

Terremoti probabili in Italia tra il 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico

Coordinatori: A. Amato e G. Selvaggi

Task 3.4: Mappe di pericolosità “time-dependent” - Analisi di nuovi modelli stocastici per la valutazione della pericolosità (CNR-IMATI, Milano, resp. R. Rotondi)

Obiettivo specifico di questa unità di ricerca è stata l'analisi di nuovi modelli stocastici che forniscano probabilità non stazionarie di accadimento di un evento in un assegnato intervallo spazio-tempo-magnitudo, cioè valutazioni della pericolosità cosiddette “time-dependent”. Questa dipendenza può variare dall'ordine più basso – dipendenza dall'ultimo evento – a quello più elevato – dipendenza dall'intera storia sismica dell'area in esame. Due classi di modelli stocastici possono corrispondere a questi casi estremi: a) i processi di rinnovo, e b) i modelli di rilascio di sforzo; conseguentemente le ricerche svolte in questi anni sono state condotte parallelamente sui due argomenti. In accordo al tema generale del progetto abbiamo focalizzato la nostra attenzione sulla previsione a medio-lungo termine considerando eventi in grado di causare forti danni, cioè eventi di magnitudo non inferiore a 5.0.

Nel primo anno del progetto abbiamo applicato alcuni modelli presenti in letteratura ad aree campione; questa analisi esplorativa ha messo in luce alcuni punti critici dovuti alle particolari caratteristiche del problema in esame, come, ad esempio, la multimodalità della distribuzione di probabilità del tempo tra eventi successivi (intertempo), o l'instabilità delle stime basate su insiemi di dati scarsi.

Nel secondo anno abbiamo tentato di risolvere questi problemi ricorrendo a metodologie statistiche più potenti, non standard; rispettivamente a) abbiamo generalizzato l'approccio al processo di rinnovo considerando la distribuzione di probabilità dell'intertempo $F(\cdot)$ come una misura casuale a sua volta distribuita secondo un processo stocastico – mistura di alberi di Polya - nel contesto bayesiano non parametrico, e b) abbiamo analizzato diverse versioni del modello di rilascio di sforzo (SRM), ciascuna delle quali associata a una possibile interpretazione del processo fisico che agisce nella regione in esame. Nella versione di base, chiamata semplice SRM, si assume che un unico processo fisico agisca in tale regione, mentre nel modello cosiddetto indipendente si ipotizza che un diverso processo, con diverso tasso di caricamento, sia presente in ciascuna delle sotto-regioni o zone sismogenetiche che compongono la regione esaminata; infine il modello *linked* prende in esame la possibilità che le varie zone interagiscano positivamente o negativamente.

Nell'ultimo anno abbiamo migliorato le procedure per la stima basate principalmente sulla classe di metodi introdotta negli anni '90 nella letteratura statistica, i cosiddetti metodi *Monte Carlo Markov chain*, metodi Monte Carlo basati sulla simulazione di catene di Markov. Inoltre abbiamo esteso ad ogni zona sismogenetica del territorio nazionale la stima della probabilità che il prossimo evento accada nell'intervallo di tempo $(t - t_e)$, dato il tempo trascorso dalla data t_0 di accadimento dell'ultimo evento alla fine t_e del catalogo:

$$[F(t - t_0) - F(t_e - t_0)] / [1 - F(t_e - t_0)]$$

dove F indica la stima della distribuzione di probabilità casuale, ottenuta attraverso il metodo bayesiano non parametrico indicato in precedenza.

E' possibile in questo modo produrre mappe di pericolosità "time-dependent" per diversi orizzonti previsivi.

Prodotti conseguiti

Illustriamo brevemente i principali risultati ottenuti nell'ambito della valutazione della pericolosità dipendente dal tempo. Il primo passo nella direzione dell'abbandono dell'ipotesi poco realistica di stazionarietà del rischio sismico porta ad assumere la dipendenza dal tempo trascorso dall'ultimo evento, cioè ad applicare processi di rinnovo il cui elemento principale è la distribuzione di probabilità F del tempo tra eventi successivi. Un'analisi esplorativa mostra che la distribuzione di probabilità empirica per questo tipo di dati è in genere multimodale e quindi non va cercata tra quelle standard. Al fine di rendere l'analisi flessibile quanto più possibile abbiamo seguito un metodo di inferenza non parametrica assumendo che la distribuzione da stimare $F(\cdot)$ sia una distribuzione casuale e che segua un processo stocastico detto albero di Polya. Le informazioni possedute a priori non vengono perse, come in altri approcci non parametrici, bensì vengono utilizzate nell'assegnazione del valore atteso a priori della distribuzione casuale $F(\cdot)$, uno dei parametri dell'albero di Polya. In tal modo abbiamo stimato tre distinte distribuzioni del tempo tra eventi successivi rispettivamente per l'Italia settentrionale, centrale e meridionale. In funzione di tali distribuzioni abbiamo calcolato la probabilità di accadimento del prossimo evento in diversi intervalli di tempo. La rappresentazione grafica di tale probabilità nel particolare intervallo 1993-2004 è data in Fig. 1.

In aree campione, quali l'arco calabro e la regione del Sannio-Matese-Ofanto-Irpinia, abbiamo testato l'applicabilità di nuovi modelli stocastici; in particolare abbiamo analizzato alcuni modelli self-correcting o modelli di rilascio di sforzo. Si tratta di processi di punto la cui funzione intensità $\lambda(t)$ - probabilità istantanea di accadimento - dipende dallo stress presente nella regione al tempo t , dato da quello accumulato meno quello rilasciato da ogni evento accaduto fino a quell'istante. In questi processi la probabilità di accadimento è quindi influenzata non solo dall'ultimo evento accaduto nella regione, ma dall'intera storia sismica. La Fig. 2 mette a confronto la variazione temporale del rischio sismico valutato attraverso alcuni modelli di rilascio di sforzo con il valore costante del rischio secondo il modello di Poisson. I modelli sono confrontati sulla base del criterio di Akaike e della massima verosimiglianza; per entrambi i criteri i modelli di rilascio di sforzo sono in questo caso da preferire al modello stazionario.

Vogliamo inoltre sottolineare che col modello di rilascio di sforzo *linked* è anche possibile stimare eventuali interazioni, in termini di trasferimento di stress, tra zone componenti la regione in esame.

Conclusione

I risultati principali ottenuti sono a) mappe di pericolosità per il territorio nazionale dipendenti dal tempo trascorso dall'ultimo evento e b) valutazioni del rischio sismico in aree campione basate su modelli stocastici recentemente proposti in letteratura e attualmente all'esame della comunità scientifica internazionale (BSSA 90, 4 (2000), Pageoph. 157 (2000), G.J.I. 154 (2003)).

Gli strumenti metodologici adottati sono assolutamente innovativi sia in termini di modelli sia in termini di metodi per l'inferenza statistica.

Futuri sviluppi della ricerca potranno riguardare l'esame della sensibilità dei risultati ottenuti alla scelta dei parametri, l'individuazione di opportuni criteri di validazione e l'applicazione più estesa dei modelli di rilascio di sforzo.

Produzione scientifica

Pubblicazioni su riviste internazionali

1. Rotondi R. e Varini E. "Bayesian analysis of a marked point process: Application in seismic hazard assessment", *Statistical Methods & Applications*, 12, 2003, 79-92.

Rotondi R. e Garavaglia E. "Statistical analysis of the completeness of a seismic catalogue", *Natural Hazards*, 25, 3, 2002, 245-258.

Pubblicazioni in atti di convegni

3. Rotondi R. e Varini E. "Valutazione della pericolosità sismica nella regione Sannio-Matese-Ofanto-Irpinia attraverso modelli di rilascio di sforzo", in *Proc. XI Convegno Nazionale dell'Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica (ANIDIS) "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Genova 25-29 gennaio 2004, pp. 8.

4. Rotondi R. e Varini E. "Bayesian analysis of linked stress release models", in *Atti del Convegno S.Co.2003: "Modelli Complessi e Metodi Computazionali Intensivi per la Stima e la Previsione"*, Treviso, 4-6 settembre 2003, pp. 356-361.

5. Seri R. e Rotondi R. "Nonparametric Bayesian estimation of probability density functions", in *Atti del Convegno S.Co.2003: "Modelli Complessi e Metodi Computazionali Intensivi per la Stima e la Previsione"*, Treviso, 4-6 settembre 2003, pp. 386-391.

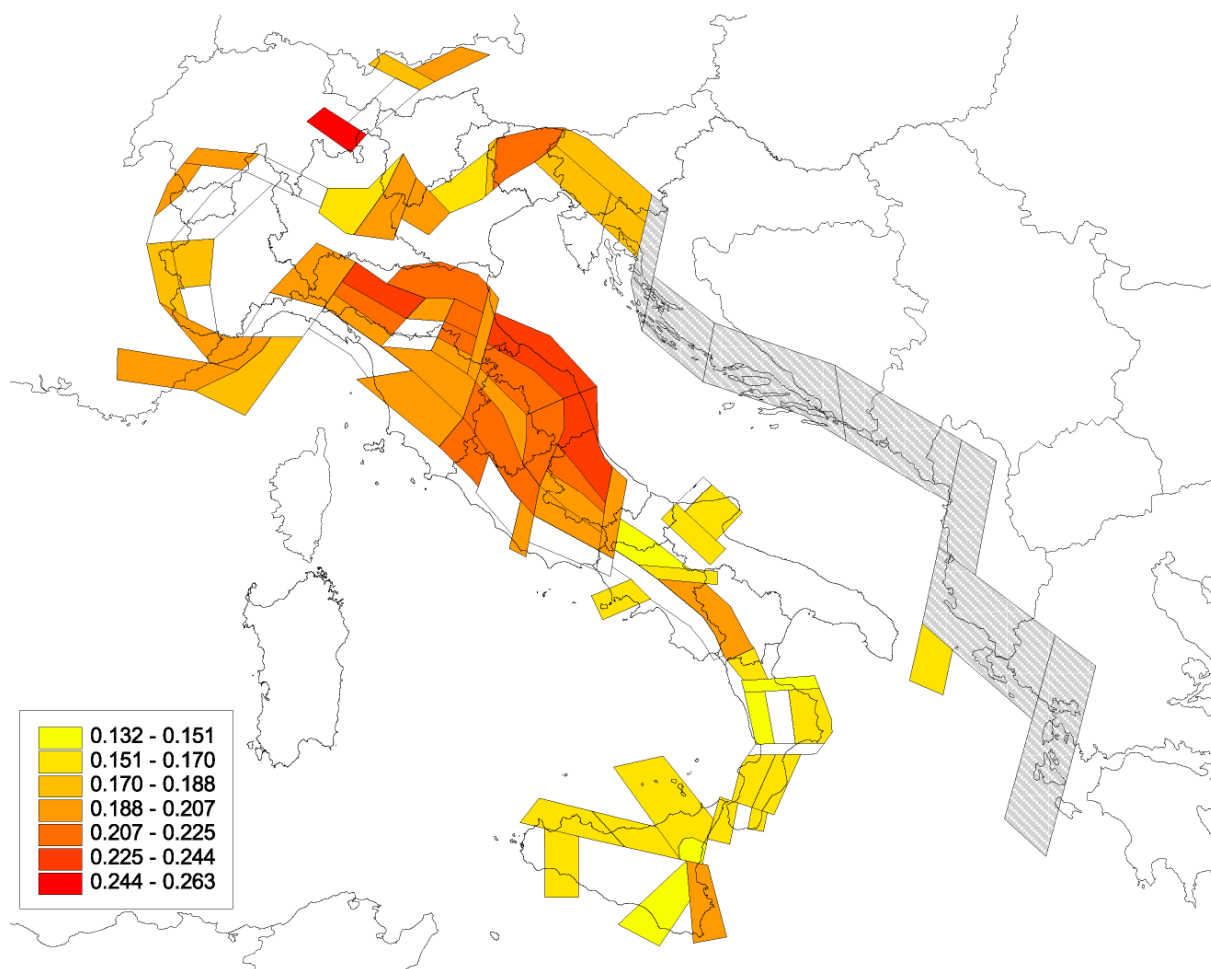


Fig. 1 – Probabilità che accada un evento di magnitudo ≥ 5.0 nel periodo 1993-2004, cioè che accada entro il 2004 sapendo che non è accaduto fino al 1992 (dati da catalogo CPTI)

	AIC	maxlglik
Semplice SRM	280.60	-135.30
Indipendente SRM	271.15	-126.56
Linked SRM	275.11	-124.55
Modello Poisson	281.72	-137.86

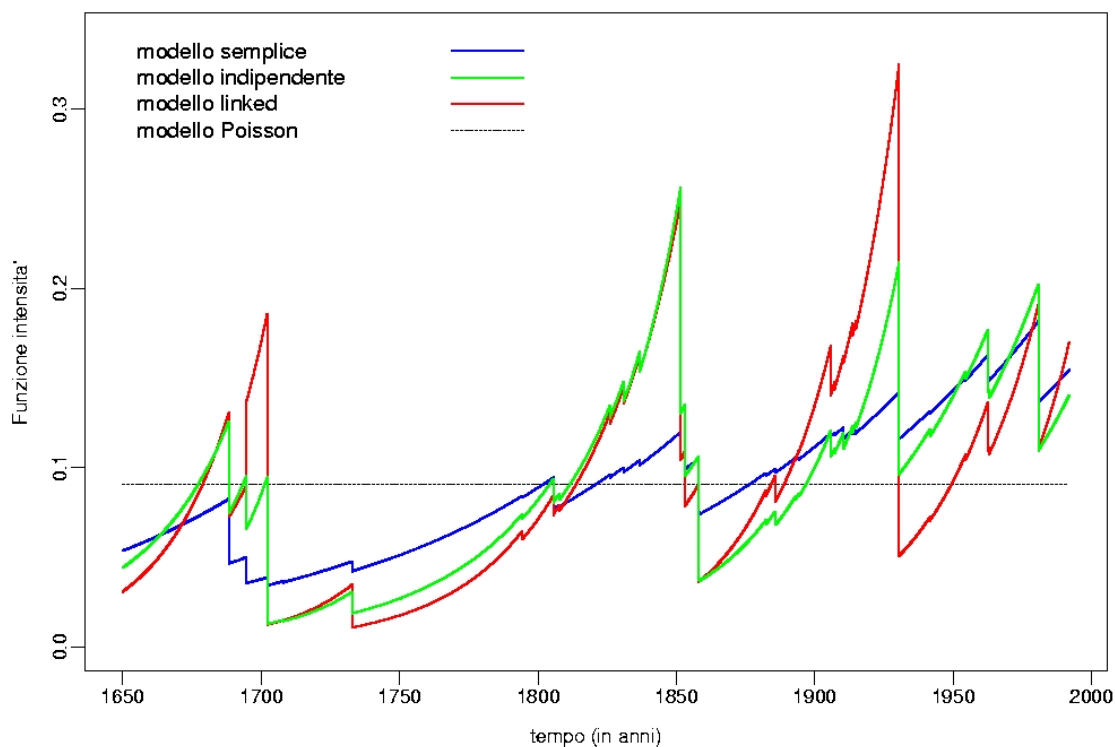
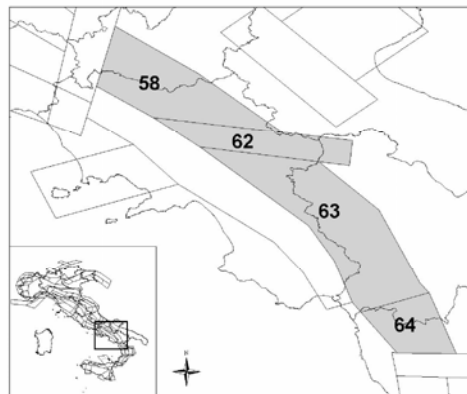


Fig. 2 - Sannio-Matese-Ofanto-Irpinia - Probabilità istantanea di accadimento calcolata per i modelli di rilascio di sforzo – semplice, indipendente e *linked* - e per il modello di Poisson. La Tabella con i valori del criterio di Akaike (AIC) e della massima verosimiglianza indica che il miglior modello è dato in entrambi i casi da un modello di rilascio di sforzo, in particolare il modello indipendente secondo l'AIC e il modello *linked* secondo la massima verosimiglianza.