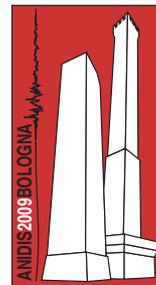


# Applicazioni di livello “0” della metodologia utilizzata per la valutazione del rischio sismico di Sistemi Urbani, utilizzando l’analogia delle reti neuronali



Alberto Cherubini (coordinatore del task 5/7 del Progetto Reluis - Linea 10).  
Consulente del CNR-Istituto per le Tecnologie della Costruzione. P.le Collemaggio 1, 67100 L'Aquila.

Giuseppe Di Capua, Silvia Peppoloni  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Via Nizza 128, 00198 Roma.

Agostino Goretti  
Ufficio III - Valutazione, prevenzione e mitigazione del rischio sismico e attività ed opere post-emergenza,  
Dipartimento della Protezione Civile. Via Vitorchiano 2, 00189 Roma.

Elena Speranza  
Consulente del Dipartimento di strutture, geotecnica, geologia applicata all'Ingegneria, Università della Basilicata. C.da Macchia Romana, 85100 Potenza.

con la collaborazione di:

Donatella Benedetti, Rachele Ferlito  
Ufficio III - Valutazione, prevenzione e mitigazione del rischio sismico e attività ed opere post-emergenza,  
Dipartimento della Protezione Civile. Via Vitorchiano 2, 00189 Roma.

Francesco Cherubini  
Collaboratore del CNR-Istituto per le Tecnologie della Costruzione. P.le Collemaggio 1, 67100 L'Aquila.

*Keywords: sistemi urbani, rischio sismico, reti neuronali*

## RIASSUNTO

Questa ricerca, condotta nell'ambito del Progetto RELUIS – Linea 10, ha riguardato la messa a punto di un modello di rischio sismico per Sistemi Urbani con approccio multilivello, utilizzando l’analogia con le reti neuronali. Il primo passo è stata l’elaborazione del livello 0, basato su banche-dati, disponibili a livello nazionale, relative alla pericolosità sismica di base e locale (INGV) e a dati di censimento dei comuni italiani (ANCITEL 2001; ISTAT 2001) per la descrizione fisica e funzionale dei centri abitati/sistemi urbani analizzati. Per semplicità e per omogeneità tra i molti dati elaborati sono stati trascurati due aspetti rilevanti per il modello di rete neuronale, che intervengono invece ai livelli successivi, ovvero l’aspetto della “soglia” di perdita di capacità di una componente di sottosistema (sia per *evoluzione* che per *connessione*) e l’aspetto della “capacità iniziale” di una componente di sottosistema prima dell’evento sismico. La valutazione della perdita di capacità complessiva di un Sistema Urbano a livello 0 è stata quindi calcolata come l’insieme delle perdite di tutti i sistemi combinati tra loro (con opportuni pesi) e quindi con un valore complessivo.

## 1 PREMESSA

Si richiama per punti la metodologia generale del sistema neuronale che descrive l’analogia con i Sistemi Urbani:

- si effettua il riconoscimento di sottosistemi minimi necessari (del tipo abitativo, servizi, sanitario, servizio scolastico, trasporti, ecc.), utili a descrivere compiutamente l’organizzazione fisica e funzionale di Centri/Sistemi Urbani;
- si perviene all’individuazione di parametri (fisico-meccanici) o indicatori (prestazionali) minimi necessari, utili a

descrivere la perdita di capacità di un sistema vs. domanda nel corso della singola sequenza di un evento sismico;

- si definiscono le interazioni possibili tra sistemi all’interno del Centro/Sistema Urbano e le sue condizioni di contorno;
- si sviluppa una metodologia di indagine da applicare ai centri indagati, con una base di dati ricavata sinteticamente da database nazionali (livello “0”) e ottenuti con una indagine speditiva (livello “1”), utilizzando la stessa logica di costruzione del modello e gli stessi parametri;
- si definiscono parametri di pericolosità sismica, di base e locale;

- si ottengono scenari di perdita di capacità per eventi sismici attesi.



Figura 1. Modello di piccolo borgo abitato.

Il modello di tipo neurale è definito attraverso:

- sottosistemi attivabili per un evento sismico atteso, applicato istantaneamente per singola sequenza sismica, a costruire corrispondenti sequenze di relazioni, che per ogni sequenza diano luogo all'identificazione di un "attrattore neurale";
- l'azione sismica (principale e repliche), che viene rappresentata lungo un asse tempo-durata;
- la capacità di risposta iniziale, che viene individuata per ogni sottosistema:  $C_{0j}$  (valore normalizzato), con una soglia di risposta del sistema;
- la perdita di capacità dei sottosistemi con modalità di evoluzione (modifica della capacità dello stesso sottosistema) o correlazione (modifica della capacità di un sottosistema per effetto di altri sottosistemi);
- il raggiungimento, nell'identificazione dell'attrattore, di capacità ridotte  $C_{ij}$  dei sistemi, dovute alle relative perdite di capacità.

Uno schema illustrativo del processo analogico dei sistemi urbani con le reti neurali è rappresentato nelle figure 1 e 2.

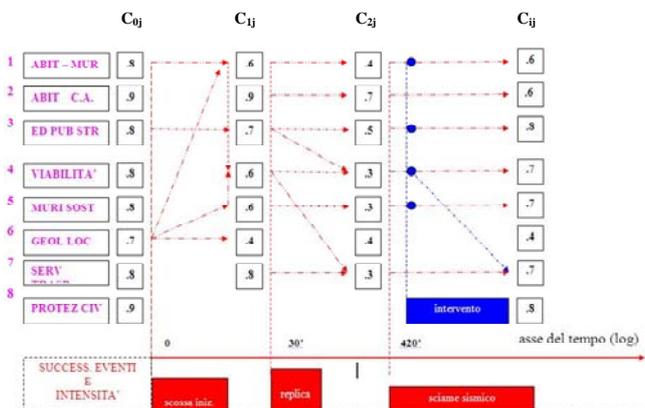


Figura 2. Schema di sequenza temporale per l'analisi del sistema urbano e dei sottosistemi.

## 2 BANCHE DATI NAZIONALI UTILIZZATE

Per le elaborazioni del modello vengono utilizzate le seguenti banche-dati riferite a tutti i comuni italiani:

- dati INGV di pericolosità di base (valori di PGA con differenti periodi di ritorno) e locale (informazioni sintetiche sulla litologia ed analisi delle quote topografiche del territorio comunale per l'individuazione di centri abitati in posizione rilevata);
- dati del censimento ISTAT 2001;
- dati del censimento ANCITEL 2001.

### 2.1 Dati di pericolosità sismica di base e locale

Viene definito un parametro che descriva la pericolosità sismica, di base e locale, espresso come prodotto dell'accelerazione orizzontale di picco al bedrock con coefficienti di amplificazione di sito, per due condizioni di eventi attesi: evento massimo ed evento più frequente. La valutazione è basata per tutti gli 8.101 comuni del territorio nazionale:

- pericolosità di base: si considera la griglia di riferimento INGV (GdL MPS 2004) e si calcola il valore della PGA utilizzando le coordinate geografiche del centro abitato capoluogo;
- pericolosità locale: si considera un parametro che esprime l'amplificazione attesa per cause litologiche (S), ottenuto attraverso una carta geologica in scala 1:500.000 del territorio nazionale, ed un parametro di tipo morfologico ( $S_T$ ) valutato sulla base delle quote topografiche del territorio comunale (Di Capua e Peppoloni, 2009).

Il valore in PGA ottenuto viene quindi convertito in intensità macrosismica MCS secondo la relazione  $\text{Log PGA} = 0,594 + 0,197 * I_{MCS}$  (PGA espressa in  $\text{cm/sec}^2$ ) (Decanini et al. 1995).

### 2.2 Dati ISTAT 2001 per il calcolo della perdita di capacità degli edifici

Viene valutata la riduzione di capacità del sistema residenziale in termini di collasso ed in termini di inagibilità per i comuni del territorio nazionale. La riduzione di capacità viene fornita in relazione all'intensità macrosismica MCS, variabile tra I=VI e I=XI MCS.

In ogni Comune viene inizialmente determinata la distribuzione degli edifici in classi di vulnerabilità, sulla base dei dati ISTAT 2001.

Vengono considerate le seguenti classi di vulnerabilità:

- A=muratura di cattiva qualità;
- B=muratura di media qualità;
- C=muratura di buona qualità;
- RC=cemento armato.

La distribuzione di edifici in classi viene indicata con  $P(T)$ , con  $T=A, B, C, CA$ . La distribuzione  $P(T)$  varia da Comune a Comune e, ovviamente, per ogni Comune si ha  $\sum_T P(T)=1$ .

La perdita di capacità per inagibilità viene definita a livello comunale come convoluzione di vulnerabilità primaria e secondaria (Di Pasquale e Goretti 2001), secondo l'espressione:

$$P_{ina}(I) = \sum_{TD} P(ina|D, T) P(D|I, T) P(T) \quad (1)$$

Il termine  $P(ina|D, T)$  rappresenta la probabilità di inagibilità dell'edificio condizionata al danno subito ed alla tipologia strutturale ed è una vulnerabilità secondaria. Il termine  $P(D|I, T)$  è la probabilità di osservare nell'edificio di tipologia  $T$  un danno di livello  $D$  quando soggetto ad una intensità sismica  $I$ , ed è una vulnerabilità primaria.

La vulnerabilità secondaria viene assunta pari a quanto riportato in (SSN-GNDT-DPC 2001), mentre per la vulnerabilità primaria viene assunta quella riportata in (Angeletti et al. 2002) e deriva sostanzialmente dai rilievi del danno condotti dopo il terremoto dell'Irpinia-Basilicata del 1980.

La distribuzione in classi di vulnerabilità è ottenuta a partire dai dati contenuti nel censimento ISTAT 2001, considerando per ogni edificio, di ogni Comune, il materiale prevalente e l'epoca di costruzione. Una volta effettuata l'attribuzione di ogni edificio nelle classi, la distribuzione in classi è ottenuta come  $P(T)=\text{numero di edifici ricadenti nella classe } T \text{ in un generico Comune}/\text{numero totale di edifici nello stesso Comune}$ .

La perdita di capacità per collasso è definita nello stesso modo in cui si definisce la perdita di capacità per inagibilità, sostituendo alla probabilità di inagibilità la probabilità di collasso:

$$P_{coll}(I) = \sum_{TD} P(coll|D, T) P(D|I, T) P(T) \quad (2)$$

### 2.3 Banca dati ANCITEL 2001 per la perdita di capacità dei sottosistemi

Questa banca dati è un "Sistema informativo completo statistico-territoriale sugli Enti Locali esistenti in Italia"; è stata acquistata dal Dipartimento della Protezione Civile e resa disponibile per la ricerca svolta. Tale sistema informativo contiene circa 700 indicatori per ognuno degli 8.101 Comuni italiani, con

possibilità di aggregazioni territoriali superiori (Province, Regioni, Nazione, A.S.L, ecc.) e con pluralità delle fonti dei dati e varietà degli indicatori raccolti.

Sulla base di tale banca dati sono stati agevolmente costruiti molti parametri o indicatori che descrivono le caratteristiche di capacità dei vari sistemi presenti nell'ambito di un Sistema Urbano.

## 3 APPLICAZIONE DEL MODELLO

Vengono definiti i parametri che esprimono, per ogni Comune, il danno alle persone o agli oggetti colpiti dalla sollecitazione sismica:

- il numero dei feriti, dei morti e dei senza-tetto, espresso da *casualties* per diversa intensità;
- la perdita di capacità per inagibilità degli immobili;
- la perdita di capacità per collasso degli immobili;
- la perdita di capacità di infrastrutture stradali.

I parametri individuati sono ovviamente parziali, non potendo aggiungere altro per una indagine a grande scala.

Viene quindi modellato il Sistema Urbano:

- inizialmente come un insieme di sottosistemi minimi necessari con cui si può schematizzare l'organizzazione fisica e funzionale dei Centri o dei Sistemi Urbani: RE=residenziale, SO=sociale, VC=rilevanza culturale, PR=produttivo-economico, VI=infrastrutture, RE=reti e PC=emergenza/protezione civile;
- successivamente attraverso le componenti dei sottosistemi e, corrispondentemente, di parametri (di tipo fisico-meccanico) o indicatori (di tipo prestazionale) minimi, necessari a descrivere la perdita di capacità/capacità residua di ogni sottosistema, partendo dalla capacità posseduta prima dell'evento sismico, a fronte della domanda nel corso della sequenza dell'evento stesso e rappresentata dai danni provocati; di seguito vengono presentati alcuni dei 18 parametri, costruiti utilizzando la base-dati dell'ANCITEL (la barra superiore indica il numero di elementi agibili di una data grandezza):

Funzionalità Residenziale

$$(F_R) = \frac{\overline{\text{edif}}_1 (1 - I)}{\text{edif}_1} \quad (3)$$

## Istruzione

$$(I_S) = \frac{\text{popol}_3(1 - C_v - C_f)}{\text{popol}_1(1 - C_v)} \quad (4)$$

## Patrimonio Residenziale

$$(P_R) = \frac{\overline{\text{cubres}} * \text{cric} (1 - 0,9D)}{\text{cubres} * \text{cric}} \quad (5)$$

## Funzionalità Scolastica

$$(F_{Sc}) = \frac{\overline{\text{aule}}(1 - I)}{\text{aule}} \quad (6)$$

## Capacità Ospedali

$$(O_{sp}) = \frac{(\text{pletto}_3 + \text{pletto}_4)}{\text{popol}_1} \quad (7)$$

## Funzionalità Servizi

$$(F_{Se}) = \frac{(\overline{\text{UnLav}_1} + \overline{\text{UnLav}_2} + \overline{\text{UnLav}_3} + \overline{\text{UnLav}_4})(1 - I)}{\text{UnLav}_1 + \text{UnLav}_2 + \text{UnLav}_3 + \text{UnLav}_4} \quad (8)$$

## Strutture servizi pubblici

$$(S_{pu}) = \frac{(\overline{\text{UnLav}_4})(1 - I)}{\text{UnLav}_1 + \text{UnLav}_2 + \text{UnLav}_3 + \text{UnLav}_4} \quad (9)$$

Il significato dei simboli è indicato nella tabella 1, con riferimento alla banca dati ANCITEL (nell'ultima colonna a destra è presente il numero del campo a cui ci si riferisce).

Tabella 1. Simboli utilizzati nelle equazioni descritte nel testo, descrizione dei simboli e numero del campo corrispondente della banca dati ANCITEL.

I	vettore perdita di capacità per inagibilità	-
D	vettore perdita di capacità per collasso	-
Cv	vettore casualties: percentuale vittime	-
Cf	vettore casualties: percentuale feriti	-
edif <sub>1</sub>	Abitazioni censite – totale	62
popol <sub>1</sub>	Popolazione totale calcolata	27
Aule	Totale classi	202
UnLav <sub>1</sub>	Cens. Ind. - U.L. agric., silv., pesca	83
UnLav <sub>2</sub>	Cens. Ind. - U.L. industria	88
UnLav <sub>3</sub>	Cens. Ind. - U.L. attiv. Terziarie	95
UnLav <sub>4</sub>	Cens. Ind. - U.L. istituzioni censiti	105
popol <sub>3</sub>	Pop. res. cens. - Lic. elem. e media inf.	188
popol <sub>4</sub>	Popolazione da 15 a 64 anni	25
pletto <sub>1</sub>	Posti letto esercizi alberghieri	150
Pletto <sub>2</sub>	Posti letto esercizi complementari	153
cubres	Cubatura residenziale = popol <sub>1</sub> x 80	-
Cric	Costo Ricostruzione unitario = 420 €/m <sup>3</sup>	-

Le perdite di capacità delle varie componenti dei sistemi vengono quindi individuate per *evoluzione* (o perdite dirette) dei parametri/indicatori che le descrivono o per *connessione* (o perdite indirette) degli stessi tra loro:

- le perdite di capacità per *evoluzione* dei parametri/indicatori e di conseguenza delle componenti che descrivono i sistemi, relativamente al livello 0, vengono ottenute applicando ai contenitori edilizi (edilizia residenziale e non) le percentuali di inagibilità o di danno, dedotte dalle corrispondenti matrici di probabilità per le diverse sollecitazioni sismiche, applicate al corrispondente patrimonio edilizio:
  - alle infrastrutture, percentuali di danno dedotte dalle condizioni morfologiche locali;
  - alle persone presenti, le percentuali (*casualties*) di morti, feriti e senza-tetto, per i diversi livelli di sollecitazione sismica attesi nei comuni italiani;
  - alle persone occupate in contenitori edilizi, le percentuali di inagibilità degli stessi contenitori, corrispondenti alle perdite di attività produttiva, di attività nei servizi pubblici o privati;
- le perdite di capacità per *connessione* tra loro dei parametri/indicatori e di conseguenza delle componenti che descrivono i sistemi, vengono ottenute applicando funzioni note di perdita di capacità dei sistemi: vengono utilizzate funzioni del tipo *sigmoide* di espressione  $f = a/(b + \exp(cx + d))$  dove, fissati i parametri a e b (che delimitano gli asintoti della funzione), i parametri c e d descrivono l'inclinata e l'ascissa del flesso (la funzione rappresenta bene anche curve di fragilità danno-intensità sismica) (figura 3).

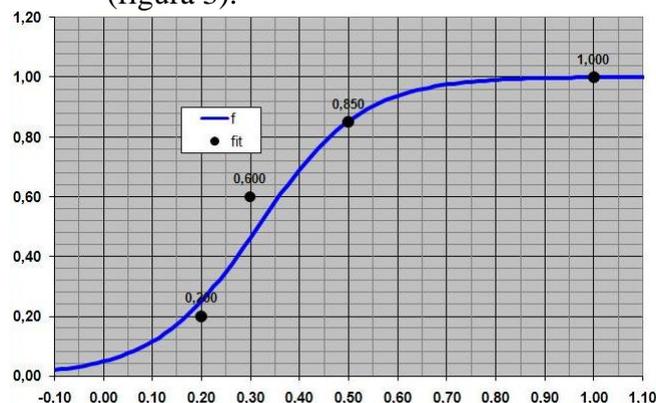


Figura 3. Grafico sigmoide.

A livello 0, per semplicità e per omogeneità tra i molti dati elaborati, si prescinde da due aspetti, che intervengono invece ai livelli successivi:

- l'aspetto della *soglia* di perdita di capacità di una componente di sottosistema (sia per *evoluzione* che per *connessione*), valore al disotto del quale il danno non produce ancora effetti sensibili sulla stessa componente di sottosistema;
- l'aspetto della *capacità iniziale* di una componente di sottosistema (valore normalizzato che per il livello 0 è di default uguale ad 1), che può risultare, per indagini anche speditive, già ridotta in partenza, prima di subire l'effetto di riduzione per l'azione sismica (un esempio evidente è quello della inagibilità dei contenitori edilizi prima dell'azione sismica, o dovuta a precedenti eventi sismici).

La valutazione della *perdita di capacità complessiva di un Sistema Urbano a livello 0* viene definita con l'insieme delle perdite di tutti i sistemi, combinati tra loro (con opportuni pesi) e quindi con un valore numerico normalizzato complessivo.

Per la realizzazione del test di livello 0 della metodologia descritta è stato costruito un database relazionale, comprendente maschere, tabelle e query. Il database è stato realizzato con il software Microsoft Access del pacchetto Microsoft Office 2007, compatibile con le versioni precedenti di Access a partire da Access 2000. Il database contiene le informazioni descritte nei paragrafi precedenti ed è relativo ai comuni della regione Abruzzo.

Le principali finalità del database sono state, da un lato, la realizzazione di maschere di dialogo per l'aggiornamento e l'editing dei dati, dall'altro, la compilazione di tabelle e la strutturazione di query in grado di eseguire i calcoli di perdita di capacità dei comuni in base ai dati forniti, ai parametri scelti e ad un sistema esperto opportunamente calibrato.

La selezione schede consente di visualizzare una scheda centro abitato, identificato dalla denominazione e dal codice ISTAT, con un riassunto degli indicatori di sistema prima e dopo l'evento, la differenza tra di essi, l'indicatore unico di perdita di capacità relativo al Comune selezionato, assieme ad alcuni dati caratteristici che aiutano a definire la fisionomia del centro urbano (figura 4).

Comune di	AVEZZANO	(AQ)	Codice ISTAT	66006
Superficie urbana	8	Cens Ind - UL istituzioni censite	316	
Popolazione totale calcolata	39376	Cens Ind - Totale Unità Locali delle imprese	3186	
Abitazioni censite	15962	Cens Ind - UL totali	3502	
tempo di ritorno considerato per il calcolo di ag e quindi dell'Intensità macrosismica				475 anni
INDICATORI	PRE	POST	DELTA	DTOT
Residenziale	1	0,762	0,238	0,142
Sociale	0,853	0,542	0,124	
Rilevanza monumentale / cultural	1	0,536	0,186	
Produttivo economico	0,803	0,43	0,149	
Infrastrutture	1	0,976	0,014	

Figura 4. Maschera di restituzione perdite di Avezzano (AQ) per t=475 anni.

## 4 CONCLUSIONI

Lo sviluppo del Livello 0 del modello neuronale, che si basa sull'affinamento dell'uso di banche dati nazionali, necessita tuttavia di una taratura che può essere eseguita solo con opportune verifiche svolte al livello successivo.

Anche tra le stesse banche dati, confrontando ad esempio i dati ISTAT con i dati elaborati da ANCITEL risultano lacune ed incongruenze che andrebbero rimosse con opportune verifiche.

Tuttavia, resta il notevole vantaggio di poter utilizzare un confronto omogeneo e ad ampia scala tra centri urbani ubicati all'interno di una stessa area o in aree diverse, verificandone la risposta all'azione sismica, così da ricavare le situazioni di maggior rischio sismico.

## BIBLIOGRAFIA

- Alesch D., Holly J., 2002. Robustness and Resiliency, Ruin and Recovery. *Proceedings 7<sup>th</sup> National Conference on Earthquake Engineering*, 21-25 July, Boston, Massachusetts.
- Amit D.J., 1989. Modelling Brain Function. *Cambridge University Press*, Cambridge.
- Angeletti P., Baratta A., Bernardini A., Cecotti C., Cherubini A., Colozza R., Decanini L., Diotallevi P., Di Pasquale G., Dolce M., Goretti A., Lucantoni A., Martinelli A., Molin D., Orsini G., Papa F., Petrini V., Ruscetti M., Zuccaro G., 2002. Gruppo di Lavoro per l'Aggiornamento dell'Inventario e della Vulnerabilità degli Edifici Residenziali e Pubblici e per la Stesura di un Glossario. Rapporto Finale, Servizio Sismico Nazionale, DPC.
- Cardona O., 2002. Holistic Approach to Urban Seismic Risk Estomation. *Proceedings 7<sup>th</sup> National Conference on Earthquake Engineering*, 21-25 July, Boston, Massachusetts.
- Cherubini A., 1999-2001. Progetti di Censimento di Vulnerabilità sismica in sette regioni dell'Italia meridionale - L.S.U. di: Edifici Pubblici e Strategici (LSU-1); Edilizia Privata con metodologia a campione (LSU-BIS); Edilizia Storica e Monumentale all'interno

- di Parchi nazionali e regionali (LSU-PARCHI), Rapporti 1999 (3 voll.), 2000 (1 vol.) e 2001 (2 voll.), DPC
- Cherubini A., 2004. Parametri per analisi di rischio sismico dei Centri Storici. Convegno Internazionale "Rischio Sismico, Territorio e Centri Storici", Sanremo, 02-03/07/04.
- Cherubini A., Cialone G., Cifani G., 2001. Elaborazioni sulla scheda Centro Storico. Progetto LSU-PARCHI, DPC-GNDT, cap. 4.1.
- Cherubini A., Cifani G., Dolce M., Martinelli A., Brammerini F., Goretti A., Papa F., 2001. Nota metodologica per una prima stima del rischio sismico. GdL del Dipartimento della Protezione Civile, decreto n. 1382/2000 - Linee Guida per la presentazione dei dati del censimento di vulnerabilità sismica degli edifici pubblico-strategici. DPC.
- Davidson R., 1997. An Urban Earthquake Disaster Risk Index. The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, Report n. 121, Stanford.
- Decanini, L., C. Gavarini e F. Mollaioli, 1995. Proposta di definizione delle relazioni tra intensità macrosismica e parametri del moto del suolo. 7° *Convegno Nazionale "L'Ingegneria sismica in Italia"*, Siena, vol. 1, 63-72.
- Di Capua G. e Peppoloni S., 2009. Prodotto 1 dell'Unità Operativa Geologica: "Database relativo agli 8.101 comuni italiani, contenente informazioni di pericolosità di base e locale, in formato Microsoft Access". Progetto DPC-Reluis, Linea 10.
- Di Pasquale G., Goretti A., 2001. Vulnerabilità funzionale ed economica negli edifici residenziali colpiti da recenti eventi sismici nazionali. *X Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Potenza-Matera, 9-13 Settembre.
- GdL MPS, 2004, Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.
- Goretti A., 2001. L'Agibilità degli edifici residenziali in emergenza post-sismica. Servizio Sismico Nazionale, Rapporto Tecnico SSN/RT/01/03.
- Goretti A., 2005. A Probabilistic model able to handle interaction among road network, buildings and emergency services in urban areas. *Proceedings 9<sup>th</sup> International Conference on Structural Safety and Reliability, ICOSSAR 05*, 20-23 Giugno, Roma.
- Grunthal G., 1998. European Macroseismic Scale 1998. *Cahiers du Centre Eur. de Geodyn. et de Seism.*, v. 15, pp 1-99.
- IEEE, 2001. Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Standard 1366, Edition.
- Masure P. and Lutoff C., 2003. Methodology on Urban System Exposure (USE) assessment to natural disasters, Risk-UE WP3 Handbook, 82 pag.
- Mazzotti P. et al., 2005, "Recupero e riduzione della Vulnerabilità dei Centri Storici danneggiati dal sisma 1997- Rassegna ragionata dei programmi di recupero post sisma - Attività di ricerca promossa dal Comitato Tecnico Scientifico della Regione Marche", Regione MARCHE Dipartim. Aff. Istituz. e Centro Operativo Programmi di Recupero e Beni Culturali.
- Medvedev S.V., 1977. Seismic Intensity Scale M.S.K. 76. *Geophys. Pol. Acad. Sc. Inst. Publ.*, A-6 8117, Warsaw.
- NTC, 2008. Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 14 gennaio 2008. *Gazzetta Ufficiale*, n. 29 del 4 febbraio 2008, *Supplemento Ordinario n. 30*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Rosenblatt F., 1962. Principles of Neurodynamics. Spartan Books, Washington DC.
- SAVE, 2004. Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità Sismica del Patrimonio Edilizio e dei Sistemi Urbani, Progetto GNDT, Programma quadro 2000-2002, [http://gndt.ingv.it/SAVE/progetto\\_save.htm](http://gndt.ingv.it/SAVE/progetto_save.htm).
- SERGISAI, 2001. Seismic Risk Evaluation through Integrated Use of Geographical Information Systems and Artificial Intelligence Techniques, Project ENV4-0279, Final Report, DGXII, EC.
- Yao B., Xie L., Huo E., 2004. Study effect of lifelines system interaction and their seismic performance assessment. 13 WCEE, Vancouver, BC, August 1-6, Canada.