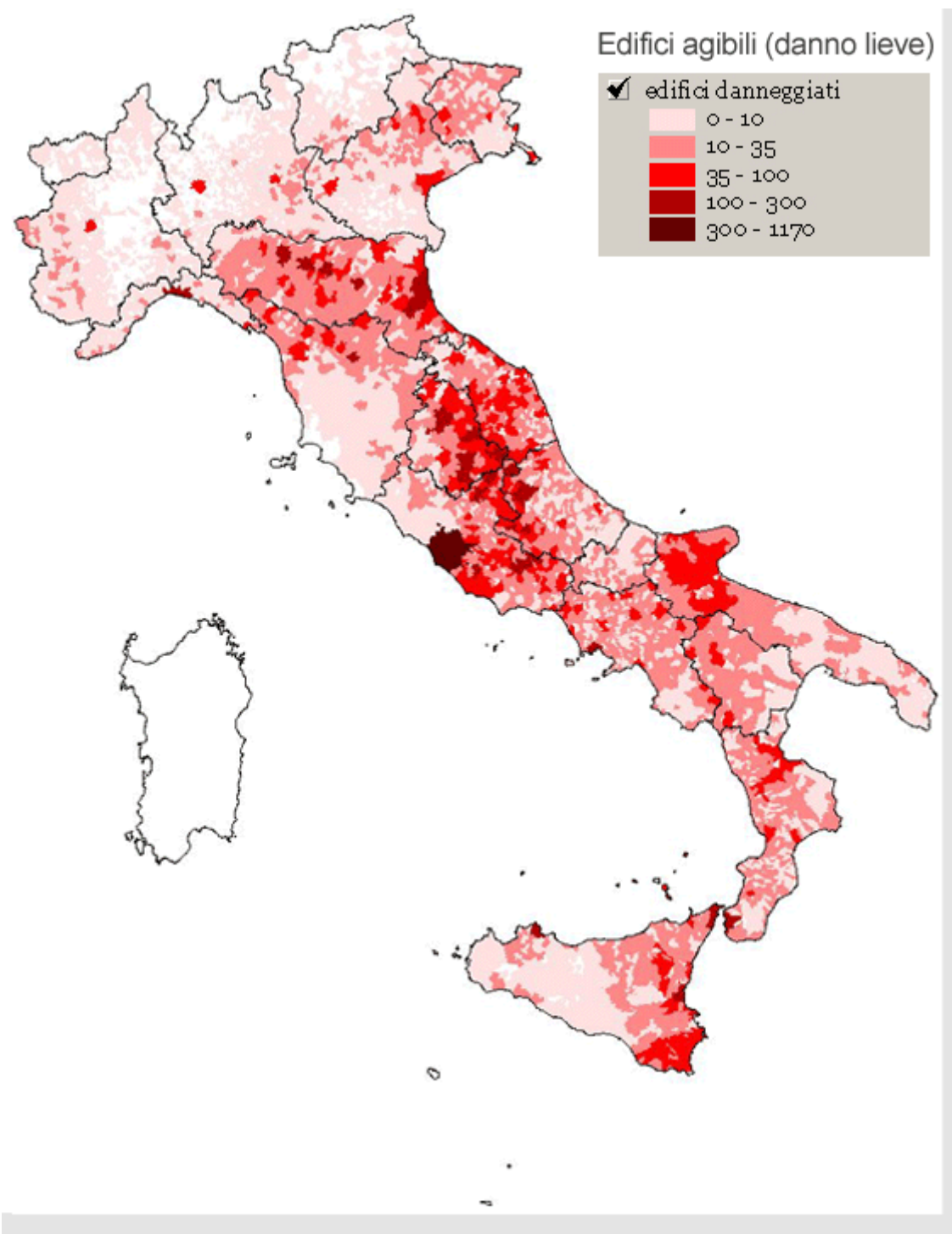


Fig. 8.6

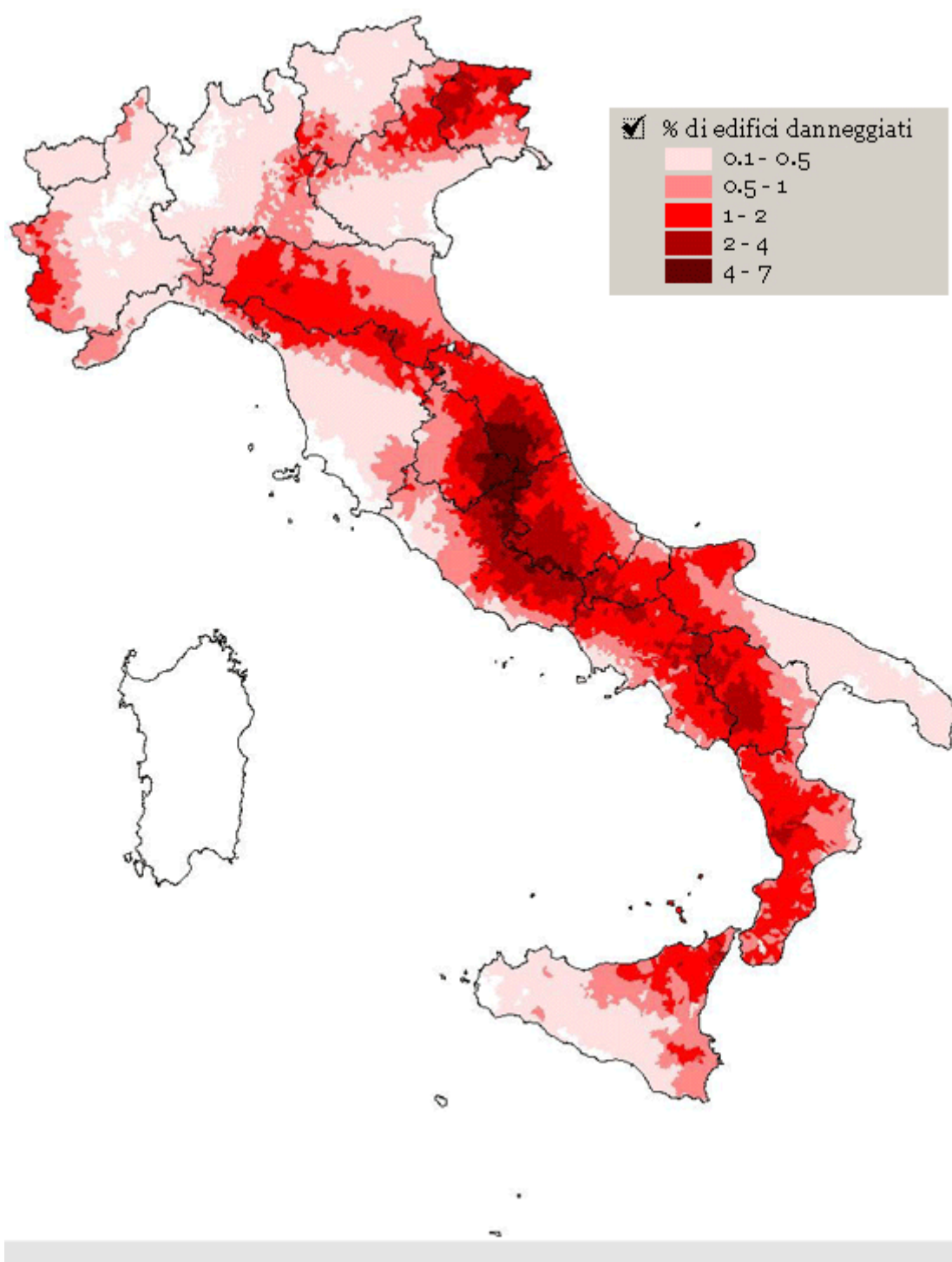


Fig. 8.7

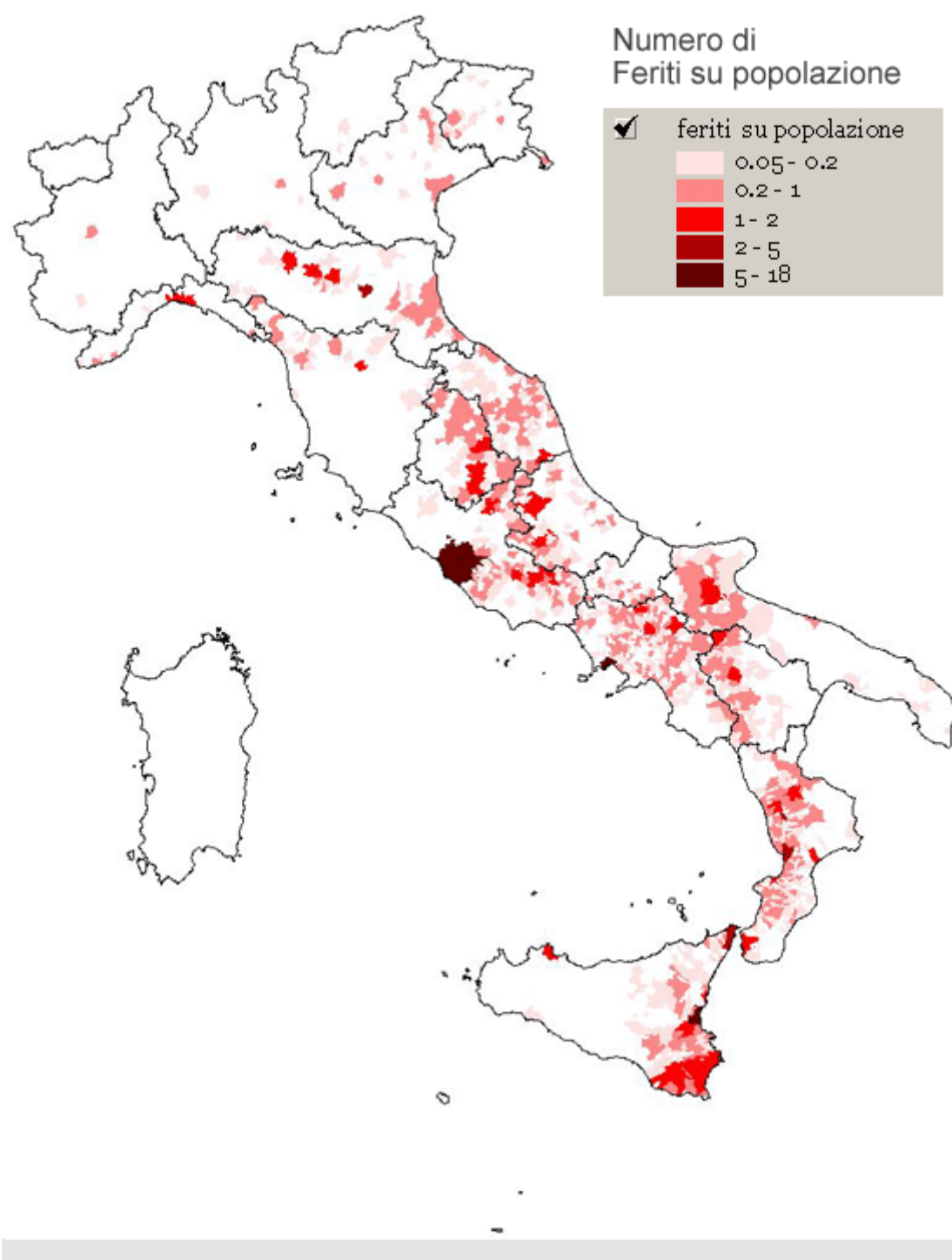


Fig. 8.8

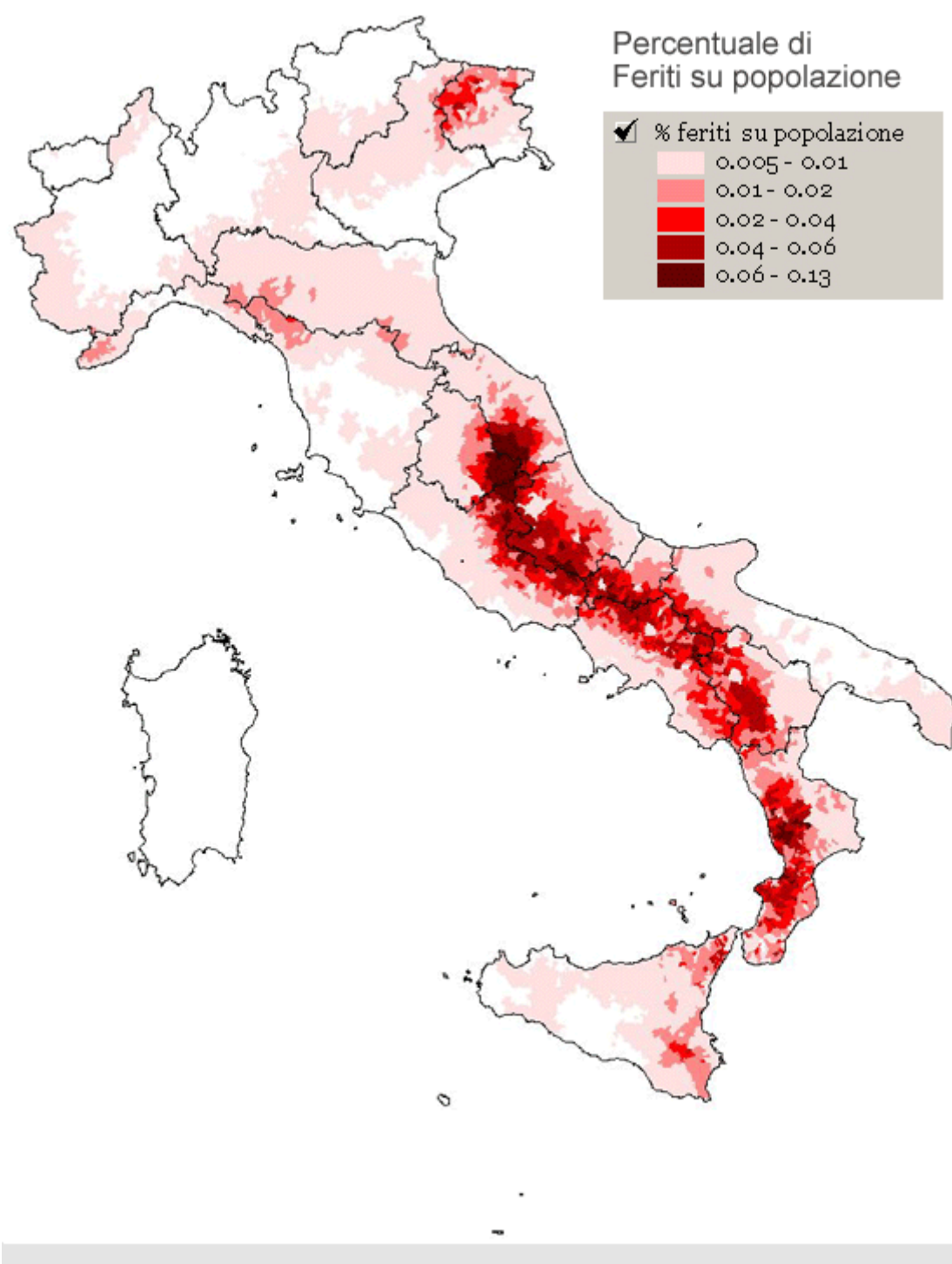


Fig. 8.9

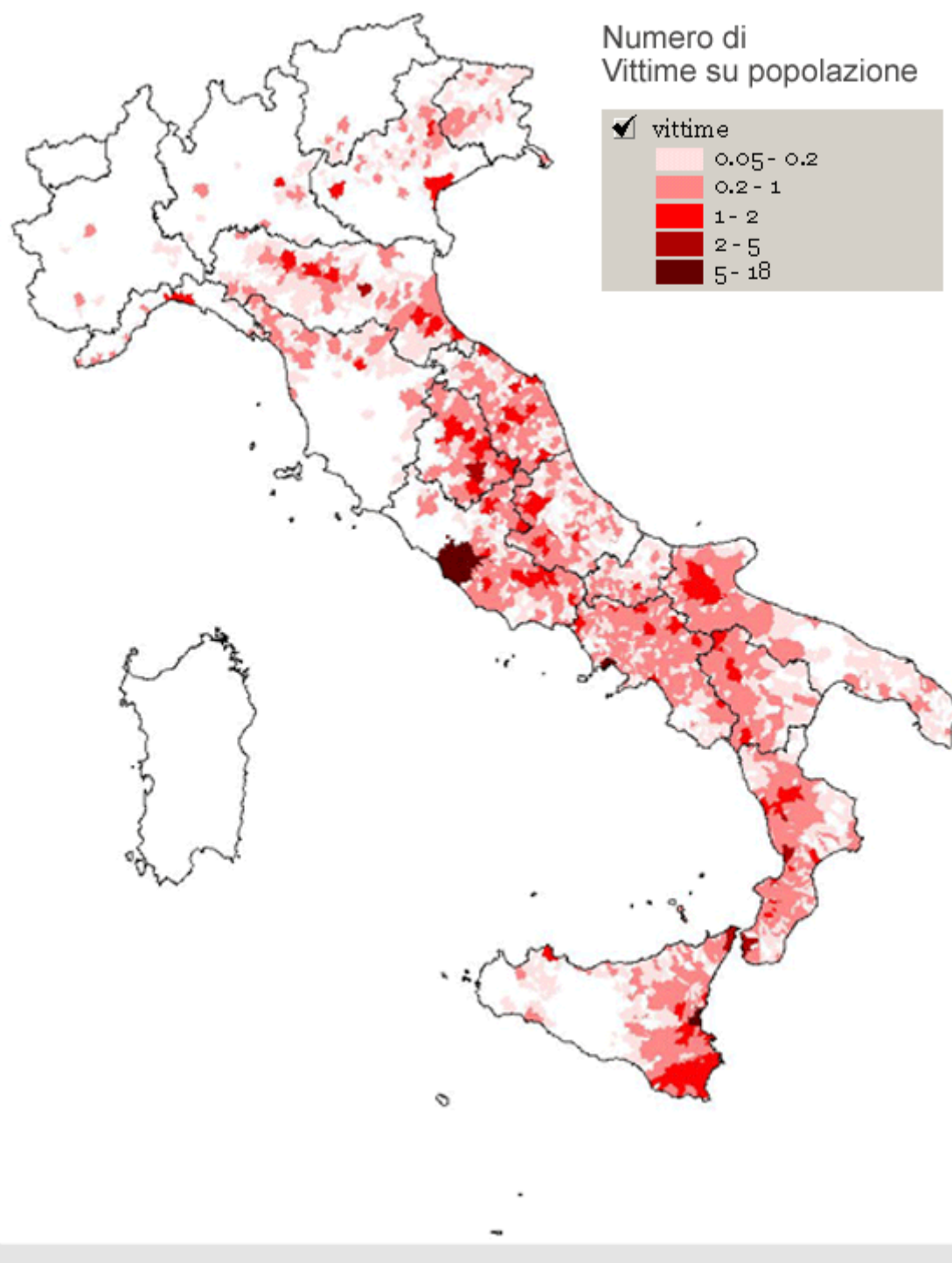


Fig. 8.10

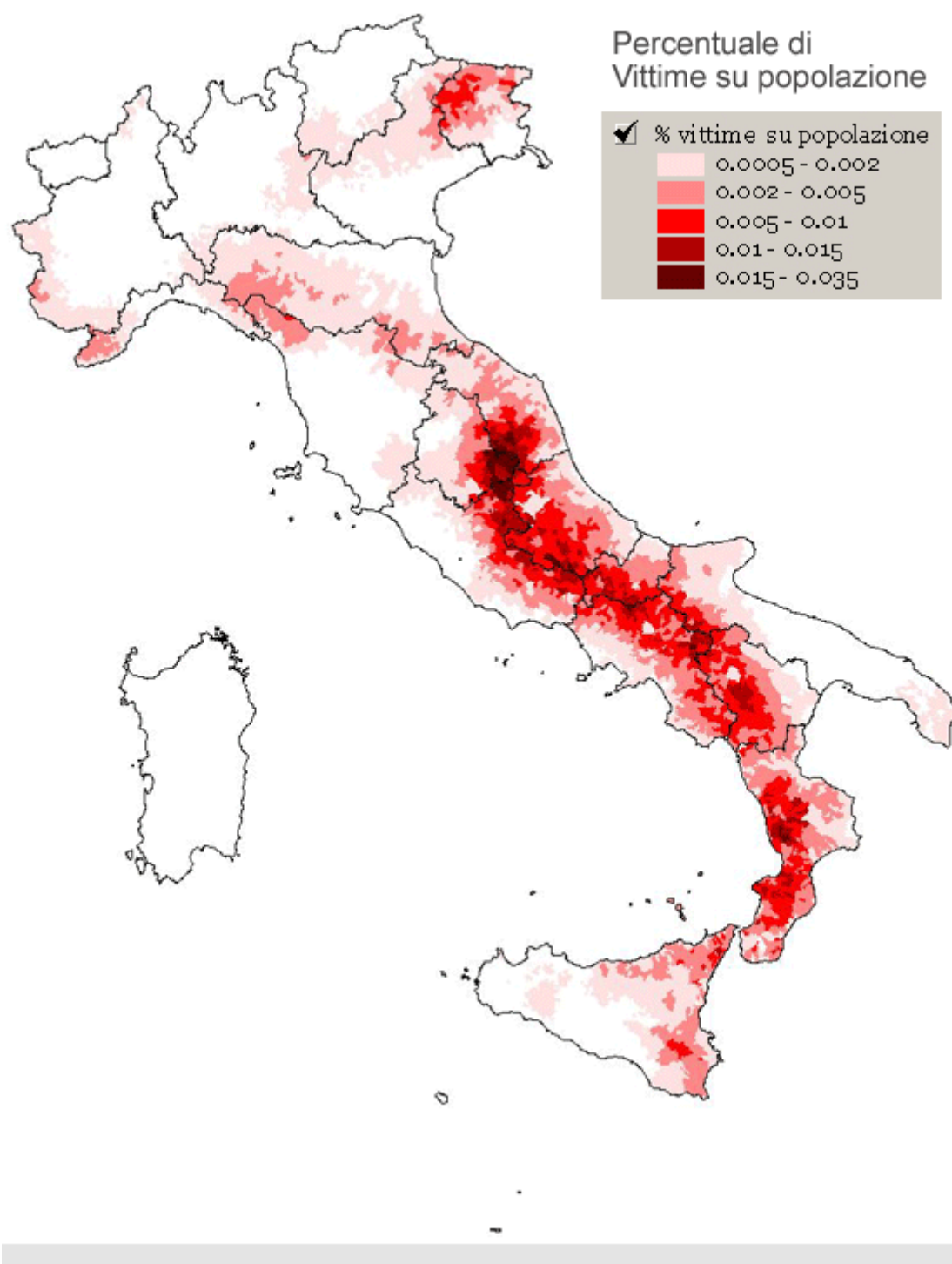


Fig. 8.11

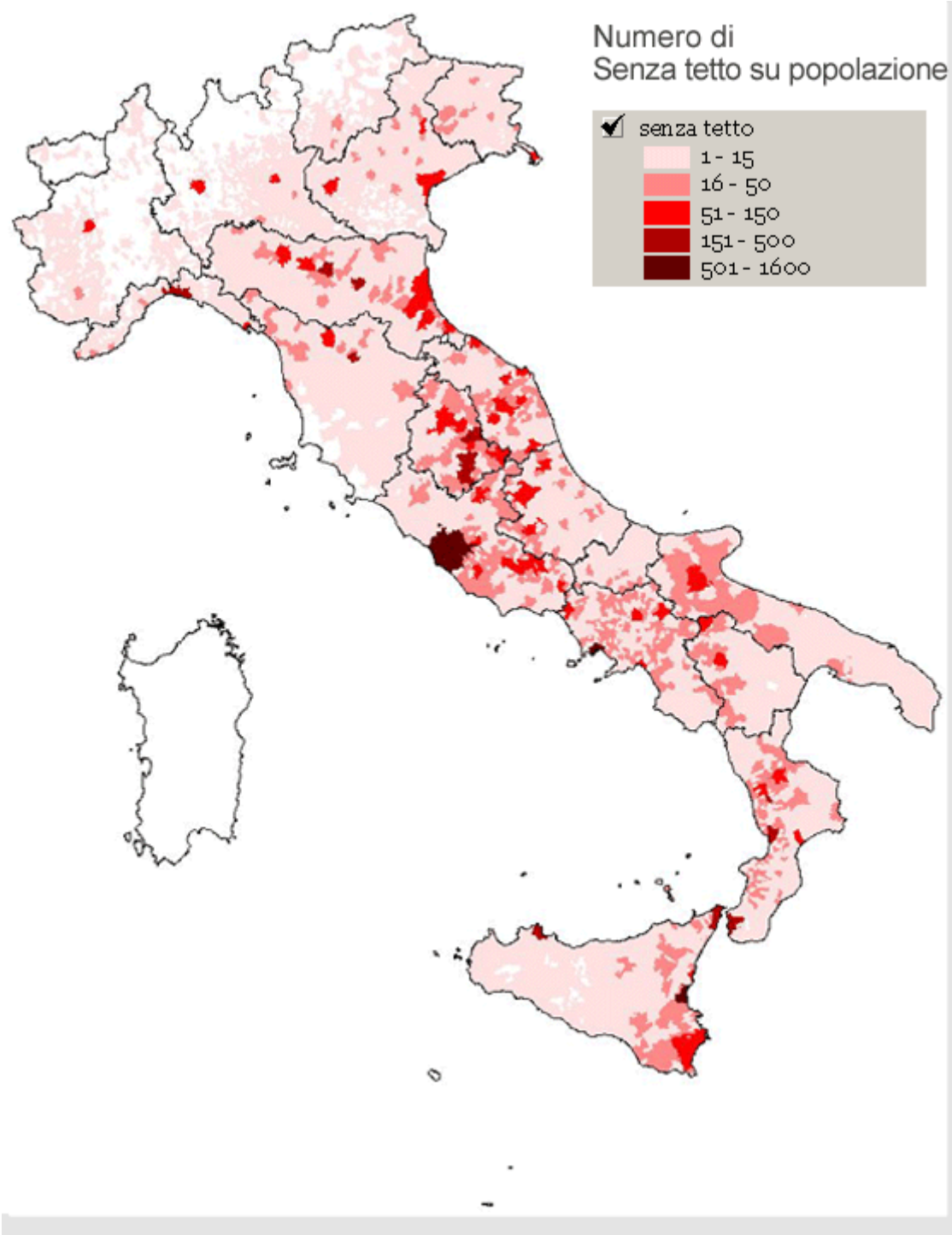


Fig. 8.12

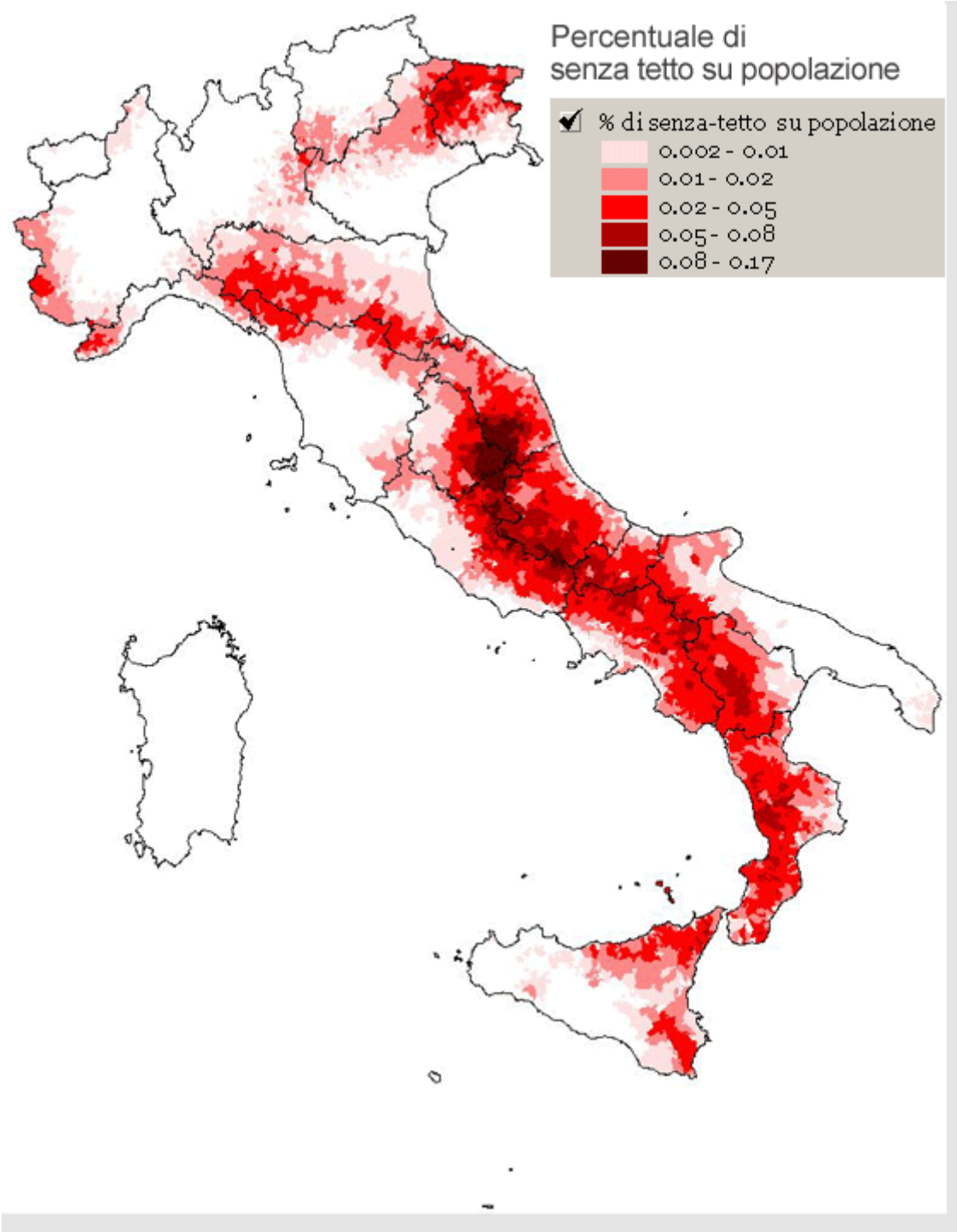
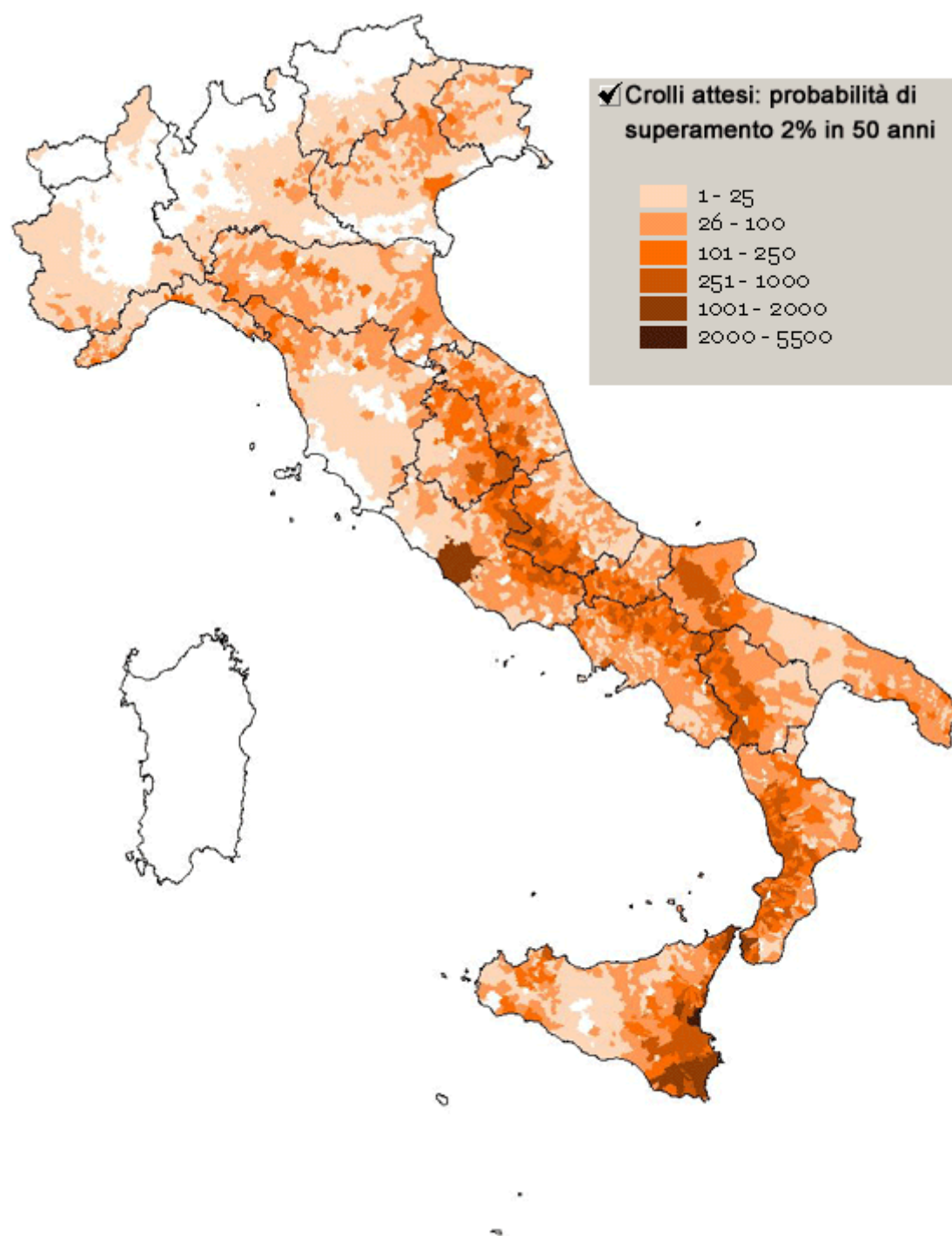


Fig. 8.13



Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.

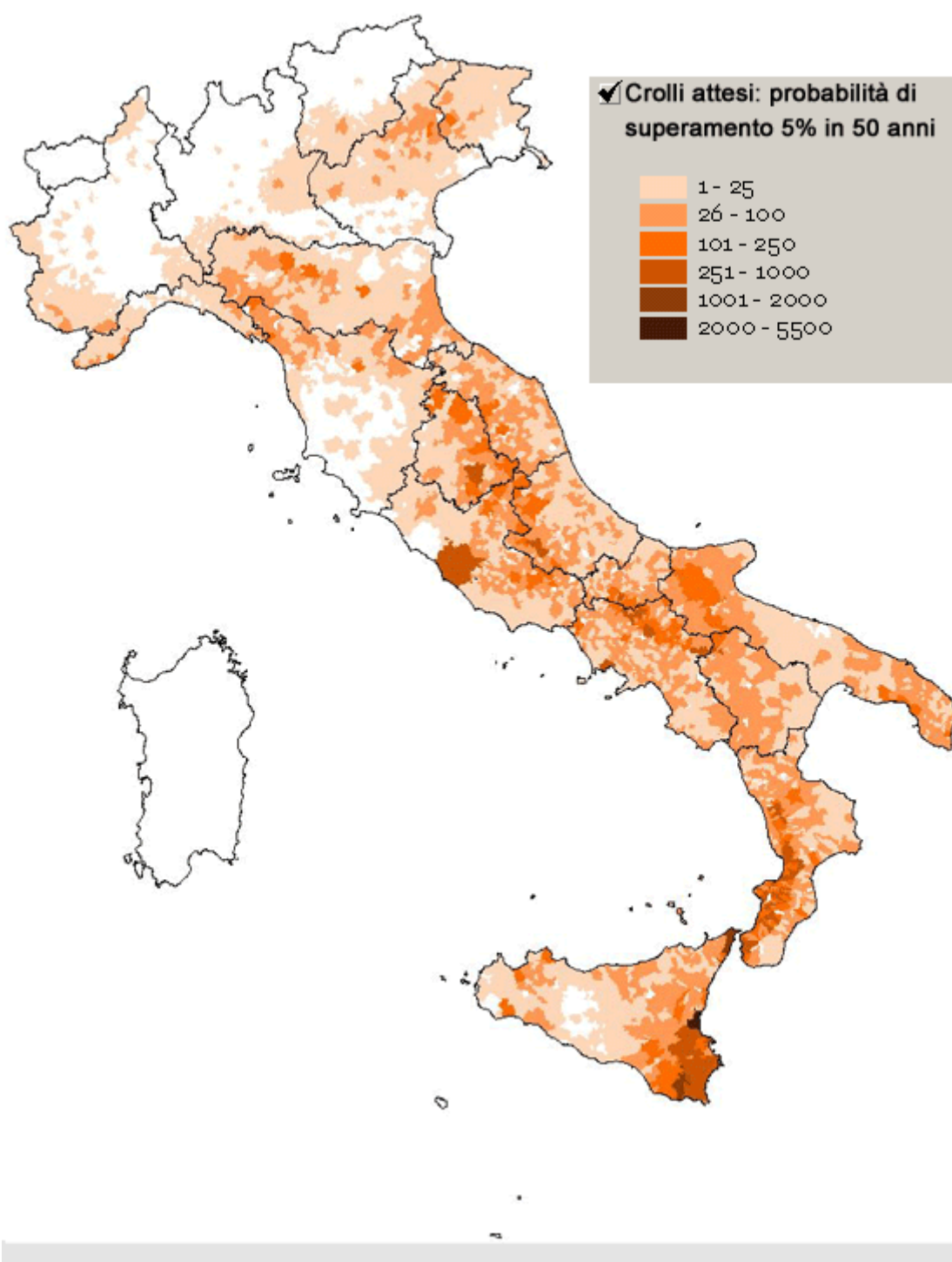


Fig. 8.

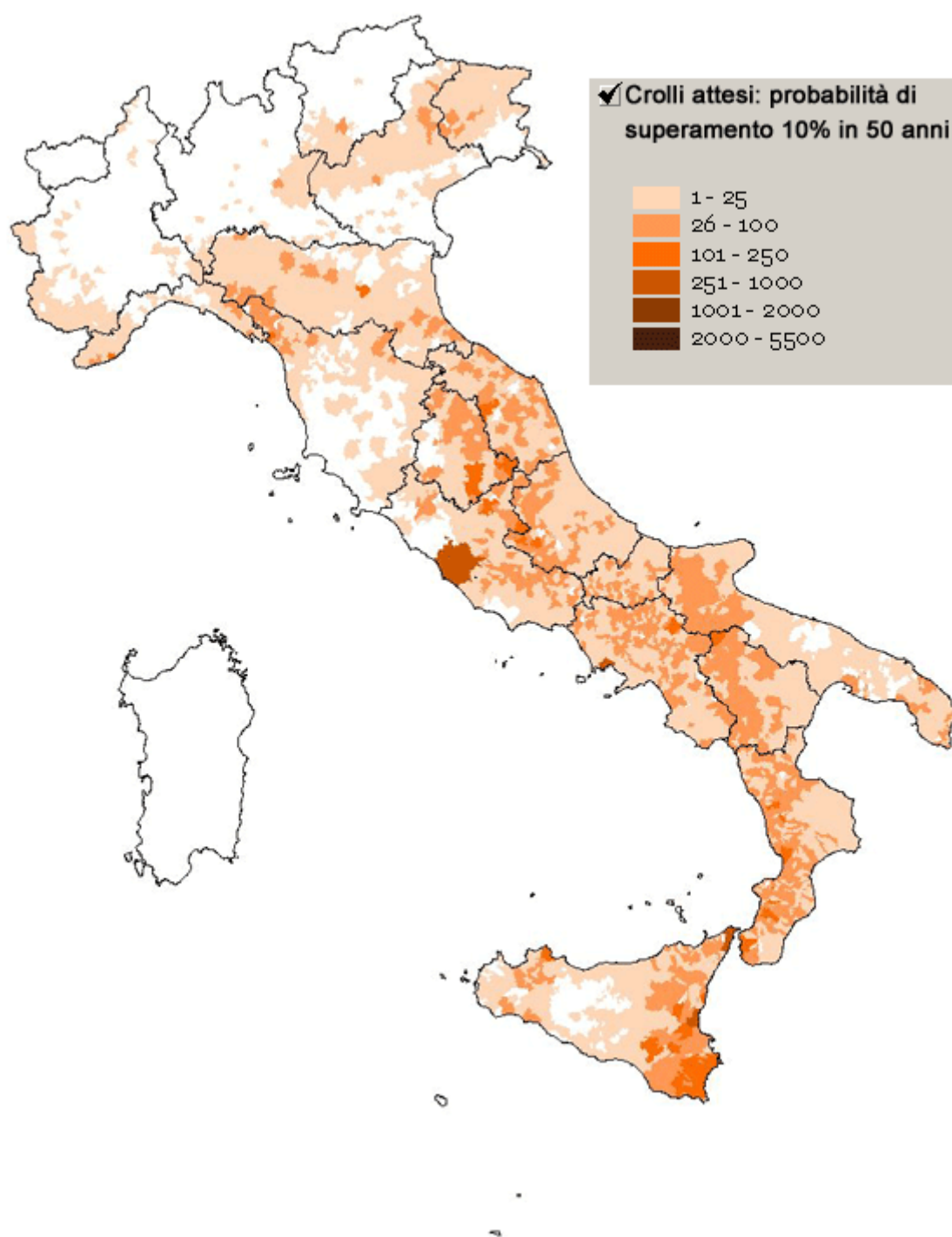


Fig. 8.

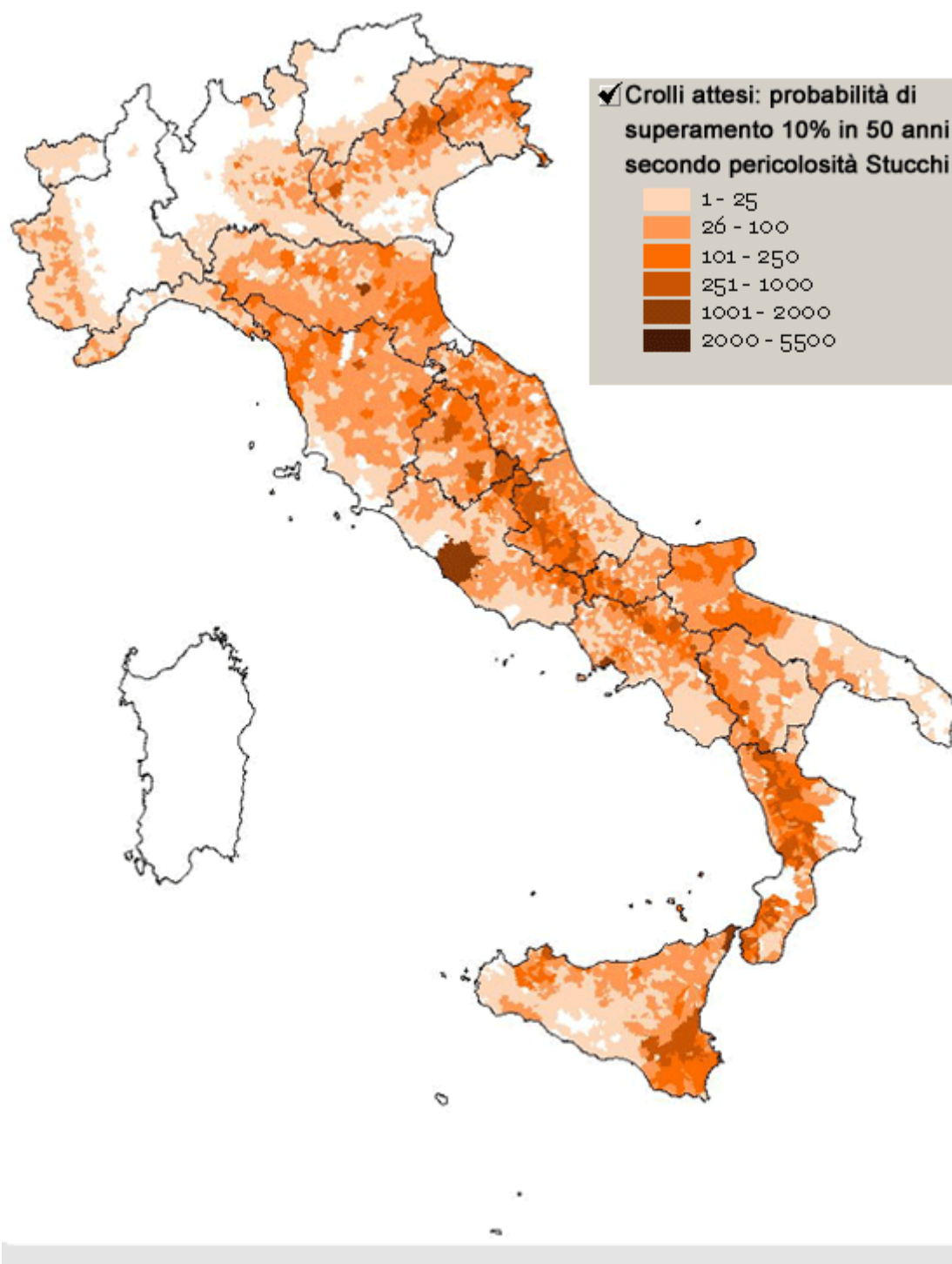


Fig. 8.14

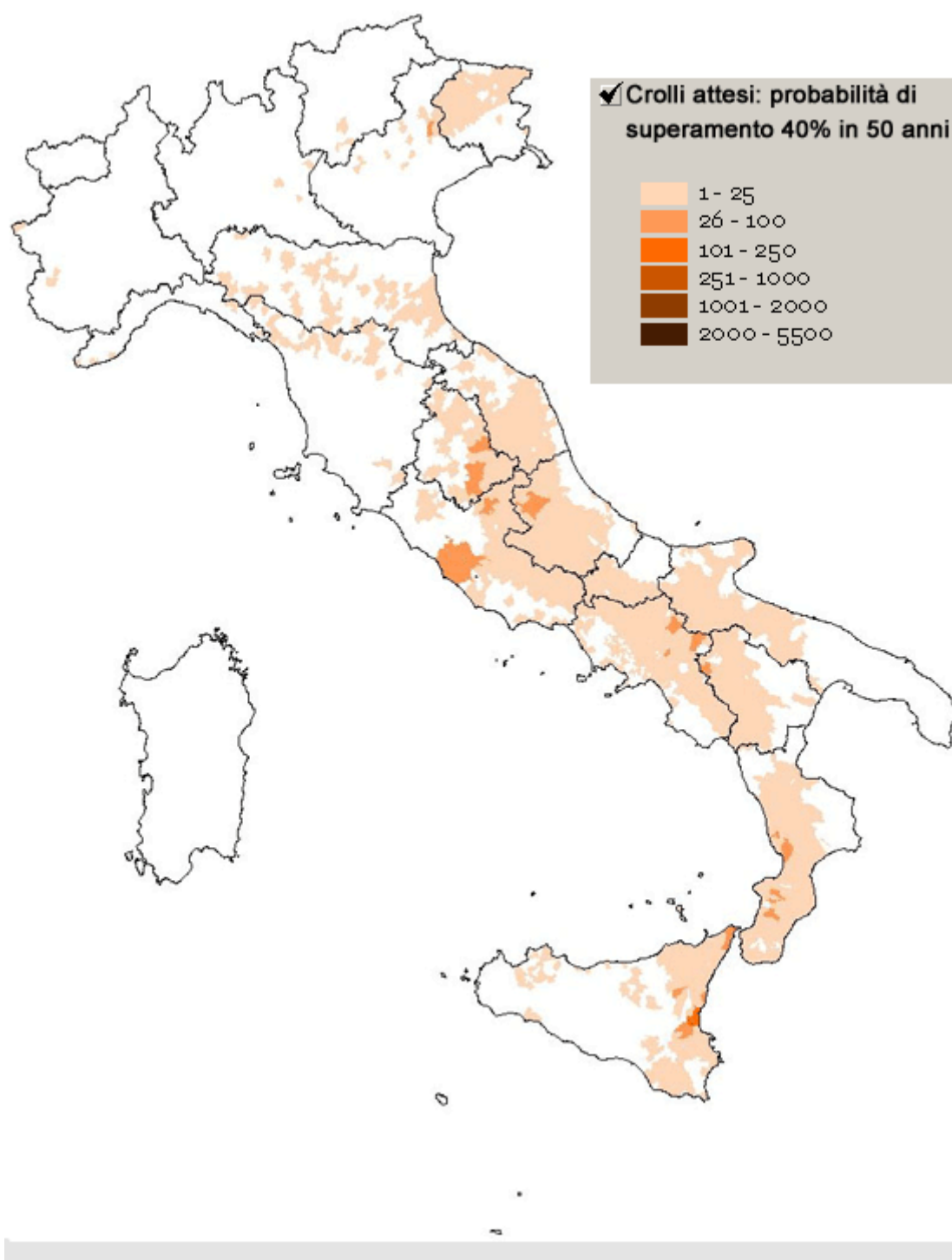


Fig. 8.15

8.4.1 Confronto con le Mappe SSN 2001

Al fine di confrontare i risultati ottenuti con quelli pubblicati dal Servizio Sismico Nazionale nel 2001, si sono valutati, per ogni Comune alcuni parametri di rischio come definiti nella pubblicazione “Il rischio sismico in Italia” (SSN 2001) :

- il numero delle abitazioni crollate, inagibili e lievemente danneggiate,
- la popolazione coinvolta in crolli (intesa come occupanti degli edifici con danno D5)
- l'indice di danno medio totale espresso come in termini di superficie danneggiata complessiva

$$\text{Suprisk} = \text{sup}(D1)*0.01 + \text{sup}(D2)*0.1 + \text{sup}(D3)*0.35 + \text{sup}(D4)*0.75 + \text{sup}(D5) \quad (8.18)$$

- l'indice di rischio sismico globale valutato come somma pesata dei valori (normalizzati rispetto al valore massimo) del danno medio totale (peso 1/3) e della popolazione coinvolta in crolli (peso 2/3). Tale indice è uno dei parametri utilizzati nell'Ordinanza del Ministero dell'Interno n.2788 del 1997 per l'individuazione dei comuni “ad elevato rischio sismico”.

Si riportano le mappe a confronto con quelle dal SSN 2001. Per rendere possibile il confronto si sono uniformati gli intervalli di legenda.

Il confronto tra le mappe prodotte dal SSN 2001 e quelle prodotte da SAVE mettono in evidenza un maggior danneggiamento per le previsioni di rischio valutate nel presente progetto. Ulteriori sviluppi della ricerca potranno meglio evidenziare i motivi di tali differenze e calibrare eventuali aggiustamenti.

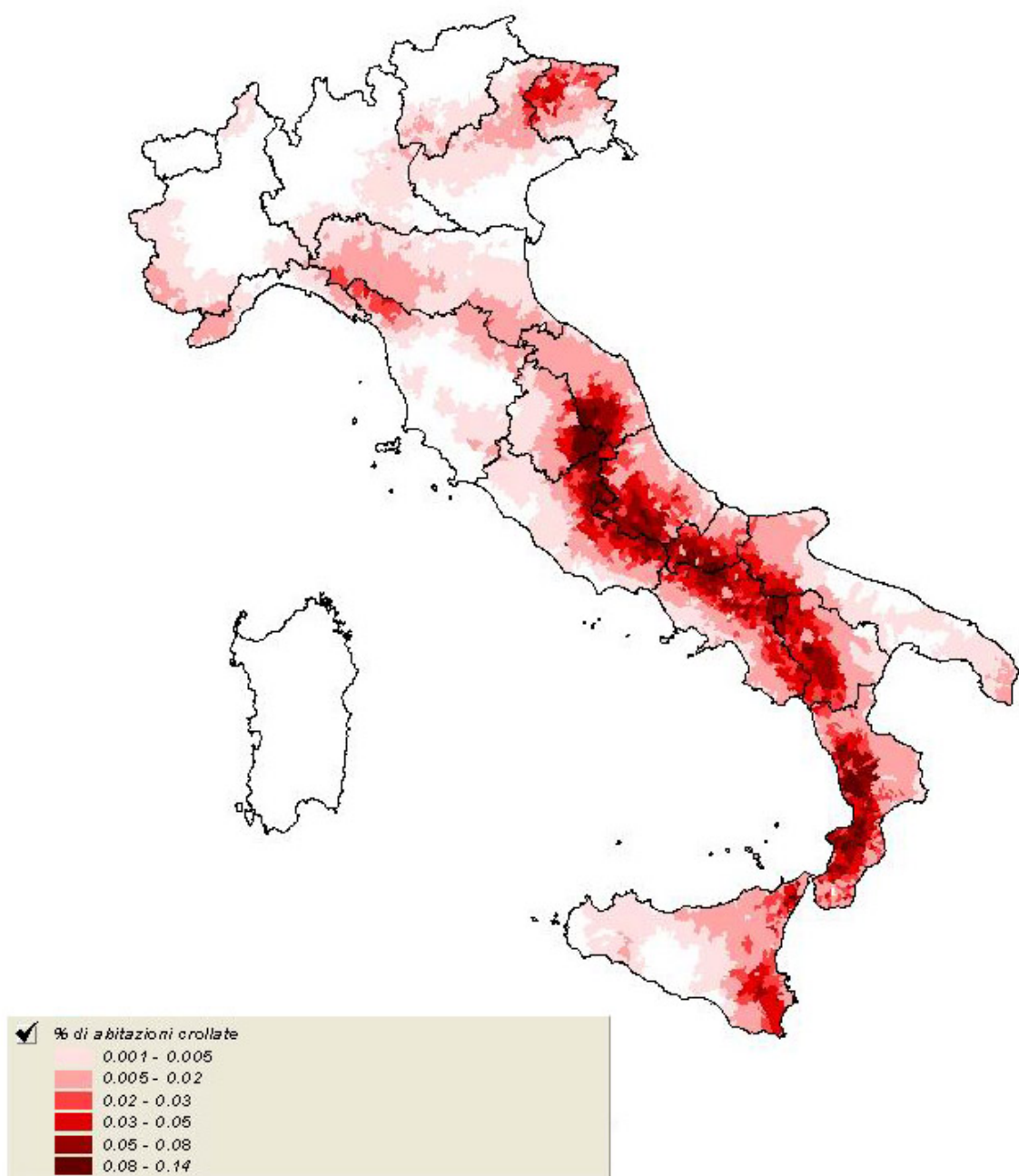


Fig. 8.19

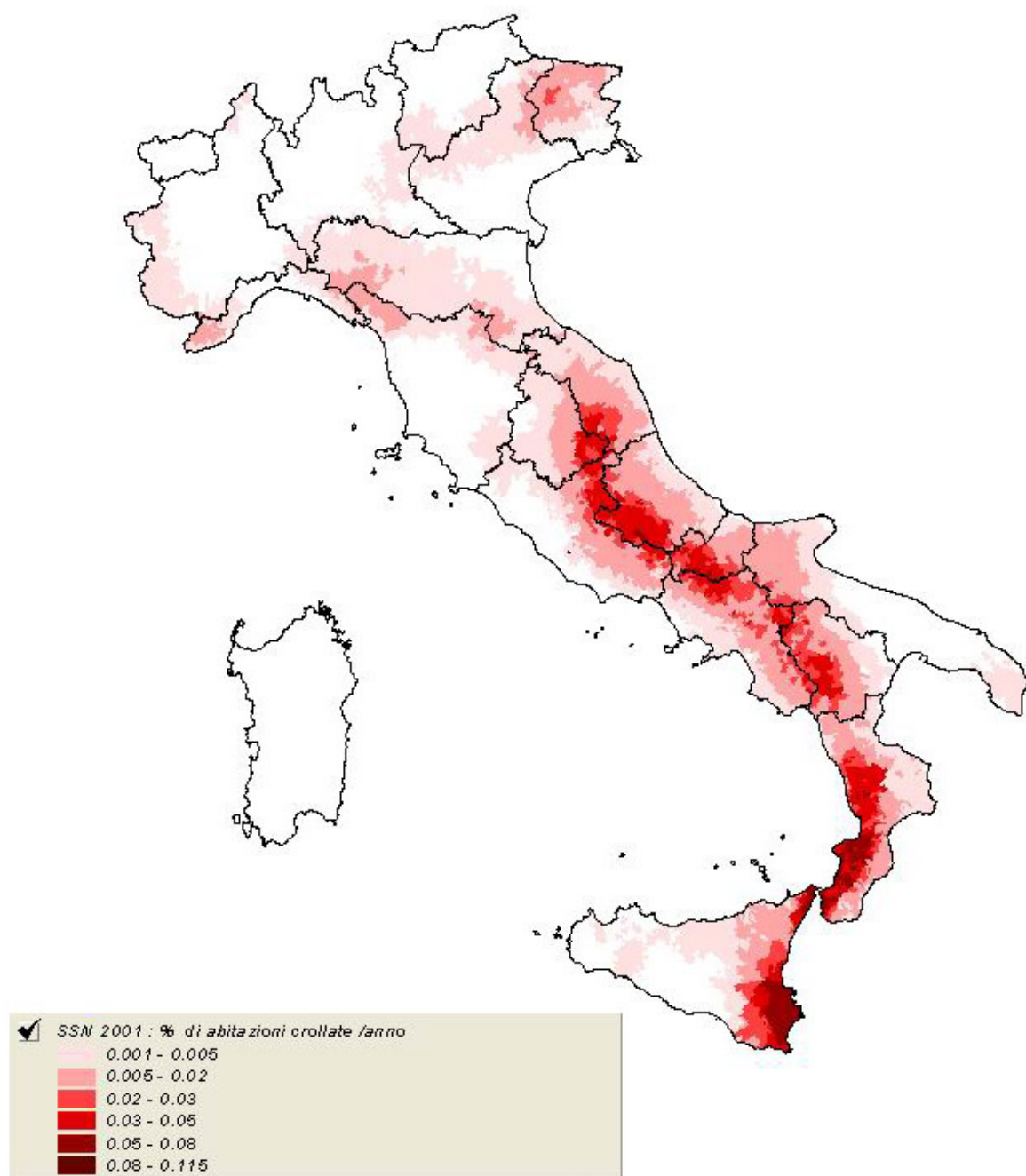


Fig. 8.20

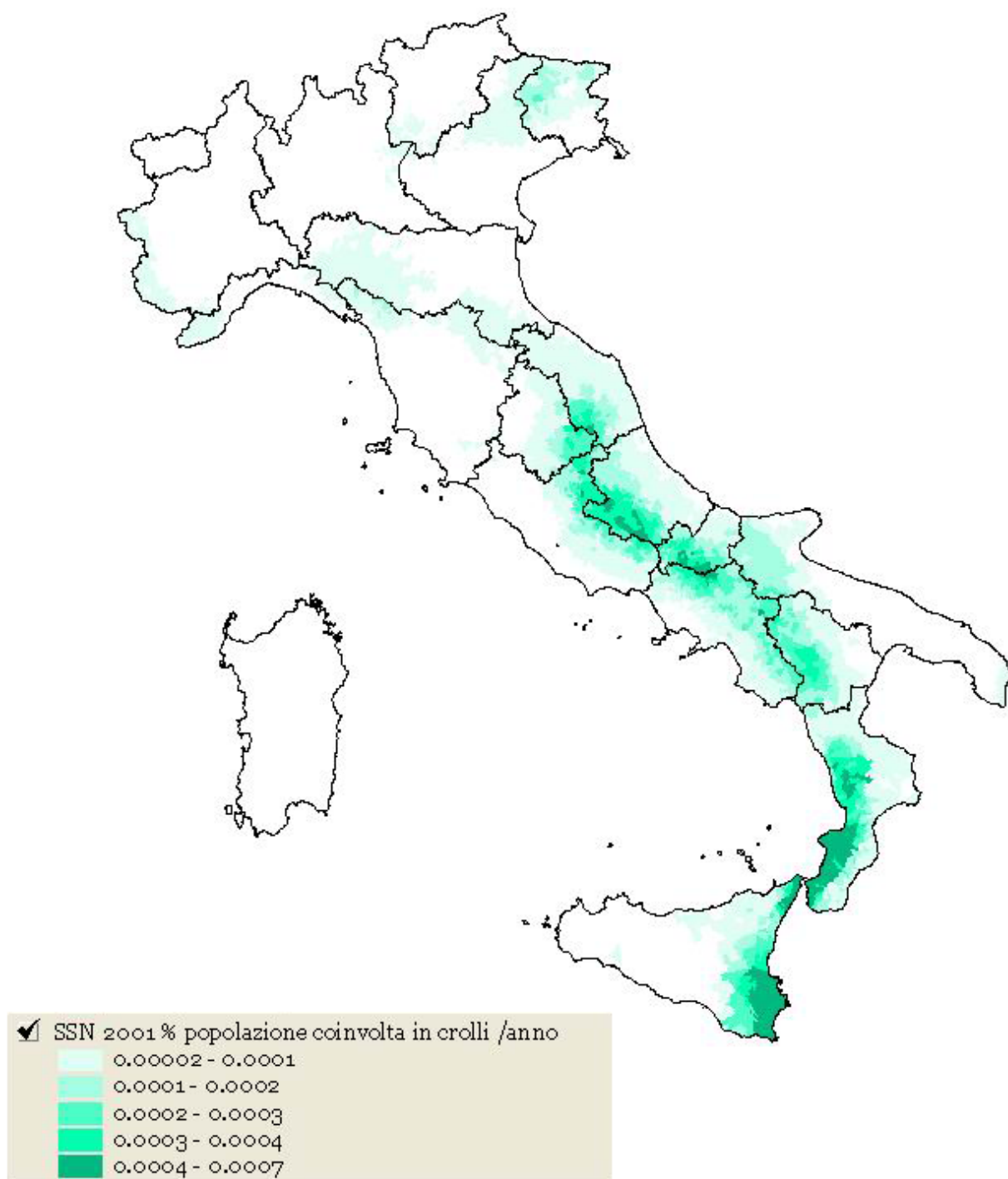


Fig. 8.21

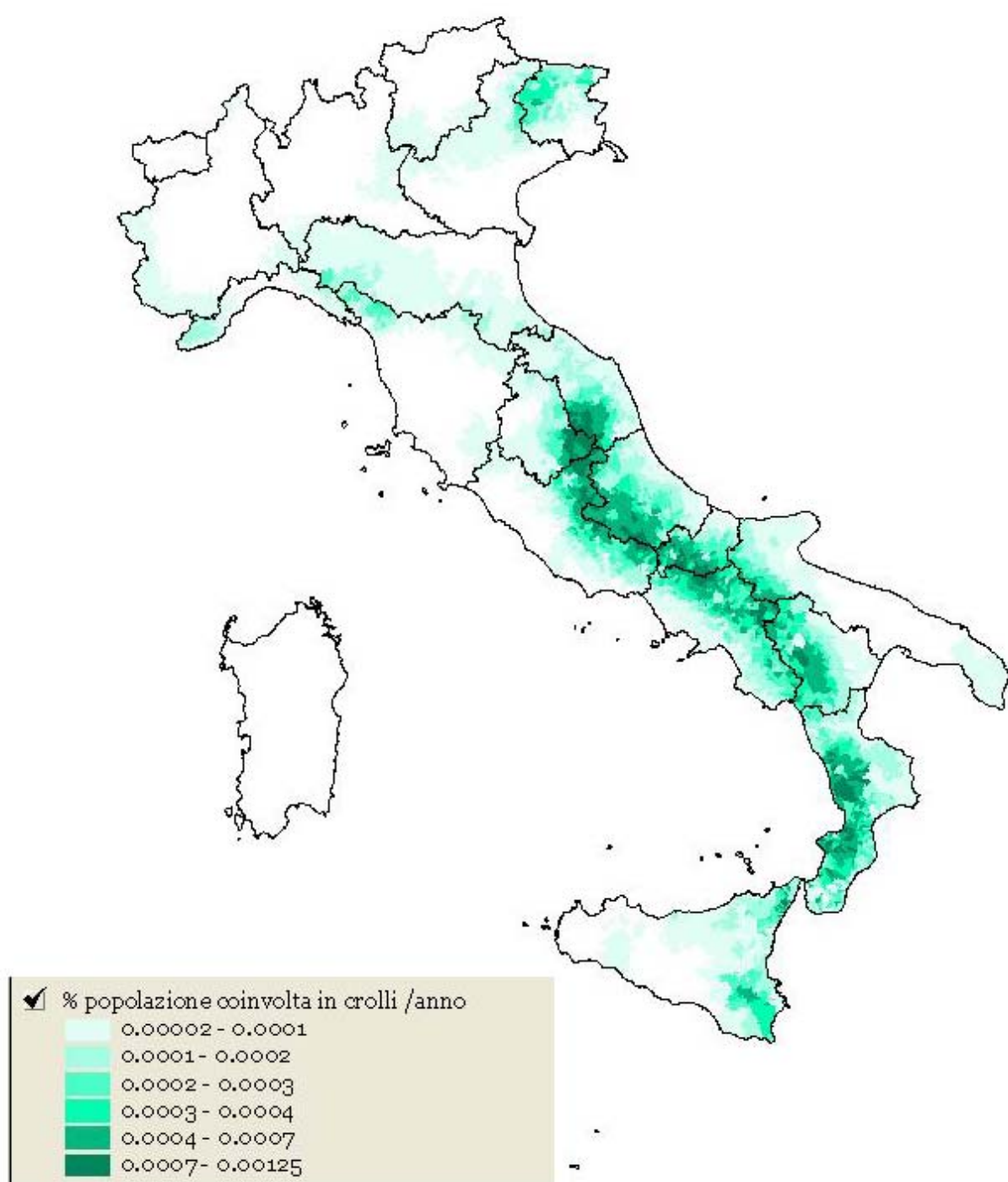


Fig. 8.14

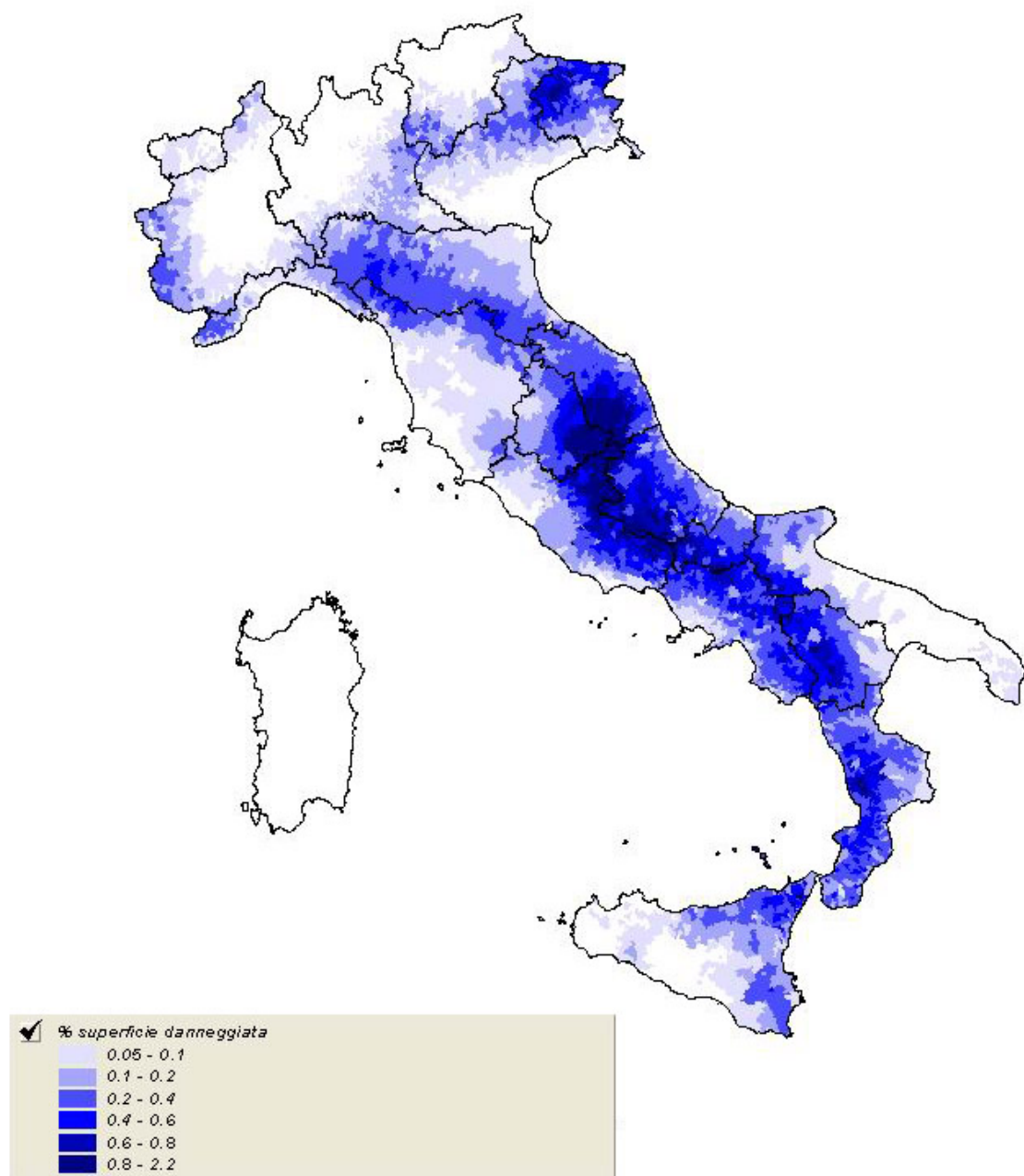


Fig. 8.15

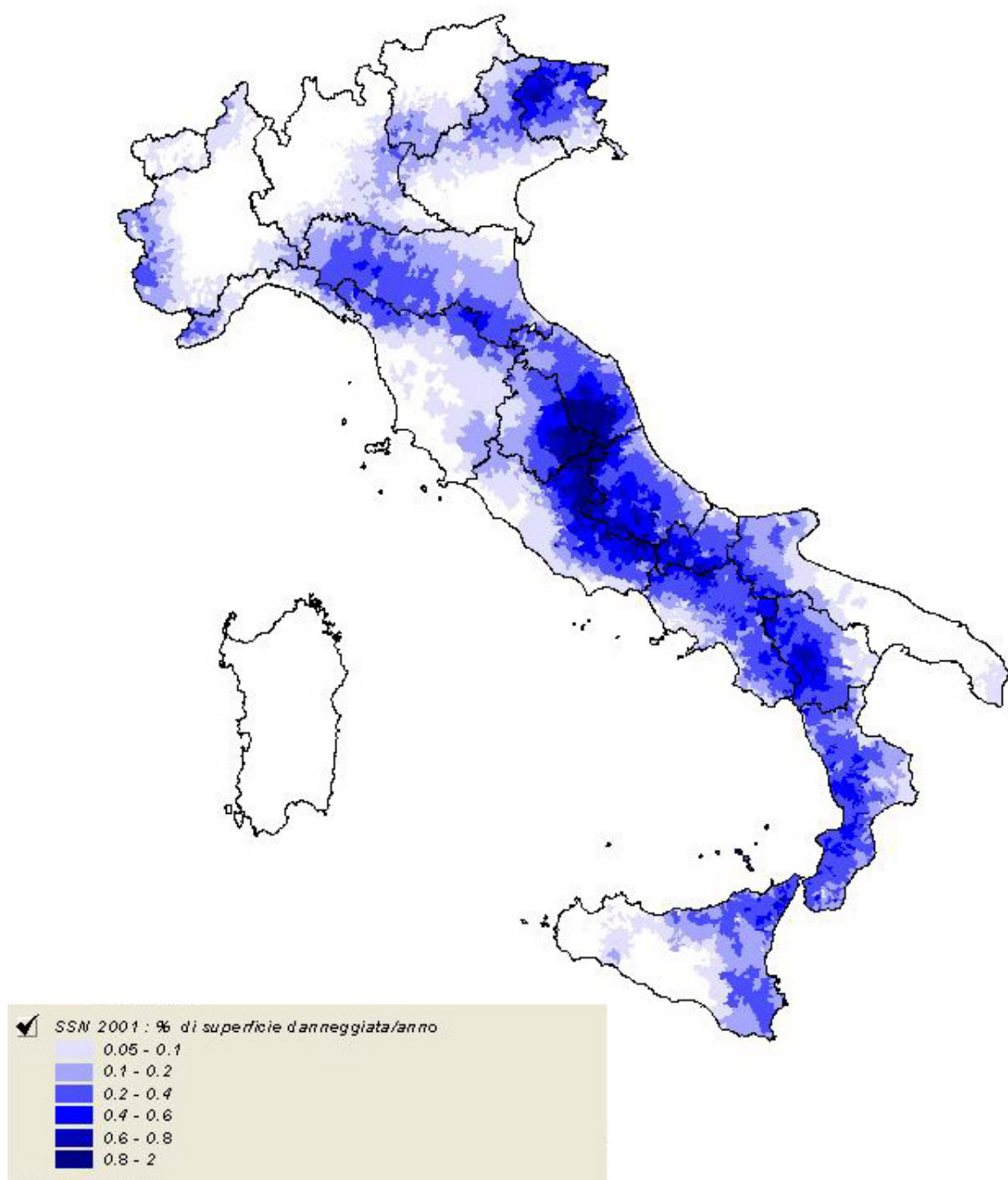


Fig. 8.24

9 PRIME VALUTAZIONI DELLE PERDITE SOCIO-ECONOMICHE.

9.1 Premessa

La valutazione degli effetti economici provocati da un terremoto su una determinata area si basa sul presupposto che ci siano due differenti tipologie di elementi da considerare:

- elementi che incidono in modo positivo, quali risorse finanziarie che, provenienti da differenti fonti (Stato, Unione Europea, liberalità, donazioni, ecc.) sono finalizzate alla ricostruzione, alla gestione dell'emergenza e/o ad interventi specifici di sviluppo e riqualificazione del territorio; a riguardo è da considerare come le risorse per la ricostruzione e per l'emergenza possano essere destinate anche a organizzazioni/enti che, pur operando nell'area colpita dal terremoto, appartengono ad aree territoriali differenti;
- elementi che incidono in modo negativo, quali i danni agli edifici ed alle opere pubbliche, l'interruzione nello svolgimento delle attività produttive, le perdite umane (morti, feriti, senzatetto), ecc.

Si ritiene che tali elementi possano essere analizzati mediante due diversi approcci metodologici:

- un metodo diretto, basato sui dati analitici effettivamente riscontrati per ciascun elemento quali, ad esempio, i costi sostenuti e le risorse finanziarie erogate per l'intero processo di ricostruzione (compresa la gestione della prima emergenza) in relazione a: attività produttive, edifici privati, edifici pubblici, infrastrutture, dissesti idrogeologici, beni culturali.
- un metodo indiretto, basato sul presupposto che i suddetti elementi, sia positivi sia negativi, contribuiscono a determinare, a livello complessivo e per ciascun settore di attività economica, una variazione nel PIL e nella ricchezza locale che può essere misurata, in mancanza del dato puntuale, attraverso una serie di variabili correlate.

Il metodo diretto consente di giungere a risultati accurati e precisi ma è più difficile da sviluppare perché i dati necessari sono prodotti da diversi soggetti, non sono sempre di dominio pubblico e sono caratterizzati da un basso grado di disponibilità.

Il metodo indiretto, invece, basandosi su variabili correlate alla variazione di ricchezza, produce risultati meno precisi rispetto all'approccio diretto ma, allo stesso tempo, consente di costruire dei modelli di simulazione in grado di prevedere gli effetti economici su una determinata area in funzione del grado di intensità del terremoto (visione dinamica degli effetti economici di un terremoto).

Tale analisi è stata focalizzata, in particolare, sullo sviluppo del metodo indiretto attraverso la raccolta e l'elaborazione di dati relativi ad un'area pilota recentemente interessata da un evento sismico.

Lo sviluppo della metodologia indiretta ha avuto come base di partenza gli elementi che consentono di identificare il RISCHIO in termini di danno diretto al patrimonio edilizio:

- PERICOLOSITA': probabilità che si manifesti un danno data una certa intensità del terremoto I ;
- VULNERABILITA': probabilità che si manifesti un certo danno j , su una tipologia di edificio k data un'intensità del terremoto I ;
- ESPOSIZIONE: grado di diffusione degli edifici appartenenti ad una determinata tipologia k .

In particolare, con riferimento all'indice di vulnerabilità sismica media che può essere calcolato per ciascun comune, la metodologia si è posta come punto di riferimento la costruzione di una "matrice di vulnerabilità dell'economia" (Fig. 9.1) che consenta di associare ad un determinato settore di

attività economica (agricoltura, industria, terziario) la probabilità che, in presenza di un terremoto di intensità I, si verifichi una certa variazione del PIL.

Livello di danno									
	▼	V	VI	VII	VIII	IX	X	←	Intensità del terremoto
0		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
1		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
2		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
3		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
4		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
5		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		

ESEMPIO DI MATRICE DI VULNERABILITA' PER UNA DETERMINATA TIPOLOGIA DI EDIFICIO

Variazione del PIL									
	▼	V	VI	VII	VIII	IX	X	←	Intensità del terremoto
0		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
1		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
2		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
3		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
4		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		
5		probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.	probabil.		

ESEMPIO DI MATRICE DI VULNERABILITA' DELL'ECONOMIA PER UN DETERMINATO SETTORE DI ATTIVITA'

Fig. 9.1 - Matrici di vulnerabilità

9.2 Contenuto

Lo sviluppo del metodo indiretto si è articolato nei seguenti passi:

5. Individuazione del terremoto da utilizzare come riferimento per l'analisi dei dati socio-economici: si è ritenuto opportuno focalizzare l'attenzione sul terremoto che ha colpito l'Umbria e le Marche nel settembre del 1997.
6. Individuazione delle aree interne all'Umbria e alle Marche in relazione a cui raccogliere ed elaborare i dati socio-economici: si è fatto riferimento ai primi 44 comuni -appartenenti alle provincie di Ancona (4), Macerata (21), Pesaro Urbino (2) e Perugia (17)- di un elenco ordinato in base all'indice di disastro (indicatore composito elaborato dall'Ufficio Servizio Sismico Nazionale del DPC e basato sull'intensità macrosismica, sul numero di inagibilità rilevate, sul disagio sopportato dalla popolazione) assegnato a ciascun comune colpito dal terremoto.
7. Consultazione della banca dati "Sistema Starter"¹ e di altri dati raccolti dall'Istituto G. Tagliacarne per l'individuazione di indicatori comunali di carattere socioeconomico; la mancanza, a livello comunale, del dato relativo al PIL negli anni oggetto di analisi ha reso necessario il ricorso ad altri indicatori, individuati sulla base dei due seguenti criteri:

¹ "Sistema Starter" è una banca dati contenente più di 1900 indicatori a carattere provinciale, di cui 1000 con il dettaglio comunale, distribuiti su serie temporali a partire dal 1991; l'anno di inizio e la lunghezza della serie temporale variano a seconda dell'indicatore prescelto.

- esistenza di un elevato grado di correlazione con il Prodotto Interno Lordo²;
- distribuzione dei relativi valori su una serie temporale di almeno 5 anni e con l'anno 1997 non coincidente con nessuno dei due termini estremi della serie.

Sulla base di tali criteri, l'analisi ha avuto per oggetto i seguenti indicatori (tra parentesi, sono indicate le caratteristiche dei dati disponibili):

- consumi fatturati di energia elettrica (dati riferiti a ciascun settore di attività economica, distribuiti su una serie temporale dal 1991 al 1999);
 - unità locali registrate (dati riferiti a ciascun settore di attività economica, distribuiti su una serie temporale dal 1995 al 1999);
 - impieghi bancari (dati complessivi distribuiti su una serie temporale dal 1992 al 2002).
8. Analisi della serie temporale di ciascun indicatore per verificare le differenze di andamento della serie temporale tra gli anni prima del 1997 e gli anni successivi al 1997. A tal fine sono stati calcolati:
- Indice di correlazione tra valori dell'indicatore ed anni fino al 1997;
 - Indice di correlazione tra valori dell'indicatore ed anni a partire dal 1997;
 - Indice sintetico per evidenziare l'eventuale variazione dell'andamento dell'indicatore tra prima e dopo 1997 (Index A)
9. Analisi della relazione tra le variabili "Index A" ed indice di disastro; a tal fine è stato sviluppato un modello statistico basato sui seguenti elementi:
- Calcolo del coefficiente di correlazione;
 - Verifica dell'ipotesi relativa all'esistenza di una correlazione tra le variabili;
 - Test del Chi-Quadro per verificare l'indipendenza tra le due variabili.

I risultati del modello statistico sono rappresentati nella Fig. 9.2.

Indicatore	Settore	Coefficiente di correlazione	Risultati della verifica dell'ipotesi relativa all'esistenza di una correlazione (livello di significatività pari a 0,05)	TEST del CHI - QUADRO	
				Livello di significatività minimo per accettare l'ipotesi che vi sia una relazione	Livello di significatività minimo per accettare l'ipotesi che vi sia una relazione (metodo con correzione)
Consumi fatturati di energia elettrica	Agricoltura	-0,07	No correlazione	0,46	0,92
	Industria	-0,02	No correlazione	Test non poss	
	Commercio e servizi	-0,002	No correlazione	0,39	0,81
	Domestici	0,07	No correlazione	Test non poss	
	TOTALI	0,1	No correlazione	Test non poss	
Impieghi bancari	Impieghi bancari	0,16	No correlazione	Test non poss	
Unità locali registrate	Agricoltura	Dati non disponibili			
	Industria	0,04	No correlazione	0,41	0,71
	Commercio e servizi	0,08	No correlazione	0,13	0,38
	Totale	0,1	No correlazione	Test non poss	

Fig. 9.2 - L'analisi della relazione tra "Index A" ed indice di disastro

10. Analisi della serie temporale di ciascun indicatore per verificare la variazione del tasso medio di sviluppo tra gli anni prima del 1997 e gli anni successivi al 1997. A tal fine sono stati calcolati:
- Tasso medio di sviluppo per gli anni prima del 1997;
 - Tasso medio di sviluppo per gli anni successivi al 1997;
 - Indice sintetico per evidenziare l'eventuale variazione dell'andamento del tasso medio di sviluppo tra prima e dopo il 1997 (Index B)

² La verifica dell'elevato grado di correlazione è stata effettuata tra i valori dell'indicatore prescelto e quelli del PIL entrambi riferiti alle province coinvolte nel terremoto; per estensione, si suppone che la correlazione esistente a livello provinciale sussista anche a livello comunale.

11. Analisi della relazione tra le variabili “Index B” ed indice di disastro; a tal fine è stato sviluppato un modello statistico basato sui seguenti elementi:

- Calcolo del coefficiente di correlazione;
- Verifica dell’ipotesi relativa all’esistenza di una correlazione tra le variabili;
- Test del Chi-Quadro per verificare l’indipendenza tra le due variabili.

I risultati del modello statistico sono rappresentati nella Fig. 9.3.

Settore	Coefficiente di correlazione	Risultati della verifica dell'ipotesi relativa all'esistenza di una correlazione (livello di significatività pari a 0,05)	TEST del CHI - QUADRO	
			Livello di significatività minimo per accettare l'ipotesi che vi sia una relazione	Livello di significatività minimo per accettare l'ipotesi che vi sia una relazione (metodo con correzione)
Agricoltura	-0,51	Si correlazione	0,07	0,6
Industria	-0,03	No correlazione	0,39	0,97
Commercio e servizi	0,22	No correlazione	0,06	0,23
Domestici	0,68	Si correlazione	0,002	0,21
TOTALI	0,12	No correlazione	0,34	0,99
Impieghi bancari	-0,72	Si correlazione	Test non poss.	
Agricoltura	0,23	No correlazione	0,69	0,93
Industria	-0,14	No correlazione	0,68	0,99
Commercio e servizi	-0,19	No correlazione	0,87	0,9
Totale	-0,06	No correlazione	Test non poss.	

Fig. 9.3 - L’analisi della relazione tra “ Index B” ed indice di disastro

12. Analisi dei dati relativi al Valore Aggiunto per Sistema Locale del Lavoro: i Sistemi Locali del Lavoro aree territoriali individuate attraverso i flussi di pendolarismo lavorativo rilevati con il Censimento della Popolazione del 1991; la disponibilità di dati sul Valore Aggiunto per Sistema Locale del Lavoro per il periodo 1996 – 2001 ha consentito di integrare l’analisi dei dati sul tasso medio di sviluppo di ciascun indicatore con il grado di incidenza di ciascun settore di attività sul sistema economico complessivo.

In particolare, l’analisi si è articolata in:

- Analisi della serie temporale del valore aggiunto per settore di attività economica al fine di verificare la relazione tra la variazione del tasso medio di sviluppo pre e post 1997 ed indice di disastro medio riferito al Sistema Locale del Lavoro;

Settore	Correlazione con indice di disastro medio	Risultati della verifica dell'ipotesi relativa all'esistenza di una correlazione (livello di significatività pari a 0,05)
Agricoltura	0,24	No correlazione
Industria	-0,29	No correlazione
Terziario	0,08	No correlazione
TOTALE	0,53	Si correlazione

Fig. 9.4

- Verifica della significatività dei modelli di regressione con la variazione del tasso medio di sviluppo come variabile dipendente e l’indice di disastro come variabile indipendente.

Settore	Verifica della significatività di modelli di regressione (livello di significatività pari a 0,05)			
	Lineare con indice di disastro come		Quadratico con indice di disastro come variabile	
	Risultato	Coefficiente di determinazione corretto	Risultato	Coefficiente di determinazione corretto
Agricoltura	Non significativo	-0,02	Non significativo	-0,11
Industria	Non significativo	0,009	Non significativo	-0,01
Terziario	Non significativo	-0,07	Non significativo	-0,03
TOTALE	Significativo	0,22	Non significativo	0,25

Fig. 9.5

- Valutazione dei possibili modelli di regressione lineare multipla dato il seguente insieme di variabili esplicative e verifica della significatività del modello di regressione che spiega maggiormente la variabilità della variabile dipendente.

Indicatore	Settore	Tipologia di modello	Variabili incluse	Variabilità spiegata	Verifica della significatività del modello (livello di significatività pari a 0,05)
Consumi fatturati di energia elettrica	Agricoltura	Modello a 4 variabili	X1; X2; X3; X4	0,48	Ok
	Industria	Modello ad 1 variabile	X1	-0,02	No
	Commercio e servizi	Modello ad 1 variabile	X1	0,02	No
	TOTALI	Modello ad 1 variabile	X2	0,0002	No
Impegni bancari	TOTALI	Modello ad 1 variabile	X1	0,44	Ok
Unità locali registrate	Agricoltura	Modello a 2 variabili	X1; X2	0,02	No
	Industria	Modello a 3 variabili	X1; X3; X4	0,03	No
	Commercio e servizi	Modello a 2 variabili	X1; X2	0,02	No
	Totale	Modello a 2 variabili	X1; X2	0,02	No

Fig. 9.6

9.3 Considerazioni conclusive

I risultati conseguiti attraverso la metodologia indiretta evidenziano come, a livello comunale, una relazione significativa tra la variazione nell'andamento dei vari settori produttivi dovuta ad un terremoto e l'intensità del terremoto stesso possa essere ammessa, accettando elevate probabilità di errore.

Tuttavia, è possibile rilevare la presenza di alcune eccezioni che testimoniano la possibilità di spiegare, per il 50% circa, la variabilità del PIL locale attraverso il ricorso all'intensità del terremoto e all'incidenza dei settori di attività sul sistema economico complessivo.

Tali risultati possono essere spiegati anche sulla base delle caratteristiche strutturali dell'area pilota (Umbria –Marche) su cui sono state effettuate le elaborazioni statistiche; infatti si tratta di un territorio il cui contributo al PIL nazionale è poco rilevante ed i cui settori di attività economica si trovano in ritardo rispetto alle aree più sviluppate del paese.

L'applicazione di tale metodologia su un evento sismico maggiormente rilevante (es. Irpinia 1980) potrà contribuire ad affinare le elaborazioni e le stime dei parametri di regressione in modo da giungere ad una più corretta valutazione dei valori della matrice di vulnerabilità dell'economia.

Inoltre, il riferimento ad un evento sismico recente e il basso grado di disponibilità di dati relativi agli anni successivi al terremoto non ha permesso di analizzare gli effetti economici di lungo periodo che si possono verificare a distanza di anni dal terremoto.

Il riferimento ad un ulteriore evento sismico consentirà, pertanto, di verificare come, in funzione dell'intensità del terremoto, gli effetti economici possano variare in funzione del tempo, presentando caratteristiche differenti nel breve, medio e lungo periodo.

Bibliografia

- Baggio et al. Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES) –Uff. SSN Dip. Prot. Civ. – GNDT-INGV, Editrice Adel Grafica srl, Agosto 2002.
- Zuccaro, G. Papa F., “A Multimedial Handbook For Seismic Damage Evaluation And Post Event Macroseismic Assessment” European Seismic Conference, Genova, Settembre 2002.
- Dolce M., Masi A., Samela C., Santarsiero G, Vona M., Cacace F., Papa F., Zuccaro G. – “Analysis of Structural Types and Damage Distribution of the Building Stock of San Giuliano di P.” – Atti del XI Convegno Nazionale “L’Ingegneria Sismica in Italia” Genova, gennaio 2004.
- Zuccaro G., Papa F. , “CD Multimediale MEDEA – Manuale di Esercitazione sul Danno Ed Agibilità per edifici ordinari in muratura” Editto da CAR Progetti srl per SSN-Prot.Civ. – ottobre 2001.
- 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.
- Zuccaro G., Della Bella M. “Modello di Caratterizzazione tipologica a Scala Nazionale” – Convenzione con il Servizio Sismico Nazionale – conv. N.163 del 11-12-2000.- Rapporto Finale – Roma Giugno 2002 -1.
- SSN – “CD Rischio Sismico 2001” – Servizio Sismico Nazionale – Roma 2001.
- Bernardini A., Comunicazione Personale. –Napoli 2003
- Giovinazzi S., Lagomarsino S. “Una Metodologia per l’Analisi di Vulnerabilità Sismica del Costruito” – X Congresso Nazionale L’Ingegneria Sismica in Italia – ANIDIS – Potenza 2001.
- Margottini C., Molin D., Narcisi B., Serva L., Intensità vs Acceleration: Italian Data, Proc. Work. On Hist. Seismicity of Central Eastern Mediterranean Region”. Roma 1987.
- Stucchi M. – “Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica - Rapporto Conclusivo” - DPC – Roma Aprile 2004
- Coburn A.W. Pomonis A., Spence R.J.S. – “Factors determining Human Casualty levels in Earthquakes: Mortality prediction in Building collapse” X World Conf. on Earthquake Engineering. Madrid 1992.