

## PROCESSO SISMICO LOCALE IN SITUAZIONE NON STAZIONARIA

**E. Garavaglia**

Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale. MILANO

### SOMMARIO

Da alcuni anni si è mostrato come, in molti casi, il processo di generazione dei terremoti può essere modellato da un processo di rinnovo caratterizzato da una distribuzione mista la cui densità è spesso bimodale.

Per effetto dell'attenuazione il processo stocastico alla sorgente si trasforma, al sito, in un più complesso processo, che ancora conserva le caratteristiche di processo di rinnovo. Interessante è indagare se la bimodalità riscontrata nella distribuzione dei tempi nel processo alla sorgente è caratteristica anche del comportamento del processo sismico al sito.

Dal punto di vista teorico la trasformazione del processo alla sorgente nel processo al sito, fa uso della trasformata di Laplace nella sua formulazione inversa (I.L.T.). In questo lavoro si intende proseguire l'indagine già iniziata sull'argomento applicando il metodo della I.L.T. ad alcune zone sismogenetiche italiane, ponendo in evidenza l'influenza che la localizzazione del sito ha sulla valutazione di pericolosità locale. I risultati ottenuti sono confrontati col metodo che a volte, per semplicità, si è usato, metodo che modella direttamente i tempi di intercorrenza, ricostruiti al sito mediante una legge di attenuazione.

Viene inoltre presentato, come terzo metodo di indagine, una simulazione su catalogo sintetico. La creazione di un catalogo sismico sintetico, contenente un elevato numero di eventi si è già mostrata efficace, per analizzare alcune incertezze presenti nell'elaborazione statistica dei dati storici per la valutazione della pericolosità sismica locale in ipotesi poissoniana. Tali incertezze sono spesso legate alla scarsità dei dati a disposizione. Poiché, anche nel calcolo del processo sismico locale questo problema si è rivelato significativo, viene qui usato questo terzo metodo di indagine basato sulla riduzione diretta al sito di un catalogo sintetico contenente 5.000 eventi. I risultati vengono discussi in confronto con i due metodi precedentemente citati.

Vengono introdotte riflessioni sull'efficacia computazionale dei tre metodi e viene impostato il problema del danno al sito.

### SUMMARY

In many cases the earthquake generation process can be modelled by a renewal process with mixture distributed failure time, often, with a bimodal behaviour of the probability density function.

For the attenuation effect, the source stochastic process becomes a more complex site process but with the renewal process characteristics yet. It is interesting to detect if the inter-occurrence time density bi-modal behaviour at the source is carried on at the site as well.

From the theoretical point of view the transformation of the source process in the site process is based on a attenuation law and on the Laplace Transform (L.T.) and Inverse Laplace Transform (I.L.T.) tools used.

This paper presents the I.L.T. approach application at some Italian zones with particular attention at the site location in the seismogenetic zone.

The results obtained by the I.L.T. approach and by the direct approach, consisted in the historical data reduction at the site using an attenuation law typical for the zone in object and their direct statistical interpretation, are compared.

With the building of a seismic synthetic catalogue with 5,000 events, some uncertainties, which are present the statistical interpretations of the historical data, are analysed and the results obtained from the different three methods are compared.

Remarks on the computational efficiency of the three methods are discussed and the seismic local damage valuation problem is introduced.

## 1. I MODELLI

### 1.1 Il processo sismico alla sorgente

E' ben noto che l'analisi del rischio sismico è fortemente influenzata dal modello stocastico assunto ad interpretazione della storia sismica. Molti sono gli studi volti al superamento degli schemi della trattazione classica in due suoi aspetti: l'indipendenza fra la numerosità degli eventi sismici in intervalli di tempo disgiunti e l'indipendenza dell'intensità dell'evento dai tempi di intercorrenza precedenti e/o seguenti l'evento stesso [1,7,8].

Dalla teoria interpretativa del meccanismo di generazione dei terremoti emerge un comportamento piuttosto prevedibile per gli eventi violenti che sembra dipendere dalle caratteristiche dell'evento precedente e specialmente dalla distanza temporale di quest'ultimo dall'istante in cui la previsione viene fatta. Questo è quanto viene suggerito dalla teoria Slip Predictable Model (SPM) e Time Predictable Model (TPM) il cui schema teorico è costituito dai processi semi-Markoviani [10]. Ciò ha portato all'interpretazione della serie completa dei terremoti attraverso un processo di rinnovo. In [1] e [7] viene spiegato come, in un TPM o in uno SPM con due classi di terremoti (ad esempio  $SQ$  e  $WQ$ , rispettivamente: *eventi forti*, cioè di intensità  $I \geq \bar{I}$ , con  $\bar{I}$  soglia di intensità prescelta ed *eventi deboli*, cioè di intensità  $I < \bar{I}$ ), come funzione  $f_{\tau}(t)$  densità di probabilità dei tempi di intercorrenza alla sorgente, può essere assunta la seguente mistura di due densità:

$$f_{\tau}(t) = p_w h_w(t) + p_s h_s(t) \quad (1)$$

Il comportamento bimodale, talvolta evidenziato dalla densità  $f_{\tau}(t)$  può essere interpretato come sintomo di un'accentuata differenza tra le due famiglie di eventi rappresentate dalla mistura.

La scelta delle distribuzioni di probabilità da adottarsi nella (1) è argomento alquanto delicato. Gli studi già svolti in proposito consigliano una distribuzione mistura del tipo Weibull-Gamma [7].

Data la sua flessibilità, la (1) ha mostrato una larga validità anche in quei casi in cui  $h_w$  e  $h_s$  non possono chiaramente interpretarsi secondo un significato fisico.

A completamento del modello probabilistico di generazione dei terremoti, viene assunta come funzione di distribuzione delle intensità nella zona sismogenetica la distribuzione doppia esponenziale presentata da Grandori (Grandori et al., 1979) nella forma:

$$1 - F_I(I_o) = \exp \left\{ - \exp \left[ \beta (I_o - \alpha) \right] \right\} \quad (2)$$

Il processo stocastico così definito, per affetto dell'attenuazione, si trasforma in un più complesso processo al sito. Interessante è ora indagare se la bimodalità, riscontrata in alcuni

casi nella distribuzione dei tempi nel processo alla sorgente, è caratteristica anche del processo sismico locale.

## 1.2 Il processo sismico locale

Per la presenza dell'attenuazione un processo stocastico a due classi alla sorgente si trasforma al sito in un processo stocastico a più classi, accanto alle classi già definite come  $SQ$  e  $WQ$ , avremo anche la classe dei "terremoti virtuali", ovvero quegli eventi che, pur essendo registrati alla sorgente come "eventi significativi", non vengono risentiti al sito come tali.

Per semplicità il processo locale è, a volte, costruito con la riduzione al sito degli eventi storici attraverso una legge di attenuazione tipica della zona e l'interpretazione diretta dei tempi di intercorrenza degli eventi risentiti al sito [9]. E' necessario sottolineare che in questi casi una esigua numerosità campionaria compromette qualsiasi interpretazione dei dati.

Dal punto di vista teorico la trasformazione del processo alla sorgente in un processo al sito comporta qualche complessità di elaborazione. Il processo locale può essere infatti ottenuto attraverso l'applicazione del metodo Cornell generalizzato [6], noti che siano: il processo di generazione, la legge di attenuazione, la distribuzione delle intensità epicentrali  $I_0$  e la distribuzione geometrica delle sorgenti.

In questo lavoro si applica il metodo Cornell nel caso in cui:

- il processo di generazione sia un renewal process con una distribuzione mistura del tipo W-G per i tempi di intercorrenza;
- la legge di attenuazione sia del tipo Grandori [5]:  $\Delta I = g(R, I_0)$ , ovvero: deterministica, isotropa, con abbattimento delle intensità  $\Delta I$  funzione della distanza  $R$  e dell'intensità epicentrale  $I_0$ ;
- le distribuzioni delle intensità  $I_0$  e delle sorgenti  $P$  possono avere forma qualunque.  $I_0$  e  $P$  si intendono non correlate [6].

Per semplicità espositiva consideriamo il caso in cui sia unico il possibile valore dell'intensità epicentrale. Stabilita un'intensità  $\bar{I}$  tale per cui un evento al sito può ancora considerarsi un "evento significativo"  $Q$ , si identifica, attraverso l'uso di una legge di attenuazione, un'area  $A_{Q/Q}$  entro la quale un "evento significativo"  $Q$  può manifestarsi ed essere sentito al sito ancora come evento  $Q$ . Nei casi illustrati, essendo la legge di attenuazione isotropa, tale area sarà un cerchio di raggio  $R_{Q/Q}$ . Gli eventi  $Q$  che si verificano al di fuori di tale area saranno sentiti al sito come eventi  $I < \bar{I}$  e saranno chiamati "eventi virtuali"  $VQ$ . Il processo locale risulta così un processo a due stati: il sistema entra nel primo stato qualora al sito venga risentito un evento  $Q$ , entra nel secondo stato qualora al sito venga risentito un evento  $VQ$ . Il tempo di intercorrenza  $\tau$  del processo di rinnovo alla sorgente è anche tempo di intercorrenza nel processo locale, dove la due categoria di eventi  $Q$  e  $VQ$  risultano essere mescolate.

Teoricamente la costruzione del processo locale può essere ottenuta attraverso l'uso della trasformazione di Laplace della densità  $f_\tau(t)$  dei tempi di intercorrenza alla sorgente:

$$f_{\tau_{\text{sito}}}^*(s) = \frac{P_{Q/Q} f_\tau^*(s)}{1 - [P_{V/Q} f_\tau^*(s)]} \quad (3)$$

e della sua formulazione inversa (I.L.T.) [6,2].

Le probabilità che un terremoto si verifichi all'interno o all'esterno dell'area  $A_{Q/Q}$  sono rappresentate dalle probabilità  $P_{Q/Q}$  e  $P_{V/Q}$ . Esse sono definite dalla distribuzione delle sorgenti nella zona. Nell'*ipotesi di completa omogeneità sismogenetica* e uniforme distribuzione delle sorgenti, la probabilità  $P_{Q/Q}$  è data dal rapporto tra l'area  $A_{Q/Q}$  e l'area totale della zona sismogenetica, mentre  $P_{V/Q}$  è la sua complementare. Nell'*ipotesi di*

*continuità storica* la probabilità  $P_{Q/Q}$  è invece data dalla frequenza statistica come rapporto tra il numero di eventi presenti in  $A_{Q/Q}$  e il numero totale di eventi presenti sull'area.

Il processo locale è così completamente definito il passaggio dal caso limite esposto, al caso più generale (presenza di più valori di intensità epicentrale e/o presenza di più zone sismogenetiche influenzanti il processo locale) non compromette la struttura del metodo che può ancora essere utilizzato.

Un terzo approccio di indagine verso la costruzione del processo sismico locale è la costruzione di un catalogo sismico sintetico, contenente un elevato numero di eventi [3,4]. In tal caso il catalogo è costruito nell'ipotesi di omogenea distribuzione degli epicentri, con distribuzione doppia esponenziale delle intensità epicentrali e distribuzione dei tempi di intercorrenza uguale alla distribuzione dei tempi individuata per la zona in esame. La numerosità scelta è di 5000 eventi, mentre i confini della zona sintetica, preferibilmente, circoscrivono la zona sismogenetica considerata. L'elevata numerosità campionaria del catalogo sintetico permette, di rimuovere il dubbio più grosso legato alla riduzione diretta al sito del catalogo storico, ovvero la scarsità dei dati a disposizione.

Utile è la comparazione tra i risultati ottenuti dall'*approccio diretto applicato al catalogo sintetico* e i risultati ottenuti dai due approcci precedenti: l'*approccio diretto* applicato al catalogo storico e l'*approccio teorico*.

## **2. ZONE DI INDAGINE: FRIULI, GARFAGNANA, IRPINIA**

Diversi studi sull'interpretazione statistica del processo alla sorgente [1,7,8] suggeriscono una modellazione del tipo SPM per il Friuli e l'Irpinia, mentre per la Garfagnana sembra più appropriato un TPM, sempre con distribuzione mistura del tipo Weibull Gamma per i tempi di intercorrenza (Fig. 2, 8, 14). Dall'analisi svolta sulla zona irpina, definita come zona 41 da un rapporto GNDT-1991 (Tab. 1) e che risulta di dimensioni inferiori rispetto alla zona presentata da Guagenti et. all. in [7], la tendenza che si manifesta sembra essere quella di un TPM. Questo risultato, però richiede conferma, conferma che solo conoscenze più precise del fenomeno fisico potranno dare. Importante è, ancora una volta sottolineare la sensibilità della funzione mistura: nel caso dell'area più grande la sequenza dei terremoti non si scosta di molto dall'ipotesi poissoniana [7], mentre nel caso di un'area di più ridotta dimensioni la funzione densità di probabilità  $f_t(t)$  acquista un comportamento bimodale (Fig.14) a conferma, quasi di quanto da tempo si va sostenendo: un ampliamento della zona di indagine porta, nella maggior parte dei casi, alla perdita delle informazioni contenute nei termini di memoria e il processo tende ad essere un processo di Poisson [7,8].

Attraverso la legge di attenuazione Grandori [5] si giunge alla costruzione della sequenza degli eventi al sito in termini di intensità macrosismica. La soglia di intensità minima è scelta  $\bar{I} = 7MCS$ . L'analisi è svolta in 3 diversi siti per ogni singola area, la dimensione  $R_{Q/Q}$  è scelta in modo che per ogni sito il cerchio di aree  $A_{Q/Q}$  risulti, interno, o al più tangente, ai confini della zona sismogenetica, (Tab. 1, Fig. 1, 7, 13).

### **2.1 Friuli**

Dall'analisi delle Figure 4, 5 e 6 descriventi la  $f_{\tau_{sito}}(t)$  rispettivamente nel caso dell'approccio teorico in ipotesi di completa omogeneità e in ipotesi di continuità storica e nel caso dell'approccio diretto applicato al catalogo sintetico, il comportamento bimodale, evidente nella  $f_{\tau}(t)$  dei tempi alla sorgente, tende a scomparire. Nel solo caso dell'approccio diretto, basato sulla riduzione al sito degli eventi storici (Fig. 3), questa tendenza rimane evidente. La numerosità campionaria usata per l'approccio diretto è comunque così esigua da

rendere problematica l'interpretazione di tale risultato. Nell'ipotesi di continuità storica (Fig. 5) è invece molto evidente la differenza di pericolosità dei singoli siti, a seconda della loro posizione nei confronti della disposizione geometrica delle sorgenti, differenza sottolineata anche dai risultati ottenuti attraverso l'approccio diretto applicato al catalogo sintetico (Fig. 6). Il diverso comportamento riportato in Fig. 6, rispetto al comportamento riportato in Fig. 5, è quasi certamente dovuto al metodo di simulazione usato nella creazione del catalogo sintetico e all'assunzione dell'ipotesi di completa omogeneità nella distribuzione delle sorgenti. La creazione di un catalogo sintetico con assegnata distribuzione geometrica delle sorgenti è già possibile [3] e sarà certamente un ulteriore strumento di indagine.

## 2.2 Garfagnana

In Fig. 11 vengono riportati i risultati dall'analisi in sito attraverso l'approccio teorico in ipotesi di continuità storica. Si noti il cambiamento dell'andamento del processo al variare della localizzazione del sito. Infatti in due siti la  $f_{\tau_{sito}}(t)$  presenta un accenno, sia pur non marcato, di comportamento bimodale (coincidente col secondo picco della funzione dei tempi alla sorgente (Fig. 8)). Questa analisi pone in evidenza come la distribuzione geometrica delle sorgenti sia fattore significativo nell'analisi della pericolosità locale. Dai risultati ottenuti e per il proseguimento delle indagini iniziate, emerge la necessità di una più attenta conoscenza della distribuzione geometrica delle sorgenti. In Fig. 10 è riportata la densità  $f_{\tau_{sito}}(t)$  relativa al punto centrale in ipotesi di completa omogeneità (curva tratteggiata),  $f_{\tau_{sito}}(t)$  che non cambia al cambiare del sito. La tendenza evidenziata in questo caso dalla densità di probabilità  $f_{\tau_{sito}}(t)$  è la perdita della bimodalità, presente invece nella  $f_{\tau}(t)$  alla sorgente (Fig. 8), tendenza questa confermata dall'approccio diretto applicato al catalogo sintetico (Fig. 12). I risultati illustrati in Fig. 10, 11, 12 sollevano, forse, qualche dubbio sulla assunzione dell'ipotesi di omogeneità nella distribuzione delle sorgenti. La propensione alla bimodalità dei risultati di Figura 11, comunque, non avvalorava, i risultati di Fig. 9 (metodo diretto catalogo storico) che ancora una volta sollevano dubbi sull'attendibilità del metodo.

## 2.3 Irpinia

Come già accennato, la regione irpina presenta un comportamento di non facile lettura ed interpretazione. Risulta, quindi, necessaria una valutazione dei risultati ottenuti alla luce di maggiori conoscenze del fenomeno fisico. Ciò che comunque appare dalle elaborazioni svolte è la perdita di bimodalità nella funzione  $f_{\tau_{sito}}(t)$  del processo locale (Fig. 16, 17, 18). Per questa zona, come per la precedente, è evidente l'importanza della conoscenza della distribuzione geometrica delle sorgenti nella valutazione delle pericolosità locale (Fig. 17). Il metodo diretto applicato al catalogo storico, mostra anch'esso un comportamento tendente alla unimodalità (o addirittura unimodale, come nel caso del punto S3) per tutti e tre i siti. (Fig. 15).

## 3. LA VALUTAZIONE DEI DANNI AL SITO

L'abbandono degli schemi classici nella valutazione della pericolosità sismica fa perdere di significato il concetto di valor medio attualizzato del danno atteso ad ogni terremoto. Alcune ricerche svolte sull'argomento mostrano che, in ipotesi non stazionaria, la valutazione del valore atteso attualizzato dei danni futuri al sito, risulta di qualche complicazione analitica [7]. A partire dalle osservazioni presentate sulla definizione del processo locale, tale valutazione avrà la seguente formulazione:

la densità del tempo di attesa  $f_{\tau}$  del primo evento condizionato al tempo trascorso  $t_0$  è data dalla formula:

$$f_{\tau}(t_0, t) = \frac{f_{\tau}(t_0 + t)}{\int_{t_0}^{\infty} f_{\tau}(t) dt} \quad (4)$$

La (5) esprime,così, il valore atteso attualizzato del costo del danno dovuto al primo evento:

$$D_{0_{\text{sito}}}(t_0, \gamma) = \frac{\bar{D}}{\int_{t_0}^{\infty} f_{\tau_{\text{sito}}}(t) dt} \int_{t_0}^{\infty} f_{\tau_{\text{sito}}}(t_0 + t) e^{-\gamma t} dt \quad (5)$$

dove:  $\gamma$  rappresenta il fattore di attualizzazione di un costo futuro

$\bar{D}$  rappresenta il valore atteso del costo del danno dovuto ad ogni evento.

La (5) può anche essere scritta:

$$D_{0_{\text{sito}}}(t_0, \gamma) = \bar{D} f_{\tau_{\text{sito}}}^*(t_0, \gamma) \quad (6)$$

Il valore atteso attualizzato del costo di tutti i danni futuri è quindi dato da:

$$D_{0_{\text{sito}}}(t_0, \gamma) = \bar{D} \frac{f_{\tau_{\text{sito}}}^*(t_0, \gamma)}{1 - f_{\tau_{\text{sito}}}^*(\gamma)} \quad (7)$$

#### 4. UN COMMENTO SULL'EFFICACIA COMPUTAZIONALE

A valle della discussione sull'affidabilità dei metodi utilizzati, una riflessione necessaria riguarda l'efficacia computazionale d'essi. Dal punto di vista del tempo complessivo di elaborazione l'approccio teorico risulta essere il più economico, grazie alla più snella procedura operativa (quasi a volte più veloce). Il grosso limite nell'uso di questa procedura risulta subito evidente quando l'indagine si sposta su gli standards di utilizzo della memoria e sul CPU Time Consuming, infatti mentre le altre procedure possono essere svolte su elaboratori con capacità di memoria e velocità modesti, la procedura dell'I.L.T. richiede macchine di buon livello prestazionale.

#### 5. CONCLUSIONI

L'esigenza di poter conoscere, anche in condizioni di non stazionarietà, il processo locale degli eventi sismici è certamente abbastanza forte in quei campi di ricerca volti alla valutazione del danno atteso e della vulnerabilità. A supporto di tale esigenze in questo lavoro viene utilizzata una metodologia di interpretazione statistica di tale processo e vengono presentati i risultati relativi a tre zone sismogenetiche italiane: Friuli, Garfagnana, Irpinia. In tutte e tre le applicazioni è emerso che il metodo diretto applicato al catalogo storico può condurre ad errori di valutazione qualora la numerosità campionaria risulti esigua. L'approccio teorico e l'approccio diretto applicato al catalogo sintetico mostrano invece una certa concordanza nei risultati che avvalorerebbe la tesi di migliore attendibilità degli ultimi due metodi rispetto al metodo diretto. Rilevante è notare che il processo locale è ancora un renewal process, ma con diversa funzione densità di probabilità dei tempi rispetto al processo alla sorgente. E' interessante notare come la bimodalità presente nella densità dei tempi  $f_{\tau}(t)$  alla sorgente tende ad attenuarsi o a scomparire nella costruzione del processo locale e come la distribuzione geometrica delle sorgenti influenzi, in maniera abbastanza rilevante, il processo al sito.

Il problema del danno al sito viene qui impostato facendo uso dei risultati precedentemente ottenuti.

Infine viene presentata una riflessione sull'efficacia computazionale dei metodi usati.

## 6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Betrò B., Garavaglia E., Guagenti E., Rotondi R., Tagliani A. (1989). "Sulla distribuzione dei tempi di intercorrenza fra eventi sismici in alcune zone italiane", *Proc. Conv. Naz. L'Ing. Sism. in Italia*, Milano, 1989.
- [2] Garavaglia E. (1995). "Comparison between earthquake generation process and local seismic process", *Accep. proc. to the 7th Int. Conf. on Applicat. of Stat. and Prob. in Civil Eng.*, Paris, 1995
- [3] Garavaglia E., Grandori G., Petrini V. (1990). "An artificial seismic catalog for methodological research", *Proc. 9th Eur. Conf. on Earthq. Eng.*, Moscow, 1990.
- [4] Grandori G., Garavaglia E., Petrini V. (1991). "Analysis of some of the uncertainties in the statistical elaboration of historical data for local seismic hazard evaluation", *Proc. 6th. Int. Conf. on Applicat. of Stat. and Prob. in Civil Eng.*, Mexico City, 1991.
- [5] Grandori G., Perotti F., Tagliani A. (1987). " On the attenuation of macroseismic intensity with epicentral distance", *Proc. 3rd. Int. Symp. on soil dyn. and Earthq. Eng.*, Princeton, 1987.
- [6] Guagenti Grandori E. (1993). "Rischio sismico: metodo di Cornell generalizzato", (in Italian), *Ingegneria sismica*, Anno X, N.1, gennaio-aprile 1993.
- [7] Guagenti Grandori E. Garavaglia E. Tagliani A. (1990). "Recurrence time distributions: a discussion", *Proc. 9th Eur. Conf. on Earthq. Eng.*, Moscow, 1990.
- [8] Guagenti Grandori E., Molina C., Mulas G. (1988). "Seismic risk analysis with predictable models", *Earthq. Eng. and Struct. Dyn.*, 16, 343-359.
- [9] Petrini V. (1993). "Valutazione della pericolosità sismica", in: "*Rischio sismico di edifici pubblici*", part 1, (in Italian), C.N.R.-G.N.D.T., Rome 1993.
- [10] Shimazaki K., Nakata T. (1980) "Time predictable recurrence model for large earthquakes", *Geoph. Res. Lett.*, 7, 279-282.

Tab. 1

<i>Friuli</i>		<i>Grafagnana</i>		<i>Irpinia</i>	
<i>long.</i>	<i>lat.</i>	<i>long.</i>	<i>lat.</i>	<i>long</i>	<i>lat.</i>
12.9500	46.5000	9.5900	44.6100	15.6932	40.0183
13.9500	46.7000	10.3700	44.6100	15.4815	40.4078
14.0000	45.8000	10.8500	44.0800	14.8192	40.9947
13.4500	46.0000	9.9500	43.9300	15.5200	40.9069
13.0500	46.1000			15.9092	40.5520
12.8500	46.0500			16.2378	40.1670

Tab. 2

<i>Friuli</i>	<i>Grafagnana</i>	<i>Irpinia</i>
$R_{9/7} = 18.38$ Km.	$R_{8/7} = 15.00$ Km.	$R_{7/7} = 14.65$ Km.

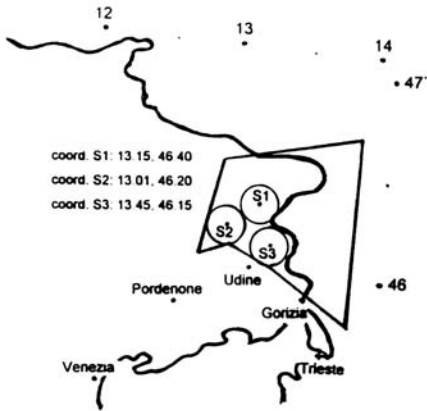


Fig. 1 -Zona Friuli: siti studiati

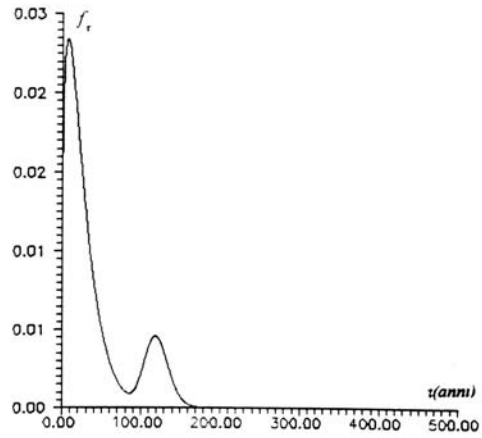


Fig. 2 -Processo alla sorgente:  
 $f_r(t)$  dei tempi di intercorrenza

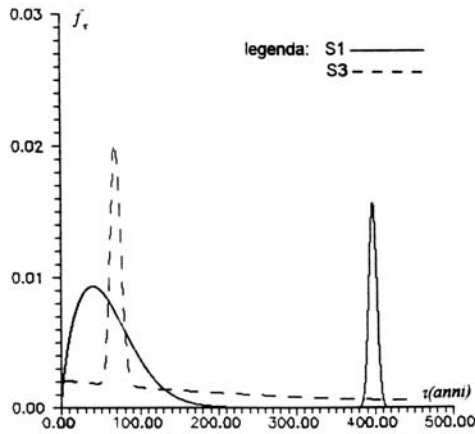


Fig. 3 -Processo locale:  $f_{r_{\text{nto}}}(t)$ .  
Approccio Diretto, Catalogo Storico

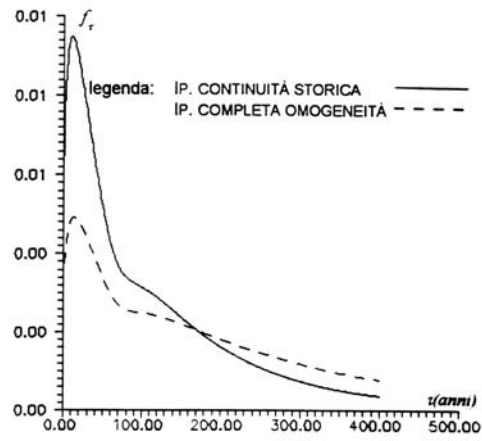


Fig. 4 -Processo locale:  $f_{r_{\text{nto}}}(t)$   
Approccio Teorico. Sito S1

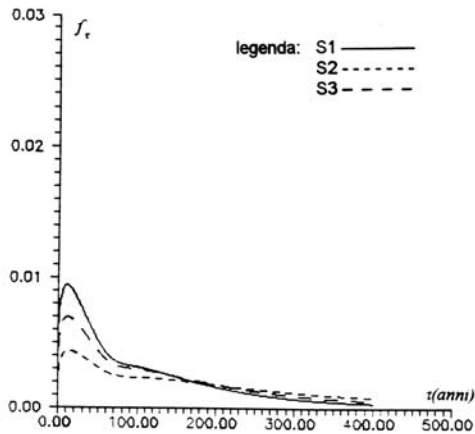


Fig. 5 -Processo locale:  $f_{r_{\text{nto}}}(t)$   
Approccio Teorico, in ipotesi di  
continuità storica. confronto tra siti

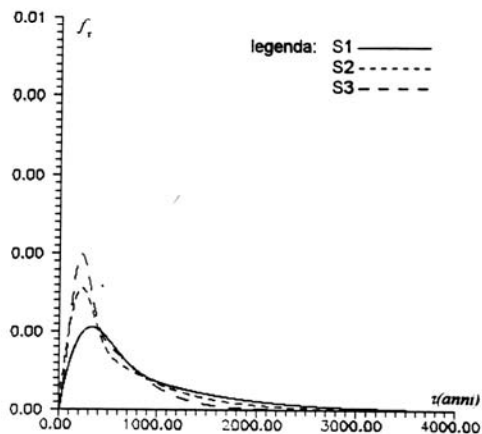


Fig. 6 -Processo locale:  $f_{r_{\text{nto}}}(t)$   
Approccio Diretto. Catalogo Sintetico.  
confronto tra siti

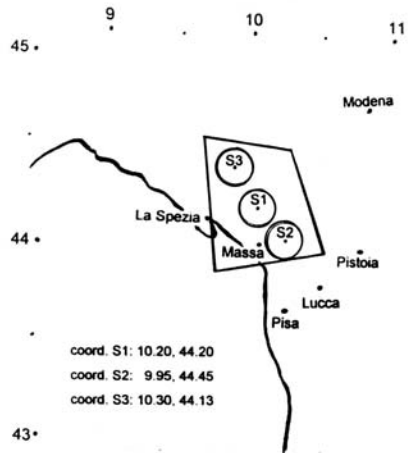


Fig. 7 -Zona Garfagnana: siti studiati

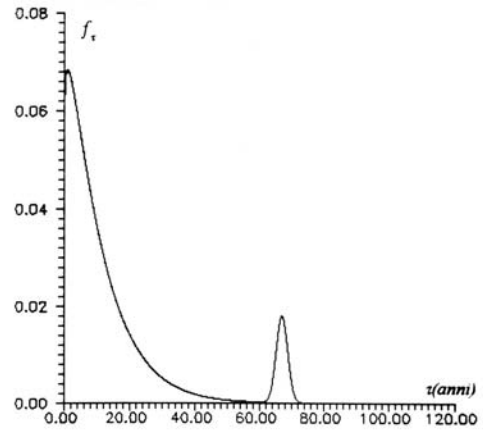


Fig. 8 -Processo alla sorgente:  
 $f_r(t)$  dei tempi di intercorrenza

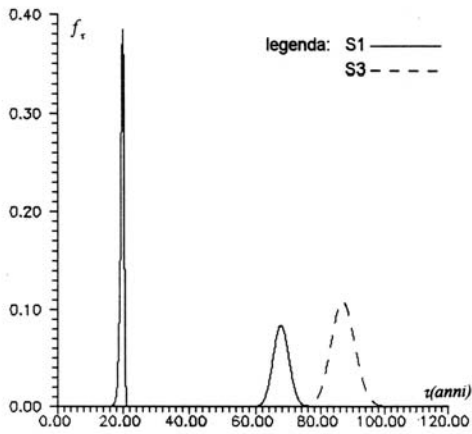


Fig. 9 -Processo locale:  $f_{r_{silo}}(t)$ ,  
Approccio Diretto, Catalogo Storico

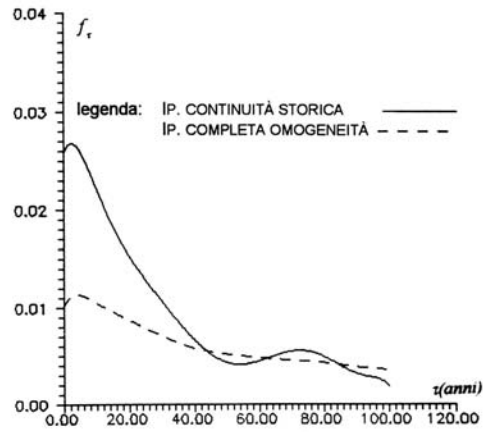


Fig.10 -Processo locale:  $f_{r_{silo}}(t)$   
Approccio Teorico, Sito S1

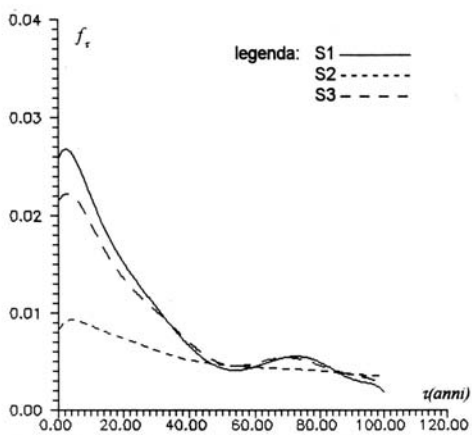


Fig.11 -Processo locale:  $f_{r_{silo}}(t)$   
Approccio Teorico, in ipotesi di  
continuità storica, confronto tra siti

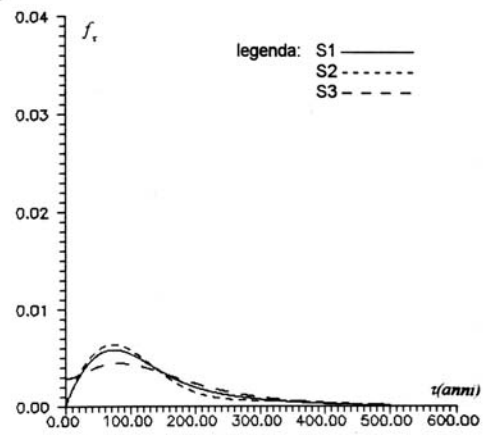


Fig.12 -Processo locale:  $f_{r_{silo}}(t)$   
Approccio Diretto, Catalogo Sintetico,  
confronto tra siti

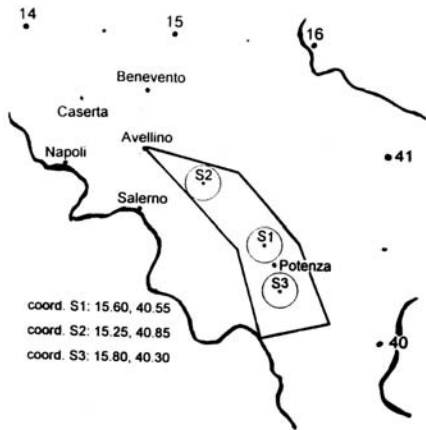


Fig. 13 -Zona Irpinia: siti studiati

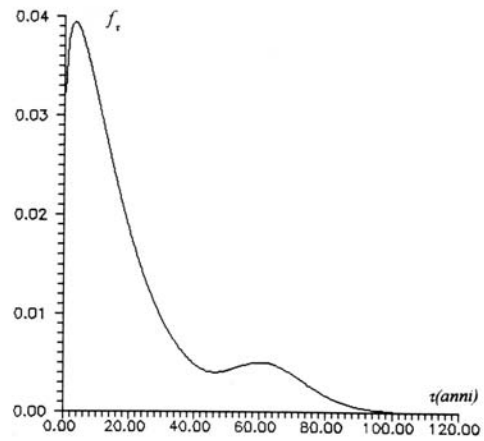


Fig. 14 -Processo alla sorgente:  
 $f_r(t)$  dei tempi di intercorrenza

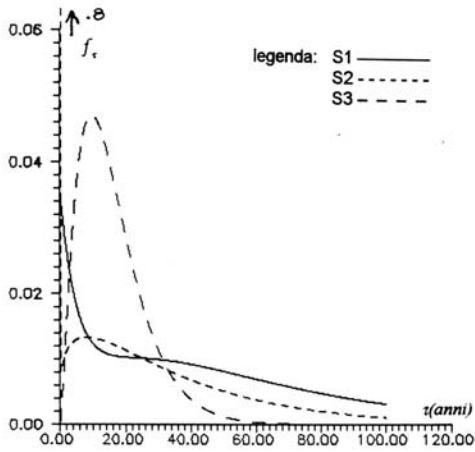


Fig. 15 -Processo locale:  $f_{r_{\text{stl}}}(t)$ ,  
 Approccio Diretto, Catalogo Storico

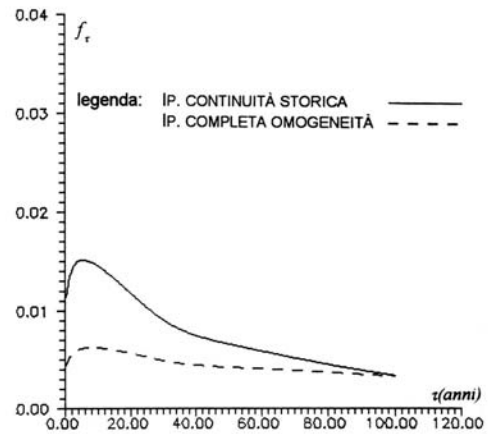


Fig. 16 -Processo locale:  $f_{r_{\text{stl}}}(t)$   
 Approccio Teorico, Sito S1

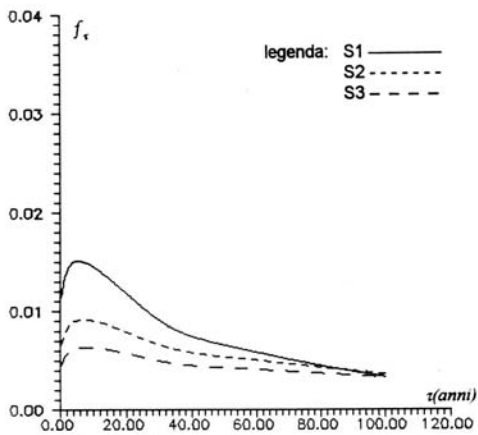


Fig. 17 -Processo locale:  $f_{r_{\text{stl}}}(t)$   
 Approccio Teorico, in ipotesi di  
 continuità storica, confronto tra siti

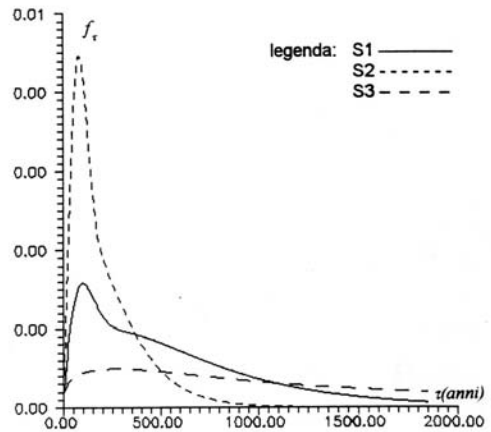


Fig. 18 -Processo locale:  $f_{r_{\text{stl}}}(t)$   
 Approccio Diretto, Catalogo Sintetico,  
 confronto tra siti