

Speciale GEOLOGIA 2007

Rivista bimestrale - anno 11 - Speciale 3/07 - Spec. in abb. postale 70% - Filiale di Roma

GEO MEDIA

1997 - 2007

La prima rivista italiana di geomatica e geografia intelligente

Geologia, geofisica e rilievi idrografici

- ⊙ **Applicazioni geo-informatiche per le Scienze della Terra**
- ⊙ **Web-Mapping e informazioni geologiche**
- ⊙ **L'IIM e l'evoluzione delle tecniche nel rilievo idrografico**
- ⊙ **GEOmedia intervista Pasquale De Santis di INGV**
- ⊙ **Codevintec tra geofisica e geomatica: trent'anni di supporto e ricerca**
- ⊙ **ARP: tecnologie innovative per la conoscenza del territorio**

Analisi geostatistica di dati macrosismici per piani di emergenza e protezione civile

Il caso del centro storico di Potenza

di Maurizio Lazzari, Maria Danese e Beniamino Murgante

Nel corso degli ultimi anni si è sempre più consolidato il ruolo dei GIS nella pianificazione dell'emergenza, in concerto con la redazione dei Piani di Protezione Civile. Il Piano di Emergenza è costituito dalle attività coordinate e dalle procedure atte a fronteggiare un evento calamitoso atteso sul territorio, in modo da garantire l'effettivo ed immediato impiego delle risorse necessarie al superamento dell'emergenza; esso si configura come indispensabile supporto operativo al quale il Sindaco si riferisce per gestire l'emergenza col massimo livello di efficacia.

Il Piano di Protezione Civile rappresenta, pertanto, ai sensi del decreto Bassanini, un obiettivo strategico di primaria importanza per le Amministrazioni Locali, ponendosi l'obiettivo di offrire alla comunità uno strumento di alto profilo per la salvaguardia, il controllo e l'intervento sul territorio in caso di emergenza per eventi naturali. Tale finalità è perseguibile elevando la qualità della risposta preventiva ed ottimizzandone i tempi d'intervento, attraverso l'incremento dell'efficienza ed efficacia dell'azione pubblica. Per poter avere un quadro complessivo ed attendibile relativo all'evento atteso occorre procedere alla definizione degli scenari di rischio sulla base della vulnerabilità della porzione di territorio interessata (aree, popolazione coinvolta, strutture danneggiabili, ecc.).

Particolare attenzione è stata rivolta al rischio sismico, definito come la probabilità che si verifichi un evento sismico di una data intensità in un certo intervallo di tempo (pericolosità) che possa determinare perdite in termini di vite umane, danni alle strutture, ai beni ed alle attività (vulnerabilità).

Per la definizione degli scenari di rischio sono stati utilizzati i dati macrosismici storici relativi ad eventi di elevata intensità sismica registrati nell'area di studio, individuata in corrispondenza dell'abitato di Potenza e, in particolare, del suo centro storico, ubicato nella zona assiale della catena appenninica, caratterizzata da un'elevata pericolosità sismica. La scelta del territorio comunale di Potenza come area campione è giustificata dal fatto di essere stata interessata sia in passato che recentemente da una notevole attività sismica, di cui si ricordano, tra i terremoti più disastrosi di cui si dispone ampia documentazione storica (Boschi et al., 1995; Gizzi et al., 2007),

quelli del 1 gennaio 1826 (VIII grado MCS), del 16 dicembre 1857 (VIII-IX grado MCS), del 23 luglio 1930 (VI-VII grado MCS) e del 23 novembre 1980 (VII grado MCS). (Figura 1)

Per tre di questi eventi sismici (1826, 1857 e 1930) sono stati analizzati in ambiente GIS dati macrosismici inediti (livello di danno, stato di conservazione degli edifici, interventi sugli edifici finalizzati alla salvaguardia della pubblica incolumità, dati di carattere amministrativo), dati geologici (stratigrafie di pozzo e dati di rilevamento), geomorfologici, geotecnici (parametri di resistenza meccanica da prove di laboratorio) e geofisici (downholes e sismica a rifrazione per la definizione delle velocità delle V_{s30}), tutti georeferenziati ed inseriti in un geodatabase, applicando un nuovo strumento di analisi del dato macrosismico: la geostatistica.

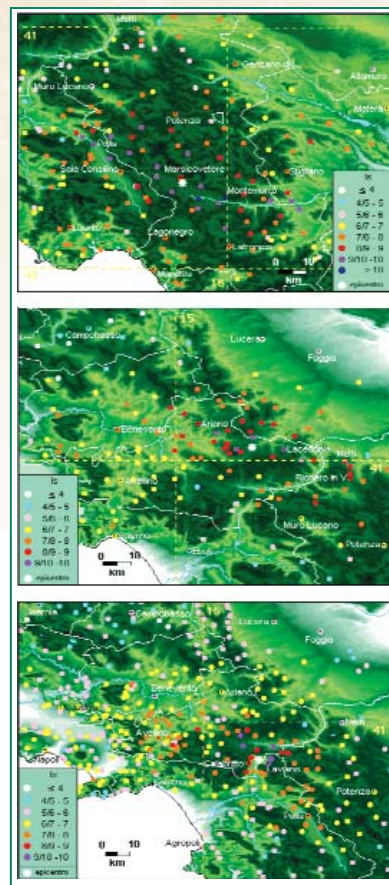


Figura 1 – Mappa macrosismica del terremoto del 1857, del 1930 e del 1980.

Metodi e risultati dell'analisi geostatistica

Partendo dai dati relativi agli *scenari* di danno, sono state applicate tecniche di analisi geostatistica spaziale al fine di evidenziare non solo la distribuzione statistico-territoriale degli effetti, ma anche le eventuali correlazioni degli stessi con la profondità del substrato e le sue caratteristiche geomeccaniche, oltre che con la conformazione morfologica del sito.

Le tecniche di statistica spaziale sono tecniche che mediante metodi statistici per interrogare un dato spaziale al fine di determinarne il comportamento tipico o inaspettato rispetto ad un modello statistico (Murgante et al., 2007), utilizzando i concetti chiave di *Location, Distance, Direction, Pattern, Density* e *Dimension* per comprendere quale sia la distribuzione nello spazio degli oggetti analizzati.

In base a tali concetti ed al “Primo principio della geografia”, secondo il quale “*Nearest things are more related than distant things*” (Tobler, 1970), l'analisi spaziale si configura come la disciplina che studia la distribuzione dei fenomeni nello spazio, le forme di aggregazione spaziale e le relazioni che essi assumono.

A partire da questa legge sono stati sviluppati approcci differenti, dettati dai contesti e dalle necessità, che possono essere raggruppati in due grandi famiglie: la prima permette di mappare i valori assunti da un fenomeno continuo nello spazio (*tecniche di interpolazione*); la seconda permette, invece, di rappresentare le proprietà assunte e gli effetti provocati da un fenomeno nello spazio (*misure di statistica centrografica, le misure basate sulla distanza, le misure basate sulla densità e gli indici di autocorrelazione spaziale, globale e locale*).

Considerando il caso di studio ed i dati di partenza di tipo puntuale (danni ai singoli edifici) sono state effettuate analisi statistiche con misure riferite alla seconda famiglia al fine di verificare la possibile interazione nello spazio tra gli eventi considerati (nel caso specifico interazione di possibili crolli di edifici con gli edifici adiacenti). Nell'ambito di questa famiglia è stata utilizzata la tecnica di analisi spaziale denominata *Point Pattern Analysis* che ha come scopo la comprensione della distribuzione di dati di tipo puntiforme nello spazio. Questi possono essere, infatti, disposti con:

- ◆ *distribuzione casuale*, in cui la posizione di ciascun punto è indipendente da quella di ciascun altro punto;
- ◆ *distribuzione regolare*, in cui i punti hanno una distribuzione uniforme nello spazio;
- ◆ *distribuzione raggruppata*, in cui i punti sono concentrati in determinate zone dello spazio, costituendo dei *cluster*, che con queste tecniche possono essere localizzati e caratterizzati.

Lo scopo delle analisi, come già accennato, è quello di individuare le relazioni che intercorrono tra le diverse variabili, cioè di individuare l'*autocorrelazione spaziale*. In particolare, si parla di: *autocorrelazione spaziale positiva* o *attrazione* tra i punti nel caso in cui si attesta l'eventuale esistenza di *cluster* nella regione oggetto di studio; *autocorrelazione spaziale negativa* o *repulsione*, invece, quando si è in presenza di eventi che, pur essendo vicini nello spazio presentano delle differenze per quanto riguarda le proprietà che li caratterizzano, per cui

risulta impossibile individuare delle zone omogenee; *autocorrelazione nulla o non correlazione* nel caso in cui non sia rilevabile alcun effetto spaziale, né per quanto attiene la posizione nello spazio, né per quanto riguarda le proprietà dei singoli eventi. Per cui l'autocorrelazione nulla può essere definita come il caso in cui le osservazioni assumono una distribuzione casuale nello spazio (O'Sullivan e Unwin, 2002).

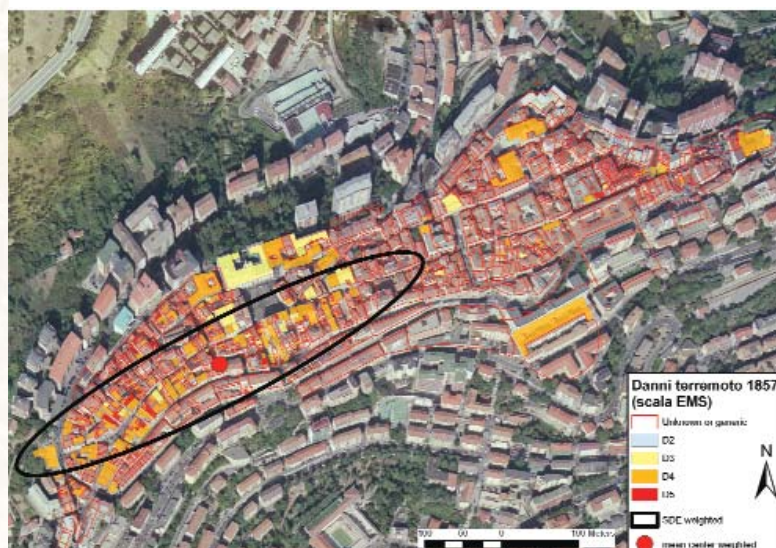


Figura 2 – Rappresentazione dello scenario di danno del terremoto del 1857 ed applicazione dell'analisi statistica centrografica (*Mean Center Weighted* e *Standard Deviation Ellipse*) dalla quale risulta che il livello di danno è maggiormente concentrato nel settore sudoccidentale del centro storico di Potenza.

La variazione di una distribuzione nello spazio può essere influenzata, inoltre, da due tipologie di effetti: di *primo ordine*, quando essa dipende dalle proprietà della regione; di *secondo ordine*, quando essa dipende dalle interazioni locali fra eventi.

Le proprietà del primo e del secondo ordine sono state studiate tramite alcuni dei principali metodi di statistica spaziale: *misure di statistica centrografica, misure di densità ed indici di autocorrelazione spaziale, globale e locale*.

Le misure di statistica centrografica sono delle tecniche che permettono di indagare sulle proprietà del primo ordine di un insieme di eventi tenendo conto delle coordinate. Al pari dei metodi usati nella statistica classica, tramite queste tecniche è possibile avere:

- ◆ misure di tendenza centrale: il *mean center weighted* ci permette di calcolare il punto rispetto al quale la distribuzione è centrata (Figura 2), avente coordinate (X ; Y) rispettivamente pari alla media di tutte le coordinate X_i e Y_i dell' i -esimo evento e tenendo conto di un eventuale peso, in questo caso costituito dall'intensità dell'evento.
- ◆ misure di dispersione: la *Standard Deviation Ellipse*, ci permette invece di misurare il grado di dispersione della distribuzione rispetto ai valori del centro medio precedentemente definito, calcolato lungo le due direzioni X e Y .

Le misure di densità considerano la concentrazione di un fenomeno nello spazio e, quindi, il numero di eventi che ricade all'interno delle differenti celle di una griglia, generando diverse classi a seconda della quantità. La semplice funzione di densità prende in esame il numero di eventi per ogni elemento della griglia regolare che compone la regione di studio R , mentre la densità di Kernel (*Kernel Density Estimation*, KDE), utilizzata in questo lavoro, considera una superficie mobile a tre dimensioni, che pesa gli eventi a seconda della loro distanza dal punto dal quale viene stimata l'intensità (Gatrell et al., 1996).

La densità di Kernel è stata usata non solo per confrontare l'evoluzione del livello di danno in corrispondenza dei tre terremoti studiati, ma soprattutto per comprendere come eventualmente il danno provocato dal sisma su un singolo edificio potesse influire sul danno riscontrato su altri edifici adiacenti, per esempio ubicati su versanti ed a valle di edifici crollati parzialmente o totalmente.

I due fattori che influenzano notevolmente i risultati sono le dimensioni della griglia di riferimento e della larghezza di banda (Batty et al., 2003). La larghezza di banda consente di ottenere superfici tridimensionali più o meno corrispondenti al fenomeno, consentendo di analizzare la sua distribuzione alle diverse scale ed influenza notevolmente la superficie risultante di densità stimata. Se la larghezza di banda è elevata, la densità di Kernel si avvicina notevolmente o coincide con i valori della densità semplice se invece, è piccola, la superficie risultante tenderà a catturare singoli eventi, con densità prossime allo zero per gli elementi della griglia lontani da ogni evento.

Partendo da tali considerazioni metodologiche è stato associato a ciascun edificio danneggiato un valore di intensità che teneva conto delle condizioni sopra descritte:

- ◆ ai fabbricati presenti nel settore centrale del centro storico è stata associata una intensità uguale ad 1, indipendentemente dal livello di danno, poiché in questa zona le pendenze e i dislivelli sono molto bassi;
- ◆ ai fabbricati presenti nel settore settentrionale esterno a ridosso di una scarpata di versante molto ripida è stata attribuita intensità pari a 1 per D1, D2 e D3, intensità pari a 4 per D4 ed intensità pari a 8 per D5.

Definita l'intensità, si è scelta una giusta larghezza di banda da inserire nella funzione di Kernel, pari a 12m, mentre la cella del *grid* di *output* ha dimensione pari a 1m.

Degli scenari di danno relativi ai tre terremoti studiati (Figura 3) solo quello del 1857 ha fornito risultati significativi ai fini dell'applicazione, sia per il numero di dati trattati, sia per la loro distribuzione, che nel caso degli eventi sismici del 1826 e del 1930 risultavano scarsi, isolati e spazialmente dispersi.

L'indice di Moran (Moran, 1948) è un indicatore di autocorrelazione spaziale globale che fornisce una misura del grado di autocorrelazione della distribuzione dei dati. I valori che l'indice I può assumere appartengono all'intervallo $[-1; +1]$. Un valore di I compreso fra -1 e 0 è indice di autocorrelazione negativa, mentre un valore di I compreso fra 0 e 1 è indice di autocorrelazione positiva.

L'indice di Moran è una misura statistica di tipo globale che permette di stabilire se e quali proporzioni il fenomeno risulti



Figura 3 – Confronto tra le Kernel Density Maps ottenute per i tre terremoti storici del 1826, 1857 e 1930, da cui si evince che solo per il terremoto del 1857 il numero dei dati raccolti e la loro distribuzione sono tali da consentirne una lettura significativa.

spazialmente autocorrelato. Purtroppo questo indice non fornisce alcuna informazione riguardo alla localizzazione dei processi di interazione evidenziati dall'analisi.

La funzione di Getis & Ord (1992) nell'eventualità di una distribuzione clusterizzata, permette di individuare e localizzare i *cluster*. In particolare, questo indice misura il numero di eventi che possiedono caratteristiche omogenee e che ricadono entro una distanza d prescelta, a partire da ciascun evento della distribuzione in esame.

I risultati derivanti dalla correlazione tra il modello geologico-sismico del sottosuolo del centro storico e quelli di autocorrelazione dei dati di danno (scala EMS98) hanno permesso di definire le aree più a rischio. In particolare, dal confronto tra il dato relativo al danno degli edifici, il grado di clusterizzazione offerta da Getis e Ord ed il DEM del substrato argilloso è stato possibile valutare le relazioni che intercorrono tra il livello di danno, la componente geomorfologica e la componente geologica.

Tale risultato costituisce la base di confronto con il Piano di Protezione Civile del Comune di Potenza (2006) che, per il centro storico di Potenza, ha previsto alcune aree di attesa ed

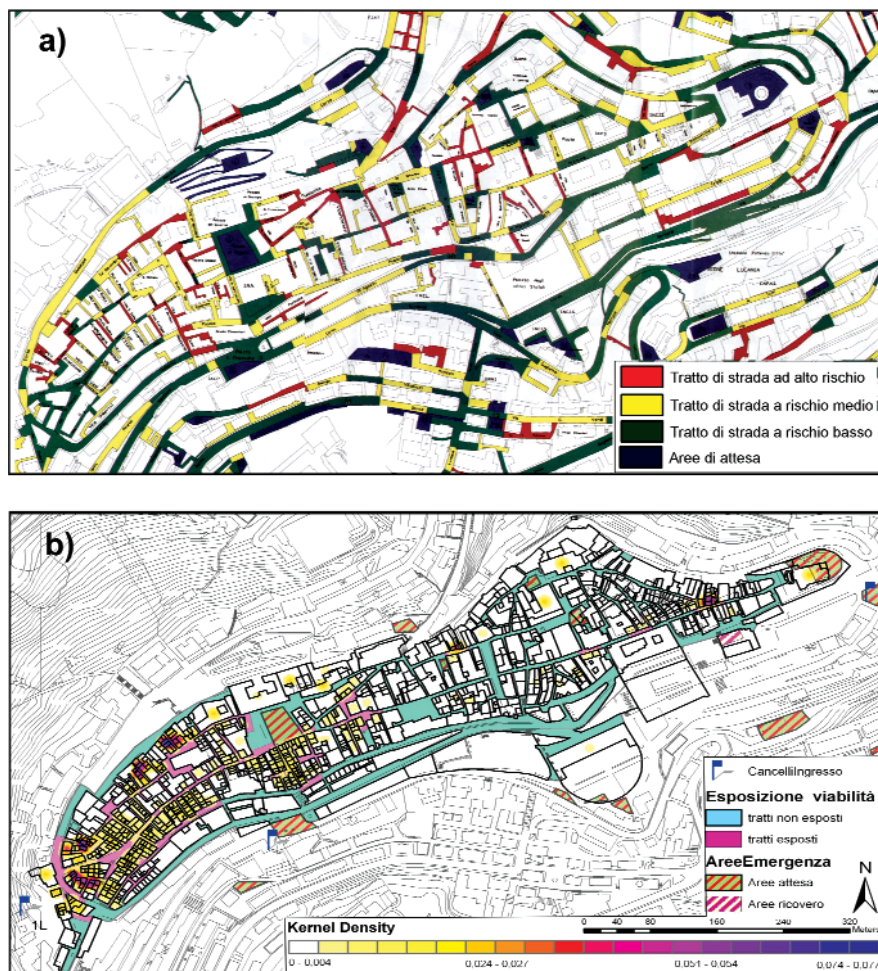


Figura 4 – Confronto tra la carta di viabilità a rischio del centro storico di Potenza in caso di sisma, prevista nel Piano di Protezione Civile del 1999 (a) ed i risultati scaturiti dall'applicazione della Kernel Density (b). In particolare, in b) si evidenzia come alcune aree di affollamento e di attesa così come alcuni settori d'ingresso per prestare soccorso ricadano in corrispondenza delle aree più danneggiate e più vulnerabili del centro storico.

ingressi per prestare soccorso e/o evacuare gli abitanti in corrispondenza delle aree a più alto rischio, dove si rileva una maggiore densità del danno sismico storico ed una maggiore concentrazione della viabilità a rischio (Figura 4).

Conclusioni

In conclusione, l'utilizzo inedito della geostatistica per l'elaborazione dei dati macrosismici storici costituisce un nuovo strumento di analisi territoriale che, nel caso specifico, ha permesso di definire le aree urbane storicamente più esposte al rischio sismico e, quindi, di porre delle utili basi conoscitive alla pianificazione dell'emergenza in caso di sisma.

La ricerca, potrebbe costituire, inoltre, una valida base di rivisitazione del Piano di Protezione Civile relativamente alla definizione delle aree di attesa e ricovero e nei punti strategici di ingresso al centro storico.

Bibliografia

- Batty M., Besussi E., Maat K., Harts J. (2003) - *Representing Multifunctional Cities: Density and Diversity in Space and Time*. Working Papers.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G., Valensise G. (1995) - *Catologo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, pp. 972.
- Gatrell A. C., Bailey T. C., Diggle P. J., Rowlingson B. S. (1996) - *Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology*. Transaction of institute of British Geographer, NS 21, pp. 256-274, Royal Geographical Society.
- Getis, A. e Ord, J. K., (1992) - *The analysis of spatial association by use of distance statistics*. Geographical Analysis, 24, pp.189-206.
- Gizzi F. T., Lazzari M., Masini N., Zotta C., (2007) - *Geological-geophysical and historical-macro seismic data implemented in a geodatabase: a GIS integrated approach for seismic microzonation. The case-study of Potenza urban area (southern Italy)*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9.
- Moran, P. (1948) - *The interpretation of statistical maps*. Journal of the Royal Statistical Society, n.10
- Murgante B., Las Casas G., Danese M., (2007) - *The periurban city: geostatistical methods for its definition*. In: Rumor M., Coors V., Fendel E. M., Zlatanova S. (Eds), Urban and Regional Data Management, Taylor and Francis, London, pp. 473-485.
- O'Sullivan, D. e Unwin, D., (2002) - *Geographic Information Analysis*, John Wiley & Sons.
- Tobler, W. R., (1970) - *A Computer Model Simulating Urban Growth in the Detroit Region*. Economic Geography, 46, pp. 234-240.

Autori

MAURIZIO LAZZARI
CNR-IBAM (Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali),
C/da S. Loia Zona industriale Tito Scalo (PZ), tel.
0971/427326 fax 0971/427323
m.lazzari@ibam.cnr.it

MARIA DANESE
CNR-IBAM (Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali)
C/da S. Loia Zona industriale Tito Scalo (PZ),
L.I.S.U.T. - D.A.P.I.T. - Facoltà di Ingegneria, Università
degli Studi della Basilicata.
m.danese@ibam.cnr.it

BENIAMINO MURGANTE
L.I.S.U.T. - D.A.P.I.T. - Facoltà di Ingegneria, Università
degli Studi della Basilicata, Viale dell'Ateneo Lucano
Potenza_murgante@unibas.it