



COMUNE di CATANIA

DIREZIONE LL.PP. - SS.TT. E MANUTEMZIONI

Servizio Tutela e Salvaguardia del Territorio

P.O. Protezione Civile e Supporto Operativo Pubblica Incolumità



PIANO di EMERGENZA COMUNALE Revisione ed Aggiornamento Dicembre 2012 (art. 3 bis Legge n° 100 del 03/07/2012)

ALLEGATO "L": Relazione Terremoto Sintesi CT

Il Responsabile P.O.
Geom. Salvatore Fiscella

Il Dirigente
Arch. Maria Luisa Areddia

COMMISSIONE EUROPEA - PROGETTO RISK UE (2001 – 2004)

“Un metodo avanzato per scenari di rischio da terremoto
con applicazioni a differenti città europee”

Studio sugli scenari di rischio da terremoto per Catania.

Sintesi ad uso dell’Amministrazione Comunale.

a cura di

E. Faccioli (coordinatore), Luisa Frassine, Daniela Finazzi, Vera Pessina

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano

Sergio Lagomarsino (coordinatore), Sonia Giovinazzi,

Sonia Resemini, Emanuela Curti, Stefano Podestà

Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università di Genova

con la collaborazione di

ing. Salvatore Scuderi, Servizio di Pubblica Incolumità del Comune di Catania

Dicembre 2003

0. Introduzione

Questo documento descrive in sintesi i risultati ottenuti nel progetto Risk-Ue per Catania, unica città italiana prescelta a far parte del progetto stesso per ragioni di rappresentatività del tessuto urbano e architettonico, esposizione al rischio sismico, e disponibilità di dati da progetti precedenti (principalmente il Progetto “Catania” del GNDT – CNR condotto nel 1997-2000).

Il documento è rivolto ad amministratori comunali (*in primis* al Sindaco), e in particolare ai responsabili della pubblica incolumità, della protezione civile, dei servizi (quali il sistema sanitario), e delle reti infrastrutturali; ci si attende che essi forniscano in tempo utile valutazioni che permettano di validare, correggendolo e migliorandolo laddove necessario, quanto descritto nei sottoprogetti seguenti.

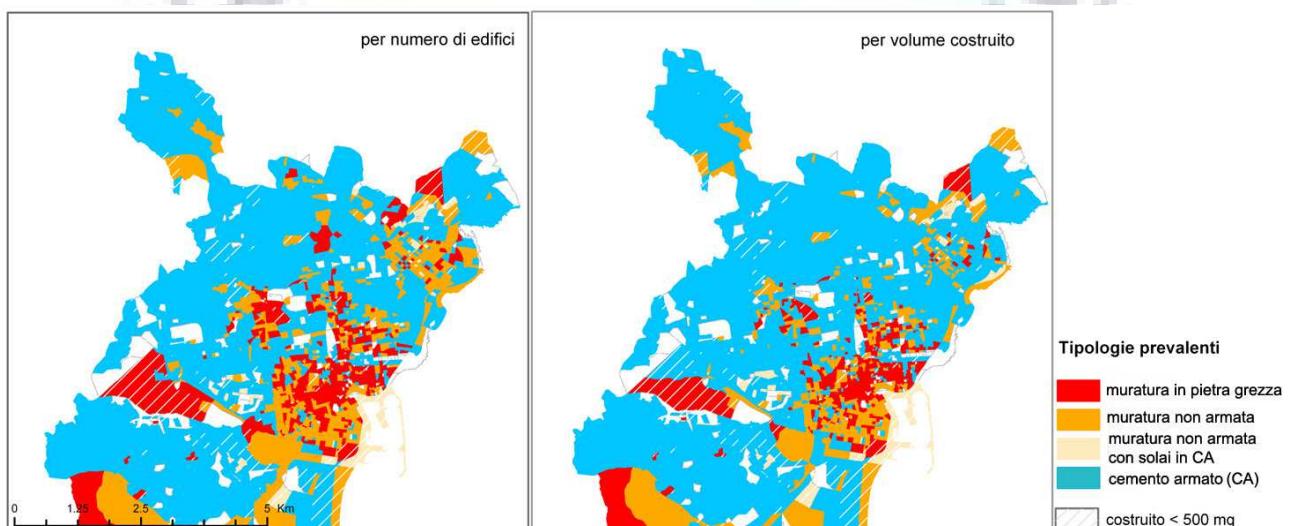
Il contenuto dei seguenti capitoli riflette quello dei sottoprogetti di Risk UE, denominati *Work Packages* (WP), ovvero:

- Sottoprogetto 1 (WP1): *Caratteristiche specifiche delle città europee*
- Sottoprogetto 2 (WP2): *Scenari di scuotimento sismico del suolo per la zona urbana*
- Sottoprogetto 3 (WP3): *Esposizione del Sistema Urbano (ESU)*
- Sottoprogetto 4 (WP4): *Stima della vulnerabilità sismica per l'edilizia residenziale*
- Sottoprogetto 5 (WP5): *Stima della vulnerabilità per edifici storici e monumentali*
- Sottoprogetto 6 (WP6): *Stima della vulnerabilità per le reti e i sistemi infrastrutturali*
- Sottoprogetto 7 (WP7): *Scenari di rischio sismico (in termini di danneggiamento e vittime)*.

1. Caratteristiche specifiche delle città europee (*Distinctive features of European towns*)

Dopo avere passato in rassegna le caratteristiche degli edifici più comuni nelle città europee, Risk-Ue ha classificato i principali tipi costruttivi, distinguendo fra muratura (M), cemento armato (RC), acciaio e legno. Ciascun tipo comprende ulteriori suddivisioni; nella municipalità di Catania sono stati individuati i tipi costruttivi descritti in dettaglio nella Tabella riportata nell’Appendice A.

La distribuzione dei tipi costruttivi nell’area urbana del comune è illustrata, per numero di edifici e per volume costruito, nella Fig. 1, in cui i dati sono disaggregati a livello delle sezioni censuarie ISTAT (in numero di 2476 in tutto il comune).



2. Scenari di scuotimento sismico del suolo per la zona urbana (Earthquake hazard assessment)

Gli scenari di danneggiamento sismico si costruiscono assumendo come dato di partenza uno o più terremoti di riferimento (denominato “terremoto di scenario”), che possono essere desunti:

- dalla storia sismica regionale e della città in particolare, postulandone essenzialmente una ripetizione nel futuro (cosiddetto *scenario deterministic*o), oppure
- da un’analisi probabilistica, che porta ad identificare l’evento che corrisponde ad un periodo di ritorno prefissato: nel progetto questo periodo è di 475 anni, corrispondente ad una probabilità di occorrenza del 10% in 50 anni. Si tratta dunque di un evento raro, coerente con quanto definito dalle norme sismiche recentemente emanate (marzo 2003).

L’esame della sismicità storica ha condotto a scegliere, come riferimento per scenari deterministicici, i seguenti due terremoti:

Scenario di livello I: evento distruttivo, ripetizione del grande terremoto del 1693, e

Scenario di livello II: evento forte, capace di generare danni significativi, come quello del 1818.

La carta dei risentimenti in intensità nella Sicilia orientale è illustrata nella Fig. 2 (a destra), per entrambi gli eventi. Le faglie (o sistemi di faglie) la cui frattura ha più verosimilmente generato i terremoti in questione sono evidenziate nello schema di sinistra della Fig. 2: si associa all’evento di livello I la frattura di un segmento importante, lungo 60-70 km, della faglia Ibleo Maltese (magnitudo Richter M 7.3), mentre l’evento di livello II è associato ad una rottura di faglia relativamente profonda sul fianco N dell’Etna (M 6.2).

A partire da queste faglie si è ricostruita mediante un’attendibile relazione di attenuazione la mappa dello scuotimento atteso, rappresentato con l’accelerazione massima del moto del suolo (Fig. 3).

Per l’analisi di tipo probabilistico è stata calcolata, con un modello delle Zone Sismogenetiche che governano la sismicità della Sicilia orientale, la severità dello scuotimento atteso a Catania per un periodo di ritorno di 475 anni, vedasi la Fig. 4. Le figure rappresentano mappe dell’accelerazione massima del suolo, ma sono disponibili anche mappe per altri parametri rappresentativi della risposta sismica delle strutture.

Lo scenario probabilistico (Fig. 4), corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 475 anni, stima per l’area urbana di Catania valori di accelerazione massima compresi perlopiù fra 0.15 g e 0.25 g, coerenti con l’attuale posizione di Catania in zona 2 della classificazione sismica. Lo scenario deterministicio di I livello stima per l’area urbana del comune di Catania, valori di accelerazione massima compresi fra 0.25 e 0.30 g ma questi, evidentemente, non possono essere direttamente rapportati a quelli della zonazione sismica.

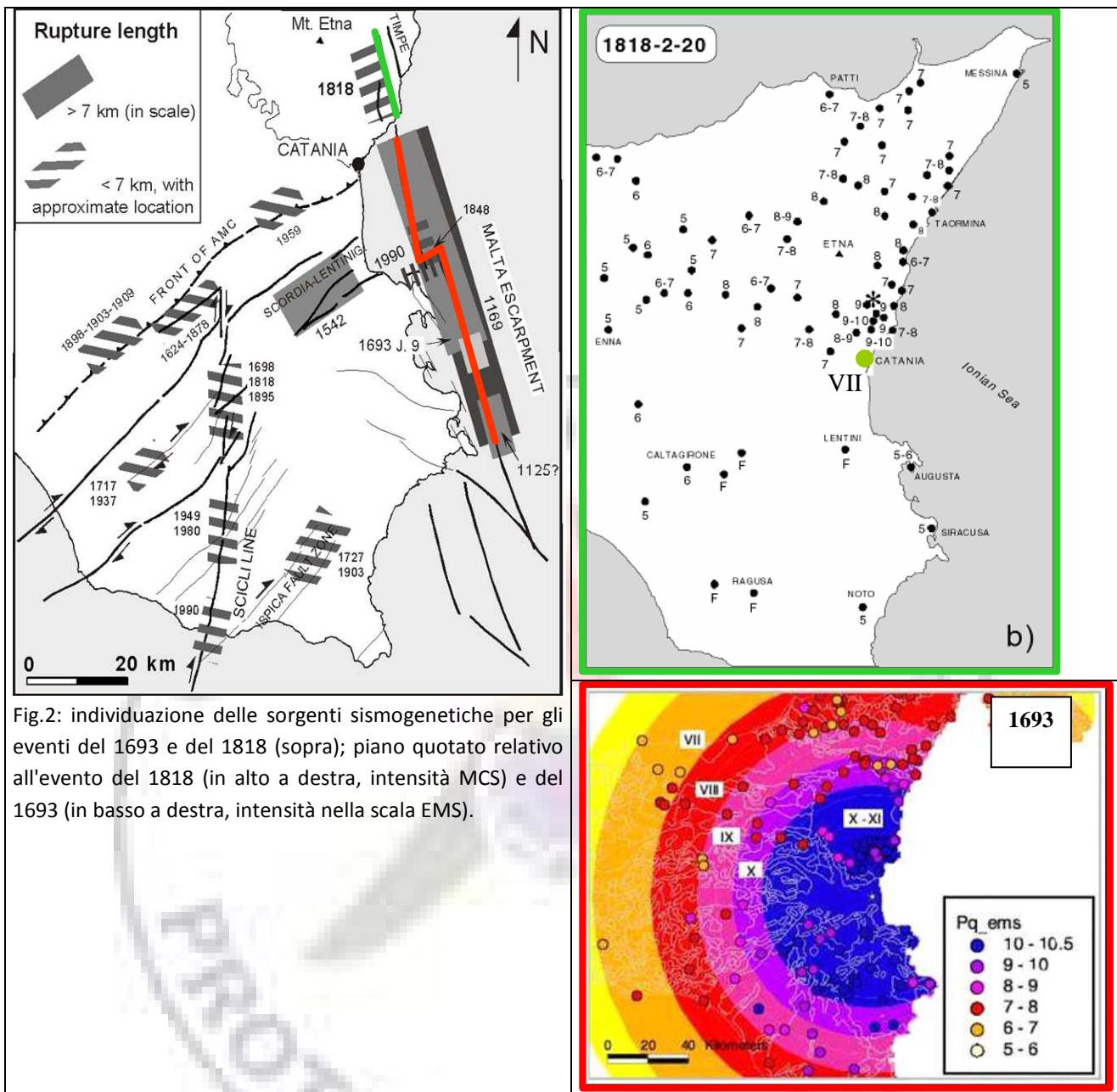
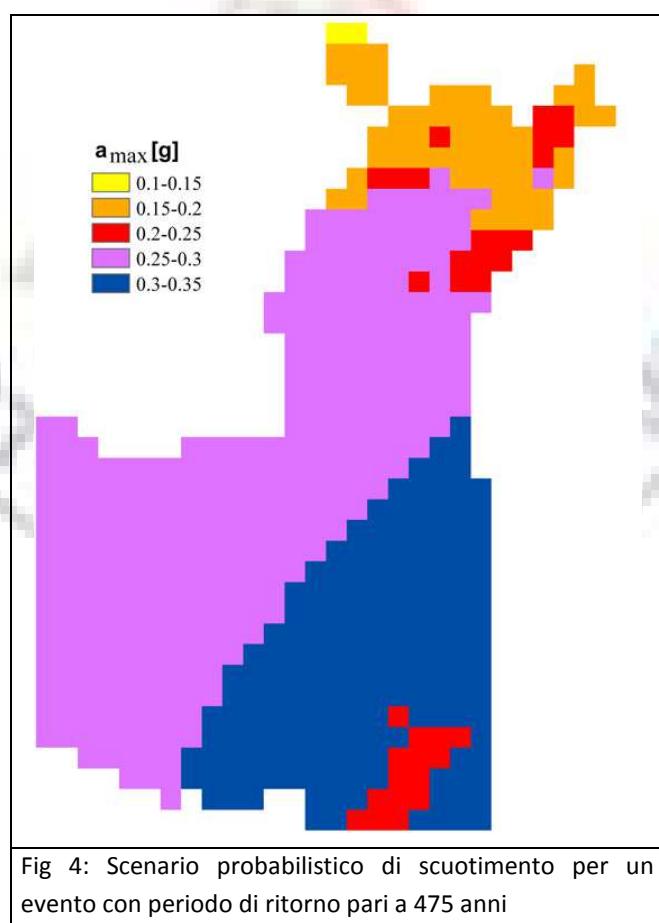
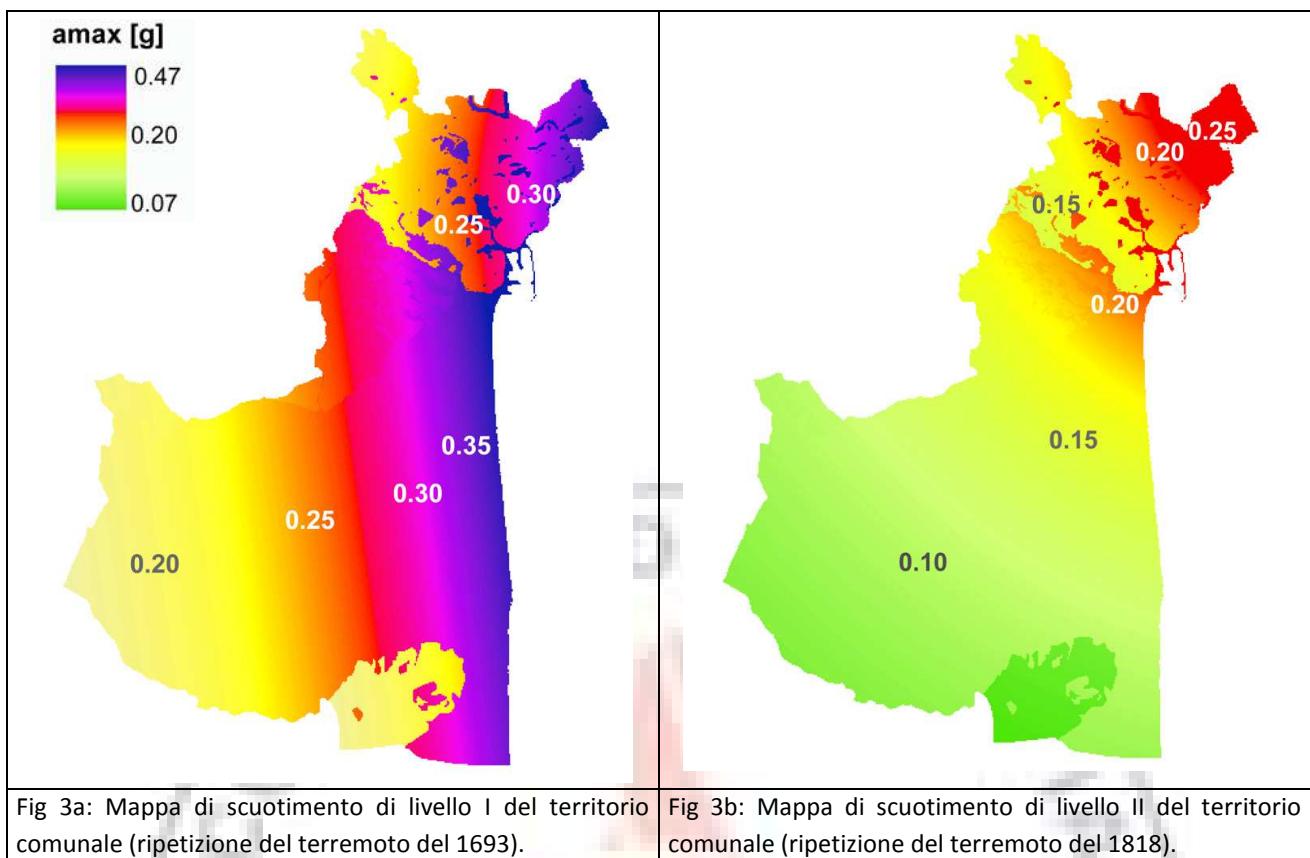


Fig.2: individuazione delle sorgenti sismogenetiche per gli eventi del 1693 e del 1818 (sopra); piano quotato relativo all'evento del 1818 (in alto a destra, intensità MCS) e del 1693 (in basso a destra, intensità nella scala EMS).



3. Esposizione del Sistema Urbano (ESU) (*Urban system exposure assessment to natural disaster*)

Scopo di questo sottoprogetto, è di definire in forma semplificata, mediante un numero limitato di mappe, il grado di esposizione al rischio sismico delle diverse zone della città, facendo riferimento non solo agli edifici (la cui vulnerabilità ai terremoti viene trattata dettagliatamente in un altro sottoprogetto, al fine di costruire mappe di danno), ma anche alla popolazione, alle funzioni e ai sistemi urbani e sociali.

Qui si mira in sostanza a rappresentare l'esposizione al rischio mediante un indice relativo, onde potere confrontare differenti zone all'interno della stessa città, individuando le aree più critiche per la presenza di certi elementi a rischio. Il primo passo nell'approccio ESU consiste nella definizione di *unità omogenee* all'interno della città. Seguendo la proposta di un tecnico esperto dell'Amministrazione (ing. Scuderi) sono state così definite 19 unità in base alla tessitura urbana, ai tipi prevalenti di costruzioni, e all'uso del suolo, illustrate in Fig. 5.

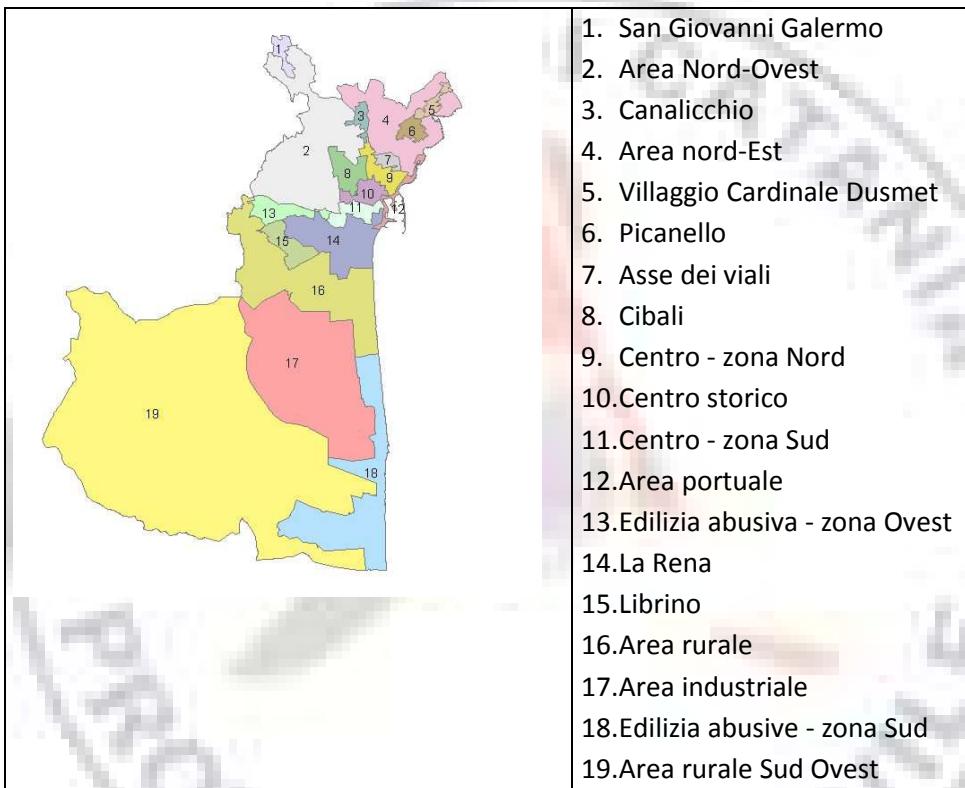


Fig 5: Unità omogenee del tessuto urbano nel comune di Catania

Ai fini dell'ESU la città è considerata come un sistema urbano aperto, caratterizzato dalle seguenti sette componenti:

1. *popolazione*: abitanti, lavoratori, turisti, ...
2. *spazio urbano*: naturale, costruito, ambiente geografico, ...
3. *attività funzionali e servizi*: alloggi, sanità, trasporti, capacità di erogazione servizi, ..
4. *attività urbane*: attività economiche, amministrative, culturali,...
5. *governo e responsabili*: organizzazioni istituzionali, socio-economiche, politiche, polizia urbana
6. *identità e cultura*: coesione sociale, cultura locale e storia
7. *radianza esterna*: caratteristiche simboliche, immagine esterna, posizione regionale.

Ciascuna componente viene definita da *indicatori* pertinenti, come il numero di residenti per la popolazione, o il volume d'affari per le attività economiche. Ciascun indicatore può essere definito da misure qualitative o quantitative, alle quali si assegna comunque un valore numerico in una scala relativa.

Un *elemento a rischio* può essere materiale, immateriale o umano ed è ciò che risulta esposto ad un terremoto. Ciascun elemento a rischio viene descritto da più indicatori, ovvero da più componenti: ad esempio per l'elemento a rischio "sistema scolastico" si prevede di considerare sia la componente

popolazione (indicatore: numero di alunni) che la componente sistema urbano (indicatori: caratteristiche degli edifici come età di costruzione, numero di piani, stato di manutenzione ...). I punteggi relativi assegnati a ciascun indicatore concorrono a definire il punteggio per gli elementi a rischio.

Ciò permette di individuare la/e zona/e della città dove ciascun elemento a rischio raggiunge il punteggio più elevato e quindi la zona più esposta. Alternativamente, si può eseguire una opportuna somma pesata sui punteggi dati ai diversi elementi a rischio entro una singola unità omogenea, pervenendo ad assegnare un unico punteggio globale a ciascuna unità. In termini relativi si ha quindi la classifica delle aree più esposte al rischio. A seconda degli indicatori considerati e dei punteggi assegnati, si possono individuare le situazioni critiche in diversi periodi: pre-sisma (situazione di normalità), durante il sisma (crisi), dopo il sisma (ripresa).

In Tabella 1 sono riportati gli elementi a rischio considerati nell'applicazione alla città di Catania e i corrispondenti indicatori.

L'identificazione degli elementi a rischio rappresenta un aspetto critico dello studio, e dovrebbe essere condotta con l'appoggio di esperti di diversi settori dell'Amministrazione locale di Catania. **Si sollecita pertanto quest'ultima a fornire le proprie indicazioni, per via scritta o orale.**

Gli elementi a rischio possono essere mappati come poligoni, linee o punti. Se ad esempio si considera l'elemento a rischio "area residenziale" l'unità minima di rilievo analizzata è la sezione di censimento ISTAT. A ciascuna sezione si associa un punteggio per ogni indicatore che la caratterizza. Il punteggio viene assegnato considerando tutti i valori che l'indicatore assume nel contesto urbano; ordinati tali valori in ordine decrescente, si definiscono poche classi a ciascuna delle quali si associa un valore numerico. Per l'indicatore "densità di popolazione" il procedimento è illustrato in Fig. 6:

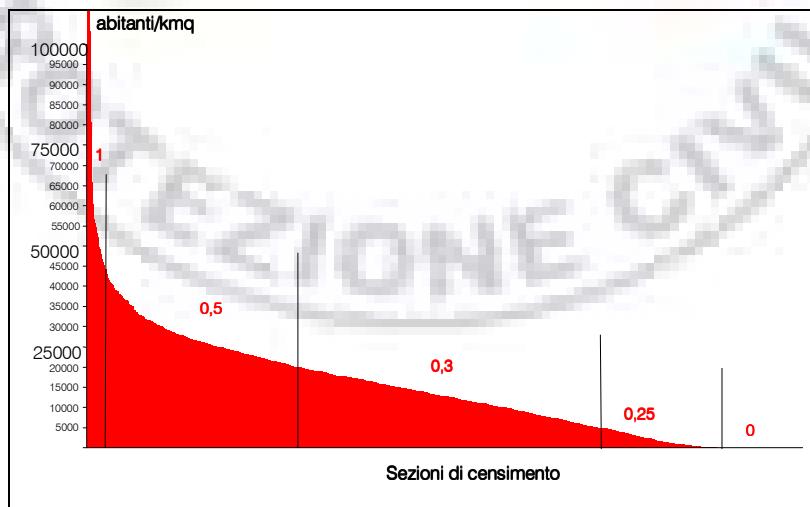


Fig. 6: assegnazione del punteggio (da 0 a 1) per l'indicatore "densità di popolazione", che caratterizza l'elemento a rischio "aree residenziali".

Si procede in modo analogo per tutti gli indicatori che descrivono l'elemento a rischio considerato, eseguendo poi per ogni sezione ISTAT la somma di tutti i punteggi assegnati.

Dal momento che ciascun elemento analizzato è descritto da un numero diverso di indicatori, i punteggi

ottenuti avranno un massimo che varia da elemento a elemento: un elemento descritto da 3 indicatori avrà come punteggio massimo 3, un elemento descritto da 5 indicatori avrà un punteggio massimo di 5: per uniformare si normalizzano i punteggi in un intervallo 0-1.

E' conveniente giungere a una rappresentazione finale in cui a ciascuna unità omogenea viene attribuito soltanto un punteggio; come si è già detto, si passa dai punteggi assegnati a tutti gli elementi presenti in una unità ad un solo valore eseguendo una media pesata. Se si impiegano per ogni periodo di interesse (normale, crisi, ripresa) gli indicatori opportuni, con associato un peso definito a priori (Tabella 2), si ottengono le mappe di esposizione al rischio illustrate nelle Fig. 7.

Osservazione molto importante: l'assegnazione dei pesi rappresenta un aspetto critico, e dovrebbe essere condotta con l'appoggio di esperti di diversi settori dell'Amministrazione locale. Si sollecita quest'ultima a fornire le proprie indicazioni, per via scritta o orale.

Si veda come in tutte le situazioni rappresentate, il centro storico sia sempre una zona molto critica, come in effetti ci si sarebbe potuto aspettare, vista la concentrazione in questa zona di uffici pubblici di rilievo, di molte scuole, di punti di interesse culturale. Confrontando il grado di esposizione stimato per il periodo di crisi, nel caso del giorno o della notte, si vede come in quest'ultima le zone da ritenere più esposte comprendono anche le zone a nord del centro storico, prevalentemente a causa del peso dato all'elemento edilizia residenziale durante la notte.

Nel periodo normale, l'area Nord-Ovest è da considerarsi poco critica, perché rispetto alle altre zone presenta un'edilizia più organizzata e meno congestionata dal traffico.

Tabella 1. Elementi a rischio e corrispondenti indicatori individuati per la città di Catania

		Indicatori per ogni elemento						
Elementi a rischio		Popolazione	Spazio urbano	Funzioni	Attività	Governo	Identità e radianza	
Aree residenziali		Densità popolazione	Anno di costruzione	Densità degli appartamenti				
			N° di piani					
			Volume					
			Stato di manutenzione					
	Scuole inferiori	N° di studenti	Anno di costruzione	Livello scolare			Vincoli speciali	
Sistema scolastico	Scuole superiori		N° di piani					
			Volume					
	Università		Stato di manutenzione					
			Indice di vulnerabilità					
Attività economiche		N° di addetti			Capitale investito			
					Livello di rischio			
Sistema sanitario			Anno di costruzione	N° posti letto			Vincoli speciali	
			Volume					
			Stato di manutenzione					
			Indice di vulnerabilità					
Strutture per la gestione dell' emergenza			Anno di costruzione	Funzione di emergenza			Vincoli speciali	
			N° di piani					
			Volume					
			Stato di manutenzione					
			Indice di vulnerabilità					
Uffici Amministrativi pubblici			Anno di costruzione		Livello di competenza	Potere decisionale	Vincoli speciali	
			N° di piani					
			Volume					
			Stato di manutenzione					
			Indice di vulnerabilità					
Impianti di gestione dei servizi (sedi gestori delle reti elettriche, del gas, degli acquedotti, degli uffici postali e della televisione)			Anno di costruzione	Importanza a livello urbano			Vincoli speciali	
			N° di piani					
			Volume					
			Stato di manutenzione					
			Indice di vulnerabilità					
Infrastruttur e di servizi	Rete acquedotto			Capacità di erogazione				
	Rete fognaria			Capacità di erogazione				
	Rete gas			Capacità di erogazione				
Edifici culturali							Importanza culturale	
Strutture sportive e di intrattenimento		N° di posti					Radianza	
Alberghi				Capacità di ospitalità				
Linee di trasporto				Flusso di traffico				
Stazioni di trasporto				Accessibilità				

Tabella 2. Punteggi assegnati a ciascun elemento a rischio per i diversi periodi indicati

	NORMALE	CRISI giorno	CRISI notte	RIPRESA
Aree residenziali	5	2	5	4
Sistema scolastico	2	3	1	0
Attività economiche	1.5	5	0	4
Sistema sanitario	2	2	2	3
Strutture di emergenza	2	2	2	3
Uffici amministrativi pubblici	1.5	2	1	3
Impianti di gestione di servizi	2	2	2	3
Linee dei servizi	2	2	2	3
Edifici culturali	1	1	1	0
Strutture sportive e di intrattenimento	1	1.5	1.5	0
Alberghi	1	1	1.5	1
Linee di trasporto	1.5	3	1	2
Stazioni di trasporto	1.5	3	1	2

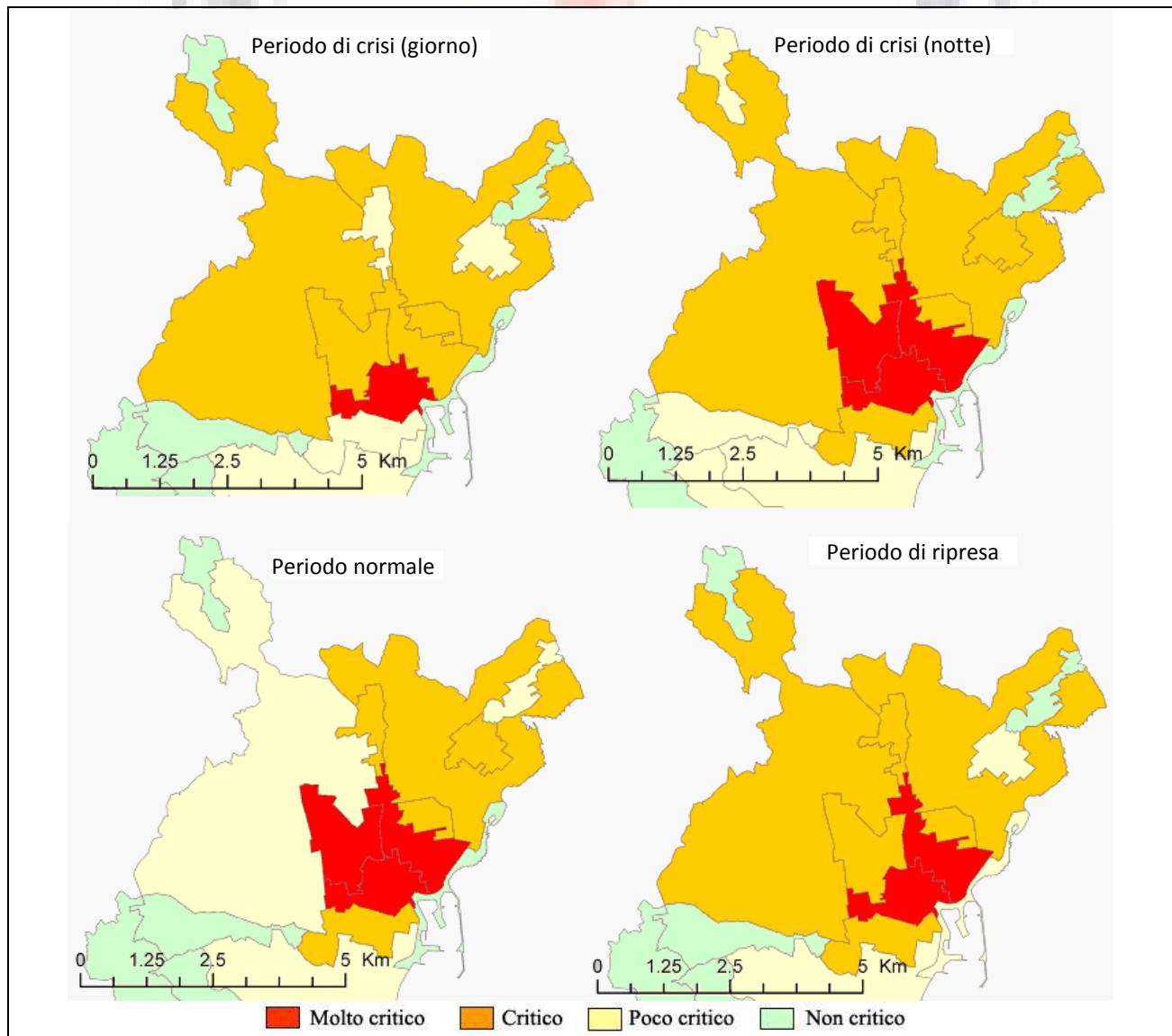


Fig. 7: Mappe di esposizione al rischio sismico secondo l'approccio del Sottoprogetto 3.

4. Stima della vulnerabilità sismica per l'edilizia residenziale (Vulnerability of current buildings)

La vulnerabilità degli edifici residenziali viene stimata attraverso un indice, variabile da 0 a 1 (dove 0 è la vulnerabilità minima, 1 la massima), che rappresenta la somma di 3 fattori:

$$V_i = V^* + V_R + V_m \quad (1)$$

dove: V^* = indice di vulnerabilità assegnato a ciascun tipo di struttura definito,

V_R = modificatore regionale (tiene in conto le caratteristiche costruttive specifiche di una zona),

V_m = valore assegnato in base a particolari caratteristiche dell'edificio (che ne migliorano o peggiorano il comportamento quando sollecitato da terremoto), che chiameremo modificatore di comportamento.

La vulnerabilità dell'edilizia residenziale in Catania è stata valutata partendo dai dati del censimento ISTAT 1991: le Tabelle 3 e 4 riportano, con riferimento alla classificazione "europea" stabilita dal sottoprogetto 1 (v. Appendice A), le classi di costruzioni individuate e i modificatori di comportamento. I tipi costruttivi sono stati ricostruiti in base all'età di costruzione, stimando la percentuale dei tipi identificati nel sottoprogetto 1 appartenenti a ciascuna classe.

Si è potuto anche disporre dei dati del censimento LSU (Lavori Socialmente Utili) condotto negli anni 1996-1999, che ha coperto un totale di 22505 edifici di Catania; poiché in tale censimento gli edifici sono stati rilevati uno ad uno (sia pure dall'esterno) da squadre di tecnici, esso può ritenersi più affidabile rispetto al censimento ISTAT. E' stato perciò possibile confrontare le stime ISTAT e LSU del numero di edifici appartenenti alle classi tipologiche definite, considerando le sezioni dove entrambi i censimenti sono completi: i risultati compaiono in Fig. 8.

Tabella 3: percentuali di appartenenza a classi tipologiche per edifici in muratura (M) e in c.a. (RC)

Categoria	Età di costruzione	M1.1	M1.2	M1.3	M3.1-2-3	M3.4	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	RC6
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
I	<1919	46	42	12	0	0						
II	1919-1945	3	82	15	40	5						
III	1946-1971	0	44	52	4							
IV	>1971	3	35	30	9	23						
V	Ante Norme sismiche						58	0	41	1	0	0
VI	Vecchie norme sismiche (II)						51	0	46	3	0	0

Tabella 4: modificatori di comportamento per edifici in muratura (a sinistra) e in c.a. (a destra)

Modificatori di	Indicatori ISTAT
Stato di manutenzione	Buona
	Cattiva manutenz.
Numero piani (altezza)	Basso (1 or 2 piani)
	Medio (3-5 piani)
	Alto (più di 5 piani)
Contesto strutturale	Edificio isolato
	Edificio in
Livello di progetto antisismico	

Modificatori di	Indicatori ISTAT
Stato di manutenzione	Cattiva manutenz.
	Basso (1 or 2 piani)
Numero di piani (altezza)	Medio (3-5 piani)
	Alto (più di 5 piani)
Contesto strutturale	Edificio in
Livello di progetto antisismico	

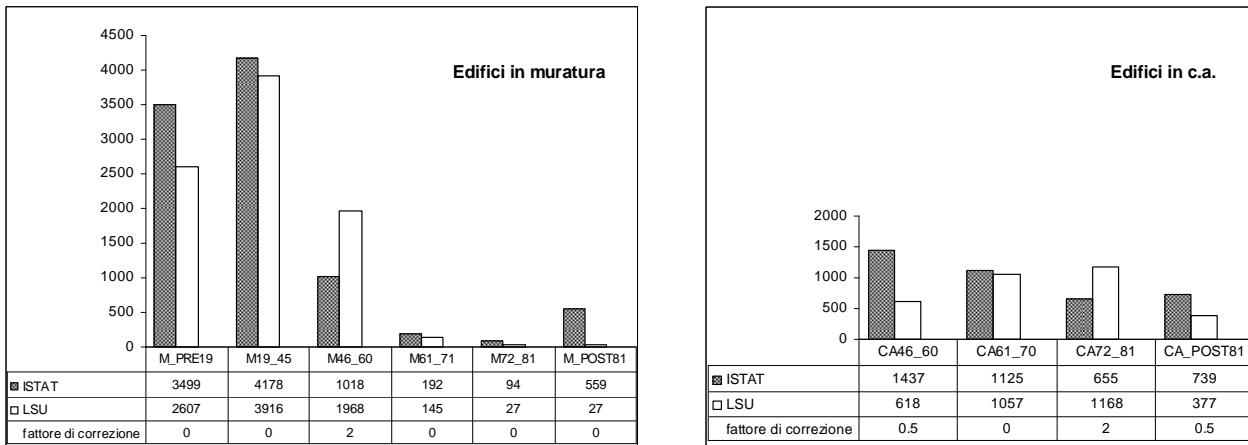


Fig. 8: Stime dei censimenti ISTAT e LSU del numero di edifici suddivisi per tipologia strutturale e classe di età: a sinistra edifici in muratura, a destra in c.a. (destra)

Dal confronto si sono ricavati dei fattori di correzione empirici dei dati ISTAT, mostrati nella Fig. 8: nelle Tab. 5 e 6 si riporta un esempio specifico per una sezione di censimento (n° 18). Nel correggere i valori ISTAT del numero di edifici si sono fatte anche le ipotesi seguenti:

- tutti gli edifici costruiti prima del 1945 sono stati assegnati al tipo "muratura"
 - gli edifici di tipo *pilotis* sono stati aggregati al c.a.
 - gli edifici di tipo non specificato sono stati ripartiti in ugual misura fra muratura e CA

Tabella 5: descrizione degli edifici presenti nella sezione 18 per tipologia (dati ISTAT)

N° Sez	Tipologia	Isolato	N° Piani	Percentuale del N° di Edifici					
				pre 1919	19-45	46-60	61-71	72-81	post 81
18	1	1	2	0	0	0	0,561	0,281	1,025
18	1	1	3	0	0	0,067	0	0	0
18	1	2	2	0	0	0	0,281	0,439	2,184
18	1	2	3	0	0,067	0,269	1,733	0	0,562
18	2	1	2	0	0	0,962	0,281	0,293	2,965
18	2	1	3	0	0	0	0,067	0	0
18	2	2	1	0	1,036	1,036	0	0,962	3,368
18	2	2	2	0	0	1,506	1,684	1,293	1,904
18	2	2	3	0	0,067	2,237	1,212	0	0,202
18	3	1	1	0,962	0	0	0	0	0
18	3	2	1	48,906	6,402	4,071	0	0	2,517
18	3	2	2	0	1,123	3,207	1,524	0,146	0,293
18	3	2	3	0,067	0,617	0,135	0,214	0	0
18	4	1	2	0	0	0	0,281	0	0
18	4	2	3	0	0	0,146	0	0	0
18	5	2	2	0	0	0,842	0	0	0

Tabella 6: correzione dei dati ISTAT di Tab. 5 mediante i fattori empirici di Fig. 8

N° Sez	Tipologia	Isolato	N° Piani	Percentuale del N° di Edifici Totali				
				pre 1919	19-45	46-60	61-71	72-81
18	1	1	2	0	0	0	0,561	0,552
18	1	1	3	0	0	0,033	0	0
18	1	2	2	0	0	0	0,281	0,863
18	1	2	3	0	0,067	0,132	1,733	0
18	2	1	2	0	0	0,473	0,281	0,576
18	2	1	3	0	0	0	0,067	0
18	2	2	1	0	1,036	0,509	0	1,89
18	2	2	2	0	0	0,74	1,684	2,541
18	2	2	3	0	0,067	1,099	1,212	0
18	3	1	1	0,962	0	0	0	0
18	3	2	1	48,906	6,402	7,999	0	0
18	3	2	2	0	1,123	6,302	1,524	0,146
18	3	2	3	0,067	0,617	0,265	0,214	0
18	4	1	2	0	0	0	0,281	0
18	4	2	3	0	0	0,179	0	0
18	5	2	2	0	0	1,034	0	0

Apportate le correzioni al numero di edifici in ognuna delle categorie individuate, è stato assegnato il corrispondente valore dell'indice di vulnerabilità partendo dalla formula (1) all'inizio capitolo:

Tabella 7: classificazione in categorie (vedi Tabella 3) degli edifici nella sez. 18

N° Sez	Tipologia	Isolato	N° Piani	Percentuale del N° di Edifici Totali					
				pre 1919	19-45	46-60	61-71	72-81	post 81
18	1	1	2	0	0	0	0,551	0,552	0,504
18	1	1	3	0	0	0,033	0	0	0
18	1	2	2	0	0	0	0,276	0,861	0,276
18	1	2	3	0	0,066	0,132	1,703	0	0,276
18	2	1	2	0	0	0,473	0,275	0,576	1,457
18	2	1	3	0	0	0	0,066	0	0
18	2	2	1	0	1,018	0,509	0	1,89	1,655
18	2	2	2	0	0	0,74	1,655	2,541	0,935
18	2	2	3	0	0,999	1,191	0	0	0,099
18	3	1	1	0,945	0	0	0	0	0
18	3	2	1	48,05	6,29	7,999	0	0	2,473
18	3	2	2	0	1,103	6,497	0	0	0,288
18	3	2	3	0,066	0,606	0,265	0,21	0	0
18	4	1	2	0	0	0	0,276	0	0
18	4	2	3	0	0	0,179	0	0	0
18	5	2	2	0	0	1,034	0	0	0

Tabella 8: indice di vulnerabilità V^* attribuito a ciascuna categoria di edifici

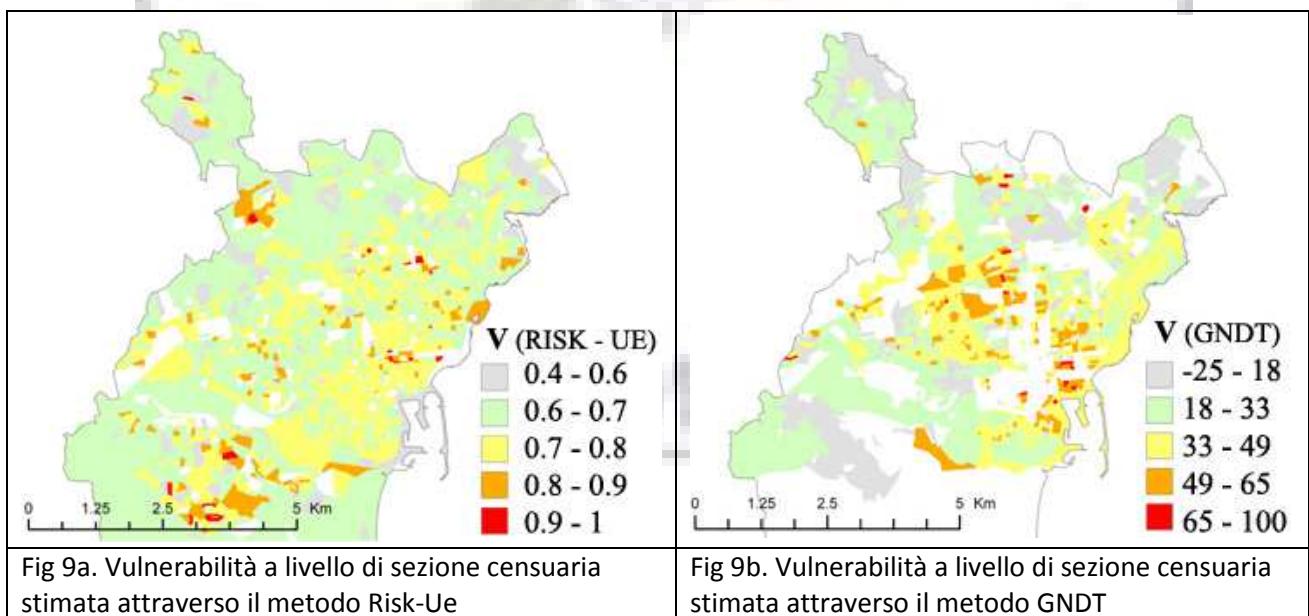
Categoria	% edifici	V^*	
I (Muratura)	49	0.746	$+ \sum V_{mi} = V_I$
II (Muratura)	9	0.695	$\sum \sum V_{mii} = V_{II}$
III (Muratura)	17	0.676	$\sum \sum V_{miii} = V_{III}$
IV (Muratura)	3	0.678	$\sum \sum V_{miv} = V_{IV}$
V (c.a.)	16	0.519	$\sum \sum V_{mv} = V_V$
VI (c.a.)	6	0.434	$\sum \sum V_{mvi} = V_{VI}$

In Figura 9a si rappresenta l'indice di vulnerabilità stimato attraverso il metodo sopra descritto (che di seguito indicheremo come metodo Risk-Ue), sulla base dei dati ISTAT corretti, mappati a livello di sezione censuaria. In Figura 9b viene invece riproposta la stima della vulnerabilità seguendo il metodo GNDT (come già fatto per il progetto Catania): sulla base dell'indice di vulnerabilità associato agli edifici censiti tramite scheda LSU, si è mappata la media a livello di sezione censuaria. Per il confronto fra le due mappe si deve considerare che:

- le basi dati su cui è fatta la stima sono diverse (ISTAT corretto per il primo caso, LSU per il secondo);
- del censimento LSU non sono disponibili tutte le schede;
- gli intervalli in cui è definita la vulnerabilità sono diversi (0-1 per il metodo Risk-Ue, -25 - 100 per il metodo GNDT), ma nella rappresentazione grafica si sono individuate soglie corrispondenti, sulla base della relazione:

$$V(GNDT) = 156.25 \times V(Risk-Ue) - 76.25$$

Si può ritenere che il metodo Risk-Ue tenda, rispetto al metodo GNDT, a dare un punteggio di vulnerabilità inferiore agli edifici in muratura, e superiore a quelli in cemento armato. Questo è però solo un commento preliminare, dal momento che degli edifici in CA si hanno a disposizione un numero inferiore di schede di censimento LSU.



5. Stima della vulnerabilità per edifici storici e monumentali (*Vulnerability assessment of historical and monumental buildings*)

Analizzando la storia degli eventi sismici che ha colpito l'area urbana di Catania si nota come, anche in occasione di terremoti di limitata intensità, gli edifici storici monumentali abbiano subito danni significativi. Al fine di ottenere una stima della vulnerabilità di tali edifici, si è seguito un approccio che considera due diversi livelli di dettaglio. In primo luogo, si è eseguita un'analisi di tipo territoriale (*I livello*), che si basa su un approccio tipologico, in cui l'input sismico è rappresentato dall'intensità macroismica e la vulnerabilità è definita tramite un indice che tiene conto, oltre che della tipologia del manufatto, di parametri (*score-modifiers*) facilmente riconoscibili (stato di manutenzione, qualità dei materiali, regolarità strutturale, etc). Successivamente si è condotta un'analisi di maggiore dettaglio su alcuni macroelementi dei monumenti di Catania (*II livello*), basata su un approccio meccanico, in cui l'input è rappresentato dallo spettro di risposta del terremoto (in formato *AD - pseudo acceleration vs displacement*) e la vulnerabilità è descritta tramite una curva di capacità.

La popolazione totale degli edifici monumentali di Catania è rappresentata da 198 manufatti la cui suddivisione tipologica, riportata in Figura 10, evidenzia come le classi maggiormente presenti siano rappresentate dalle chiese e dai palazzi. L'attività di rilievo speditivo, svolta in una settimana, ha permesso di rilevare 150 manufatti attraverso una scheda connessa alla metodologia di *I livello*, che contiene in maniera strutturata la possibilità di raccogliere le informazioni necessarie per calcolare l'indice di vulnerabilità.

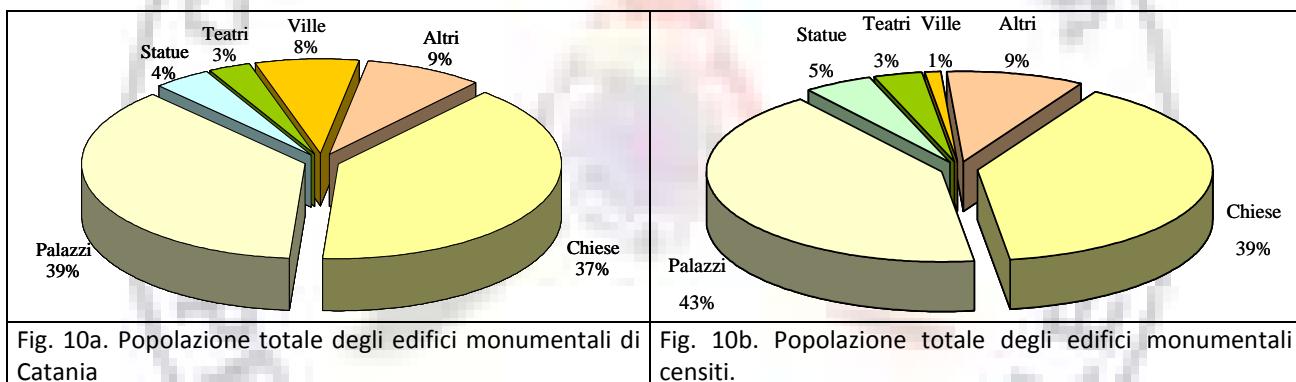


Fig. 10a. Popolazione totale degli edifici monumentali di Catania

Fig. 10b. Popolazione totale degli edifici monumentali censiti.

Analizzando nel dettaglio le tipologie più ricorrenti, dal risultato del rilievo dei modificatori, è emerso come, statisticamente, ci si trovi di fronte a *palazzi* che, per il loro valore culturale, presentano uno stato di manutenzione medio - buono con stati fessurativi limitati e con una qualità muraria che può considerarsi generalmente accettabile. E' importante, inoltre, sottolineare, come oltre il 70% di tali edifici presentino una regolarità in pianta ed in alzato, e come solo il 30% abbia subito delle trasformazioni architettoniche o interventi recenti.

Per quanto riguarda le chiese, la valutazione globale è analoga, tuttavia emerge come a fronte di una qualità della muratura migliore (in relazione alla cura della ricerca dei materiali e delle maestranze), lo stato di manutenzione e il livello di danno manifestino la presenza di una percentuale, seppur limitata, di danno grave e di stato di manutenzione pessimo. Tali casi sono generalmente chiese di piccole dimensioni, nella zona periferica della città. E' importante notare, inoltre, come la tipologia più ricorrente (circa 80% delle chiese) è a navata unica (nonostante la dimensioni spesso imponenti di tali manufatti).

In funzione del punteggio di vulnerabilità calcolato per ciascun manufatto, in base ai dati reperiti durante il rilievo effettuato, è stato possibile definire un duplice scenario di danno relativo ad un terremoto analogo a quello del 1818 e del 1693.

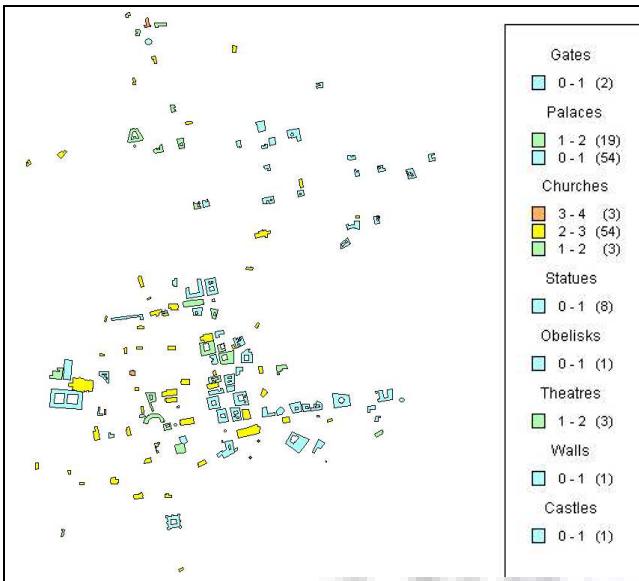


Fig. 11a. Scenario di danno relativo al terremoto del 1818

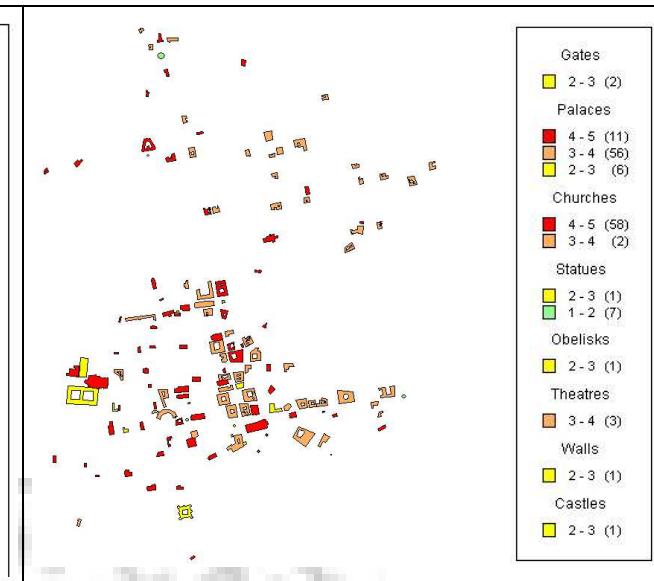


Fig. 11b Scenario di danno relativo al terremoto del 1693

Osservando lo scenario di danno relativo al terremoto del 1818, si nota come le chiese rappresentino la tipologia maggiormente vulnerabile, esse sono, infatti, gli unici edifici per i quali si prevede un livello di danno significativo (livello 2-3 e 3-4). Considerazioni simili possono essere formulate, osservando lo scenario di danno relativo al terremoto del 1693. In questo caso, la severità dell'evento sismico causa un livello di danno elevato nella maggioranza degli edifici di ogni classe ma, mentre per le altre tipologie si può osservare una differente distribuzione del danno, per il 95% delle chiese il danneggiamento previsto è valutabile come il collasso strutturale dell'edificio (4-5 livello).

L'analisi di *II livello* è stata condotta considerando le sole chiese. Le motivazioni di questa scelta vanno ricercate sia nell'elevato numero di questi edifici sul territorio catanese, sia nella loro elevata vulnerabilità, messa in evidenza anche dai risultati degli scenari di danno di *I livello*.

L'analisi è basata su una valutazione di tipo meccanico tramite la definizione di modelli numerici semplificati. Il procedimento si basa sulla definizione di una curva di capacità rappresentativa della struttura o di una sua parte (macroelemento) per caratterizzarne la risposta sismica. Per poter definire lo scenario di danno è necessario intersecare le curve di capacità con uno spettro di risposta (*formato AD*) rappresentativo del terremoto che si vuole simulare determinando il *performance point* e che va confrontato con i livelli di danno precedentemente definiti.

Il metodo d'analisi utilizzato per la determinazione della curva di capacità si basa sull'analisi limite dell'equilibrio secondo un approccio cinematico. Tale metodo prevede un'analisi a collasso della struttura, che viene rappresentata come un sistema di blocchi rigidi sul quale agiscono le azioni permanenti costanti e un sistema di forze statiche orizzontali, che simulano il sisma, proporzionali ai carichi permanenti tramite il moltiplicatore di collasso β , rappresentativo dell'accelerazione spettrale.

L'analisi di *II livello* è stata condotta per la facciata e per l'arco trionfale, in quanto sono risultati i macroelementi maggiormente vulnerabili sia sulla base dell'analisi della storia sismica dei manufatti, sia sull'osservazione delle caratteristiche costruttive (mancanza di presidi antisismici) che mediamente si riscontrano nei diversi macroelementi. Per quanto riguarda le facciate, esse sono quasi sempre costituite da una parete non contrastata nei confronti di un'azione fuori del piano e scarsamente connessa con il resto del corpo di fabbrica. In Figura 12 sono riportate le curve di capacità delle facciate di alcune chiese di Catania, in cui è possibile valutare l'influenza e l'efficacia della presenza delle catene per contrastare l'attivazione di un meccanismo di ribaltamento.

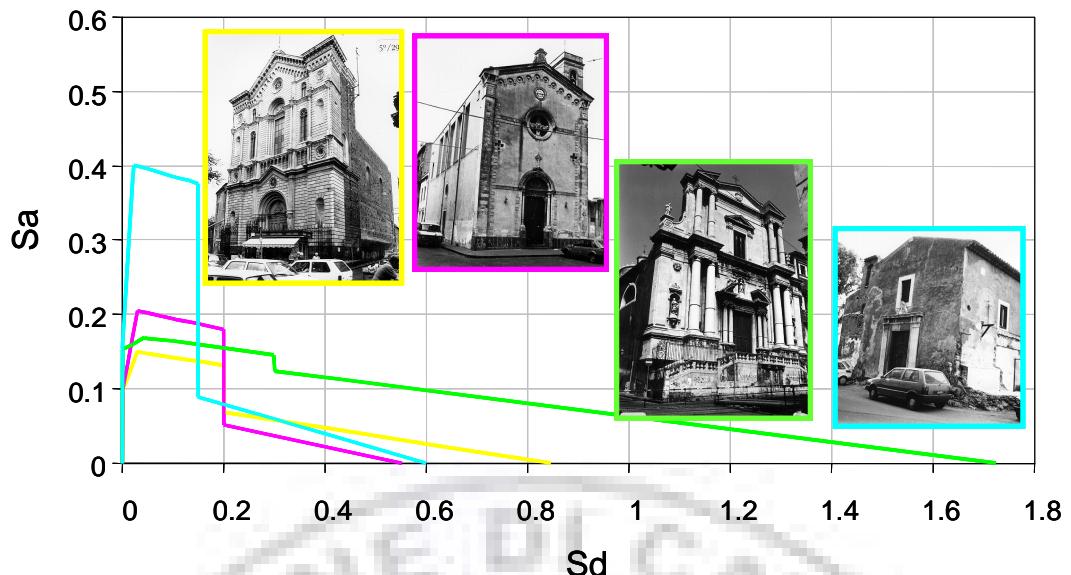
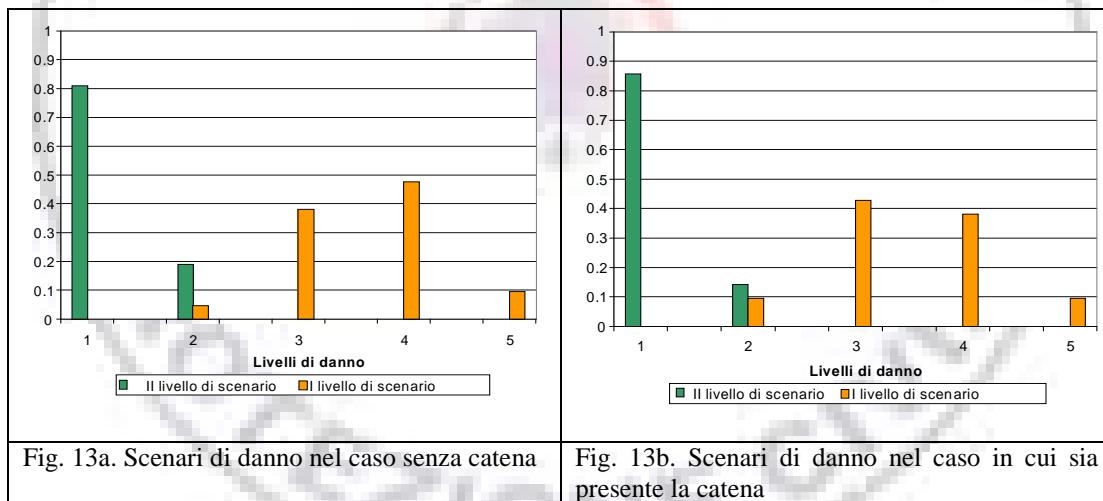


Fig. 12. Curva di capacità per diverse geometri di facciate

Per quanto riguarda gli archi trionfali, sono stati individuate le chiese catanesi nelle quali è presente questo macroelemento e che non risultano interamente inglobate nel tessuto urbano. Le chiese rispondenti a queste caratteristiche sono risultate 21, di cui 17 ad un'unica navata e 4 a tre navate. Su questo campione di chiese è stata impostata la determinazione degli scenari di danno, sia nell'ipotesi in cui sia presente una catena, sia nel caso in cui essa sia assente in modo da possedere una valutazione dell'efficacia per questo presidio. I risultati sono riportati negli istogrammi seguenti:



Si può rilevare come la catena rappresenti un efficace intervento di miglioramento antisismico, sia per contrastare il cinematismo, sia per limitare i danni nel caso in cui il terremoto abbia un'intensità tale da attivarlo.

Conclusioni

L'analisi della vulnerabilità condotta sugli edifici monumentali, sommariamente descritta nel paragrafo precedente, permette di conseguire un risultato molteplice di pubblica utilità.

In primo luogo, l'individuazione e la georeferenziazione di tali manufatti su supporto GIS (Geographic Information System) consente, all'Amministrazione Comunale, di conoscere in maniera puntuale il numero e la localizzazione di tutti gli edifici vincolati presenti a Catania. Tale aspetto risulta di fondamentale importanza sia in per una corretta gestione di un'emergenza sismica, sia per la pianificazione delle risorse da allocare a seguito di un evento sismico. Le informazioni raccolte e i conseguenti scenari di vulnerabilità e danno che si sono potuti definire, permettono di stilare una lista degli edifici ordinata secondo diversi parametri (indice di vulnerabilità, livello di danno in relazione a diversi eventi sismici di riferimento), individuando, cioè, un primo criterio per la pianificazione di un progetto di prevenzione sismica a scala territoriale. Appare evidente, inoltre, come l'approccio di II livello adottato per lo studio della risposta sismica di alcuni macroelementi delle chiese catanesi, permette di poter avere dei suggerimenti puntuali sulla vulnerabilità del manufatto, sulle modalità di consolidamento (inserimento di catene metalliche), che possono fornire all'Amministrazione Comunale, un preliminare strumento per la guida ed il controllo degli eventuali progetti di miglioramento sismico.

Tutte le informazioni raccolte sono state inserite in un GIS che rappresenta l'ambiente ideale all'interno del quale sviluppare un'analisi altamente multidisciplinare quale quella di rischio sismico, che richiede l'identificazione dell'esposto, l'integrazione di valutazioni di pericolosità e la valutazione della vulnerabilità. All'interno del GIS, ad ogni edificio è stata attribuita una serie d'informazioni ottenuta dai dati raccolti durante la campagna di rilievo condotta mediante la compilazione della scheda di I livello e le valutazioni di dettaglio (approccio di II livello), pervenendo così ad un database ricco d'informazioni, rilevabili immediatamente interrogando la mappa georeferenziata.

6. Stima della vulnerabilità per le reti di servizio e i sistemi infrastrutturali (Vulnerability assessment of lifelines and essential facilities)

Le infrastrutture di servizio comprendono:

- le reti delle acque potabili e di rifiuto
- le reti per il trasporto del gas e di carburante liquido
- la rete elettrica
- la rete delle comunicazioni e dei trasporti.

Il comportamento delle reti infrastrutturali estese, ad es. rete gas e acquedotto, nel caso di un terremoto violento può essere convenientemente quantificato con la stima del numero di rotture per km di tubazione; tali rotture sono tipicamente causate o da fratture e cedimenti permanenti del terreno (per addensamento, liquefazione, ecc.), o dalle deformazioni transitorie generate dal passaggio delle onde sismiche.

Per quanto riguarda l'impatto del sisma sulla rete di trasporto stradale, un aspetto critico per la gestione dell'emergenza riguarda sicuramente le conseguenze sul traffico cittadino generato dalla presenza di macerie sulle strade.

A continuazione vengono sinteticamente illustrate sia le verifiche effettuate per le principali reti infrastrutturali sotterranee, sia delle stime rappresentative sulla riduzione di accessibilità per il traffico stradale.

Verifiche a rotura per le reti di servizio

Come già accennato, il danneggiamento delle tubazioni interrate può essere espresso in termini di numero di guasti per km di tubo (RR = *Repair Rate*); questo numero è funzione del materiale di cui è composto il tubo stesso (compresi i giunti), del diametro del tubo, della severità della scossa sismica del suolo (rappresentata in particolare della velocità massima v_{max} del moto del suolo), o dall'entità di eventuali cedimenti permanenti. I metodi che consentono di valutare l'indice RR sono basati principalmente sulle osservazioni empiriche, suffragate da giudizi ingegneristici e da formulazioni analitiche.

Per Catania, si è fatto riferimento alla seguente correlazione tra RR e velocità massima di moto del suolo elaborata dall' American Lifelines Alliance (ALA, 2001):

$$RR = 3.28 \times K \times 0.00187 \times \frac{v_{\max}}{2.54} \quad (2)$$

K è un fattore di modifica che tiene conto della diversa vulnerabilità delle tubazioni in base al materiale, al tipo di giunture, al diametro e al tipo di suolo in cui la tubazione è posta; 0.00187 è il valore della pendenza media delle tubazioni.

Tabella 9: valori assunti dal fattore di moltiplicazione K per i diversi tipi di tubazione

Materiale del Tubo	Tipo Giuntura	Diametro del Tubo*	K
<i>Ghisa</i>	Rigido	Piccolo	1
		Grande	0.5
	Flessibile	Piccolo	0.8
		Grande	0.4
<i>Ferro Duttile</i>	Rigido	Piccolo	0.6
		Grande	0.3
	Flessibile	Piccolo	0.5
		Grande	0.25
<i>Cemento Amianto</i>	Rigido	Piccolo	1
		Grande	0.5
	Flessibile	Piccolo	0.5
		Grande	0.25

* Diametro grande >300 mm, piccolo < 300 mm

Per quanto riguarda la rete acque potabili le informazioni conseguite sono piuttosto scarse: del 70% delle tubazioni costituenti l'intera rete non si conosce il materiale, il rimanente 30% vede predominare la presenza di tubazioni in ghisa (23%), a seguire acciaio (6%) e cemento amianto (1%). Per quanto riguarda la dimensione del diametro questa è nota per il 75% delle condotte.

Si è quindi reso necessario fare alcune ipotesi al fine di procedere nell'applicazione: le tubazioni di cui non era noto il materiale sono state considerate di ghisa (materiale risultato predominante); per quel 25% di tubazioni di cui non era noto il diametro, quest'ultimo è stato attribuito sulla base delle caratteristiche delle condotte limitrofe; inoltre non essendo noto per alcuna tubazione la tipologia dei giunti – che sono probabilmente l'elemento più determinante sul comportamento sismico della tubazione - si è scelto di considerare il caso peggiore, rappresentato da giunto di tipo rigido.

Per la rete gas è noto che il 73 % delle tubazioni sono di acciaio, mentre del rimanente 27 % non è nota la tipologia: ai fini applicativi si è quindi ipotizzato che la rete del gas sia interamente composta da tubazioni in acciaio. Non sono invece state fatte ipotesi sul diametro essendo noto il suo valore (sempre inferiore ai 300 mm) per tutti gli elementi della rete.

Anche in questo caso, non essendo note le caratteristiche dei giunti, si è ipotizzato di trovarsi nel caso più sfavorevole (giunti di tipo rigido).

Considerando la scossa sismica di riferimento di livello I (evento del 1693) si sono ottenuti per i sistemi infrastrutturali sotterranei i seguenti risultati, facendo riferimento alle sole condotte di distribuzione principali:

- Per la rete dell'acqua un numero totale di 13 rotture sulla lunghezza complessiva di 220 km di tracciato, la cui distribuzione è illustrata in Fig. 14 (a destra)
- Per la rete del gas circa 2 rotture su 37 km, con la distribuzione di Fig. 14 (a sinistra).

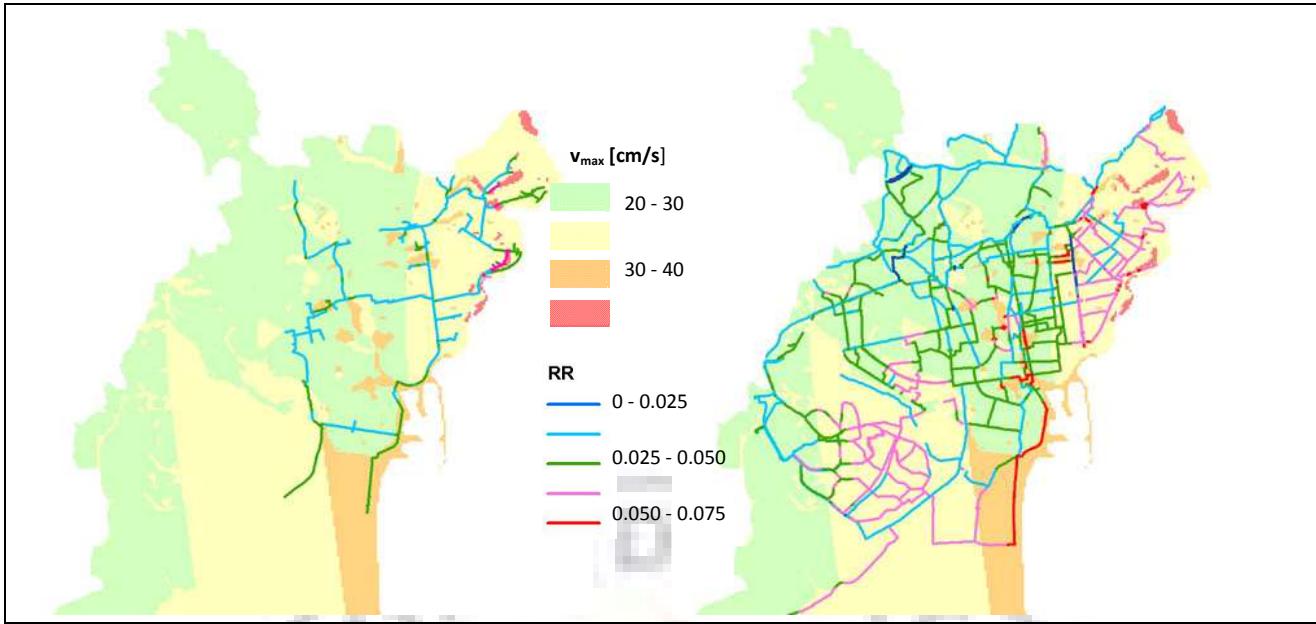


Fig 14: Scenario di danneggiamento sismico delle tubazioni principali del gas (a sinistra) e dell'acquedotto (a destra): sullo sfondo, i valori calcolati della velocità v_{\max} di moto sismico del suolo per il terremoto di scenario di livello I, mentre i colori delle linee rappresentano i tassi RR di rottura

I risultati sono relativamente confortanti, essendo i numeri totali stimati delle rotture molto ridotti, ma deve essere sottolineato che si tratta di stime soggette a notevole incertezza, soprattutto a causa della mancanza di informazioni dettagliate su molti tratti di tubazioni, in particolare per quanto riguarda il tipo di giunti.

Stima dell'accessibilità della rete stradale

L'impatto dei terremoti su una infrastruttura quale la rete di trasporto stradale è principalmente rappresentato dall'ostruzione delle strade da parte delle macerie di edifici collassati o gravemente danneggiati e da rotture del manto stradale. La presenza di strade inagibili porta quindi ad una riduzione dell'accessibilità della rete viaria: alcuni nodi della rete stradale risultano infatti completamente isolati, altri possono essere ancora raggiungibili ma seguendo percorsi alternativi che richiedono di percorrere maggiori distanze, con conseguente aumento del tempo necessario a spostarsi da un nodo ad un altro; in tale situazione risulta quindi compromessa la funzionalità del sistema di trasporto.

Il danneggiamento subito dalla rete stradale può essere espresso in termini di indice di accessibilità totale, valutato sulla base dell'accessibilità ad ogni singolo nodo che compone la rete stradale. Per il calcolo dell'accessibilità ai nodi si è fatto riferimento alla seguente relazione (Chang, Nojima 1999):

$$A_i = \frac{\sum w_{ij} \cdot d_{ij}}{\sum w_{ij} \cdot d_{ij}^*} \quad (3)$$

dove i rappresenta uno dei nodi della rete stradale, j i nodi direttamente collegati ad i , A_i il coefficiente di accessibilità per il nodo i dopo l'evento sismico, d_{ij} la minima distanza dal nodo i al nodo j sulla rete danneggiata dal terremoto, d_{ij}^* la distanza pre-evento da i a j , e w_{ij} il peso del flusso veicolare uscente da i e diretto verso j .

Si sono considerati i dati relativi al flusso di traffico nell'orario di punta (8:00 - 9:00) per le strade principali di Catania (resi disponibili dal Comune).

Il calcolo dell'accessibilità è stato eseguito per una area comprendente il centro storico e la zona densamente abitata situata a nord-est dello stesso; ai fini applicativi si è introdotta l'ipotesi semplificativa secondo cui sono da considerare inagibili tutte le strade sulle quali si affacciano edifici per i quali sono attesi danni di grado 4 o 5 (danno grave o collasso, vedi il capitolo 7 di seguito).

Un'importante applicazione dello studio di accessibilità, di notevole interesse nell'ambito dell'organizzazione dei soccorsi durante la gestione dell'emergenza, è rappresentata dal calcolo del

percorso minimo tra due punti strategici della città nel minor tempo possibile. Come esempio significativo si è preso il percorso da seguire per raggiungere un ospedale, a partire da una scuola. In Figura 15 si riporta quale sia il collegamento fra la scuola elementare XX Settembre e l'Ospedale Garibaldi in condizioni di normalità e in condizioni di emergenza post-sisma. Si è considerato il caso del terremoto di scenario di livello II (evento *danneggiante*, tipo terremoto del 1818): in rosso, nella mappa di destra sono contraddistinte le sezioni per cui è stato stimato un livello di danno medio corrispondente a "danno grave" o "collasso". E' stato calcolato un tempo necessario a collegare le due strutture pari a 124 secondi nella situazione di normalità pre-sisma, tempo che praticamente raddoppia nella situazione di emergenza post-sisma (234 secondi).

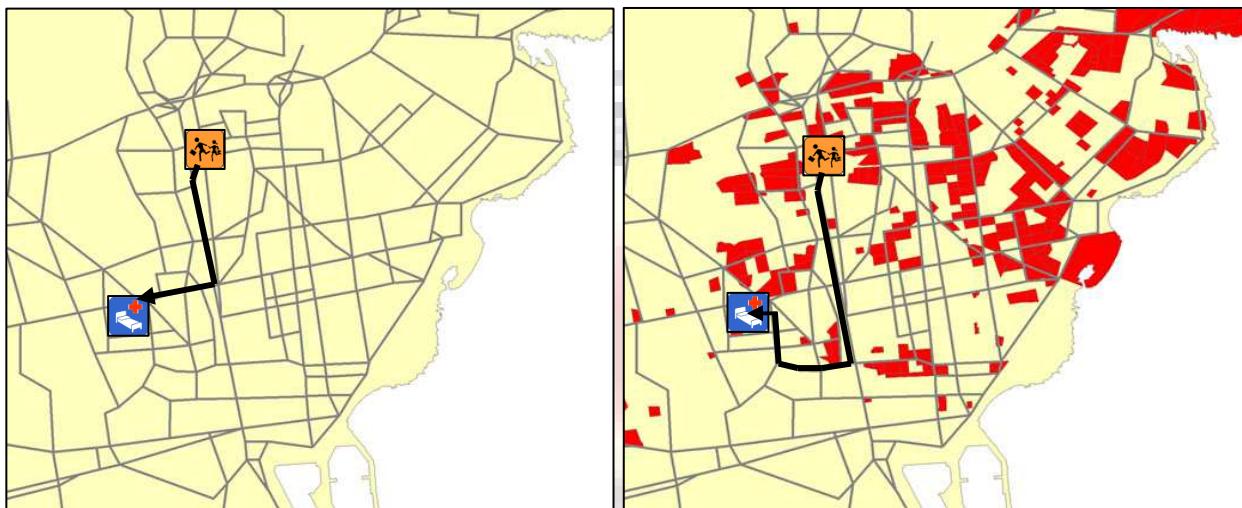


Figura 15. Percorso minimo fra scuola elementare XX Settembre e Ospedale Garibaldi in situazione di pre-evento (a sinistra) e post-evento (a destra).

7. Scenari di rischio sismico (*Seismic risk scenarios*)

Stima del danno

L'indice di vulnerabilità, ottenuto come descritto nel capitolo 4, permette di stimare il grado di danno atteso per gli edifici appartenenti a ciascuna categoria, al verificarsi di un evento sismico predefinito (di livello I o II, vedi cap. 2). A tal fine si usa un'opportuna curva, detta di "fragilità", che correla empiricamente la vulnerabilità e il grado di danno. Come si vede in Fig. 16, entrando nel grafico dall'ascissa corrispondente al grado di intensità macroseismica attesa (in questo caso nella scala EMS), e scegliendo la curva corrispondente all'indice di vulnerabilità di una certa categoria di edifici, si legge in ordinata la stima del grado di danno atteso definito in Tabella 10.

Tabella 10: gradi di danno

Grado di danno	Descrizione
0	Nessun danno
1	Danno leggero
2	Danno moderato
3	Danno sostanziale
4	Danno grave
5	Collasso

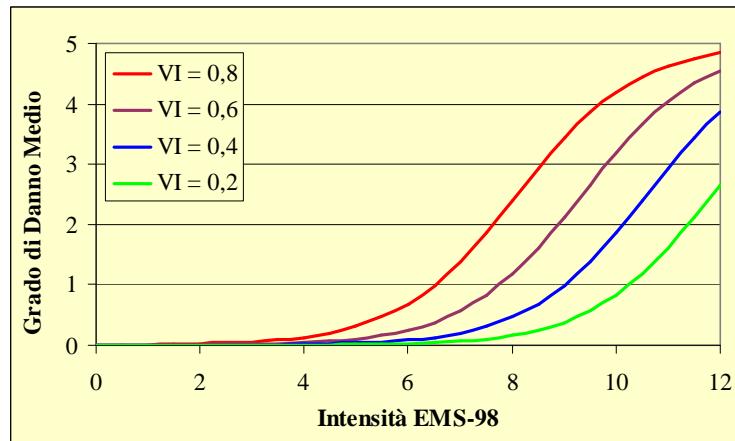


Figura 16: curve di fragilità per le diverse categorie di costruzioni

Eseguendo una media pesata dei danni stimati per ciascuna categoria di edifici in ognuna delle 2476 sezioni censuarie ISTAT di Catania, si perviene ad assegnare un grado di danno rappresentativo medio a ciascuna sezione di censimento. Per un terremoto di scenario di livello I (tipo 1693) il grado di danno medio nella maggior parte delle sezioni di censimento si attesta attorno a 4 (danno grave). Un'informazione più significativa viene dalla rappresentazione della probabilità di collasso su tutta l'area urbana (Figura 17, sinistra), probabilità ricavata associando una opportuna distribuzione statistica al valore medio del danno. A destra in Figura 17 è riportato per una zona del quartiere di Librino il grado di danno medio di ogni sezione (colore) e la probabilità di accadimento di ciascuno dei gradi di danno (grafici a torta).

Il grado di danno previsto per uno scenario di scuotimento di II livello (tipo 1818), a livello di sezione di censimento, non va oltre un danno moderato (grado 2): la probabilità di collasso o di danno grave è praticamente nulla. In Figura 18 a sinistra si riporta il grado di danno medio per sezioni censuarie, mentre a destra si ripropone l'analogo di Fig.17 per la stessa zona.

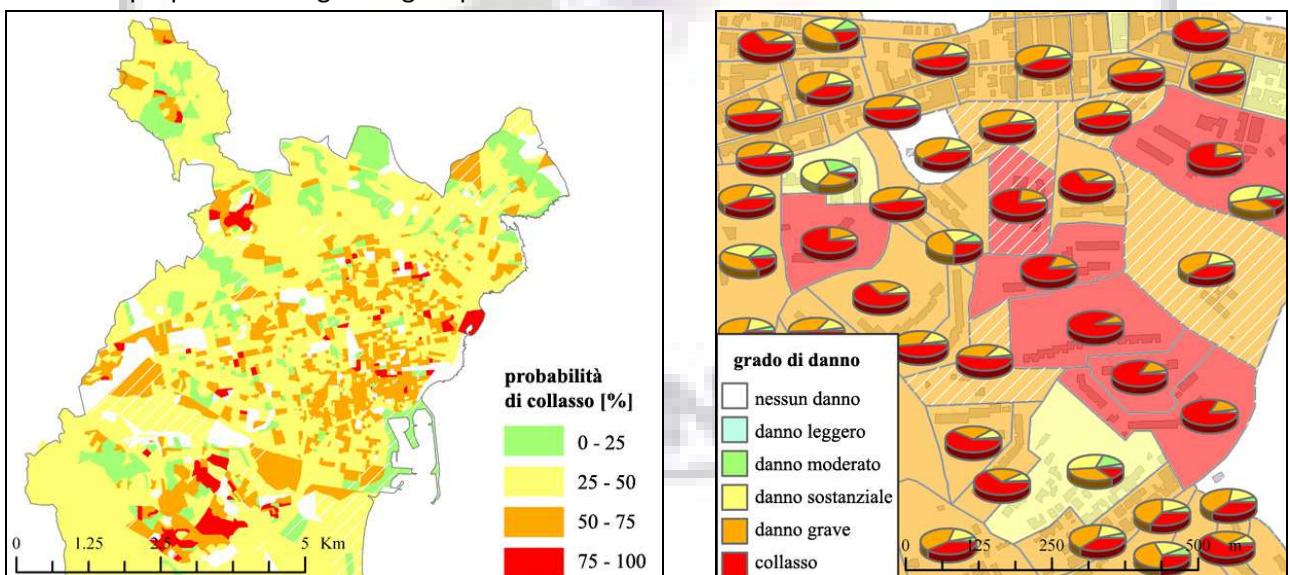


Figura 17: probabilità di collasso per sezioni censuarie per uno scenario di scuotimento di livello I (a sinistra). A destra, probabilità di occorrenza di ciascun grado di danno per alcune sezioni del quartiere di Librino: il colore rappresenta il grado di danno medio stimato per la sezione.

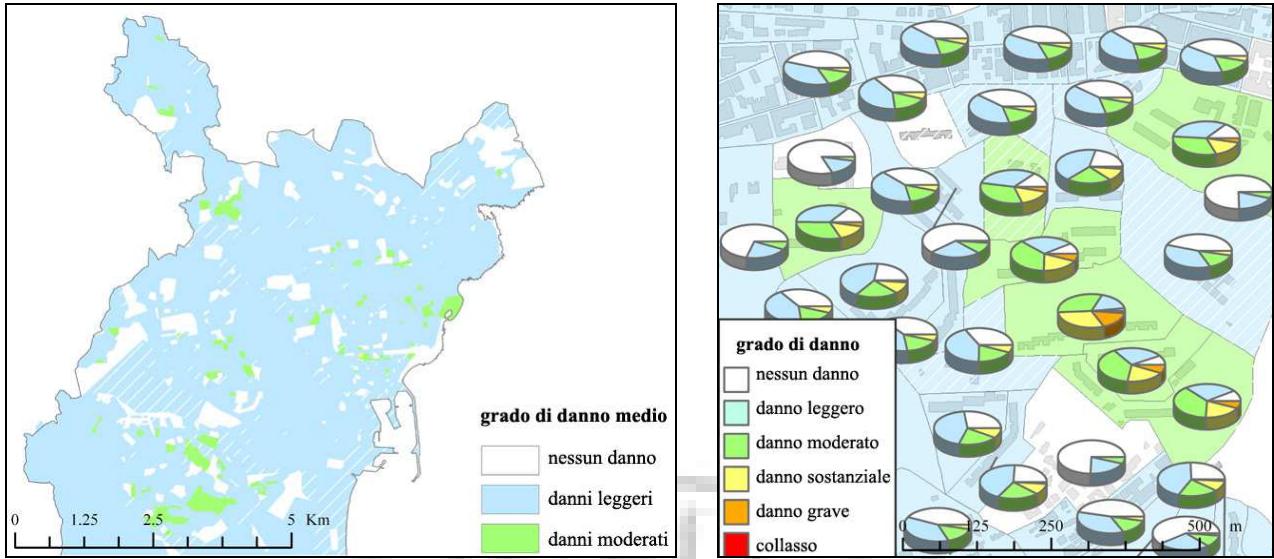


Figura 18: grado di danno medio per sezioni censuarie per uno scenario di scuotimento di livello II (a sinistra). A destra, probabilità di occorrenza di ciascun grado di danno per alcune sezioni del quartiere di Librino: il colore rappresenta il grado di danno medio stimato per la sezione.

Per lo scenario di scuotimento di livello I si riporta anche la stima del danno fatta con il metodo GNDT. Stimata la vulnerabilità degli edifici a partire dalle schede di censimento LSU (cap. 4), l'indice di danno medio è stimato attraverso la relazione trilineare di Figura 19.

Rispetto alle curve di fragilità mostrate in Figura 16, si nota che il parametro relativo allo scuotimento è rappresentato in termini di accelerazione invece che di intensità, e l'indice di danno varia in un intervallo 0-1, che però si può riportare al grado di danno descritto in Tabella 10.

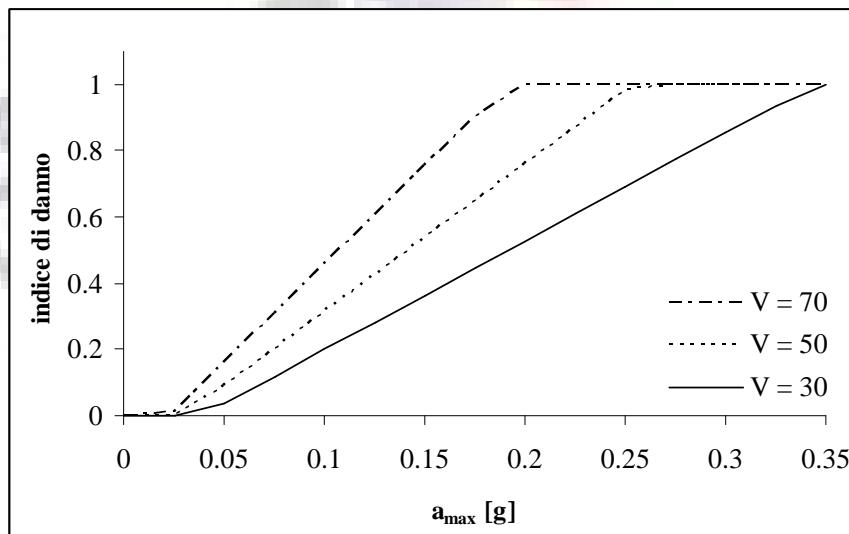


Fig. 19: curve di fragilità per le diversi indici di vulnerabilità

La rappresentazione del danno a livello di sezione di censimento richiede la media dei danni stimati per gli edifici presenti nella sezione stessa. Si riporta in Figura 20, a sinistra il danno medio stimato con il metodo Risk-Ue, mentre a destra il danno medio stimato con il metodo GNDT sulla base dei dati LSU. Oltre alla differente banca dati su cui i due scenari di danno sono stimati, differisce anche il parametro che definisce la sismicità: per il metodo Risk-Ue, la sismicità è data per tutto il territorio comunale pari a un'intensità di X-XI che corrisponde a circa 0.38g. Nel metodo GNDT la sismicità è definita attraverso l'accelerazione di gravità, che varia da 0.21g a 0.45g (Fig 3a).

Le mappe riportate in Figura 20 mostrano come il danno stimato attraverso il metodo GNDT fornisca un maggior numero di sezioni in cui si raggiunge il collasso, ma contemporaneamente in corrispondenza del quartiere di Librino, la stima del danno è inferiore. In entrambi i casi il danno va da sostanziale a collasso.

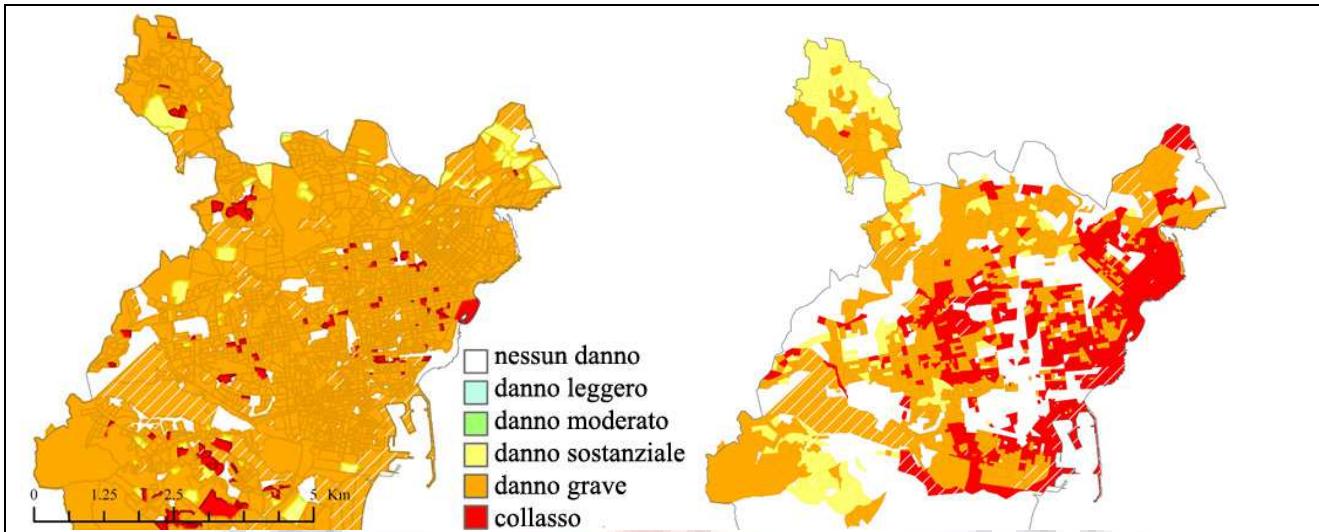


Figura 20: grado di danno medio per sezioni censuarie per uno scenario di scuotimento di livello I stimato attraverso il metodo Risk-Ue (a sinistra) e attraverso il metodo GNDT (a destra)

Stima delle vittime

L'effetto più tragico di un terremoto è la perdita di vite umane: il primo obiettivo di ogni strategia di riduzione del rischio sismico è dunque di limitare per quanto possibile il numero delle vittime.

Analisi statistiche mostrano come la causa principale dei decessi causati da un terremoto sia il collasso di edifici. Sulla base dei dati disponibili, Coburn e Spence (2002) propongono per la stima delle vittime la seguente relazione:

$$Ks = C \times \{M1 \times M2 \times M3 \times [M4 + M5 \times (1 - M4)]\} \quad (4)$$

dove:

Ks = numero delle vittime causate dal collasso di edifici di un certo tipo;

C = il numero totale di edifici colllassati per ogni tipo;

$M1$ = la densità degli occupanti gli edifici;

$M2$ = la percentuale di occupanti al momento del collasso;

$M3$ = la percentuale di occupanti intrappolati dalle macerie;

$M4$ = la percentuale per diversi livelli di ferimento (morti, feriti che richiedono intervento medico immediato);

$M5$ = rappresenta la mortalità fra quanti rimangono intrappolati nelle macerie in attesa dei soccorsi.

Per ciascuno di questi parametri gli autori citati propongono dei valori rappresentativi.

Per Catania è noto il numero degli abitanti di ciascuna sezione di censimento; analogamente è dato il numero di edifici per diverse tipologie costruttive; in particolare qui si è distinto fra edifici in muratura e in CA, e si è considerato il numero di piani. In questo modo si è potuto considerare, su base censuaria, la densità della popolazione per piano.

Quindi si è assunto:

- C espresso come numero totale di piani colllassati (in ogni sezione censuaria);
- $M1$ espresso come numero di abitanti per piano;
- per $M2$ si sono assunti valori forniti in letteratura per edifici residenziali urbani: 0.8 per la notte e 0.45 per il giorno (l'80% dei residenti è nella propria abitazione durante la notte, mentre di giorno la percentuale si abbassa al 45%);
- si assume che la percentuale di occupanti intrappolati dal crollo sia pari al 65% ($M3 = 0.65$);

- per M4 si considera che il 20% di quanti intrappolati in edifici in muratura muoia al momento del crollo, mentre per quanti intrappolati in edifici in CA, la percentuale è posta pari al 40% ($M4 = 0.2$ per edifici in muratura, $M4 = 0.4$ per edifici in CA);
- il fattore M5 viene assunto pari a 0.45 per gli edifici in muratura e a 0.7 per gli edifici in CA, considerando l'intervento di squadre organizzate per il recupero delle persone rimaste intrappolate, fino a 36 ore dall'evento (valori da Coburn e Spence).

Inoltre si ipotizza che tutte le persone rinvenute fra le macerie ancora in vita, richiedano un intervento medico. Si considerano collassati tutti quegli edifici per cui si è stimato un grado di danno medio pari a 5 (collasso). Con le ipotesi sopra descritte si ottengono le stime riportate nelle Tabelle 11 e 12.

Tabella 11. Stima delle vittime per uno scenario di scuotimento sismico di livello I (tipo 1693) verificatosi di notte

	vittime in edifici in muratura	vittime in edifici in CA	vittime totali	% vittime sulla pop. totale
Morti	85	20612	20697	6.2
Feriti che richiedono intervento medico	67	4525	4591	1.4

Tabella 12. Stima delle vittime per uno scenario di scuotimento di livello I verificatosi di giorno

	vittime in edifici in muratura	vittime in edifici in CA	vittime totali	% vittime della pop. totale
Morti	48	11594	11642	3.5
Feriti che richiedono intervento medico	37	2545	2582	0.8

Il verificarsi del terremoto durante la notte aumenta quasi del doppio la stima del numero delle vittime; la differenza nelle stime fra i residenti in edifici in muratura e quelli in edifici in CA, è in parte da attribuire al fatto che questi ultimi sono in numero superiore perché maggiore è il numero di edifici in CA che collassano. Infatti si ha che in 8 edifici in muratura collassati, su 291 residenti i morti sono il 29% se l'evento sismico si verifica di notte, o il 16% di giorno; mentre in 9784 edifici in CA, su 48339 residenti, i morti sono il 43% di notte, o il 24% di giorno. In Figura 21 è riportata la distribuzione del numero delle vittime, per sezione di censimento, stimata con il metodo descritto. Confrontando la mappa con quelle rappresentate nelle Figg. 1 (tipo di edifici) e 17 (probabilità di collasso per uno scenario di scuotimento di livello I), si osserva come il numero maggiore di vittime si ha in quelle sezioni in cui il grado di danno medio pari a 5 (che corrisponde parzialmente ad una probabilità di collasso superiore al 75%) e in cui prevale la tipologia CA.

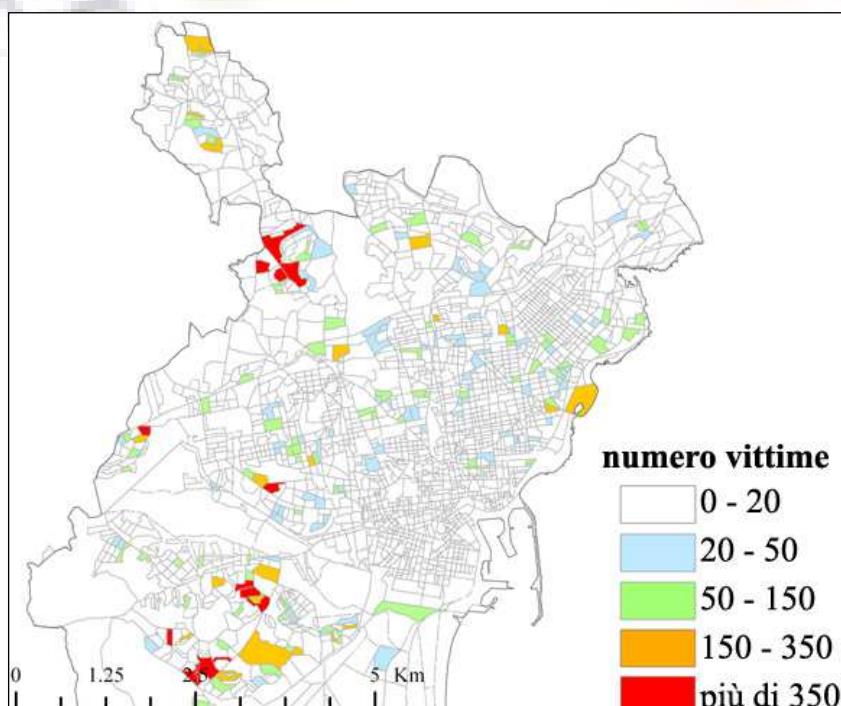


Fig. 21. distribuzione del numero delle vittime per uno scenario di scuotimento di livello I che si verifica di notte

Nel caso di un terremoto di II livello (tipo 1818) non si stima avere vittime, in quanto non si prevede ci siano collassi. Con un approccio semplificato (proposto da A. Lucantoni, F. Bramerini, F. Sabetta, 2002) si stima il numero delle vittime come il 30% dei residenti negli edifici collassati (con grado di danno medio pari a 5). Per uno scenario di scuotimento di livello I, si stimano per la città di Catania: 87 morti in edifici in muratura e 4502 in edifici in CA, che complessivamente corrispondono al 4,1% della popolazione totale. Si ha quindi una stima inferiore rispetto a quella sopra proposta, soprattutto se si considera che nell'approccio semplificato si assume che tutti i residenti siano presenti nelle abitazioni al momento del collasso.

APPENDICE A (al capitolo 2)

Tab. A - Tipi costruttivi presenti nell'edificato di Catania, secondo la classificazione europea adottata nel progetto RISK – UE.

Sigla	Denominazione	Descrizione
M1.1	Pietra grezza (a sacco, pietrame)	Costruzioni tradizionali in cui le pietre non lavorate costituiscono il principale materiale da costruzione, di solito con malta di qualità scadente, che danno origine a costruzioni pesanti e di scarsa resistenza alle azioni orizzontali. Gli orizzontamenti sono tipicamente in legno e non consentono irrigidimenti orizzontali
M1.2	Muri portanti in pietra sbozzata	Le costruzioni in pietra sbozzata differiscono dalle costruzioni in pietra grezza in quanto le pietre hanno subito una qualche lavorazione prima del loro impiego. Le pietre sbozzate sono disposte in modo da migliorare la resistenza della struttura. Inoltre, possono essere inclusi in questo tipo anche gli edifici con muratura in pietra grezza intercalata da strati orizzontali realizzati in mattoni o con pietre più grandi
M1.3	Pietre squadrate	Le costruzioni realizzate con pietre grandi sono in genere gli edifici monumentali, palazzi, castelli, ville, ecc. Questo tipo di muratura è stato utilizzato nel medioevo, quando le pietre erano lavorate con grande accuratezza, e i materiali e la mano d'opera erano di solito di qualità molto alta. Quindi, questi edifici possiedono generalmente grande resistenza, che contribuisce a un buon comportamento sismico.
M3.1	Muratura non armata con solai in legno	Sono edifici con muri portanti in muratura con solai in legno. La costruzione della maggior parte di piani e tetti consiste di pannellature in legno supportate da strutture in legno. In generale, la vulnerabilità è influenzata dal numero, dalla dimensione e dalla posizione delle aperture. Uno dei problemi da considerare è l'uso di muri con intercapedine, che possono, se non propriamente connessi, creare pareti molto deboli con una resistenza insufficiente al terremoto.
M3.2	Muratura non armata con volte in muratura	Sono edifici con muri portanti in muratura non armata e volte in muratura. Le volte in muratura sono sostenute direttamente da muri portanti in muratura o indirettamente da archi in muratura. In molti casi questo tipo strutturale si riscontra in edifici religiosi. In generale la vulnerabilità è influenzata dal numero, dalla dimensione e dalla posizione delle aperture. Uno dei problemi da considerare è l'uso di muri con intercapedine, che possono, se non propriamente connessi, creare pareti molto deboli con una resistenza insufficiente al terremoto.
M3.3	Muratura non armata con solai in acciaio composito e muratura	Sono edifici con muri portanti in muratura non armata e solai composti di travetti in acciaio muratura. I solai sono composti da cordoli di acciaio sostenuti dai muri portanti in muratura e da volte in muratura poste tra i cordoli e sostenute dalle ali delle travi di cordolo. In generale la vulnerabilità è influenzata dal numero, dalla dimensione e dalla posizione delle aperture. Uno dei problemi da considerare è l'uso di muri con intercapedine, che possono, se non propriamente connessi, creare pareti molto deboli con una resistenza insufficiente al terremoto.
M3.4	Muratura non armata con solai in cemento armato	Sembra che i muri siano gli elementi più importanti da osservare in un edificio, qualche volta, gli elementi orizzontali possono essere ugualmente decisivi nel determinare la resistenza di una struttura ai carichi orizzontali. Il tipo di costruzione dove le pareti sono non armate (laterizi, pietra lavorata, blocchi di cemento) e i solai sono di cemento armato, si comporterà decisamente meglio degli edifici in muratura ordinari più vecchi. Se le pareti sono connesse da catene a un solaio rigido con cordoli ad anello, si crea un sistema scatolare che riduce il rischio di collasso delle pareti fuori piano, o la separazione e divaricazione di pareti perpendicolari intersecantisi. Questo miglior comportamento può essere realizzato solo se il solaio in cemento armato è ben connesso alla struttura; questo è il caso degli edifici in muratura recente (XX secolo), nei quali le cordolature sono previste durante la costruzione.
RC1	Strutture con telai spaziali in CA	Gli elementi strutturali di questa struttura consistono in colonne di CA, catene e giunti catena-colonna. In alcuni casi, la connessione catena-colonna ha una capacità di resistenza a flessione molto piccola ma, in altri casi, alcune delle colonne e delle catene sono progettate come strutture con telai per resistere alle forze laterali. Di solito la struttura è nascosta sulla parte esterna da pareti non strutturali, che possono essere di quasi qualsiasi materiale (tamponature, laterizi, o pannelli di cemento). I solai in CA trasferiscono i carichi inerziali laterali al telaio resistente a flessione. C'è una grande varietà di strutture a telaio. Alcuni telai in cemento più vecchi possono non essere adeguatamente proporzionati e dettagliati così che durante un terremoto si può verificare la rottura fragile degli elementi del telaio, portando ad un collasso parziale o totale della struttura. Al contrario, i telai moderni posizionati in zone di elevata sismicità sono adeguatamente proporzionati e dettagliati per un comportamento duttile e possono sopportare grandi deformazioni durante un terremoto senza rotture fragili degli elementi del telaio e senza collasso.
RC4	Sistemi duali di CA (telai e pareti in CA)	Questi edifici hanno sistemi strutturali composti da telai in CA e pareti (strutturali) di taglio in CA.

APPENDICE B (al capitolo 6)

Valutazione semplificata della vulnerabilità sismica del sistema sanitario (ospedali) di Catania

Visto il ruolo strategico rappresentato dal sistema sanitario nell'ambito della gestione dell'emergenza post terremoto, si è ritenuto opportuno effettuare una valutazione della vulnerabilità, seppur in forma semplificata, degli ospedali di Catania.

Per una valutazione speditiva delle strutture ospedaliere della città si è fatto riferimento al metodo RVS (manuale FEMA –154), la cui modalità di applicazione viene di seguito descritta.

Metodo RVS (Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazard – Fema 154)

Il manuale americano FEMA 154 (*Federal Emergency Management Agency*) propone una procedura semplificata, detta RVS, per una rapida valutazione degli edifici al fine di identificare quelli potenzialmente pericolosi dal punto di vista sismico. Il metodo richiede la raccolta di dati sulla base dell'osservazione della parte esterna dell'edificio e, nel caso in cui sia possibile, anche di quella interna. La raccolta dati è finalizzata alla determinazione di un indice di pericolosità sismica S: quest'ultimo si compone di un indice di base (*Basic Structural Hazard Score*), funzione della tipologia strutturale dell'edificio, e di una serie di modificatori (*Score Modifiers*), dipendenti da caratteristiche dell'edificio stesso e dal tipo di suolo di fondazione, che vengono aggiunti o sottratti all'indice base per ottenere così l'indice finale S (*Structural Score*). Tutti e tre gli indici sono legati alla probabilità di collasso dell'edificio nel caso di violenta sollecitazione sismica, equivalente al livello di scuotimento attualmente usato negli Stati Uniti nella progettazione antisismica dei nuovi edifici. L'indice S così calcolato varia in un intervallo compreso tra 0 e 7, dove a valori maggiori corrispondono migliori prestazioni sismiche dell'edificio.

Nella sostanza, si tratta di un procedimento del tutto simile a quello speditivo, basato sulla compilazione di schede semplificate, impiegato a Catania per il censimento degli edifici effettuato nel *Progetto LSU* (Lavori Socialmente Utili).

L'applicazione di questo metodo porta alla suddivisione degli edifici in due categorie: quelli per i quali sono attese prestazioni antisismiche accettabili e quelli potenzialmente pericolosi, per i quali risulta necessario uno studio più approfondito. Per classificare gli edifici secondo queste due categorie la procedura RVS suggerisce un valore di soglia pari a 2: gli edifici aventi un valore di S pari o inferiore a 2 dovranno essere sottoposti ad un controllo da parte di professionisti esperti nel campo della progettazione antisismica.

Applicazione del Metodo RVS ai dati italiani

L'applicazione a dati italiani della procedura di screening sopra presentata ha reso necessario stabilire, per la definizione dell'indice base, una corrispondenza approssimativa tra le tipologie strutturali statunitensi e quelle italiane (Tabella 1).

Tabella 1. Tipologie Strutturali

Stati Uniti		Italia	
Sigla	Tipologia	Sigla	Tipologia
URM	Unreinforced masonry bearing-wall buildings	MNA	Muratura non armata, edifici con 2 muri portanti
C3	Concrete frame with unreinforced masonry infill	CA1	C.A. con tamponamenti di muratura non armata
C1	Concrete moment-resisting frame	CA2	C.A. costruito dopo il 1981
S5	Steel frame with unreinforced masonry infill	A	Acciaio

Viene di seguito riportata la lista con l'interpretazione dei modificatori contenuti nel metodo RVS:

- *mid rise*: edificio con n° di piani compreso tra 4 e 7
- *height rise*: edificio con n° di piani superiore a 7
- *vertical or plan irregularity*: irregolarità dell'edificio nello sviluppo in verticale o in pianta
- *pre-code year*: edificio costruito prima dell'applicazione di normative sismiche
- *post-benchmark year*: edificio costruito dopo l'introduzione di significativi miglioramenti alle normative sismiche
- *categoria di suolo C*: roccia tenera e terreno fortemente addensato
- *categoria di suolo D*: suolo rigido
- *categoria di suolo E*: suolo soffice

Anche per quanto riguarda i modicatori si è reso necessario in alcuni casi trovare una corrispondenza con le definizioni proposte, in particolare per quei modicatori che fanno riferimento alle categorie di suolo (Tabella 2) e all'applicazione delle normative di progettazione antisismica. Per questi ultimi si è scelto di considerare un'unica data di riferimento: il 1981.

Tabella 2. Confronto tra le categorie di suolo di fondazione di Stati Uniti ed Europa (Eurocodice 8)

Categorie di Suolo di Fondazione	
Stati Uniti	Europa
A ($Vs_{30} > 5000$ ft/s)	A ($Vs_{30} > 800$ m/s)
B (2500 ft/s < Vs_{30} < 5000 ft/s)	B (360 m/s < Vs_{30} < 800 m/s)
C (1200 ft/s < Vs_{30} < 2500 ft/s)	C (180 m/s < Vs_{30} < 360 m/s)
D (600 ft/s < Vs_{30} < 1200 ft/s)	D ($Vs_{30} < 180$ m/s)
E ($Vs_{30} < 600$ ft/s)	

Vs_{30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio

Applicazione del Metodo RVS agli ospedali di Catania

In Fig.1 sono rappresentati gli ospedali di Catania considerati nell'applicazione del metodo RVS: Policlinico Universitario, Ascoli - Tomaselli, Cannizzaro, S. Luigi Currò, Garibaldi, Ferrarotto, Vittorio Emanuele, S. Bambino, S. Marta.

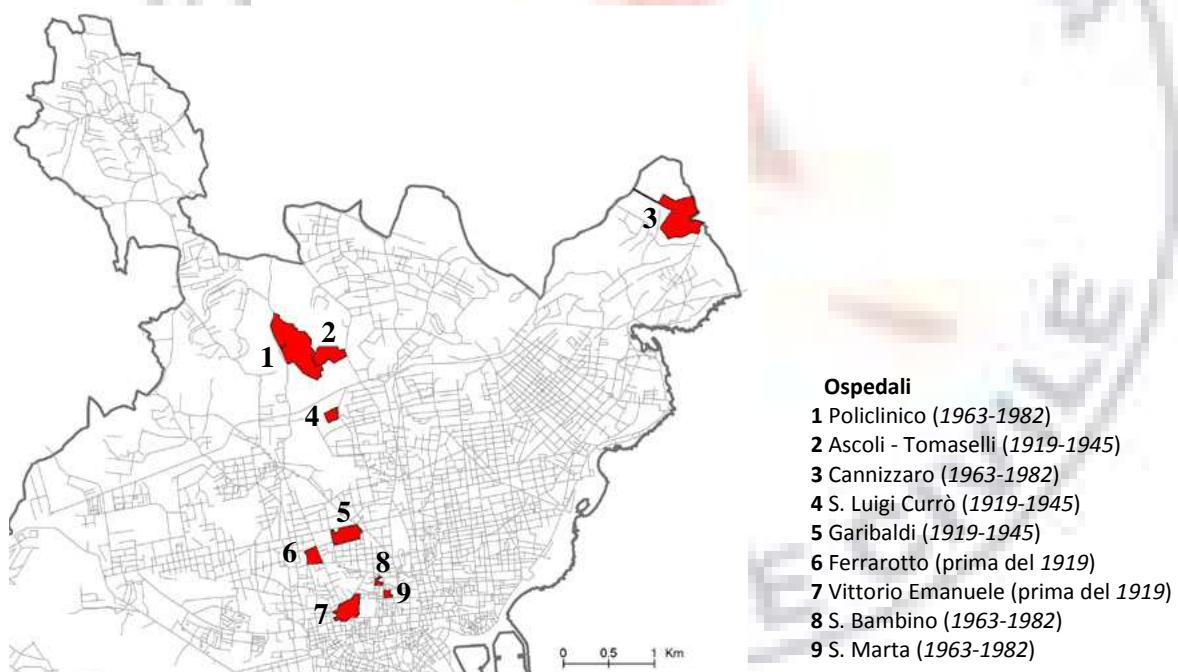


Fig. 1. Ubicazione degli ospedali di Catania e data di costruzione

Per i dati relativi agli edifici si è fatto riferimento alle *preschede*: schede informative preliminari al censimento di vulnerabilità, relative a complessi edilizi con funzione pubblica, che raccolgono informazioni utili per stimare tempi, costi e risorse umane necessarie per un più approfondito censimento di vulnerabilità. Fra tutti i dati contenuti nella prescheda in particolare sono stati considerati i seguenti: struttura verticale prevalente, età di costruzione e numero di piani. Per quanto riguarda l'assegnazione della categoria di suolo di fondazione è stata considerata la zonazione geotecnica di Catania (elaborata nel *Progetto Catania* del CNR), dove sono riportati i valori di Vs_{30} .

Una precisazione deve essere fatta per quanto riguarda l'applicazione del modificatore relativo all'irregolarità dell'edificio: è stato possibile considerare solo quella in pianta, ad eccezione di pochi edifici per i quali sono disponibili supporti fotografici che consentono di valutare anche quella in verticale. In particolare per ciascun ospedale è nota la pianta degli edifici che lo compongono, ma non per tutti gli edifici è possibile risalire all'esatta corrispondenza tra la denominazione dell'edificio presente sulla prescheda e il disegno in pianta; si è quindi scelto, nel caso in cui sia presente anche un solo edificio con irregolarità in pianta, di attribuire comunque il modificatore a tutti gli edifici che costituiscono la struttura ospedaliera (ipotesi cautelativa). A titolo d'esempio in Fig. 2 è riportata la pianta degli edifici che fanno parte dell'ospedale Vittorio Emanuele: non conoscendo la corrispondenza tra edifici in pianta e i dati delle preschede, a tutti gli edifici è stato applicato il modificatore relativo all'irregolarità in pianta essendo la struttura ospedaliera costituita da numerosi edifici con pianta irregolare.



Fig. 2. Ospedale Vittorio Emanuele

In Tabella 3 vengono riportati i valori degli indici base e dei corrispondenti modificatori per ciascun tipo di edificio.

Tabella 3. Indici di base e i modificatori

Tipologia Edificio	MNA	CA1	CA2	A
Valore Indice di base	3.2	3.0	3.2	3.0
N° piani medio (4-7)	-0.2	+0.4	+0.2	+0.4
N° piani alto (>7)	n.a.*	+0.6	+1.2	+0.6
Irregolarità in pianta	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pre 1981	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2
Post 1981	n.a.	n.a.	+1.0	n.a.
Suolo tipo B	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6
Suolo tipo C	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Suolo tipo D	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6

* n.a. = non applicabile

Una volta noto l'indice di base di ciascun edificio si è proceduto all'applicazione dei modificatori corrispondenti, determinando così l'indice finale S.

Tale indice è stato calcolato per ogni edificio appartenente a ciascuna delle 9 strutture ospedaliere in esame; per ottenere una valutazione complessiva delle condizioni del singolo ospedale si è proceduto al calcolo di un indice medio S_{medio} , pari alla media pesata degli indici finali di tutti gli edifici che lo compongono. In Fig. 3 sono rappresentati i valori di S_{medio} relativi a ciascun ospedale.

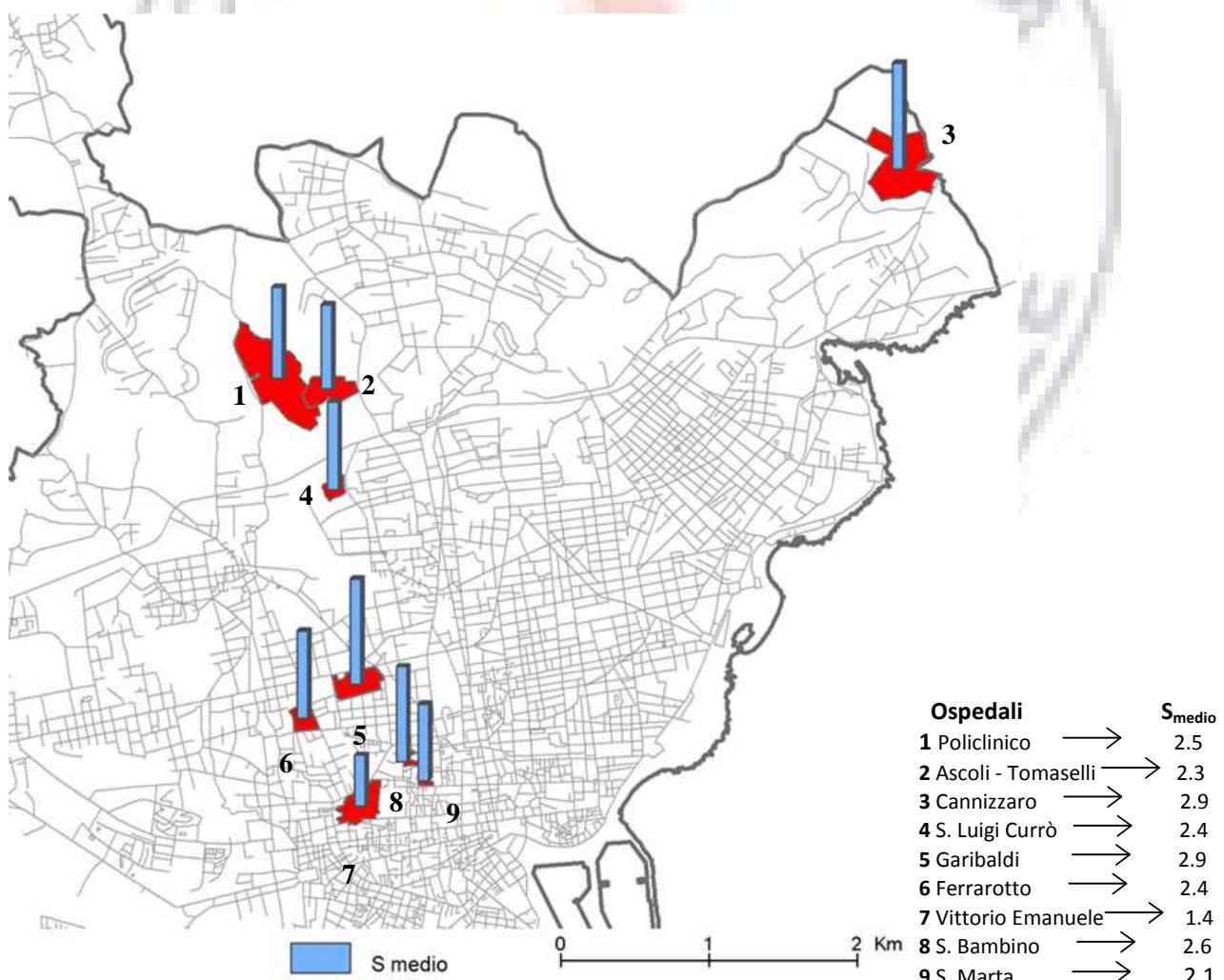


Fig. 3. Mappa dell'indice S_{medio} per gli ospedali di Catania

La situazione generale degli ospedali di Catania che emerge da questo tipo di analisi non risulta essere particolarmente confortante: infatti anche se un solo ospedale si trova al di sotto del valore di soglia S=2 (Vittorio Emanuele con $S_{medio}=1.4$) ricadendo così nella categoria degli edifici potenzialmente pericolosi, tutti gli altri complessi ospedalieri hanno comunque valori dell'indice S inferiori a 3.

La procedura di valutazione speditiva applicata segnala quindi le strutture ospedaliere di Catania come elementi edilizi a rischio, in particolare per l'ospedale Vittorio Emanuele sarebbe consigliabile un controllo da parte di tecnici esperti nel campo della progettazione antisismica.

Osservazione: il sistema ospedaliero rappresenta un fattore particolarmente critico nella fase di gestione dell'emergenza, sarebbe quindi auspicabile una verifica dell'analisi di vulnerabilità qui presentata da parte di esperti dell'Amministrazione locale.

