

Analisi dei tempi medi di ritorno dedotti dai tassi di sismicità

A. Rebez

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste (e-mail: rebez@ogs.trieste.it)

Introduzione

Un'informazione che possiamo utilizzare e che risulta essere pronta e disponibile per ogni zona sismogenetica studiata nel progetto di Pericolosità Sismica del GNDT PS4 (Slejko et al. 1998) basato sul Catalogo NT4 (Camassi e Stucchi, 1996) è quella dedotta dai tassi di sismicità. Essi altro non sono che una stima media (numero) di quanti terremoti di una certa classe di magnitudo accadono in quella zona in un prefissato periodo di tempo. Questo numero quindi può essere interpretato anche come un periodo medio di ritorno del terremoto di quella classe.

Il presente lavoro è basato sulle analisi che sono state condotte utilizzando il tempo medio di ritorno (TMR) come stimatore della ripetitività del fenomeno sismico. Una delle assunzioni di base dell'approccio di Cornell (1968), dal quale i tassi di sismicità sono tratti, è che il processo sismico sia "stazionario". La finalità principale delle analisi condotte è quella di controllare il comportamento della sismicità all'interno delle zone sismotettoniche e di capire se alcune zone obbediscono effettivamente ad un rilascio di energia che possa essere ricondotto ad un processo in qualche maniera "periodico", o invece essere caratterizzate da terremoti che non sembrano obbedire a delle leggi di ricorrenza.

Parallelamente questa analisi può mostrare anche i limiti e le incertezze delle ipotesi di completezza adottate nel progetto Pericolosità Sismica del GNDT PS4 (carta di hazard 1996 in Slejko et al. 1998) e in qualche maniera ne suggeriscono anche il superamento.

1 Metodologia

L'analisi qui proposta si ispira, con sostanziali differenze, a quanto presentato da Peruzza (1998) partendo dalle stime di pericolosità sismica in intensità macrosismica (PS4). In Figura 1 sono plottati per i comuni italiani i valori in percentuale del rapporto tra tempo trascorso e tempo medio di ritorno atteso per la classe di intensità VII. Il tempo trascorso, in questo caso, è il tempo che va dall'ultimo superamento della soglia di intensità analizzata fino al momento dell'analisi (1998). Questo tempo viene calcolato per ogni comune, analizzando le storie sismiche sintetiche generate a partire dal catalogo dei terremoti (fino al 1980) e applicando le leggi di attenuazione in intensità. Il tempo medio di ritorno invece è la stima derivata dall'approccio di Cornell e si riferisce quindi alla modellazione della sismicità in termini di sorgenti omogenee e stazionarie. I terremoti indicati in grigio sono quelli accaduti dopo il 1980 e costituiscono quindi una forma di validazione intuitiva sulle capacità previsionali del metodo.

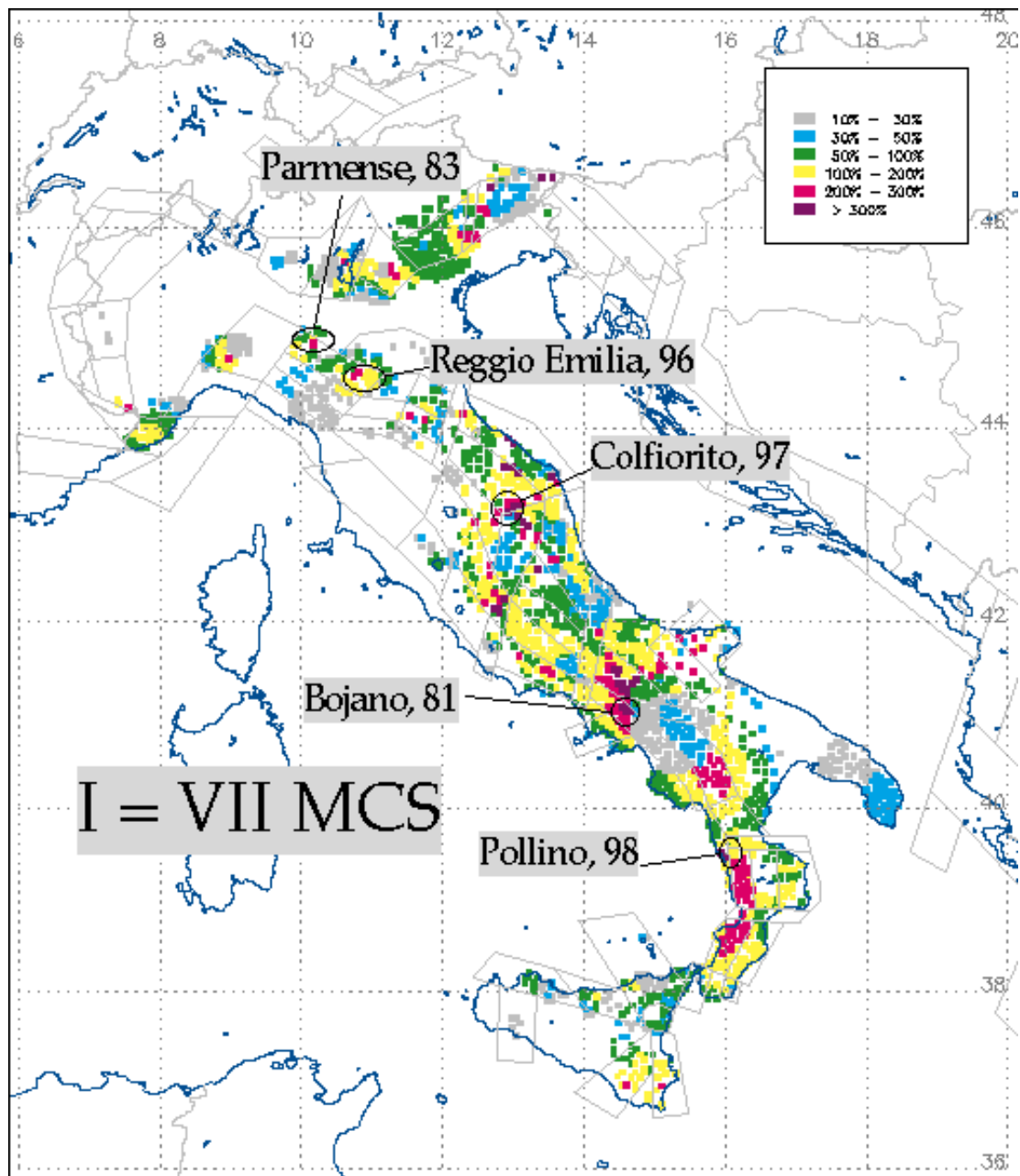


Fig. 1 - Rapporto in percentuale tra tempo trascorso dall'ultimo superamento e tempo medio di ritorno atteso per la classe di intensità VII, tratto da Peruzza (1998).

L'approccio seguito nel presente lavoro è invece diverso poiché si basa esclusivamente sui tassi di sismicità questa volta in magnitudo adottati nel progetto PS4 e non ha alcuna relazione con le assunzioni insite nel metodo di Cornell. In questo caso poiché le analisi si basano esclusivamente sui tassi di sismicità l'unità di analisi risulta essere la singola zona sismogenetica. Per ogni zona viene calcolato il tempo medio di ritorno

(TMR) calcolandolo per varie classi di magnitudo. Le analisi sono state condotte considerando i tassi di sismicità e quindi anche i TMR a partire da una certa classe di magnitudo in su (es. $M_s \geq 4.9$). E il TMR viene esaminato, nel tempo, a partire dall'ultimo evento appartenente alla stessa classe di magnitudo

2 Analisi al 1980

L'ottica di questa prova è di usare le informazioni sismologiche disponibili fino al 1980 (come se fossimo nel 1980 - tempo iniziale di osservazione $T_s=1980$). Infatti sono stati adottati i tassi di sismicità calcolati per il progetto PS4 (catalogo dal 1000 al 1980) appoggiandosi alle relative stime di completezza (Albarello et al. 1995). La sismicità del periodo 1981-1992 (dopo il T_s) è stata utilizzata invece solo come riprova della validità dei TMR calcolati nelle zone. È chiaro che il periodo di osservazione post 1980 è abbastanza breve per tentare di validare il metodo e potrebbe anche essere fuorviante dare troppa importanza a questo test. Questa prova è stata eseguita per le classi di magnitudo minori $M_s \geq 4.9$ e $M_s \geq 5.2$ perché la sismicità del per periodo posteriore al 1980 è stata, per fortuna, modesta e nel catalogo (NT_1981-1992) ci sono solo terremoti di magnitudo medio bassa.

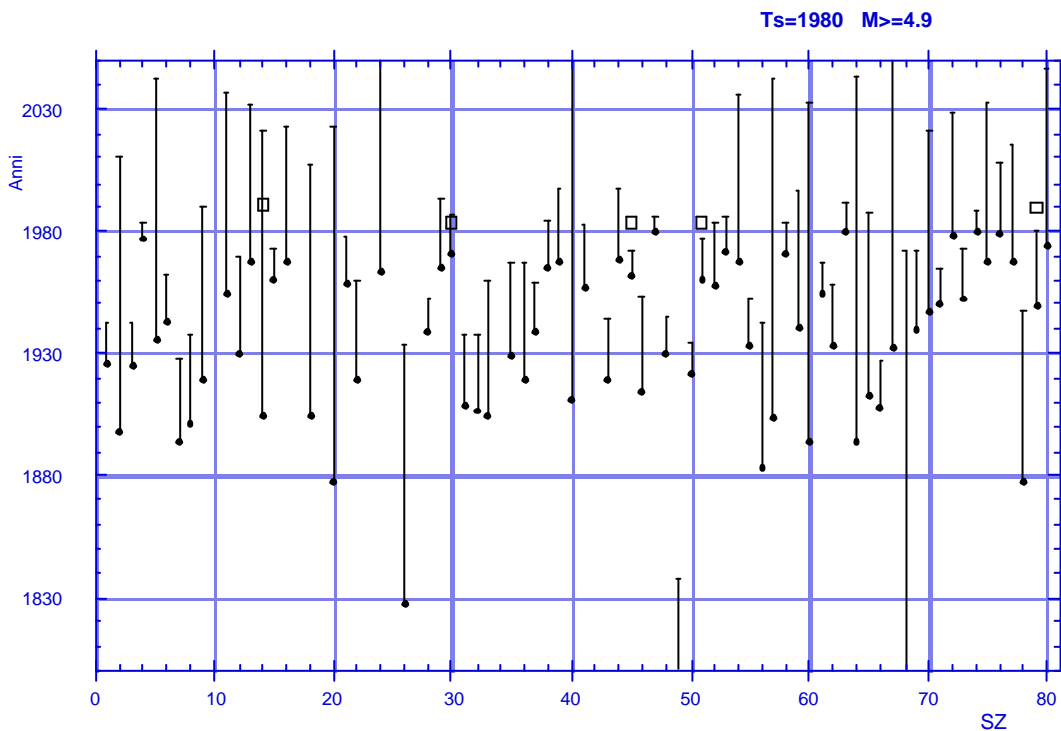


Fig. 2 - Grafico nel tempo degli ultimi terremoti prima del 1980 per la classe $M_s \geq 4.9$ per le 80 zone sismogenetiche. Le barre indicano il tempo medio di ritorno e i quadrati vuoti i terremoti che si sono verificati dopo il 1980.

In Figura 2 sono riportati con il punto nero gli ultimi terremoti per la classe $M_s \geq 4.9$ prima del tempo iniziale di osservazione T_s (1980) e le barre nere rappresentano i TMR, cioè rappresentano il tempo medio di ritorno a partire dall'ultimo terremoto accaduto, i quadrati vuoti sono invece i terremoti, sempre per questa classe che si sono verificati dopo il T_s .

Quello che si può vedere in Figura 2 è che nel caso delle zone 14, 30, 45, 51 e 79 il terremoto è accaduto in prossimità del TMR (fine della barra) quindi il tasso calcolato si è dimostrato abbastanza coerente o comunque sembra poter descrivere bene la sismicità delle zone. Rimane invece da capire se e come valutare tutte le zone in cui il TMR previsto risulta "corto" rispetto al 1980 e le zone sembrano quindi decisamente in "ritardo" di rilascio di energia.

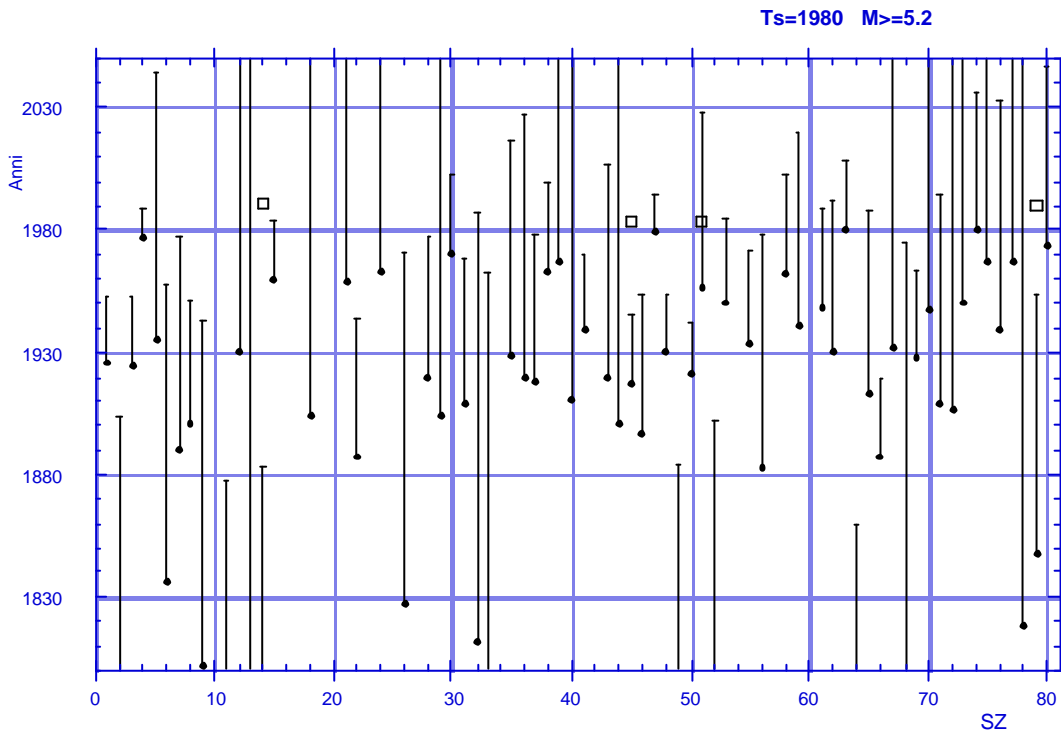


Fig. 3 - Grafico nel tempo degli ultimi terremoti prima del 1980 per la classe $M_s \geq 5.2$ per le 80 zone sismogenetiche. Le barre indicano il tempo medio di ritorno e i quadrati vuoti i terremoti che si sono verificati dopo il 1980.

Passando al grafico per la classe 5.2 sempre per $T_s=1980$ (Fig. 3) le cose si complicano e tre terremoti accaduti mostrano un notevole ritardo rispetto alle proiezioni del TMR (sono accaduti distanti dalla fine delle barre dei TMR) mentre il terremoto della zona 51 è l'unico che risulta essere avvenuto all'interno della barra del TMR.

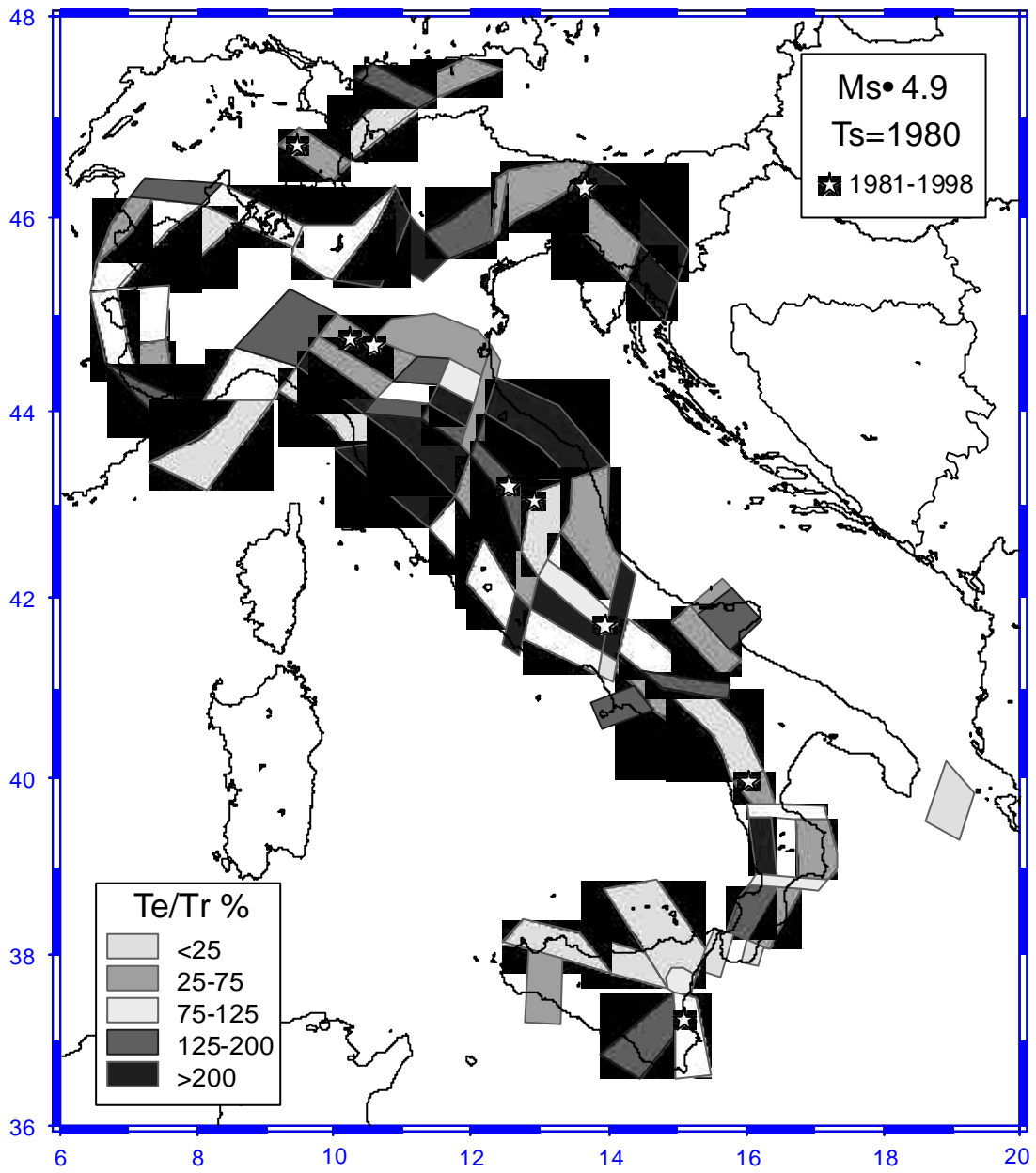


Fig. 4 - Mappa del rapporto T_e/T_r per $T_s=1980$ e $M_s \geq 4.9$.

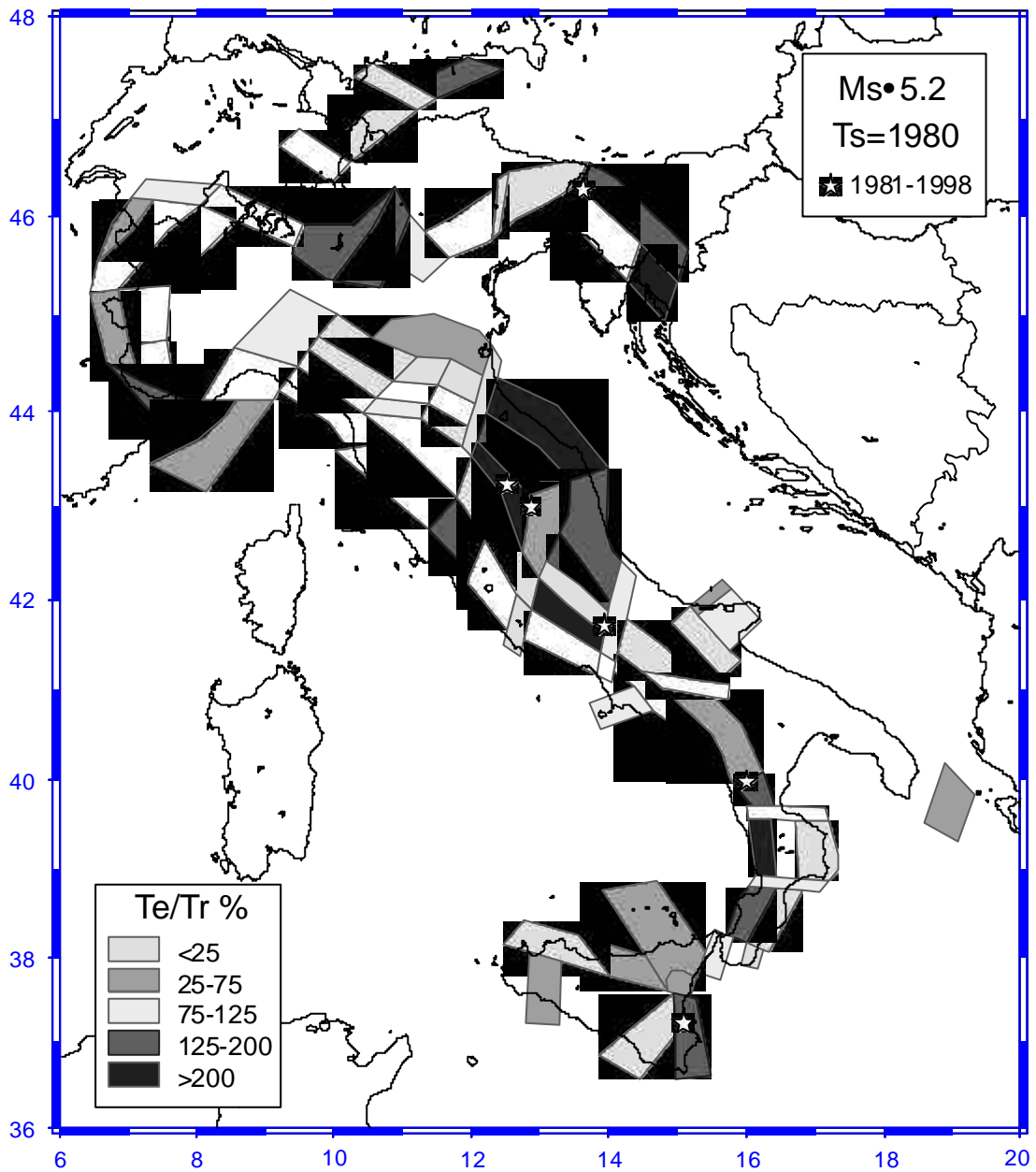


Fig. 5 - Mappa del rapporto Te/Tr per $Ts=1980$ e $Ms \geq 5.2$.

In Figura 4 sono riportati con diversi toni di grigio i rapporti tra tempo trascorso (Te in Fig. 4) e cioè il tempo dall'ultimo terremoto della classe $Ms \geq 4.9$ al Ts (1980) e il tempo medio di ritorno TMR (Tr in Fig. 4) per le varie zone. Questa figura è da abbinare alla Figura 2 o meglio è un altro tipo di rappresentazione degli stessi dati della Figura 2. I terremoti accaduti dopo il Ts sono rappresentati da una stella bianca. Nel caso del terremoto dell'Umbria, e per quello di Bovec (non riportati in Figura 2 dove sono inseriti

solo gli eventi del catalogo ufficiale NT4.4.4 fino al 1992) essi sono accaduti in zone che mostravano un sensibile "ritardo" (alto valore del rapporto T_e/T_r), mentre per gli altri terremoti essi sembrano essere accaduti in zone che non esponevano un sostanziale ritardo.

La Figura 5 si riferisce ai rapporti T_e/T_r per la classe $M_s > 5.2$. A differenza del grafico riportato in Figura 3, dove sembrava che le cose andassero peggio che nel precedente grafico di Figura 2, qui le cose sembrano andare meglio in quanto quasi tutti gli eventi si sono verificati in zone dove esisteva un certo ritardo ($\geq 125\%$) o in zone limitrofe a zone con ritardo.

3 Analisi per $T_s=1900$

In questa serie di prove ci siamo messi in una situazione completamente diversa e cioè quella di usare i tassi di sismicità PS4 (catalogo dal 1000 al 1980) riportandoli però al $T_s=1900$. In pratica ci siamo permessi di usare i tassi come se ci fossero stati forniti da un "esperto" esterno e abbiamo provato a vedere se i terremoti accaduti nel post 1900 in qualche maniera obbedivano alle indicazioni fornite dai TMR.

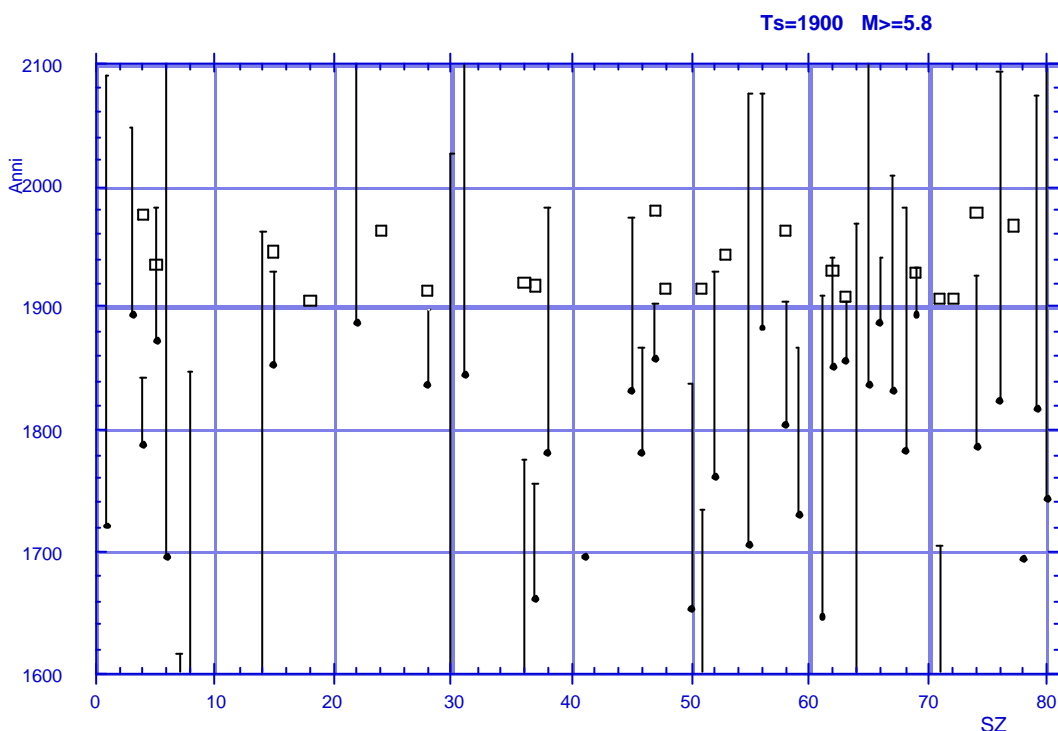


Fig. 6 -Grafico nel tempo degli ultimi terremoti prima del 1900 per la classe $M_s \geq 5.8$. Le barre indicano il tempo medio di ritorno e i quadrati vuoti il primo terremoto che si è verificato dopo il 1900.

In Figura 6 sono riportati con il pallino gli ultimi terremoti della classe $M_s \geq 5.8$ accaduti prima del $T_s=1900$ e con le barre sottili i TMR applicati a partire dall'ultimo terremoto. I quadrati vuoti sono invece i primi eventi con $M_s \geq 5.8$ per ogni zona accaduti

dopo il 1900. Analizzando le informazioni relative a questi elementi riportati in Figura 6 si può notare che in alcuni casi il terremoto post Ts è accaduto effettivamente in prossimità della fine della barra del TMR e quindi in qualche modo la zona sembra adattarsi a questo "modello" del fenomeno sismico. In particolare per le zone dell'Italia meridionale (62, 63 e 69) i terremoti accaduti nel post 1900 sono ben descritti dal TMR.

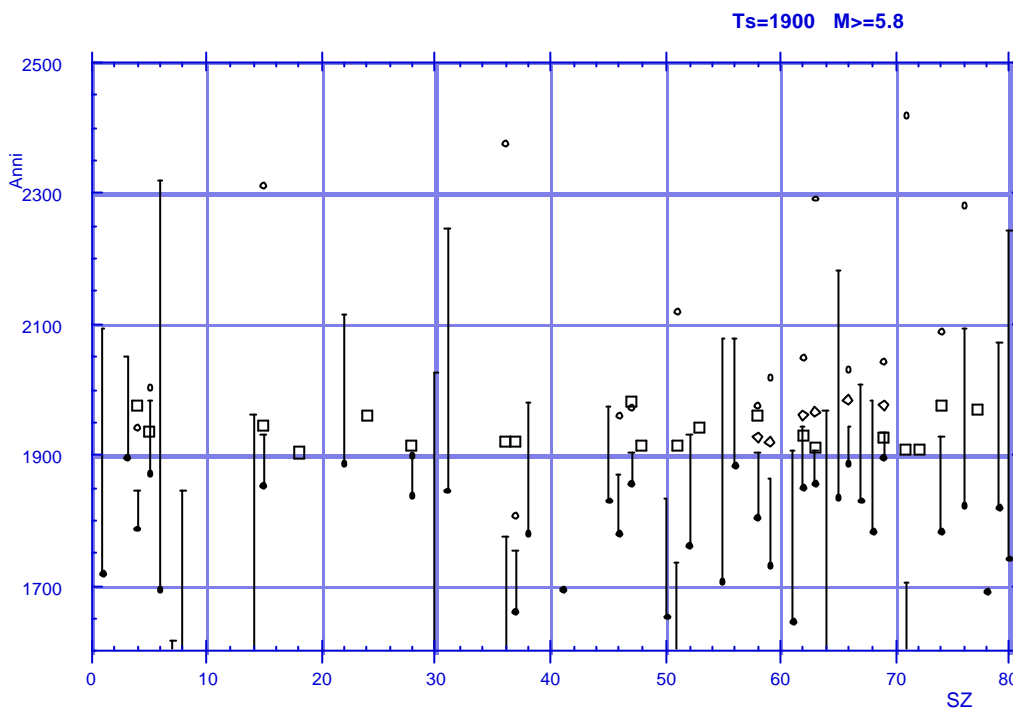


Fig. 7 - Grafico nel tempo degli ultimi terremoti avvenuti prima del 1900 per la classe $M_s \geq 5.8$. Le barre indicano il tempo medio di ritorno e i quadrati vuoti il primo terremoto che si è verificato dopo il 1900. Il cerchio vuoto indica il periodo di ritorno TMR calcolato secondo l'assunzione di "completezza di tipo storico" dall'anno 1000 dell'intero catalogo. Il rombo vuoto indica il periodo di ritorno TMR calcolato secondo l'assunzione di completezza di tipo storico dall'anno 1400 per le zone sismogenetiche dalla 58 alla 69.

La Figura 7 mostra gli stessi dati della Figura 6 con in più delle stime (cerchio vuoto) dei tempi di ritorno TMR calcolati secondo l'assunzione di "completezza di tipo storico" dall'anno 1000 dell'intero catalogo, senza quindi differenziazioni geografiche, per le magnitudo da 5.8 in su. Il cerchio vuoto è una semplificazione dovuta a problemi grafici, in realtà esso rappresenta la fine del TMR (calcolato secondo l'ipotesi di completezza dal 1000) e avrebbe dovuto essere rappresentato da una barra simile a quelle presenti. Come si vede il criterio di completezza dal 1000 (significa prendere come tasso di sismicità significativo l'intero periodo dal 1000 al 1900) sposta in alcuni casi di poco il valore di TMR, in certi casi avvicinando il terremoto poi realmente accaduto, in altri casi invece si distanzia molto (anche esageratamente) dai terremoti accaduti. Nel caso dell'Italia meridionale i tempi di ritorno vengono tutti allungati.

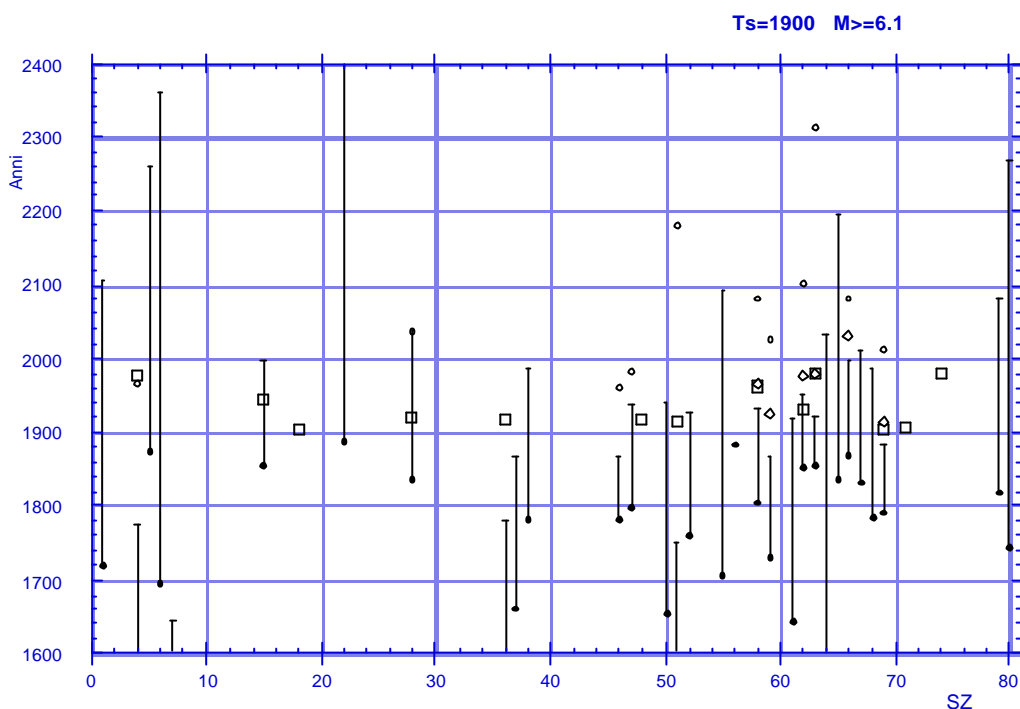


Fig. 8 - Grafico nel tempo degli ultimi terremoti avvenuti prima del 1900 per la classe $M_s \geq 6.1$. Le barre indicano il tempo medio di ritorno e i quadrati vuoti il primo terremoto della classe che si è verificato dopo il 1900. Il cerchio vuoto indica la fine del periodo di ritorno TMR calcolato secondo l'assunzione di "completezza di tipo storico" dall'anno 1000 dell'intero catalogo. Il rombo vuoto indica il periodo di ritorno TMR calcolato secondo l'assunzione di completezza di tipo storico dall'anno 1400 per le zone sismogenetiche dalla 58 alla 69.

Il rombo vuoto indica invece i periodi di ritorno calcolati secondo l'ipotesi, applicata solo per le zone dalla 58 alla 69, di completezza storica a partire dal 1400. Le stime dei TMR diminuiscono e in certi casi si avvicinano ai terremoti poi realmente accaduti (post 1900).

In realtà quello che si legge da questi grafici è che la situazione è abbastanza complessa, non può essere generalizzata e va probabilmente studiata e adattata zona per zona.

Stesso tipo di grafico in Figura 8 solo per i terremoti di classe $M_s \geq 6.1$ dove nel caso dell'ipotesi di completezza dal 1400 (rombi vuoti) si vede che i terremoti accaduti cascano molto vicini alla stima di TMR. Anche in questo caso le stime calcolate sull'ipotesi di completezza dal 1000 sembrano invece troppo lunghe.

Situazione sostanzialmente analoga per la Figura 9 con dati per terremoti con $M_s \geq 6.4$.

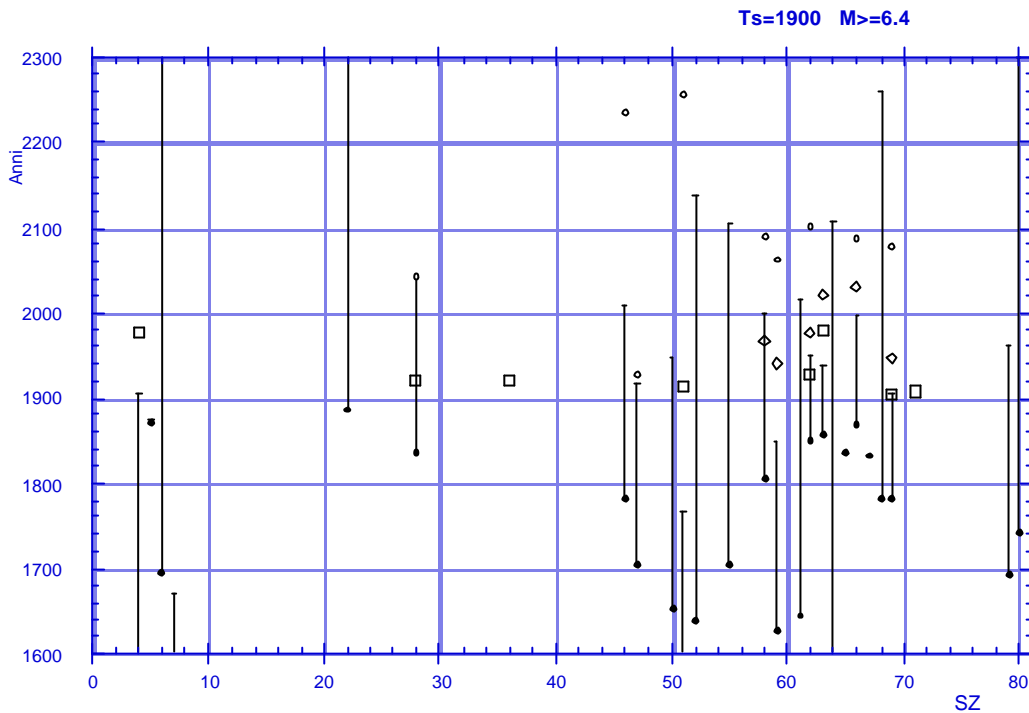


Fig. 9 -Grafico nel tempo degli ultimi terremoti prima del 1900 per la classe $M_s \geq 6.4$. Le barre indicano il tempo medio di ritorno e i quadrati vuoti il primo terremoto della classe che si è verificato dopo il 1900. Il cerchio vuoto indica il periodo di ritorno TMR calcolato secondo l'assunzione di "completezza di tipo storico" dall'anno 1000 dell'intero catalogo. Il rombo vuoto indica il periodo di ritorno TMR calcolato secondo l'assunzione di completezza di tipo storico dall'anno 1400 per le zone sismogenetiche dalla 58 alla 69.

Passando alla Figura 10 per la classe $M_s \geq 5.8$ e $T_s=1900$ nell'Italia centrale ed in Calabria ci sono dei casi in cui il rapporto T_e/T_r descriveva delle situazioni di moderato ritardo ($125\% < T_e/T_r < 200\%$) poi seguite effettivamente da terremoti nel primo trentennio post 1900 (stelle nere), mentre il Friuli che esprimeva un ritardo consistente ($T_e/T_r > 200\%$ - grigio scuro) ha avuto il terremoto appena nel '76. Altri casi di terremoti accaduti nel periodo 1931-1980 (ed anche del periodo 1900-1930 per la zona 62) non sembrano seguire le indicazioni del rapporto T_e/T_r e sono accaduti in zone a rapporto T_e/T_r neutro ($75\% < T_e/T_r < 125\%$ - punteggiato) o basso ($T_e/T_r < 25\%$ - grigio chiaro).

Situazione anche più critica in Figura 11 per la classe $M_s \geq 6.1$ dove solo due terremoti del periodo 1900-1930 sono accaduti in zone che esprimevano un certo ritardo.

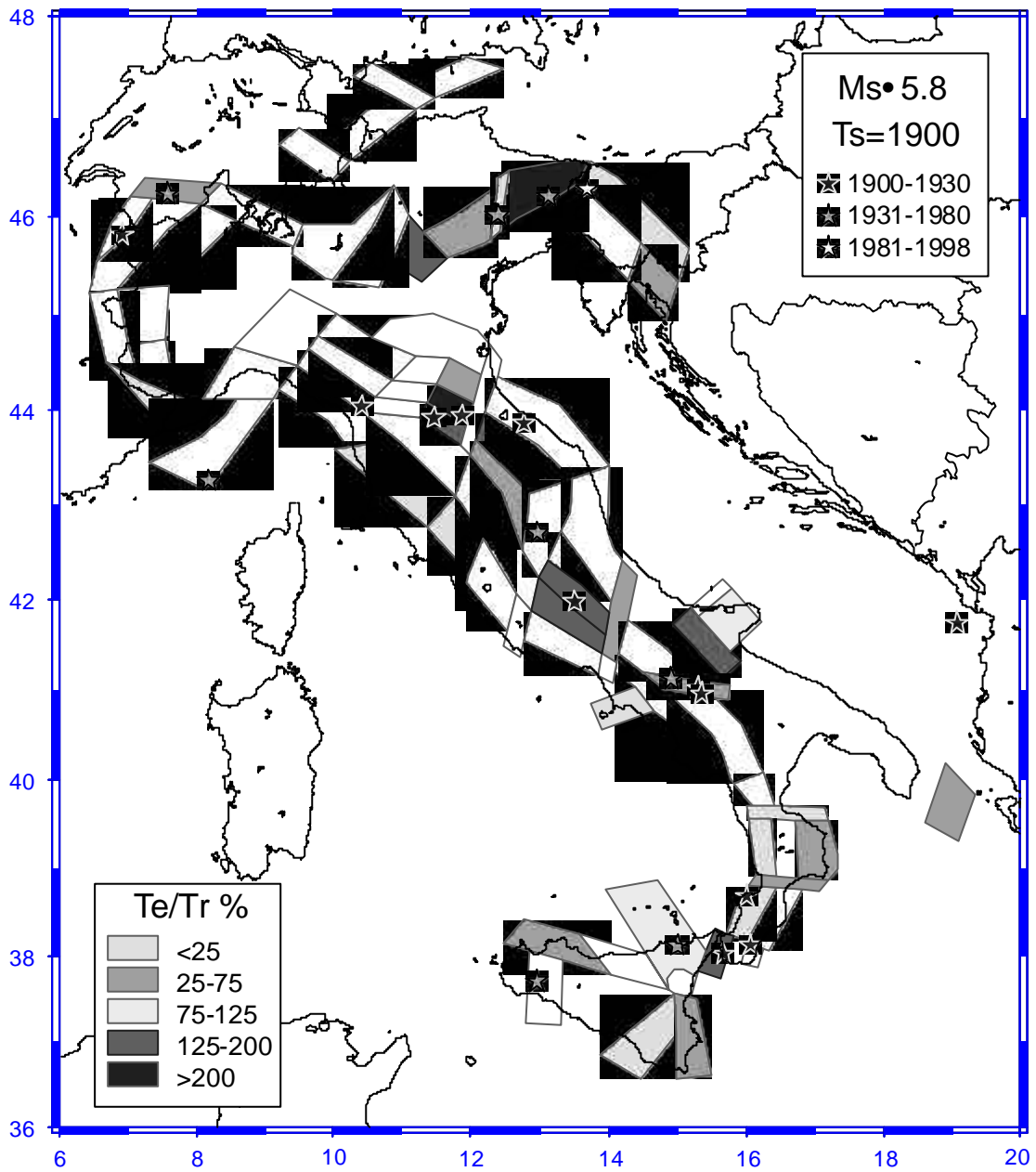


Fig. 10 - Plot del rapporto Te/Tr per $T_s=1900$ e $M_s \geq 5.8$.

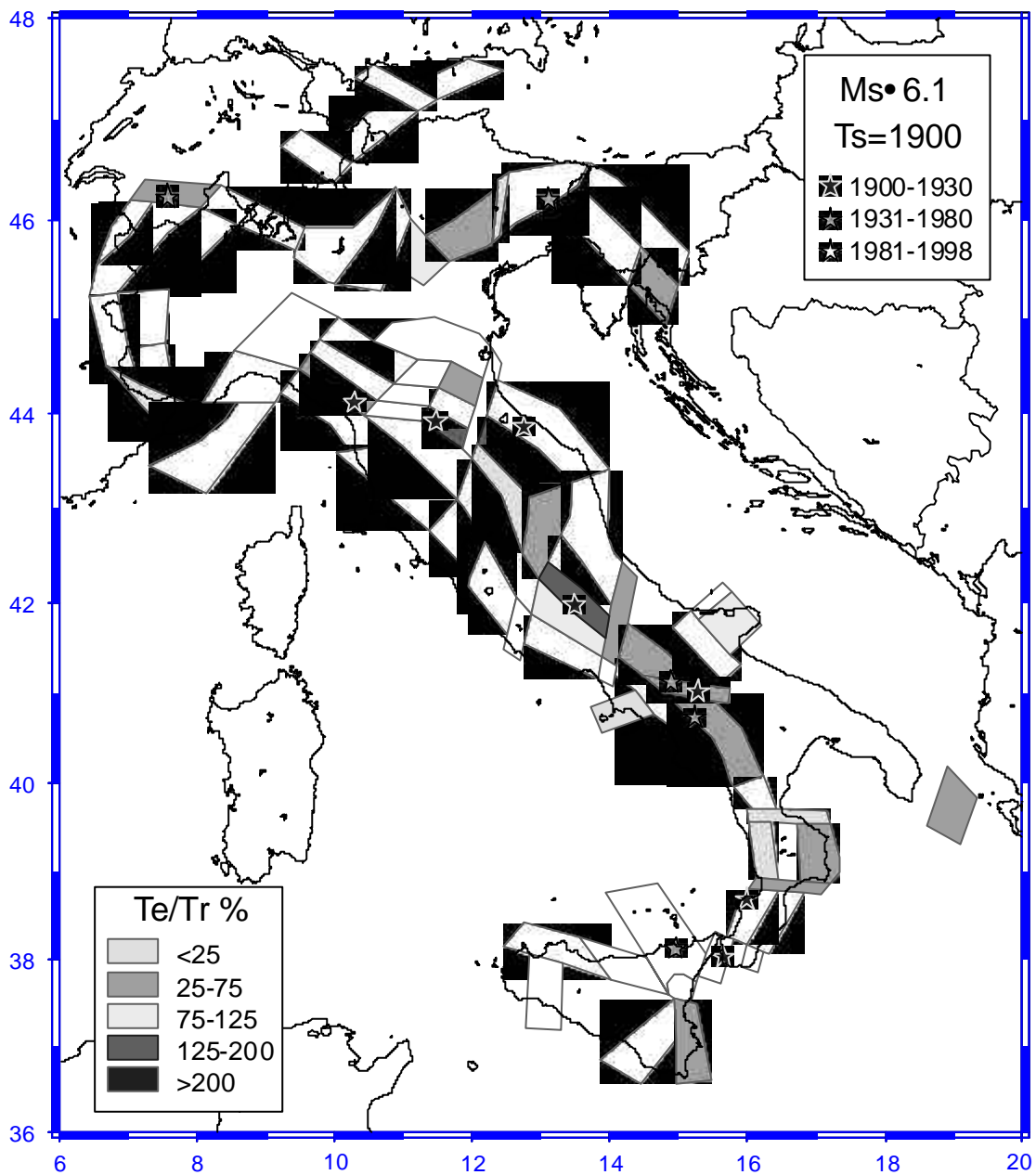


Fig. 11 - Plot del rapporto Te/Tr per $T_s=1900$ e $M_s \geq 6.1$.

4 Conclusioni

Dalle analisi condotte possiamo senz'altro dire che si possono imparare alcune cose. La prima, forse abbastanza ovvia, è che il problema stazionarietà - completezza dell'informazione sismologica è certamente un fenomeno complesso e che siamo ben lontani dall'averlo compreso.

I test condotti mostrano peraltro che l'ipotesi di completezza storica del catalogo dal 1000 è sicuramente eccessiva (periodo troppo lungo), mentre quella di completezza dal 1400 mostra un comportamento accettabile almeno per quanto riguarda l'Italia Meridionale.

Un'altra cosa è che spesso, o più probabilmente là dove i tassi di sismicità sono stati costruiti su una base informativa consistente, i tempi medi di ritorno sembrano abbastanza coerenti. Mentre non sappiamo invece valutare o pesare le stime che si basano su tassi di sismicità basati su pochi dati, o che risentono del taglio geografico della zonazione sismotettonica, o ancora tassi che si scostano dal comportamento medio adottato dalle stime di completezza (effettuate non zona per zona ma per macrozone - Slejko et al. 1998). Le zone quindi con dei tassi mal costruiti o "poveri" influenzano il panorama generale mostrando degli scostamenti dal modello proposto anche notevoli. Si parla di tutte quelle zone che espongono ritardi non seguiti da eventi o terremoti che anticipano di molto le stime. Tutti questi scostamenti potrebbero indicare che nella maggioranza dei casi l'accadimento dei terremoti non è periodico, oppure che i tassi su cui sono basati i TMR sono mal costruiti.

Questi scostamenti necessariamente spostano il giudizio del lettore su posizioni di generale scetticismo, però occorre ricordare che le analisi sono strettamente correlate con i tassi di sismicità adottati anche per altri calcoli ed operazioni, e molto probabilmente il fatto che si possano distinguere zone dove i tassi sono abbastanza buoni e le cose funzionano, da zone dove le cose non sembrano funzionare e i tassi sono più deboli, allora nella stessa maniera si dovrebbero pesare anche le considerazioni e misure di altro tipo basate sugli stessi tassi.

Ringraziamenti

Un ringraziamento a Massimiliano Stucchi che ha seguito e fornito suggerimenti su tutto lo svolgimento delle analisi condotte. Si ringrazia Emanuela Ercolani che ha realizzato tramite GIS le figure 4, 5, 10, 11.

Bibliografia

- Albarelli, D., A. Rebez and D. Slejko D. (1995): Caratterizzazione della sismicità nel calcolo della pericolosità sismica, in *Atti del 14° Convegno Nazionale GNGTS* (Esagrafica, Roma), pp. 551-554.
- Camassi R. and Stucchi M. (1996): NT4.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. *C.N.R. GNDT*, Milano, 86 pp.
- Cornell C.A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **58**, 1583-1606.
- Peruzza L. (1998): Quando Cassandra non viene per nuocere. *Assemblea Generale GNDT*, Roma 19-21 ottobre 1998
- Slejko D, Peruzza L, Rebez A. (1998): The seismic hazard maps of Italy. *Annali di Geofisica*, **41(2)**, 183-214.