

ZONE SISMOGENETICHE E PREVISIONE A MEDIO TERMINE DEI TERREMOTI IN ITALIA*

G.F. Panza^(1,2) - A. Peresan⁽¹⁾ - G. Costa^(1,2)

⁽¹⁾Dip.to di Scienze della Terra, Università di Trieste, Trieste

⁽²⁾International Centre for Theoretical Physics, SAND Group, ICTP, Trieste

ABSTRACT - *Seismogenic zones and earthquake mid-term prediction in Italy* - Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 10(2), 1997, 281-284 - The application of CN algorithm in earthquake predictions requires the preliminary choice of the zones (regions) in which strong earthquakes are expected to occur. Due to the very complex geodynamic setting of Italy, regions have been defined on the basis of seismotectonic zones as proposed by the National Group for the Defense against Earthquakes (GNDT) of the National Research Council of Italy. Three regions, approximately corresponding to northern, central and southern Italy, have been defined, each region being composed of homogeneous seismotectonic zones and transitional zones between them. This zonation appears adequate in that it confirms the seismotectonic model of the Italian peninsula and allows us to reduce the predictions space-time uncertainty.

Parole chiave: Modello sismotettonico; previsione; Italia
Key words: Seismotectonic model; prediction; Italy

1. LA REGIONALIZZAZIONE

L'algoritmo CN consente di indicare, a partire dall'analisi della sismicità, i periodi in cui risulta aumentata, rispetto alle condizioni normali, la probabilità che si verifichi un terremoto di magnitudo maggiore o uguale ad una data soglia M_0 (TIP = *Time of Increased Probability*); una descrizione dettagliata dell'algoritmo è fornita da Gabrielov *et al.* (1986) e da Keilis-Borok & Rotwain (1990). Grazie alla normalizzazione delle funzioni utilizzate, il CN può essere applicato a regioni con caratteristiche diverse senza alcun adattamento dei parametri, fornendo globalmente i seguenti risultati: circa l'80% dei terremoti con $M \geq M_0$ risulta previsto, con allarmi che coprono approssimativamente il 30% del tempo totale.

E' stato dimostrato da Costa *et al.* (1995) che la definizione delle regioni sismiche condiziona i risultati delle previsioni; in particolare si osserva che una corretta regionalizzazione, supportata da evidenze sismologiche e tettoniche, oltre a ridurre la durata degli allarmi ed i fallimenti di previsione, aumenta la stabilità dell'algoritmo. Si ritiene, di conseguenza, che l'algoritmo CN possa essere utilizzato anche allo scopo di verificare la validità di una data zonazione.

Poichè la penisola italiana, così come tutta l'area mediterranea, è caratterizzata da una situazione geodinamica assai complessa, che si manifesta nella coesistenza di strutture sismogenetiche frammentate e di natura molto diversa, risulta naturale sperimentare un nuovo criterio per la definizione delle regioni per l'applicazione dell'algoritmo CN, decidendo di seguire il più possibile la zonazione sismotettonica nella versione pro-

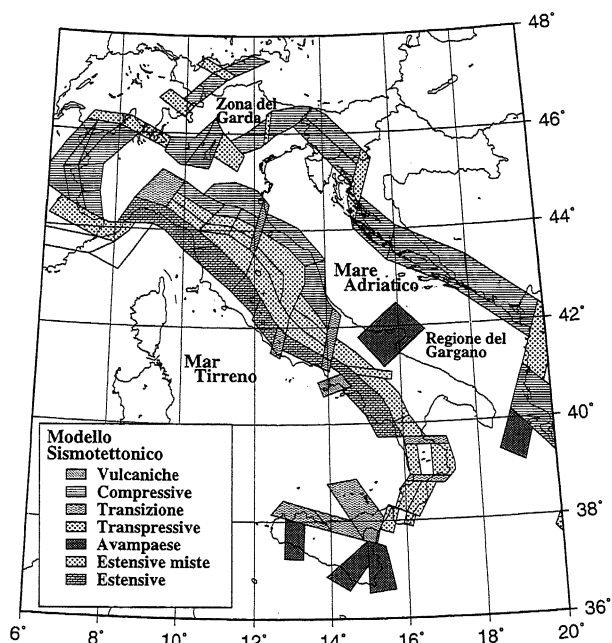


Fig. 1 - Zonazione sismotettonica proposta dal GNDT nel 1994, nella versione rivista e corretta della zonazione preliminare indicata da Scandone *et al.* (1990).

*Seismotectonic zonation proposed by GNDT in 1994, modified from the preliminary zonation by Scandone *et al.* (1990).*

posta dal GNDT nel 1994 (Fig. 1), ottenuta in seguito alla revisione della zonazione preliminare indicata da Scandone *et al.* (1990). Nel fare ciò, si deve tenere presente che l'area all'interno della quale un forte terremoto può essere previsto, deve sì essere più piccola possibile, ma

(*) Relazione ad invito - *Invited paper*

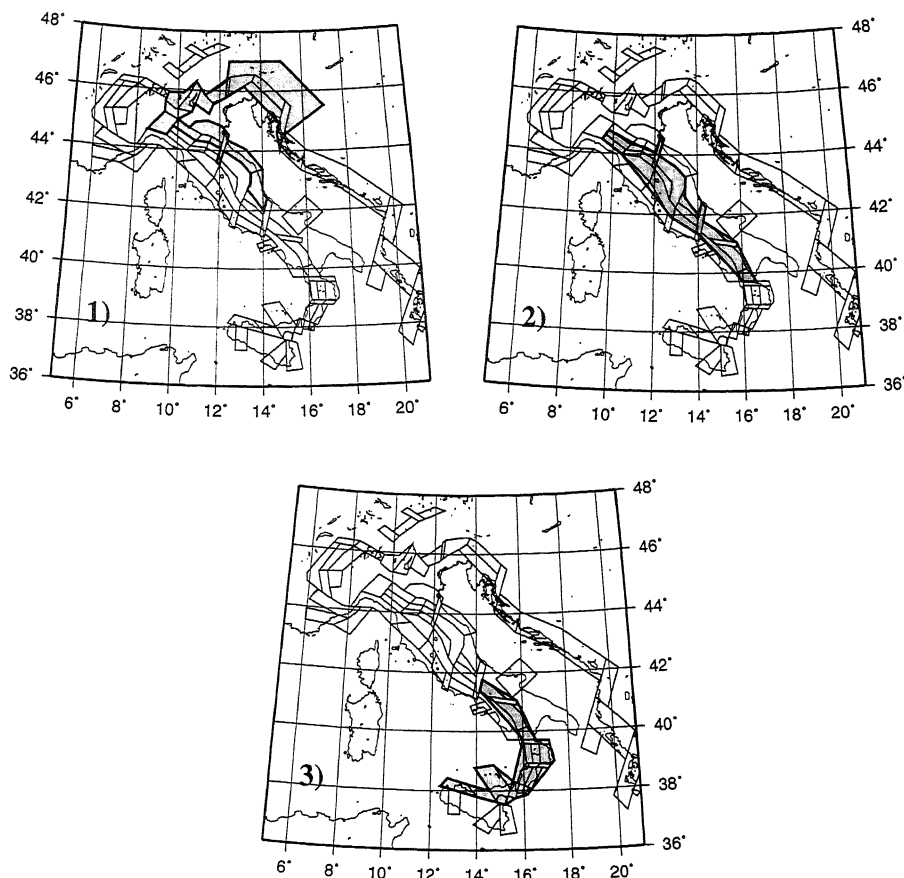


Fig. 2 - Regionalizzazione del territorio italiano, definita per l'applicazione dell'algoritmo CN. 1) Regione Settentrionale; 2) Regione Centrale; 3) Regione Meridionale.

Zonation of the Italian territory, defined for the application of CN algorithm. 1) Northern region; 2) Central Region; 3) Southern Region.

2. ITALIA SETTENTRIONALE

L'Italia settentrionale è caratterizzata dalla presenza di una struttura principale, l'arco Alpino, lungo la quale la maggior parte dei meccanismi focali è di tipo compressivo o transpressivo (Fig. 1). La presenza dei confini politici in quest'area introduce due ulteriori problemi nell'applicazione dell'algoritmo: innanzitutto il problema dell'incompletezza del catalogo nazionale al di fuori del territorio italiano, che viene risolto integrando i dati

con le informazioni contenute nei cataloghi NEIC ed ALPOR, ed il problema connesso all'assenza di una zonazione analoga a quella del GNDT per le nazioni confinanti, quali Austria, Slovenia e Croazia.

La scelta della regione Settentrionale si basa su una serie di esperimenti di regionalizzazione descritti qui di seguito (i risultati sono considerati soddisfacenti solamente se non vi sono fallimenti di previsione nell'analisi retrospettiva). Una prima regione viene definita considerando l'intera fascia compressiva-transpressiva lungo l'arco Alpino, dalla penisola istriana alla Liguria. Questa prova dà risultati insoddisfacenti, molto probabilmente a causa della minore completezza del catalogo (Molchan

deve pure contenere un numero annuale di terremoti, con magnitudo superiore alla soglia di completezza del catalogo, non inferiore a 3. Inoltre, per poter considerare le correlazioni a lungo raggio, è essenziale che l'area abbia dimensioni dell'ordine di 5 o 10 volte la lunghezza $L(M)$ della sorgente, ove M è la magnitudo delle sorgenti attese. Questo indica che le singole zone sismotettoniche non possono essere prese individualmente e pertanto le regioni risulteranno composte da zone di una certa natura abbinata, al più, alle zone di svincolo ad esse fraposte. In questo modo, per l'Italia vengono definite tre regioni, corrispondenti al nord, centro e sud della penisola (Fig. 2).

Tabella 1 - Risultati ottenuti applicando l'algoritmo CN alle nuove regioni definite per il territorio italiano e rappresentate in Fig. 2. Il catalogo utilizzato è il CCI1996 (Peresan, 1996), aggiornato al Marzo 1996.

Results obtained by applying CN algorithm to the regions defined for the Italian territory and shown in Fig. 2, using the CCI1996 catalogue (Peresan, 1996) updated to March, 1996.

Regione	Periodo di tempo	Mo	Totali	Eventi Previsti	Non previsti	TIP %	Falsi allarmi
Nord	1950-1995	5.4	2	2	0	20.5	2
Centro	1950-1996	5.6	3	3	0	21.0	2
Sud	1950-1996	5.6	4	4	0	31.8	3

et al., 1995) e ad una attività sismica ridotta, associata ad un tasso di deformazione quasi quasi dimezzato, nelle Alpi occidentali rispetto a quelle orientali (Ward, 1994). La seconda regione include solo le zone a partire dal Garda e verso est, più una porzione dell'Austria, Slovenia e Croazia, delimitata sulla base della sismicità. In tal modo è stato possibile osservare che gli eventi contenuti in una zona appena ad ovest del Garda, soggetta peraltro a modifiche nella revisione del modello sismotettonico, risultano critici ai fini della previsione, rivelando una certa instabilità rispetto a tale area.

Un'ulteriore analisi di tale instabilità, ci porta ad estendere questa regione all'intera fascia compressiva che si snoda lungo l'Adriatico, dalla linea Ortona-Roccamonfina fino alla pianura Padana, includendo pure la zona di transizione all'estremità dell'Appennino Settentrionale (Fig. 2). In tal modo l'instabilità scompare ed i risultati sono soddisfacenti, ossia entrambi gli eventi di magnitudo $M \geq M_0$ vengono previsti con il 20.5% di allarme complessivo e 2 falsi allarmi (Tab.1 e Fig. 3), mentre l'incertezza spazio-temporale è significativamente ridotta rispetto alla regionalizzazione precedente (Costa et al., 1996). La nuova regionalizzazione (Fig. 2) appare compatibile con il modello cinematico di rotazione e subduzione della microplacca adriatica (Anderson & Jackson, 1987) e supporta l'ipotesi di un possibile legame fra i terremoti che avvengono nella fascia compressiva che marca la zona di subduzione sotto le Alpi meridionali e gli Appennini settentrionali.

3. ITALIA CENTRALE

La parte centrale della penisola italiana, lungo tutto l'Appennino e giù fino all'arco Calabro, è caratterizzata

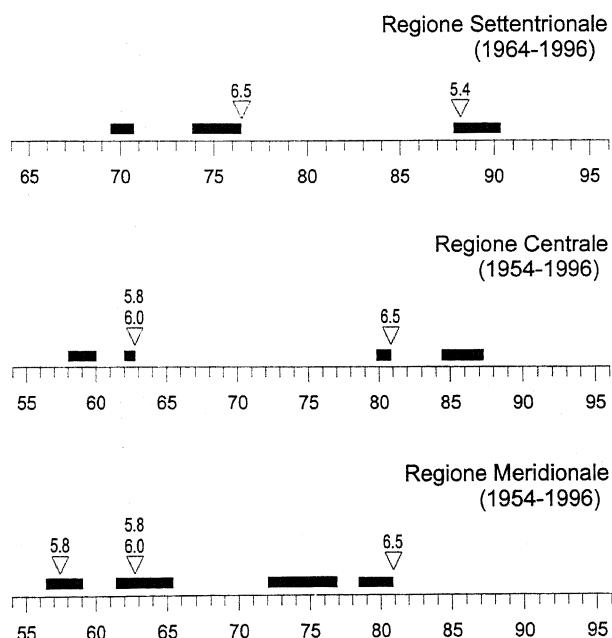


Fig. 3 - Rappresentazione grafica delle distribuzioni temporali dei TIP relative ai risultati riportati in Tab. 1 ed ottenute rispettivamente per l'Italia Settentrionale, Centrale e Meridionale.

TIP diagrams from data in Table 1 for Northern, Central and Southern Italy, respectively.

dalla presenza di una fascia sismotettonica con caratteristiche tensivo. La nuova regione include solamente questa fascia centrale, trascurando sia il margine compressivo adriatico, già annesso alla regione settentrionale, che la fascia tirrenica, per la sua scarsa sismicità. A supporto di questa scelta si può considerare il modello proposto da Meletti et al. (1995) per la struttura profonda dell'Appennino Settentrionale, secondo il quale il fronte della compressione appenninica sarebbe direttamente connesso al cuneo astenosferico corrispondente al margine tirrenico. Come già fatto in precedenza (Costa et al., 1995), si esclude anche l'area di avampaese del Gargano (Fig. 2). I risultati ottenuti seguendo la zonazione sismotettonica sono soddisfacenti anche in questo caso, poichè consentono una riduzione degli allarmi e dell'incertezza temporale; infatti i 3 eventi con $M \geq M_0 = 5.6$ vengono identificati con il 21% di TIP e senza alcun fallimento di previsione (Tab. 1 e Fig. 3). Nei risultati ottenuti con le diverse regionalizzazioni (Keilis-Borok et al., 1990; Costa et al., 1995; 1996) è stato osservato il persistere di un falso allarme nel periodo compreso tra il 1984 ed il 1988, che potrebbe essere associato ad un terremoto silenzioso, ossia ad un rilascio di energia per lenta deformazione (*creep*), sebbene si tratti di un'ipotesi tuttora da verificare.

L'algoritmo CN, infatti, utilizza solamente le informazioni contenute nei cataloghi di terremoti, poichè sono quelle disponibili con maggiore completezza e continuità, tuttavia esistono molti altri dati che potrebbero venire utilizzati in sinergia per migliorare le previsioni a medio-termine dei terremoti. E' stato osservato infine che la fascia tensiva che percorre l'intera penisola non può essere divisa nel senso della lunghezza, in corrispondenza della discontinuità lungo la linea Ortona-Roccamonfina, poichè i precursori del terremoto dell'Irpinia condizionano la sismicità di tutta quest'area.

4. ITALIA MERIDIONALE

L'estremità della penisola italiana, unitamente alla Sicilia, presenta una situazione sismotettonica connessa allo sprofondamento della piastra adriatico-ionica nell'arco appenninico meridionale. Il modello cinematico di tale regione indica una possibile correlazione fra gli eventi distribuiti lungo un arco che parte dalla linea Ortona-Roccamonfina ed arriva fino all'estremità occidentale della Sicilia.

Nell'Italia meridionale è particolarmente evidente il ruolo critico delle zone di avampaese, infatti introdurre nell'analisi queste aree rende le previsioni instabili o del tutto insoddisfacenti (Costa et al., 1996; Peresan, 1996). Escludendo invece tali zone (Fig. 2), sia nel Gargano che in Sicilia, diventa possibile applicare l'algoritmo secondo la procedura ed i parametri standard, ottenendo previsioni adeguate con una notevole riduzione dell'incertezza spaziale e degli allarmi. Infatti si hanno 4 eventi con $M \geq M_0 = 5.6$ ed essi vengono previsti, nell'analisi retrospettiva, con TIP che coprono il 31.8% del tempo totale e 3 falsi allarmi (Tab. 1; Fig. 3). I risultati ottenuti indicano dunque come adeguato il criterio seguito per la definizione delle regioni, confermando la validità del modello sismotettonico.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Prof. V.I. Keilis-Borok, il Prof. P. Scandone ed il Dott. C. Meletti per le proficue discussioni e le utili indicazioni. Questa ricerca è stata condotta nell'ambito del progetto 414 UNESCO-IGCP ed è stata resa possibile grazie al supporto finanziario del MURST (fondi 40% e 60%) e del CNR (contratti n° 95.00608.PF54 e n° 96.02968.PF54).



*Realistic Modelling of Seismic Input
for Megacities and Large Urban Areas (project 414)*

BIBLIOGRAFIA

- ALPOR, 1987 - *Catalogue of the Eastern Alps*. Osservatorio Geofisico Sperimentale, Trieste, Italia.
- Anderson H. & J. Jackson, 1987 - *Active tectonics in the Adriatic region*. Geophys. J. R. Astr. Soc., **91**, 937-983.
- Bella F., R. Bella, P.F. Biagi, G. Della Monica, A. Ermini & V. Sgrigna, 1987 - *Tilt measurements and seismicity in Central Italy over a period of approximately three years*. Tectonophysics, **139**, 333-338.
- Costa G., G.F. Panza & I.M. Rotwain, 1995 - *Stability of premonitory seismicity pattern and intermediate-term earthquake prediction in central Italy*. Pageoph, **145**(2), 259-275.
- Costa G., I.O. Stanishkova, G.F. Panza & I.M. Rotwain, 1996 - *Seismotectonic models and CN algorithm: the case of Italy*. Pageoph, **147**(1), 1-12.
- Gabrielov A.M., O.E. Dmitrieva, V.I. Keilis-Borok, V.G. Kosobokov, I.V. Kutznetsov, T.A. Levshina, K.M. Mirzoev, G.M. Molchan, S.Kh. Negmatullaev, V.F. Pisarenko, A.G. Prozorov, W. Rinheart, I.M. Rotwain, P.N. Shelbalin, M.G. Shnirman & S.Yu. Schreider, 1986 - *Algorithms of long-term earthquakes' prediction*. Intern. School for Research Oriented to Earthquake Prediction-algorithms, Software and Data Handling (Lima, Perù, 1986).
- Keilis-Borok V.I. & I.M. Rotwain, 1990 - *Diagnosis of time of increased probability of strong earthquakes in different regions of the world: algorithm CN*. Phys. Earth Planet. Inter., **61**, 57-72.
- Meletti C., E. Patacca & P. Scandone, 1995 - *Il sistema compressione-distensione in Appennino*. In: G. Bonardi, B. De Vivo, P. Gasperini, A. Vallario (Eds.): *Cinquanta anni di attività didattica e scientifica del Prof. Felice Ippolito*. Ed. Liguori, Napoli, 361-370.
- Molchan G.M., T.L. Kronrod & O.E. Dmitrieva, 1995 - *Statistical parameters of main shocks and after-shocks in the Italian region*. Geophys. J. Int., **190**, 501-516.
- NEIC, National Earthquake Information Center, Italy. U.S.G.S. Denver, USA.
- Panza G.F., G. Calcagnile, P. Scandone & S. Mueller, 1980 - *Struttura profonda dell'area mediterranea*. Le Scienze, **24**, 60-69.
- Peresan A., 1996 - *Previsione a medio termine dei terremoti in Italia*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Trieste (Rel.: Prof. G.F. Panza).
- Scandone P., E. Patacca, C. Meletti, M. Bellatalla, N. Perilli & U. Santini, 1990 - *Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana*. Atti, Convegno GNDT 1990, **1**, 119-135.
- Ward S.N., 1994 - *Constraints on the seismotectonics of the Central Mediterranean from Very Long Baseline Interferometry*. Geophys. J. Int., **117**, 441-452.

Testo definitivo ricevuto il: 2.10.1997

Final text received: Oct. 2, 1997