

## Una metodologia sistemica per la valutazione della vulnerabilità sismica dei Comuni della Provincia di Benevento

Giuseppe VILARDO (\*), Andrea PROFICE (\*), Eliana BELLUCCI SESSA (\*), Rosa NAPPI (\*)

(\*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano, Via Diocleziano, 328 – Napoli, tel. 0816108329, fax 0816108351, e-mail [vilarDO@ov.ingv.it](mailto:vilarDO@ov.ingv.it)

### Riassunto

La presente nota illustra le attività svolte per la realizzazione di un prototipo di Sistema Informativo Geografico Integrato, finalizzato alla valutazione della vulnerabilità sismica dei Comuni della Provincia di Benevento. La metodologia, su cui si fonda l'analisi effettuata, utilizza un approccio sistemico per il calcolo delle debolezze degli elementi del territorio ed ha previsto un'analisi complessiva non solo della vulnerabilità dei singoli componenti del sistema territoriale, ma anche la definizione della fitta trama delle interazioni tra i vari fattori che intervengono nel problema. La procedura applicata ha previsto l'utilizzo di un approccio globale al problema mediante il quale per tre sistemi (geo-morfologico, sociale e fisico-funzionale) è stata definita una serie di elementi suscettibili di danno rappresentativi dell'ambiente naturale ed antropizzato. Tali elementi, individuati per ciascun sistema, sono stati successivamente utilizzati per costruire una matrice delle interazioni per la cui valutazione si è poi proceduto alla costituzione di specifici database contenenti le necessarie informazioni territoriali, statistiche e geografiche. La risoluzione della matrice delle interazioni, definita per ognuno dei tre sistemi territoriali, ha portato infine, alla produzione di differenti tematismi rappresentativi del diverso grado di vulnerabilità dei Comuni della Provincia di Benevento.

### Abstract

The aim of this work is to produce a prototype of an Integrated Geographic Informative System designed to characterize the seismic vulnerability of the municipalities of the Benevento province. The developed GIS model algorithm is based on a systemic methodology which accounts for interactions among the several factors involved into the system. The implemented algorithm allows to estimate a vulnerability index, which in turn led to the creation of vulnerability maps. This System, which could be enriched with new thematic data will provides the basis for future researches in the field and make available to local decision-makers, agencies and community planners basic information to be used in managing the seismic risk.

### Introduzione

La messa in sicurezza del territorio, nei riguardi di eventi calamitosi, rappresenta oggi uno dei principali obiettivi delle Amministrazioni chiamate ad operare nella pianificazione e nella gestione del territorio. In tale ambito, il rischio sismico costituisce uno dei principali elementi di criticità, anche per il possibile innesco di altre incidentalità. Solo un'oculata diagnosi sulle vulnerabilità del territorio, ovvero la propensione degli elementi esposti ad una sorgente di pericolo a subire danni, può consentire di prevenire l'insorgenza di questi ultimi o, più realisticamente, di mitigarli fortemente. Le analisi di vulnerabilità territoriale sono state fino ad ora sviluppate soprattutto dalle discipline afferenti all'ingegneria sismica ed hanno assunto una connotazione puramente riduzionistica-strutturale, riferita cioè al grado di debolezza fisica dei singoli manufatti edilizi (edificato ed infrastrutture) esposti ad una determinata e singola sorgente di pericolo. In tali analisi,

la stima della vulnerabilità territoriale è basata sulla semplice somma delle singole vulnerabilità degli elementi componenti. Ma l'esempio di alcuni eventi catastrofici moderni, come il terremoto di Kobe in Giappone del 1995, unito all'avvenuta revisione dei paradigmi interpretativi dei fenomeni territoriali in chiave sistemica, hanno guidato gli analisti ad una reinterpretazione del concetto di vulnerabilità. In tale contesto, le analisi di vulnerabilità sono state orientate, attraverso un attento esame delle concatenazioni e delle interrelazioni tra gli elementi interessati da una determinata sollecitazione, alla misura delle fragilità di un dato ambito territoriale che tenga conto degli effetti a catena che possono innescarsi.

A titolo di esempio, uno dei parametri maggiormente utilizzati per valutazioni di vulnerabilità sismica del sistema infrastrutturale stradale è la determinazione dell'idoneità sismica delle differenti parti che lo costituiscono. Secondo tale approccio, la vulnerabilità di una strada, realizzata secondo le migliori e moderne tecniche antisismiche, risulterebbe teoricamente nulla. Nell'ipotesi che un'industria a rischio di incidente rilevante risultasse localizzata nelle vicinanze di tale infrastruttura viaria, si avrebbe che la vulnerabilità sismica di quest'ultima, e più in generale dell'intero sistema stradale, non sarebbe più da considerare trascurabile. Ne consegue che la vulnerabilità, intesa in senso sistemico, non deriva solo dalle debolezze degli elementi che costituiscono il sistema, ma anche dalle relazioni vulnerabili dirette o indirette tra gli elementi stessi. Il metodo di analisi utilizzato in questo lavoro si basa proprio sull'assunto precedente ed è stato sviluppato, con l'obiettivo di misurare le fragilità dell'intero sistema territoriale nel suo complesso, ponendo particolare attenzione all'individuazione di quelle debolezze nascoste o difficili da percepire. I risultati preliminari ottenuti hanno confermato la validità dell'approccio sistemico alla stima della vulnerabilità territoriale mettendo in evidenza il contributo affatto trascurabile delle relazioni potenzialmente vulnerabili esistenti tra tutti gli elementi presenti all'interno del territorio indagato.

### **Metodo di analisi**

La metodologia utilizzata nel presente lavoro per la valutazione della vulnerabilità sismica rappresenta un'applicazione che utilizza un approccio sistemico (Bertalanffy, 1971) al calcolo delle debolezze del territorio e si fonda sul seguente assunto fondamentale: gli elementi territoriali esposti rappresentano un Sistema Complesso, il cui comportamento in risposta all'accadimento di un terremoto non è interamente determinabile considerando esclusivamente la risposta alla sollecitazione dei singoli componenti che lo costituiscono. Ciò implica non solo che la propensione al danno di un sistema territoriale, ovvero la sua vulnerabilità, non è determinabile sulla base della banale somma aritmetica delle vulnerabilità dei singoli elementi, ma anche che la perdita fisica o la perdita di funzionalità di un elemento costituisce non solo un danno in sé, ma può avere ripercussioni, anche rilevanti, su altri elementi del sistema.

Pertanto, la classificazione della vulnerabilità sismica dei comuni della Provincia di Benevento è stata realizzata mediante l'applicazione di un approccio metodologico in base al quale il grado di debolezza degli elementi territoriali esposti a rischio è stato stimato non solo sulla base della valutazione della propensione, propria di ogni singolo elemento, a subire danno, ma anche in funzione delle relazioni di vulnerabilità potenziale che si instaurano tra di essi. Con l'obiettivo di classificare la vulnerabilità sismica dei comuni della Provincia di Benevento in termini di concatenazioni di eventi, danni e guasti indotti il lavoro è stato articolato in più fasi: 1) la suddivisione del territorio nei tre seguenti macro-sistemi: geo-morfologico, sociale e fisico-funzionale che rappresentano i principali elementi costitutivi dell'ambiente naturale ed antropizzato (Granger et al., 1999; Menoni, 1997; Regione Lombardia 2001); 2) la definizione dei vari elementi esposti al rischio per ognuno di tali macro-sistemi ed eventuali sotto-sistemi individuati (Tabella 1); 3) elaborazione ed applicazione del modello sistemico.

Per gestire simultaneamente gli elementi e le interazioni che compongono il modello sistemico è stata usata una matrice delle interazioni (Bellucci Sessa et al., 2005) costruita disponendo gli elementi esposti a rischio definiti per ogni macro-sistema lungo la diagonale principale e le mutue interazioni nelle celle non diagonali (Fig. 2).

SISTEMA	Sotto-Sistemi	Elemento Esposto
Geo-morfologico		Versanti instabili
		Bacini idrografici
Sociale		Popolazione
Fisico Funzionale	Edifici strategici	Scuole
		Ospedali
		Municipi
		Caserme VVFF
		Caserme Polizia, CC, Esercito
	Edificato residenziale	Edifici residenziali
	Industrie a rischio incidente rilevante	Industrie a rischio
	Reti	Viabilità
		Elettricità
		Rete idrica
Gas		
Rete fognaria		
Telecomunicazioni		

Tabella 1 – Sistemi, sotto-sistemi ed elementi territoriali esposti a rischio.

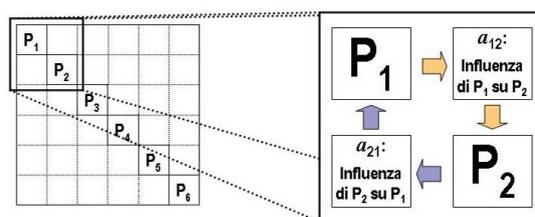


Figura 2 – Schema esemplificativo di matrice delle interazioni.

e quantificare quanto un elemento che subisca un danno influenzi il sistema attraverso i meccanismi delle interazioni.

In seguito, sulla base delle caratteristiche di organizzazione spaziale e funzionale del sistema, sono stati definiti una serie di parametri di vulnerabilità allo scopo di quantificare l'importanza relativa di ogni relazione reciproca di potenziale vulnerabilità individuata tra i singoli elementi presenti nella matrice. Per la risoluzione della matrice del danno e quindi per pervenire ad una stima dell'indice di vulnerabilità è stato infine necessario codificare tali parametri al fine di esprimere

### Applicazione e risultati

Lo sviluppo della fase applicativa del metodo ha visto la costituzione di un database territoriale statistico e geografico composto dall'insieme di tutti i dati e delle informazioni disponibili e/o reperibili, necessari per la valutazione dei parametri di vulnerabilità relativi ai differenti macro-sistemi territoriali individuati.

Sociale	Comuni (Database Statistico)	Dati ISTAT (XIV Censimento 2001) unitamente ad informazioni raccolte durante interviste telefoniche effettuate ad hoc.
Fisico Funzionale	Comuni (Database Geografico)	Limiti amministrativi poligonali.
	Edificato residenziale	Elementi poligonali derivati da estrazione ed editing degli elementi di interesse della Cartografia Tecnica Regionale 1.5.000
	Edifici strategici	Elementi poligonali derivati da estrazione ed editing degli elementi di interesse della Cartografia Tecnica Regionale 1.5.000
	Industrie a rischio	Localizzazione degli impianti con associate aree di rispetto di 500 metri di raggio.
	Viabilità	Grafo stradale lineare derivato dalla banca dati Atlas del Ministero per i Beni e le Attività Culturali alla scala 1:25000.
Geo-morfologico	Modello digitale del terreno	DTM IGMI passo 20 X 20 metri (Aut. N. 5616 in data 28.08.2002).
	Aree in Frana	Catalogo IFFI alla scala 1:25.000, APAT - Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico (Prima fase, 1999-2004).
	Idrografia Principale	Idrografia lineare derivata dalla banca dati Atlas del Ministero per i Beni e le Attività Culturali alla scala 1:25000.
	Aree alluvionabili	Derivate tramite selezione delle aree a pendenza inferiore a 5° poste a distanze minori di 1km rispetto agli assi della rete idrografica principale.

Tabella 3 – Strati tematici utilizzati nel calcolo della Vulnerabilità.

Per la costituzione di tale database è stato necessario omogeneizzare gran parte dei dati acquisiti al fine di consentire quelle comparazioni tra fenomeni geofisici ed elementi territoriali esposti (urbanizzazione, infrastrutture, reti tecnologiche, etc.) che costituiscono uno dei principali obiettivi del presente lavoro. In tabella 3 sono riportati i tematismi utilizzati nell'applicazione del metodo.

Per disponibilità di dati e livello di dettaglio il Sistema Geo-morfologico, il Sistema Sociale ed il Sotto-sistema Edificato sono risultati essere quelli meglio rappresentati (Figura 4). Non è stato purtroppo possibile raggiungere un analogo livello di approfondimento per il sotto-sistema edifici strategici e reti. Per il primo non è stato possibile reperire informazioni riguardanti il livello di organizzazione delle Forze di Polizia e dei Vigili del Fuoco proprio a causa della “sensibilità” delle funzioni che essi assolvono. Anche per le reti si è dovuto constatare, in itinere, l'assoluta impossibilità di reperimento e/o consultazione della cartografia tecnica specifica. In questo caso, i motivi sono essenzialmente riconducibili all'elevato numero di gestori del dato, alla “sensibilità” delle funzioni e quindi al pericolo di sabotaggi e manomissioni.

Conclusa la fase di recupero ed omogeneizzazione del database territoriale, si è proceduto a definire i parametri di vulnerabilità, rappresentativi delle interazioni fra due elementi del sistema, ed a codificare la loro intensità relativa. La codifica è stata eseguita secondo un metodo semi-quantitativo esperto, cioè attribuendo alle interazioni un peso numerico in relazione alla loro significatività o intensità, opportunamente stimata. In considerazione delle informazioni a disposizione e del grado di approfondimento dello studio, si è scelto di adottare la seguente scala di valori: 0 = nessuna rilevanza; 0.5 = rilevanza media; 1 = rilevanza alta (Tabella 5). L'ultima fase ha previsto la valutazione dell'indice di vulnerabilità per ogni singolo Comune ( $IV_c$ ) come espressione della potenzialità a subire danno. Il calcolo è stato effettuato tramite la formula:

$$IV_c = (\sum_i I_i \cdot V_i) / V_{imax} \quad [1]$$

in cui:  $I_i$  è il valore dell'intensità interattiva del parametro ' $P_i$ ', ' $V_i$ ' è la misura del parametro ' $P_i$ ' e ' $V_{imax}$ ' è il suo valore massimo osservato.

I risultati del calcolo dell'indice di vulnerabilità sono stati quindi normalizzati e suddivisi in quattro classi di valori corrispondenti a livelli di vulnerabilità bassa, media, rilevante ed alta. Tale classificazione, pur non avendo un preciso significato fisico, fornisce una graduatoria in termini relativi all'interno di una stessa classe di fenomeni. I valori ottenuti per i macro sistemi Sociale e Geo-morfologico sono rappresentati nelle mappe in Figure 6 e 7.

L'ultima fase ha riguardato la produzione di una matrice di valutazione generale, ovvero rappresentativa della vulnerabilità dell'intero sistema territoriale, ottenuta dalla somma normalizzata delle Vulnerabilità relative ad ogni sistema territoriale. Il risultato è stato riprodotto in una mappa conclusiva, definita Mappa della Vulnerabilità Sismica della Provincia di Benevento (Figura 8).

## Conclusioni

Lo schema di lavoro delineato in questo studio, considerando i risultati conseguiti, pur rappresentando una base di partenza per future ricerche di settore, si configura quale prima applicazione dell'approccio sistemico alle analisi di rischio e di vulnerabilità dei sistemi territoriali a scala provinciale. Oltre all'elaborazione dello schema logico del metodo, lo scopo del lavoro è

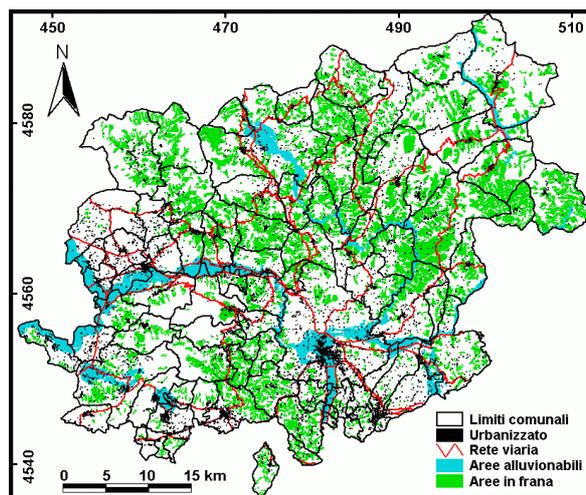


Figura 4 – Rappresentazione di alcuni degli strati tematici utilizzati nel calcolo della Vulnerabilità.

stato quello di costruire una base dati cartografica che fosse in grado di fornire un adeguato supporto alle strategie di mitigazione e agli interventi di protezione civile migliorando la conoscenza delle caratteristiche degli elementi territoriali potenzialmente suscettibili di danno causato dal verificarsi un evento sismico.

Elementi esposti	Parametro di Vulnerabilità	Classificazione
Versanti Instabili	Densità di frana (frane / kmq)	0-2=0; 2-4=0,5; >4=1
Bacino idrografico	In area alluvionabile	Si = 1; No = 0
Popolazione	Densità di popolazione (abitanti / kmq)	1-208=0; 208-397=0,5; >397=1
	Densità di anziani (età >75) costituenti nucleo a sé (anziani / kmq)	0-8=0; 8-14=0,5; > 14=alta
Scuole	Presenza di certificazione idoneità	Si = 1; No = 0
	In area in frana	Si = 1; No = 0
	In area alluvionabile	Si = 1; No = 0
	Vicino industria pericolosa	Si = 1; No = 0
Ospedali	In area in frana	Si = 1; No = 0
	In area alluvionabile	Si = 1; No = 0
	Vicino industria pericolosa	Si = 1; No = 0
	Distanza dal baricentro del comune (Minuti di percorrenza)	0-30=0; 30-50=0,5; 50-110=1
Municipi	In area in frana	Si = 1; No = 0
	In area alluvionabile	Si = 1; No = 0
	Vicino industria pericolosa	Si = 1; No = 0
Edifici residenziali	Costruiti prima del 1971 (%)	0-40=0; 40-60=0,5; > 60=1
	In Muratura portante (%)	0-65=0; 65-85=0,5; > 85=1
	In area in frana (%)	0-10= 0; 10-20=0,5; > 20=1
	In area alluvionabile (%)	0-10=0; 10-20=0,5; > 20=1
	Vicino industria pericolosa	Si = 1; No = 0
Industrie a rischio incidente rilevante	In area in frana	Si = 1; No = 0
	In area alluvionabile	Si = 1; No = 0
	Pianificazione di emergenza	Si = 1; No = 0
Rete viaria	Disponibilità di cartografia digitale	Si = 1; No = 0
	In area in frana	Si = 1; No = 0
	In area alluvionabile	Si = 1; No = 0
	Vicino industria pericolosa	Si = 1; No = 0

Tabella 5 - Parametri di vulnerabilità e codifica della loro intensità relativa.

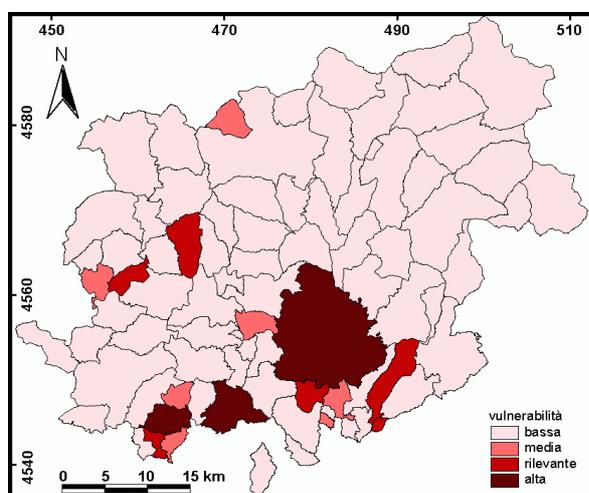


Figura 6 - Mappa di vulnerabilità del sistema Sociale.

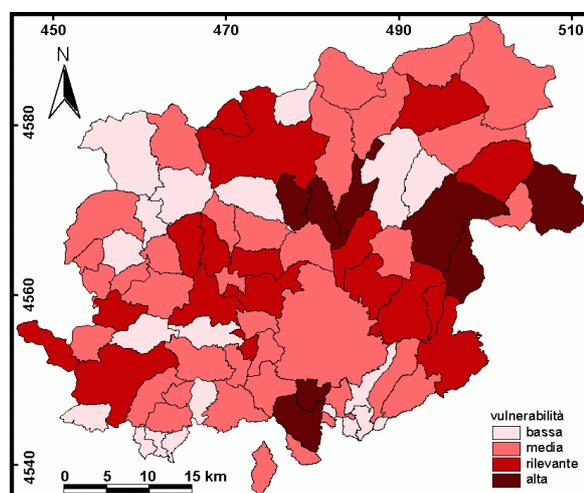


Figura 7 - Mappa di vulnerabilità del sistema Geo-morfologico.

Quanto è stato sinora realizzato ha permesso, inoltre, di valutare il grado di completezza e di accuratezza dei dati disponibili. Infatti, come già sottolineato, per disponibilità di dati e livello di dettaglio il Sistema Geo-morfologico il Sistema Sociale ed il Sotto-sistema Edificato sono risultati gli unici a poter essere rappresentati con dettaglio adeguato. Le mappe di vulnerabilità prodotte per tali sistemi sono quelle che presentano il maggior grado di qualità ed affidabilità e che, pertanto, meglio si prestano a trarre un giudizio di merito.

In conclusione va rimarcata l'efficacia dell'approccio sistemico utilizzato che ha permesso, sulla base di semplici valutazioni eseguite confrontando e ponendo in relazione spaziale dati territoriali e geo-ambientali, di migliorare il livello di conoscenza sulla vulnerabilità del sistema territoriale. I risultati ottenuti costituiscono infine una base per lo sviluppo di future attività di studio e di ricerca nel campo della mitigazione dei rischi geo-ambientali a supporto delle decisioni in tema di pianificazione urbana e di manutenzione preventiva delle infrastrutture e del territorio.

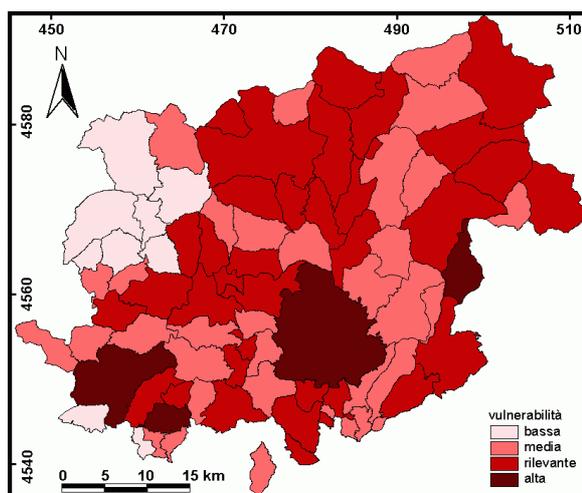


Figura 8 - Mappa della vulnerabilità sismica della Provincia di Benevento.

## Bibliografia

Bellucci Sessa E., Calcaterra D., Del Giudice G., Farina L., Ramondini M., Vilaro G. (2005), "Una metodologia sistemica per lo studio del dissesto idrogeologico del comune di Napoli", *Atti 9<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, Vol. 1, 291-296.

Bertalanffy L. V. (1971), *Teoria generale dei sistemi*, Editore Mondadori, Milano.

Granger K., Jones T., Leiba M., and Scott G. (1999), "Community Risk in Cairns: A Provisional Multi Hazard Risk Assessment", *AGSO Cities Project Report No. 1*. Australian Geological Survey Organisation, Canberra.

Menoni S. (1997), *Pianificazione e incertezza: elementi per la valutazione e la gestione dei rischi territoriali*, Editore Frano Angeli, Milano.

Regione Lombardia, (2001), *Vulnerabilità sismica delle infrastrutture a rete in una zona campione della Regione Lombardia*, Editori Regione Lombardia, CNR, Milano.