



## **ANALISI DELLA VULNERABILITA' DELLE RETI STRADALI IN AREE SOGGETTE A RISCHIO SISMICO**

### **Giovanni Tesoriere**

Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie  
Università degli Studi di Palermo  
Parco d'Orléans, 90100 Palermo  
Tel: +39 091.488062 - Fax: +39.091.487068  
E-mail: [tesoriere@unipa.it](mailto:tesoriere@unipa.it)

### **Marinella Giunta**

Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie  
Università degli Studi di Palermo  
Parco d'Orléans, 90100 Palermo  
Tel: +39 091.488062 - Fax: +39.091.487068  
E-mail: [marinellagiunta@hotmail.com](mailto:marinellagiunta@hotmail.com)

### **Mario Russello**

Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie  
Università degli Studi di Palermo  
Parco d'Orléans, 90100 Palermo  
Tel: +39 091.488062 - Fax: +39.091.487068  
E-mail: [mariorussello@tin.it](mailto:mariorussello@tin.it)

# **ANALISI DELLA VULNERABILITA' DELLE RETI STRADALI IN AREE SOGGETTE A RISCHIO SISMICO**

**GIOVANNI TESORIERE** - Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie – Università di Palermo

**MARINELLA GIUNTA** - Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie – Università di Palermo

**MARIO RUSSELLO** - Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie – Università di Palermo

## **SOMMARIO**

Nella predisposizione dei piani di emergenza per eventi sismici risulta essenziale la definizione di scenari sulla base dei quali potere definire le azioni di soccorso. La verifica dell'affidabilità delle reti di trasporto rappresenta, in tal senso, uno degli elementi strategici sia nella fase di pianificazione che in quella, successiva, della gestione dell'emergenza.

In questo ambito, alle reti stradali viene affidato un compito primario tanto da essere riconosciute quali life-line.

La verifica della vulnerabilità della rete stradale, la stima del possibile danno per dato scenario, l'assegnazione dei flussi in entrata ed in uscita dalle zone colpite dall'evento, l'eventuale ricorso a modi di trasporto alternativi sono, pertanto, gli elementi fondamentali di un efficiente sistema di protezione civile per rischio sismico.

Il presente lavoro costituisce la fase iniziale di una ricerca più ampia rivolta, da un lato, alla definizione di un criterio per la valutazione della vulnerabilità intrinseca ed estrinseca dei tronchi stradali e, dall'altro, di un modello in grado di definire, per dato evento sismico, uno scenario attendibile sulla funzionalità della rete stradale non soltanto in base alla integrità strutturale ma, anche, ai livelli di capacità residua.

Una metodologia certamente complessa per il grande numero di variabili che concorrono alla definizione del modello ed, in molti casi, per l'aleatorietà dei parametri di riferimento. Il grado di affidabilità del sistema dovrà essere, pertanto, oggetto di calibrazioni successive che potranno essere ottenute attraverso applicazioni sulla rete stradale della Regione Siciliana attualmente interessata dal "Piano Nazionale di Emergenza per rischio sismico Sicilia orientale e Stretto di Messina".

## **ABSTRACT**

The definition of scenarios is essential for predisposing emergency plane and assistance action in seismic events.

In fact, the control of road network reliability is a strategic element both in planning phase and in management emergency.

Testing the vulnerability of the road network, estimating the possible damage for each scenario, assigning points of entry and exit for traffic to the seismic area, using an eventual alternative mode of transport are, therefore, the fundamental elements of an efficient system of civil protection against seismic risks.

This paper shows the initial phase of a wider research aimed at the definition of a criterion for the valuation of the intrinsic and extrinsic vulnerability of road sections on the one hand, and on the other, a model which can define a reliable scenario for the

functionality of a road network in a given seismic event, not only on the basis of its structural integrity but also in consideration of its remaining capacity.

The methodology is certainly complex on account of the large number of variables that contribute to the definition of the model and, in many cases, to the problem of the parameters of reference. The degree of reliability of the system must be, therefore, the object of subsequent calibrations which can be obtained through applications on the road network of the Region of Sicily affected by the “National Emergency Plan for seismic risks in eastern Sicily and in the straits of Messina”

## **1. LA FUNZIONE TRASPORTI NELL’AMBITO DEL DISASTER PLANE PER RISCHIO SISMICO**

I piani di emergenza per i diversi possibili rischi definiscono gli interventi di soccorso per un probabile scenario determinato da un evento calamitoso. I piani di emergenza sono, pertanto, gli strumenti attraverso i quali le Sale Operative di Protezione Civile procedono alla gestione dell’emergenza.

In Italia la Protezione Civile nazionale ha adottato, come metodologia generale per la gestione delle emergenze, il metodo “*Augustus*” che prevede l’organizzazione della struttura attraverso “funzioni di supporto” capaci di fornire tutti gli elementi conoscitivi necessari per le scelte di intervento.

Tra le funzioni di supporto, evidentemente, compare la funzione “*Trasporti*” la quale ha un compito essenziale nella pianificazione della emergenza dovendo:

- a) indirizzare le colonne di soccorso in funzione della rete disponibile;
- b) pianificare l’evacuazione delle zone colpite;
- c) garantire le migliori condizioni di mobilità ai flussi eccezionali in probabili condizioni di riduzione della rete.

Tutto ciò comporta una pianificazione del sistema dei trasporti che è ben diversa da quella tradizionale la quale è volta ad ottimizzare alcune variabili (tempi e costo del trasporto) che perdono significato durante una emergenza.

Nei piani di emergenza, il trasporto stradale assume carattere fondamentale essendo, comunque, ad esso demandato un compito che non può essere facilmente sopperito da altri modi.

Emerge da quanto detto che la stima dell’affidabilità della rete stradale in condizioni post-evento risulta di fondamentale importanza nella predisposizione dei piani di emergenza e dei singoli moduli di intervento e nella limitazione delle conseguenze connesse all’evento stesso.

La proposta di analisi che verrà esposta nel prosieguo si riferisce alla valutazione dello scenario di danno sulla rete viaria all’istante  $t = 0$  in cui si verifica l’evento.

Nei momenti successivi ogni Piano di protezione civile deve prevedere delle verifiche opportunamente gerarchizzate, in funzione delle priorità, necessarie all’aggiornamento dello scenario di rete e quindi delle scelte delle azioni di soccorso.

## **2. AFFIDABILITA’ DI UNA RETE STRADALE**

Per affidabilità di una rete stradale in condizioni post sismiche (Figura 1), si intende il grado di probabilità che la rete riesca a garantire le funzioni di collegamento nella fase successiva all’evento calamitoso.

Essa dipende da tre fattori fondamentali:

- dalla *vulnerabilità* dei rami della rete;
- dal *grado di connessione* della rete;

- dalla capacità di trasporto dei rami della rete.

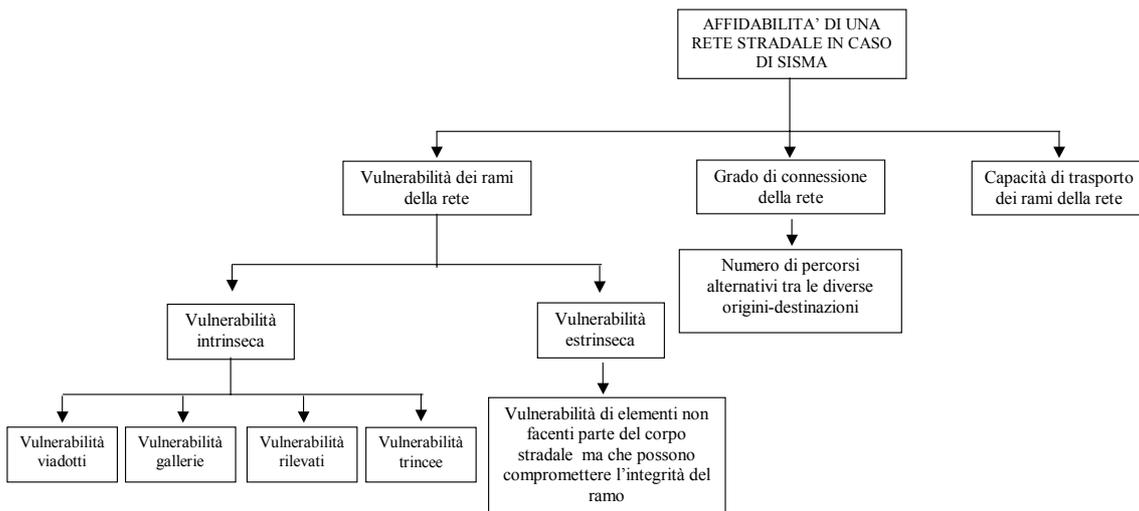
La conoscenza della vulnerabilità dei rami della rete stradale, ossia della sua attitudine a subire danni per effetto di una scossa sismica, costituisce certamente l'elemento fondamentale per definire l'affidabilità della rete e poter gestire, conseguentemente, in modo efficiente i collegamenti terrestri con le zone colpite dal sisma negli istanti successivi all'evento.

Con riferimento alla vulnerabilità occorre rilevare la importanza che riveste la viabilità "minore" nell'ambito di un'area ad elevato rischio sismico.

Tale viabilità, infatti, presenta caratteristiche di minore livello funzionale per la mobilità in condizioni ordinarie, mentre, in generale, ha caratteristiche di tracciato e strutturali che la rendono meno soggetta a danno per effetto di azioni sismiche.

La presenza di modesti rilevati e trincee, la mancanza di opere d'arte maggiori rendono la viabilità secondaria la vera rete di life-line di una zona sismica.

In effetti, i concetti di cui sopra sono relativi alle condizioni strutturali propri del corpo stradale a cui, in una analisi di rete, debbono affiancarsi i possibili danni determinati da elementi al contorno del nastro stradale (caso tipico è quello delle cortine di case prospicienti la sede stradale). In questo senso ogni valutazione delle rete deve essere distinta nelle due componenti: *vulnerabilità intrinseca* e *vulnerabilità estrinseca*.



**Figura-1 Affidabilità di una rete stradale in caso di sisma**

Qualora, per dato scenario sismico, le condizioni di vulnerabilità intrinseca o estrinseca determinano l'interruzione di un ramo della rete viaria, la sua funzionalità può comunque permanere se esistono uno o più percorsi alternativi.

In questo senso, si definisce l'affidabilità di una rete stradale in funzione anche del suo grado di connessione, ossia della presenza di più itinerari possibili che uniscono due nodi di essa. Itinerari anche di importanza marginale (strade di servizio, strade interpoderali etc.), ma che comunque consentono di by-passare le eventuali interruzioni, possono divenire funzionali alla mobilità in emergenza.

Pertanto, per definire i possibili scenari associati ad un evento sismico occorre considerare un complesso di fattori che, attraverso la stima della vulnerabilità di ogni singolo ramo, la individuazione dei percorsi alternativi e la valutazione della capacità di trasporto residua, definisca l'affidabilità del sistema.

La gestione della mobilità, conseguente allo scenario ipotizzato al tempo  $t = 0$ , avrà come diretta conseguenza la scelta delle modalità di trasporto per le azioni di soccorso nonché la dislocazione dei “cancelli” che, opportunamente presidiati, dovranno distribuire i flussi di traffico in entrata ed in uscita dalle zone colpite dall’evento.

E’ evidente che, man mano che progrediscono le informazioni sulle condizioni della rete, dovrà aggiornarsi il sistema e di conseguenza anche le modalità di organizzazione dei soccorsi.

### **3. DEFINIZIONE DELLA VULNERABILITA’ DI UNA RETE STRADALE**

La prima fase di uno studio sulla vulnerabilità di una rete stradale ad elevata sensibilità al rischio sismico riguarda la verifica puntuale della vulnerabilità di ogni singolo ramo, che presenta aspetti e complessità particolari, dato che gli elementi dai quali dipende sono svariati ed eterogenei (presenza di rilevati, viadotti, trincee, gallerie, muri di sostegno ecc.).

La stima della vulnerabilità di un ramo stradale passa, quindi, attraverso la stima della vulnerabilità dei singoli elementi, nonché di quelli al contorno che possono direttamente compromettere il suo esercizio.

Per valutare la vulnerabilità del corpo stradale nelle diverse configurazioni (rilevato, trincea, viadotto, galleria), se si opera in campo deterministico, occorre definire una relazione tra due grandezze  $a_s$  e  $d$ , la prima rappresentativa dell’azione del sisma e la seconda del livello di danno ad esso connesso. Il livello di danno in generale può esprimersi attraverso parametri sia di natura tecnica (riduzione della capacità di trasporto, perdita di resistenza delle strutture, ecc.) che di natura economica (essenzialmente costi).

La funzione  $d = d(a_s)$ , se concretamente definibile, costituisce un attributo intrinseco del tronco stradale considerato e può essere assunta come la sua *funzione di vulnerabilità* nei riguardi delle azioni sismiche. La citata funzione nel piano cartesiano ( $a_s, d$ ) è rappresentata da una curva sempre crescente chiamata curva di vulnerabilità (Figura 2), che può presentare anche un certo numero di discontinuità, che esprimono salti di livello di danno e, quindi, di passaggio tra differenti livelli di funzionalità del tronco cui la curva si riferisce.

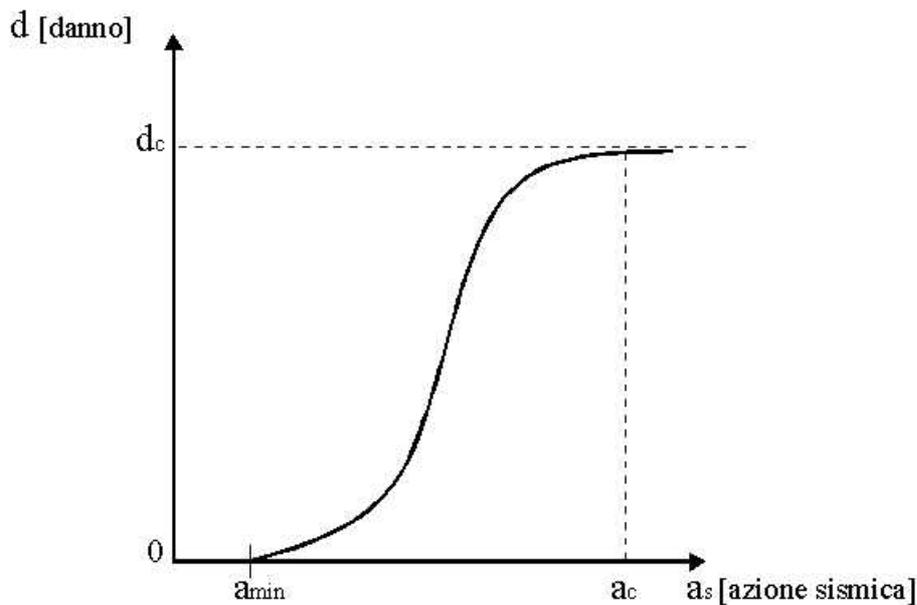
La funzione di vulnerabilità evidenzia la presenza di un valore di intensità di azione sismica  $a_c$  oltre il quale il livello di danno  $d_c$  corrispondente determina la completa perdita di funzionalità del tratto di strada in questione e quindi la sua non percorribilità da parte dei veicoli.

A fronte di questo valore massimo è possibile individuare anche un livello minimo di intensità sismica  $a_{\min}$  al di sotto del quale il danno può ritenersi assolutamente trascurabile.

All’interno di questi due scenari estremi di danno esistono tutta una serie di scenari intermedi ai quali risultano associati livelli di funzionalità via via decrescenti.

Individuate delle soglie rappresentative di funzionalità del tronco stradale, è possibile riformulare la questione in termini di variabili discrete.

Le escursioni possibili per i due parametri  $a_s$  e  $d$  sono espresse introducendo  $n$  livelli di  $a_{si}$  ( $a_{si}$  con  $i = 1, 2, \dots, n$ ) ed  $m$  livelli di  $d_j$  ( $d_j$  con  $j = 1, 2, \dots, m$ ), viene codificata una corrispondenza  $[d_j/a_{si}]$  e la vulnerabilità è qualificata da tale corrispondenza.



**Figura-2 Funzione di vulnerabilità**

La trattazione eseguita trova una sua naturale collocazione in ambito probabilistico laddove, operando con variabili continue, è opportuno definire una funzione di densità di probabilità del danno  $p[d(a_s)]$  che costituisce una caratterizzazione probabilistica della vulnerabilità.

In analogia con la trattazione deterministica del problema è possibile, anche in campo probabilistico, procedere per variabili discrete. In questo caso, si potrà introdurre la grandezza  $p_{ij} = p[d_j / a_{si}]$  che rappresenta la probabilità di osservare un danno al livello  $d_j$  quando l'intensità dell'azione del sisma è  $a_{si}$ .

La matrice ( $m \times n$ ), il cui elemento generico è  $p_{ij}$ , è definita come matrice di probabilità di danno e rappresenta un'altra descrizione probabilistica della vulnerabilità.

La trattazione sopra esposta trova certamente una possibile applicazione su singoli elementi del tracciato, ben definiti dal punto di vista fisico-strutturale, ma risulta, nella quasi totalità dei casi, di difficile estensione su tutta la rete viaria, sia per il numero di elementi che occorre considerare che per la indeterminazione di alcuni parametri fondamentali per l'analisi.

Pertanto, la proposta della presente ricerca è stata studiata sulla base dei soli elementi che è possibile acquisire mediante ricognizioni e rilievi. Questi, infatti, seppur limitativi per un'analisi di tipo dinamico consentono, tuttavia, un'analisi di rete confacente alle esigenze di protezione civile.

Infatti, l'obiettivo che ci si prefigge è quello di definire all'istante  $t = 0$  dell'evento una rete che probabilisticamente, con elevato grado di affidabilità, risulti agibile per le prime azioni di soccorso.

Successivamente, ogni piano prevederà, comunque, azioni di verifica sulla viabilità al fine di aggiornare le condizioni della rete.

Quindi il processo di valutazione è di tipo iterativo e quello proposto nella presente ricerca è relativo al tempo  $t = 0$

Un'analisi tecnica più approfondita di quella proposta potrebbe risultare in molti casi poco proficua dato che al tempo  $t = 0$  dell'evento occorre riferirsi ad una rete stradale, se pur minima, dalla affidabilità pressoché certa.

Una valutazione ottimistica potrebbe ritardare interventi attraverso modi di trasporto diversi da quello stradale.

#### **4. PROPOSTA METODOLOGICA DI ANALISI DELLA VULNERABILITA' DI UNA RETE STRADALE**

Come già evidenziato, la stima della vulnerabilità intrinseca ed estrinseca è elemento fondamentale per la valutazione dell'affidabilità della rete stradale e la definizione dello scenario associato all'evento sismico.

Una qualsiasi ipotesi sullo stato della rete viaria post-evento impone, pertanto, la conoscenza di elementi caratterizzanti il corpo stradale e di elementi a margine, acquisibile soltanto attraverso un rilevamento metodologicamente prestabilito.

Per ogni tratto di viabilità dovranno, pertanto, essere raccolti i dati di carattere generale che riguardano: l'ente gestore, la lunghezza totale, la descrizione sommaria del percorso, la presenza di innesti e diramazioni, nonché le caratteristiche della piattaforma stradale, la tortuosità del tracciato e l'individuazione delle curve con raggio inferiore a 20m per problemi di inscrivibilità dei mezzi di soccorso.

Per quanto riguarda i muri di sostegno, i tombini e le opere d'arte minori dovranno essere individuate le caratteristiche costruttive e l'altezza.

Una seconda schedatura, più particolareggiata, riguarderà le opere d'arte maggiori, che costituiscono "*punti singoli di vulnerabilità intrinseca*" delle infrastrutture stradali nonché tutti gli elementi che possono determinare la "vulnerabilità estrinseca" del corpo stradale.

Una volta acquisiti tali dati potrà procedersi alla valutazione della vulnerabilità della rete, attraverso l'attribuzione di un indicatore per ciascun tratto che presenta caratteristiche del corpo stradale omogenee (rilevato, trincea, viadotto, galleria).

Nella metodologia proposta tale indicatore di vulnerabilità rientra nell'intervallo tra 0 e 5 e viene attribuito in funzione delle grandezze che risultano di facile rilievo e non necessitano, quindi, di valutazioni di tipo strutturale. Attribuzioni dell'indicatore di vulnerabilità di maggiore dettaglio potranno effettuarsi, in seconda fase, limitatamente a quei rami di rete che, per prefissati scenari associati ad un evento sismico, dovessero ritenersi di importanza strategica per gli interventi di soccorso. Tale analisi risulterebbe, in questo caso, anche funzionale per il progetto di eventuali interventi di mitigazione del rischio.

Nelle tabelle 1 e 2 sono riportati i criteri per l'attribuzione dell'indicatore di vulnerabilità per i tratti in rilevato ed in trincea, mentre nelle tabelle 3 e 4 quelli relativi ai viadotti ed alle gallerie

Come si evince dalle tabelle, per il calcolo della vulnerabilità dei rilevati e le trincee si è adottato come parametro discriminante l'altezza, atteso che con l'aumentare della stessa aumenta la possibilità di interruzione totale della carreggiata per cedimento del corpo stradale. Ulteriori parametri di valutazioni sono fissati in relazione alla presenza di muri di sostegno ed alle caratteristiche del piano di posa dei rilevati e dei terreni attraversati dalle trincee.

In ogni caso 5 sarà il valore di vulnerabilità massimo che potrà essere assegnato a tali tratti di rete.

CARATTERISTICHE DEL TRATTO	INDICATORE DI VULNERABILITA'
Altezza massima del rilevato < 2m	0
Altezza massima del rilevato compresa tra 2 e 4 m	1
Altezza massima del rilevato superiore a 4 m	2
Rilevato $\leq$ 4 m con fenomeni di instabilità già presenti	3
Rilevato > 4 m con fenomeni di instabilità già presenti	4
<b>Si aggiungono per i rilevati &gt;2 m</b>	
- Inclinazione del piano di posa : >10%	+ 1
- Opere di sostegno : h >2 m non antisismico	+ 1

**Tabella-1 Indicatore di vulnerabilità dei tratti in rilevato**

CARATTERISTICHE DEL TRATTO	INDICATORE DI VULNERABILITA'
Altezza massima della trincea < 2m	0
Altezza massima della trincea compresa tra 2 e 4 m	1
Altezza massima della trincea compresa tra 2 e 4 m	2
Altezza massima della trincea superiore a 4 m	3
Trincea > 2m con fenomeni di instabilità	4
<b>Si aggiungono per le trincee &gt;2 m</b>	
- Natura del terreno : granulare/argilloso	+ 1
- Opere di sostegno : h >2 m non antisismico	+ 1
- Possibile caduta massi	+ 1

**Tabella-2 Indicatore di vulnerabilità dei tratti in trincea**

CARATTERISTICHE DEL TRATTO	INDICATORE DI VULNERABILITA'
Per viadotti di qualsiasi tipo	5
<b>Si sottraggono</b>	
a) Struttura antisismica	- 2
b) Struttura non antisismica campata max < 20 m ed altezza pila max < 10m	- 1

**Tabella-3 Indicatore di vulnerabilità dei viadotti**

CARATTERISTICHE DEL TRATTO	INDICATORE DI VULNERABILITA'
Per gallerie di qualsiasi tipo	5
<b>Si sottraggono</b>	
c) Galleria profonda	- 1
d) Terreni non spingenti e privi di faglia	- 1

**Tabella-4 Indicatore di vulnerabilità delle gallerie**

Ai viadotti ed alle gallerie, qualunque sia la tipologia strutturale, si assegna una vulnerabilità elevata, poiché costituiscono dei punti critici del sistema viario. Una differenziazione, tra gli innumerevoli casi possibili, è comunque possibile tenendo conto di alcuni parametri connessi alle caratteristiche antisismiche e geometriche dell'opera nonché dei terreni attraversati. In ogni caso la vulnerabilità dell'opera d'arte non potrà mai essere inferiore a 3.

Come si evince dalle modalità con cui vengono assegnati i valori, la vulnerabilità dei singoli elementi prescinde da fattori di analisi strutturale rimanendo connessa a grandezze facilmente rilevabili.

Relativamente alla vulnerabilità estrinseca, si propone di prendere in considerazione soltanto gli edifici prospicienti la strada che hanno una distanza  $d$  dal ciglio della strada inferiore all'altezza  $h$  dello stesso edificio (Figura 3).



**Figura-3 Vulnerabilità estrinseca**

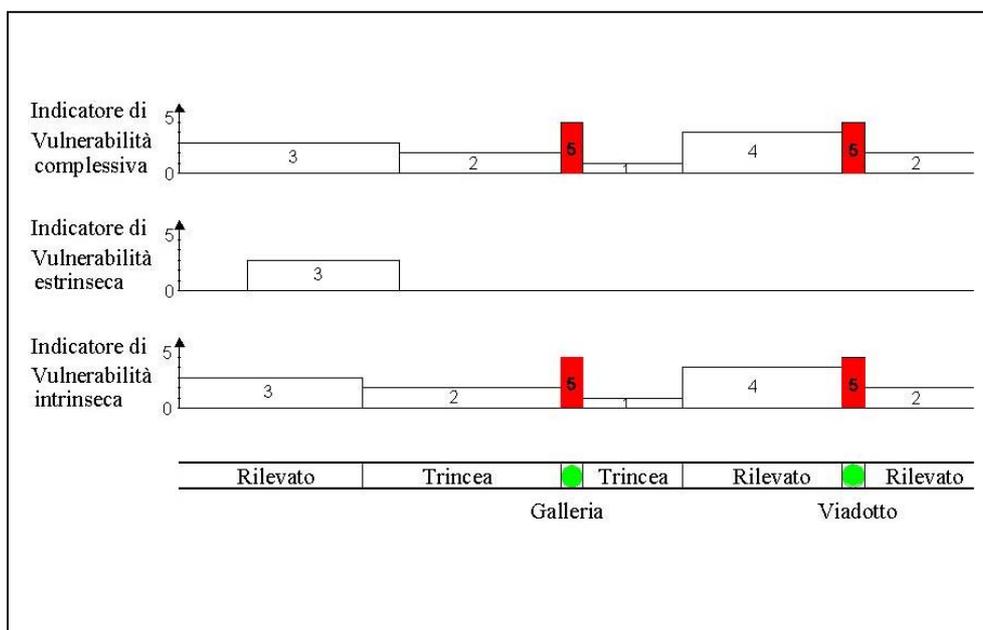
Il valore di vulnerabilità riportato in tabella 5 è funzione sia della tipologia strutturale che dell'altezza dell'edificio perché da essa dipende la parzializzazione della carreggiata in caso di crollo. Nel caso di edifici prospicienti in entrambi i lati la carreggiata, la vulnerabilità viene calcolata per ciascun lato ed, infine, sommata. Il valore massimo viene, comunque, considerato pari a 5.

CARATTERISTICHE DEL TRATTO	INDICATORE DI VULNERABILITA'
Struttura con $h \leq d$	0
Struttura con $h \geq d$	
a) Struttura antisismica con $h < d + 1$	1
b) Struttura antisismica con $h > d + 1$	2
c) Struttura non antisismica con $h < d + 1$	3
d) Struttura non antisismica con $h > d + 1$	4
<b>Si aggiungono</b>	
Condizioni strutturali in cattivo stato	+1
Condizioni strutturali in pessimo stato	+1

**Tabella-5 Indicatore di vulnerabilità estrinseca**

In definitiva, per ciascun tratto che presenta sia condizioni di vulnerabilità intrinseca che estrinseca verrà attribuito un indicatore di vulnerabilità complessiva pari al maggiore dei due (Figura 4).

Evidentemente il metodo sopra esposto potrà avere dei casi particolari che non è possibile catalogare tra quelli previsti. Tali situazioni dovranno essere opportunamente approfondite attribuendo, comunque, un indicatore di vulnerabilità rientrante nella scala di valori come sopra definita (0 - 5 max).



**Figura - 4 Esempio di discretizzazione dei rami stradali ed attribuzione dell'indicatore di vulnerabilità**

## 5. SCENARIO DI DANNO SULLA RETE STRADALE AL TEMPO $T=0$ DELL'EVENTO

Ottenuta la rete discretizzata per tratti omogenei di vulnerabilità, con i criteri descritti nel precedente paragrafo, potrà procedersi alla definizione dello scenario di danno al tempo  $t=0$  nei seguenti due casi:

- a) evento prevedibile nell'area sismica al fine di individuare, in tempo di "pace", le azioni di protezione civile che dovranno fare parte del piano;
- b) evento sismico reale con riferimento ai dati che risultano disponibili presso la Sala Operativa di Protezione Civile nell'istante successivo al suo accadimento.

Relativamente allo studio di un evento sismico prevedibile, sulla base della raccolta dei dati storici, può farsi riferimento a criteri di scelta diversi:

- evento più gravoso storicamente accertato nella zona;
- evento più significativo dal punto di vista della pericolosità del sito;
- evento più significativo dal punto di vista del danneggiamento atteso.

Gli scenari di danno, associati a ciascuno di questi eventi, possono risultare notevolmente diversi tra loro. L'evento storicamente più gravoso è ben definito dal punto di vista della sua entità ed ha un chiaro significato anche per i non addetti ai lavori, ma quasi sempre è caratterizzato da tempi di ritorno molto lunghi e quindi da uno scenario di danno molto gravoso e poco probante.

L'approccio basato sull'evento più significativo dal punto di vista della pericolosità, invece, ha il vantaggio di considerare eventi caratterizzati da una elevata probabilità di accadimento uniforme nell'area sismica in esame.

Per le finalità del presente studio è opportuno che l'evento o gli eventi sismici di riferimento siano quelli che produrranno i maggiori danni al patrimonio viario. Tali eventi non necessariamente coincidono con l'evento di maggiore intensità

Occorre, peraltro, sottolineare che soltanto da pochi anni è possibile avere dati storici sugli eventi sismici caratterizzati da grandezze fisiche in grado di essere adottate in modelli di analisi dinamica. Nella quasi totalità dei casi dovrà farsi riferimento ad eventi storici che sono stati catalogati in funzione dei danni prodotti ed a cui è stato attribuito un valore di intensità ed una posizione dell'epicentro.

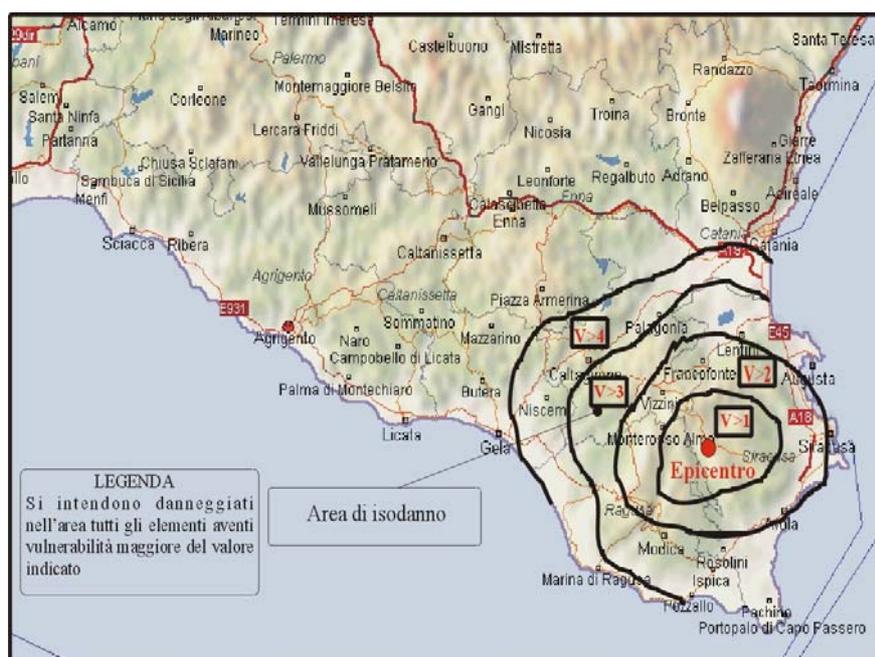
Per questo motivo si considera di potere definire lo scenario attraverso la conoscenza di tre soli parametri:

- a) localizzazione dell'epicentro;
- b) profondità presunta dell'epicentro;
- c) intensità del sisma.

Lo scenario di danno viene ottenuto, almeno in questa fase di analisi, come funzione diretta della intensità del sisma, ipotizzando la estensione della azione sismica sul territorio in funzione della profondità dell'epicentro.

A partire quindi, dalla identificazione degli eventi sismici di riferimento verranno individuate le aree di isodanno (Figura 5), all'interno delle quali si considerano inagibili i tratti di rete che presentano una indice di vulnerabilità (già valutato in sede di analisi della rete tra i valori 0 e 5) superiore ad una soglia di valore prefissata.

Si tratterà quindi di stabilire per ciascuna area di isodanno l'estensione e la soglia minima di vulnerabilità discriminante. Tale tema è attualmente in fase di studio attraverso la collaborazione del Servizio Sismico Nazionale ed il gruppo tecnico che ha in corso la redazione del Piano Nazionale di Protezione Civile per rischio sismico Sicilia Orientale e Stretto di Messina.



**Figura-5 Esempio di aree di isodanno**

La stessa analisi dovrà essere condotta in Sala Operativa al tempo  $t=0$  in cui viene osservato l'evento sismico reale, attraverso i dati in quel momento ottenibili relativi alla sua localizzazione ed intensità.

Lo scenario di danno che ne segue, e quindi la individuazione della rete viaria più affidabile, consentiranno, ai livelli decisionali, di avviare gli interventi di protezione civile che erano stati preventivamente pianificati in sede di redazione dei Piani, con riferimento ai possibili eventi attesi. Evidentemente, le azioni che verranno poste in essere si riferiranno a quelle previste per l'evento sismico che maggiormente è confrontabile con l'evento occorso.

Le procedure verranno, poi, affinate man mano che si procederà all'acquisizione di informazioni di dettaglio sull'evento e sui danni.

## CONCLUSIONI

Nella presente memoria è stata proposta una metodologia di analisi e quantificazione della vulnerabilità intrinseca ed estrinseca applicabile alle reti stradali in aree soggette a rischio sismico, finalizzata alla definizione di una rete viaria che, all'istante  $t=0$  di un evento sismico, permetta di ottimizzare la organizzazione delle prime operazioni di soccorso.

La specificità del problema consiglia la scelta di modelli di analisi che prescindano da studi di tipo dinamico del corpo stradale i quali avrebbero di bisogno di dati sul sisma che, certamente, non è possibile acquisire al momento  $t=0$ . Inoltre, lo studio deve essere condotto attraverso scelte per quanto possibile cautelative, dovendosi garantire prioritariamente la efficacia degli interventi programmati dal Piano di protezione civile.

In tal senso, una valutazione dello scenario di danno attraverso analisi tecniche eccessivamente dettagliate potrebbe risultare non compatibile con le esigenze operative.

L'obiettivo finale è quello di pervenire alla definizione di aree di isodanno all'interno delle quali è possibile individuare i tratti stradali che abbiano un'elevata affidabilità per la pianificazione delle azioni di soccorso.

La metodologia proposta è attualmente in fase di applicazione sperimentale sulla rete viaria dell'area ad elevato rischio sismico della Sicilia Orientale, dove verrà sviluppata sulla base degli scenari degli eventi sismici previsti dal Piano Nazionale di Protezione Civile per rischio sismico su quell'area.

Nel corso di tale applicazione sarà opportunamente valutata la efficacia di quanto proposto attraverso la calibrazione del modello sulla base di recenti eventi sismici di cui sono noti gli scenari di danno.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] S. Cafiso, A. Condorelli, A. D'Andrea, "*Evolution of seismic risk on road infrastructures*" Atti del Convegno Mondiale AIPCR, Kuala Lumpur 1999 .
- [2] G. Bosurgi, A. D'Andrea, (1999) "*Verifica delle condizioni di resistenza sismica di un rilevato stradale con gradonature laterali mediante analisi dinamica aleatoria*" Autostrade Luglio (1999).
- [3] Elisa, Guarenti, Grandori, "*Rischio sismico: metodo di Cornell generalizzato*" Ingegneria sismica anno X- n°2 maggio-agosto 1993.
- [4] F. Arena, G. Bosurgi, G. Ricciardi, "*Verifica probabilistica delle condizioni di resistenza ad azione sismica*".
- [5] B. Crisman, R. Roberti, "*Analisi pseudostatica della stabilità interna delle opere stradali in terra in presenza di azioni sismiche*"
- [6] A. Corsanego, "Vulnerabilità sismica degli edifici e metodi per valutarla", Ingegneria sismica Anno I n°1 – novembre 1984.
- [7] Group de travail G2 AIPCR – "*Natural Disaster Reduction for Roads – comprehensive report*" 1996 World Road Association.
- [8] "*Recent Lifeline Seismic Risk Studies*" ASCE American Society of Civil Engineers – technical Council on Lifeline Earthquake Engineering – monograph n°1 – August 1991.
- [9] "*Risk Assessment and Management: planning for an uncertain future*" 33<sup>rd</sup> World Planning Congress . Working paper book – Ogaki, Japan 17/20 September 1997.
- [10] G. Grandori. A. Drei, F. Perotti, E. Tagliani "*Macroseismic intensità versus epicentral distance: the case of Central Italy*" Tectonophysics 193 pp.165-171.