

Ancora un tentativo di controllo di un periodo sismico (Terremoti della Tolfa del Luglio 1969)

*(About a further attempt to control a seismic period - Earthquakes
of the Tolfa Mountains during July 1969)*

L. MARCELLI - P. E. VALLE

Ricevuto il 20 Febbraio 1970

SUMMARY. — The results of an attempt to control the seismic period of the Tolfa Mountains, started on July 2nd 1969, are herein shown.

The attempt was made on the basis of the *intrinsic method* and of the *elastic rebound* theory.

RIASSUNTO. — Vengono esposti i risultati di un tentativo di porre sotto controllo il periodo sismico della Tolfa, iniziato il 2 Luglio 1969.

Il tentativo è stato effettuato sulla base del metodo intrinseco e della teoria dell'« elastic rebound ».

INTRODUZIONE.

In questi ultimi anni in alcuni Paesi sono state intensificate le ricerche connesse alla previsione dei fenomeni sismici.

Non meno importante del problema della previsione è tuttavia il problema del controllo.

Qualche soluzione del problema della previsione potrebbe contenere anche la soluzione del problema del controllo, ma, almeno per ora, le due questioni possono essere affrontate indipendentemente l'una dall'altra.

Una volta che, previsto o meno, un periodo sismico sia iniziato, formulare il problema del controllo significa formulare sostanzialmente le seguenti domande:

- 1) che cosa è avvenuto?
- 2) che cosa avviene?
- 3) che cosa si può dire su ciò che ancora potrà avvenire?

Durante il recente periodo sismico siciliano si è già cercato di rispondere a queste domande mediante l'impiego del metodo intrinseco e la teoria dell'« elastic rebound ».

I risultati sono stati discussi in una nota precedente⁽¹⁾, alla quale rimandiamo per tutto quanto qui riteniamo superfluo ripetere.

In tale lavoro è stato anche esposto il concetto di « metodo intrinseco » e la teoria dell'« elastic rebound », sulla base del modello di H. Benioff.

È inutile qui insistere sulla nota teoria dell'« elastic rebound », ma è forse opportuno ricordare che il « metodo intrinseco » si basa sostanzialmente sul fatto che un fenomeno naturale può essere studiato in sé, al di fuori del tempo convenzionale, assumendo come variabile indipendente il « tempo proprio », definito operativamente come il numero d'ordine degli eventi in cui il fenomeno si realizza.

Allo scopo di contribuire alla formazione di una documentazione sui tentativi di controllo, in questa nota si espongono i risultati ottenuti applicando al periodo sismico dei Monti della Tolfa, iniziato il 2 luglio 1969, gli stessi metodi utilizzati per il controllo del periodo sismico siciliano, iniziato il 14-I-1968 (*). Sono state qui peraltro apportate alcune semplificazioni, come ad esempio la soppressione della scala delle magnitudo nel diagramma del rendimento attuale; risulta inoltre più chiaramente espresso, nella relativa didascalia, il significato del diagramma di Fig. 5 rispetto all'analogo diagramma di Fig. 11 della nota citata⁽¹⁾

IL PERIODO SISMICO DEI MONTI DELLA TOLFA INIZIATO IL 2 LUGLIO 1969.

Lo studio macrosismico di questo breve periodo sismico è stato eseguito da M. De Panfilis⁽²⁾, il quale ha determinato, tra l'altro, la posizione della regione epicentrale, che viene indicata in Fig. 1, e la profondità ipocentrale, che è risultata di circa 8 km.

Il periodo sismico non ha avuto scosse premonitriche. Si è realizzato con una scossa principale ed una serie di repliche.

Le Magnitudo delle scosse e il tempo d'arrivo all'Osservatorio di Roma — o all'Osservatorio di Monte Porzio — sono elencate nella Tabella I.

(*) Nella citata nota⁽¹⁾ vi sono alcuni errori di trascrizione, che però possono essere rilevati abbastanza facilmente.

Vi è da osservare che in questa Tabella non compare una scossa che si sarebbe verificata il giorno 5 Luglio 1969, alle ore 04 circa, perché questa scossa, sebbene segnalata dagli abitanti del luogo, non è stata registrata né dagli strumenti di Roma, né dagli strumenti più sensibili

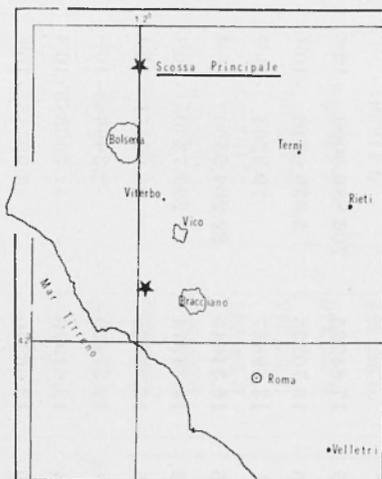


Fig. 1 - Epicentro della scossa principale.

dell'Osservatorio di Monte Porzio, sito a circa 20 km a Sud di Roma. Inoltre la scossa avente il numero d'ordine $K_0 = 8$ è incerta.

IL NUMERO D'ORDINE DELLE SCOSSE IN FUNZIONE DEL TEMPO.

Mentre le scosse si susseguivano veniva costruito il diagramma di Fig. 2, riportando in ordinate e scala lineare il numero d'ordine o « tempo proprio » delle scosse, e in ascisse e scala logaritmica il relativo tempo origine convenzionale. Le grandezze in questione sono state contate a partire dalla prima scossa.

È da rilevare che nel caso che un periodo sismico inizi con le scosse premonitricie, la scossa principale è facilmente individuabile perché l'andamento delle repliche nel diagramma in questione è assai diverso dall'andamento delle scosse premonitricie, come risulta p. es. dalle Figg. 5 e 6 del lavoro sulla Sicilia (1).

Per i terremoti della Tolfa il grafico costruito faceva peraltro sospettare, sin dalle prime scosse, che il periodo sismico fosse iniziato direttamente con la scossa principale, come poi effettivamente risultò.

Tabella 1

Data 1969	K_0 (N° delle scosse)	K (N° delle repliche)	Tempi d'arrivo (*) del- le prime onde a Roma (o a M. Porzio)	M	$\log_{10} E =$ $9.154 + 2.147M$	E	t tempo in mi- nuti dalla prima scossa
2 Luglio	1	Scossa principale	h m s 09 55 53 (Roma)	4,31	18,40757	$2.556.052,0000 \cdot 10^{12}$	—
»	2	1	10 03 07 (Roma)	4,05	17,84935	$706.886,8000 \cdot 10^{12}$	7,2
»	3	2	10 08 14 (Roma)	3,05	15,70235	$5.039,0640 \cdot 10^{12}$	12,3
»	4	3	10 12 28 (Roma)	2,21	13,89887	$79,2264 \cdot 10^{12}$	16,6
»	5	4	10 21 (30) (Roma)	3,35	16,34645	$22.204,9500 \cdot 10^{12}$	25,6
»	6	5	10 37 13 (Roma)	2,42	14,34974	$223,7380 \cdot 10^{12}$	41,3
»	7	6	11 45 15 (Roma)	2,05	13,55535	$35,92111 \cdot 10^{12}$	109,3
»	8	7	12 27 00 (M. Porzio)	1,5ca	12,37450	$2,368644 \cdot 10^{12}$	151,1
»	9	8	13 01 45 (Roma)	2,08	13,61976	$41,166389 \cdot 10^{12}$	185,8
»	10	9	15 44 33 (Roma)	2,10	13,66270	$45,99585 \cdot 10^{12}$	348,7
»	11	10	23 56 13 (M. Porzio)	2,00	13,44800	$28,05433 \cdot 10^{12}$	840,3
3 Luglio	12	11	06 13 03 (Roma)	2,00	13,44800	$28,05433 \cdot 10^{12}$	1217,2
9 Luglio	13	12	17 38 00 (Roma)	1,50	12,37450	$2,368644 \cdot 10^{12}$	10542,1
»	14	13	22 50 17 (Roma)	1,50	12,37450	$2,368644 \cdot 10^{12}$	10854,4

(*) I tempi qui indicati si riferiscono all'ora legale adottata in Italia dal 1 Giugno al 27 Sett. 1969. I tempi corrispondenti all'ora di Greenwich si hanno togliendo 2 ore ai tempi indicati.

Tabella II
Terremoti della Tolfa - *REPLICHE*.

<i>K</i> Numero d'ordine delle repliche	(Energia normalizzata) $x_k = \frac{E_k}{E_0}$	$x_k^{1/2}$	(Deformazione normalizzata) $\sum_1^k x_j^{1/2} = b_k$	$\sum_1^k x_j = a_k$	$\eta_k = \frac{a_k}{b_k}$	(osservato) $\Delta\eta_{k+1, k}$
1	0,2765541546	0,525884	0,525884	0,276554	0,525884	—
2	0,0019714246	0,044401	0,570285	0,278526	0,488398	-- 0,037486
3	0,0000309956	0,005567	0,575852	0,278557	0,483730	— 0,004668
4	0,0086872058	0,093205	0,669057	0,287244	0,429327	-- 0,054403
5	0,0000875326	0,009356	0,678413	0,287331	0,423534	— 0,005792
6	0,0000140533	0,003749	0,682162	0,287345	0,421227	-- 0,002307
7	0,0000009266	0,000963	0,683125	0,287346	0,420635	-- 0,000592
8	0,0000161054	0,004013	0,687138	0,287362	0,418201	-- 0,002433
9	0,0000179948	0,004242	0,691380	0,287380	0,415661	-- 0,002540
10	0,0000109756	0,003313	0,694693	0,287391	0,413695	— 0,001966
11	0,0000109756	0,003313	0,698006	0,287402	0,411747	-- 0,001948
12	0,0000009266	0,000963	0,698969	0,287403	0,411181	— 0,0005657
13	0,0000009266	0,000963	0,699932	0,287404	0,410617	-- 0,0005642

Tabella III
Terremoti della Tolfa - *REPLICHE*. (Dati osservati e previsti)

N. o. di repliche K	$x_{o,k+1}^{1/2}$	$x_k^{1/2}$	$\Sigma x_j^{1/2} = b_k$	$\Sigma x = a_k$	$x_m^{1/2}$	$\Delta \eta_m$	$\Delta \eta$	$\Delta \eta_M$	r_m	r
	(previsto)	(osservato)	(osservato)	(osservato)	(previsto)	(previsto)	(osservato)	(previsto)	(previsto)	(osservato)
1	—	0,525884	0,525884	0,276554	—	—	—	—	—	—
2	0,5259	0,044401	0,570285	0,278526	0,2178	— 0,09023	— 0,03749	0,3107	— 0,2904	— 0,1206
3	0,4884	0,005567	0,575852	0,278557	0,2067	— 0,07494	— 0,004668	0,3258	— 0,2300	— 0,0143
4	0,4837	0,093205	0,669057	0,287244	0,2053	— 0,07318	— 0,05440	0,3276	— 0,2234	— 0,1661
5	0,4293	0,009356	0,678413	0,287331	0,1882	— 0,05294	— 0,005792	0,3419	— 0,1548	— 0,0169
6	0,4235	0,003749	0,682162	0,287345	0,1862	— 0,05111	— 0,002307	0,3435	— 0,1488	— 0,0067
7	0,4212	0,000963	0,683125	0,287346	0,1854	— 0,05040	— 0,0005922	0,3441	— 0,1465	— 0,0017
8	0,4206	0,004013	0,687138	0,287362	0,1852	— 0,05021	— 0,002433	0,3442	— 0,1459	— 0,0071
9	0,4182	0,004242	0,691380	0,287380	0,1844	— 0,04947	— 0,002540	0,3448	— 0,1435	— 0,0074
10	0,4157	0,003313	0,694693	0,287391	0,1835	— 0,04869	— 0,001966	0,3455	— 0,1409	— 0,0057
11	0,4137	0,003313	0,698006	0,287402	0,1828	— 0,04810	— 0,001948	0,3460	— 0,1390	— 0,0056
12	0,4117	0,000963	0,698969	0,287403	0,1821	— 0,04752	— 0,0005657	0,3464	— 0,1372	— 0,0016
13	0,4112	0,000963	0,699932	0,287404	0,1819	— 0,04735	— 0,0005642	0,3466	— 0,1366	— 0,0016
14	(0,4106)	—	—	—	(0,1817)	(— 0,04718)	—	(0,3467)	(— 0,1361)	—

LA DEFORMAZIONE LIBERATA DURANTE IL PROCESSO DELLE REPLICHE.

La deformazione liberata durante il processo delle repliche è stata considerata soltanto dal punto di vista intrinseco e cioè in funzione del numero d'ordine K delle repliche, contato a partire dalla prima replica.

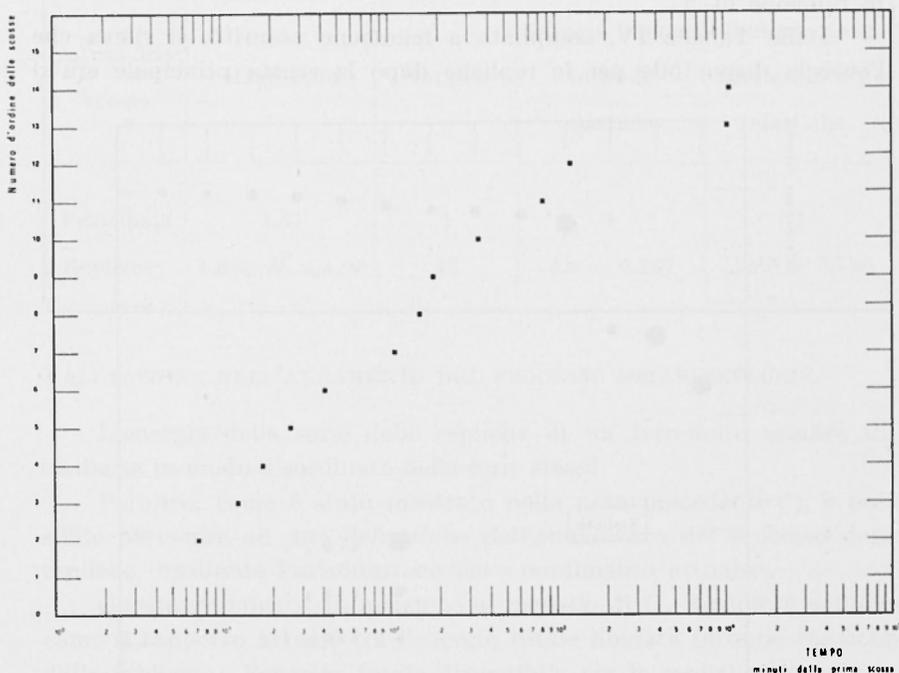


Fig. 2 - Numero d'ordine delle scosse in funzione del tempo.

Le energie sono state calcolate mediante la relazione

$$\text{Log } E = aM + b$$

con $a = 2,147$ e $b = 9,154$ (3).

Detta E_0 l'energia liberata dalla scossa principale, e E_j l'energia liberata da una generica replica, introdotto il rapporto

$$x_j = \frac{E_j}{E_0}$$

che rappresenta l'energia normalizzata della j -ma replica, è stato costruito il diagramma di Fig. 3, nel quale è riportata la deformazione normalizzata

$$S_k = \sum_1^k x_j^{1/2}$$

in funzione di K .

Dalla Tabella IV, compilata a fenomeno esaurito, si rileva che l'energia disponibile per le repliche dopo la scossa principale era il

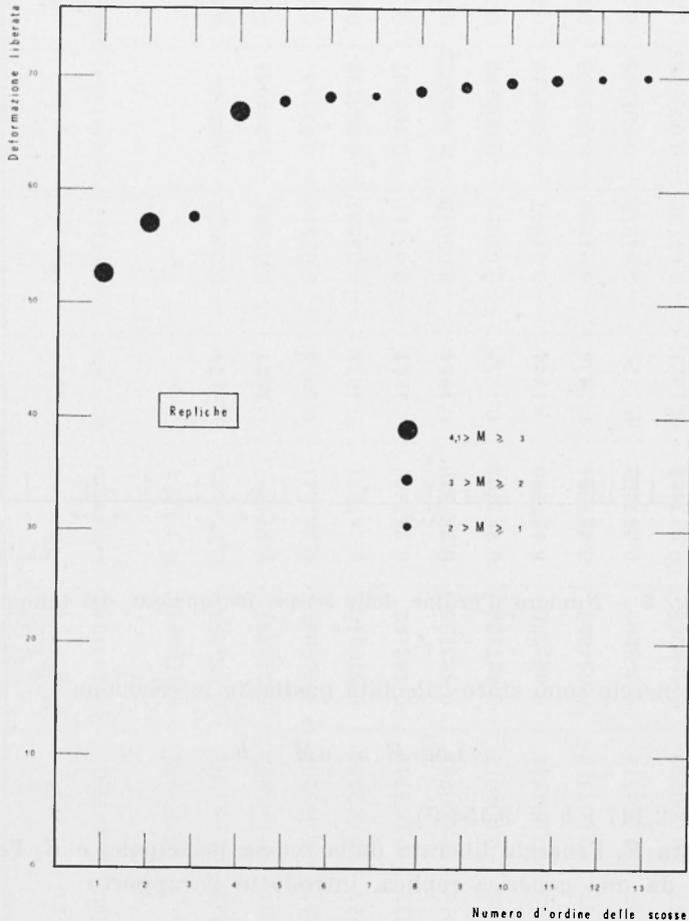


Fig. 3 - Percentuale della deformazione liberata durante il processo delle repliche, in funzione del loro numero d'ordine.

70% della energia liberata dalla scossa principale stessa. Di questa energia soltanto il 41% è stata liberata in onde elastiche dalle repliche, il rimanente 59% si è trasformata in calore.

Dall'andamento del grafico di Fig. 3 si può ritenere che la deformazione liberata dalle repliche era di pressione (trazione) (4).

Tabella IV

Natura delle scosse	Magnitudo	Numero	Energia liberata in onde elastiche	Deformazione liberata in onde elastiche
Principale	4,31	1	1	1
Repliche	$1,5 \leq M \leq 4,05$	13	$\Sigma x = 0,287$	$\Sigma x^{1/2} = 0,700$

VALUTAZIONE DELL'ANDAMENTO DEL PROCESSO DELLE REPLICHE.

L'energia della serie delle repliche di un terremoto sembra distribuita in modo disordinato nella serie stessa.

Peraltro, come è stato mostrato nella nota precedente (1), è possibile pervenire ad una definizione dell'andamento del processo delle repliche, mediante l'introduzione del « rendimento attuale ».

Questa grandezza, in relazione al modello di H. Benioff, è definita come il rapporto attuale tra l'energia totale liberata in onde elastiche dalle repliche e l'energia totale disponibile per le repliche stesse.

Se si introducono le energie normalizzate delle repliche

$$x_j = \frac{E_j}{E_0}$$

dove E_j è l'energia di una generica replica ed E_0 la somma dell'energia della scossa principale e delle eventuali scosse premonitricie, il rendimento attuale « η_k » è dato dalla

$$\eta_k = \frac{\sum_1^k x_j}{\sum_1^k x_j^2}$$

Posto per semplicità

$$\sum_1^k x_j = a_k, \quad \sum_1^k x_j^{\frac{1}{2}} = b_k$$

($b_k = S_k$)

si può anche scrivere

$$\eta_k = \frac{a_k}{b_k}.$$

Si supponga verificata la k^{ma} replica e di aver calcolato il rapporto η_k . Dopo l'eventuale $(k+1)^{ma}$ replica tale rapporto assumerà il valore

$$\eta_{k+1} = \frac{a_k + x_{k+1}}{b_k + x_{k+1}^{\frac{1}{2}}}$$

Il rapporto in questione varierà pertanto di

$$\Delta\eta_{k+1,k} = \frac{x_{k+1}^{\frac{1}{2}} (x_{k+1}^{\frac{1}{2}} - \eta_k)}{b_k + x_{k+1}^{\frac{1}{2}}}$$

Si vede subito che l'andamento del rendimento attuale in funzione del numero d'ordine delle repliche consente di definire il processo delle repliche stesse come crescente, stazionario o decrescente a seconda che risulti rispettivamente

$$\Delta\eta_{k+1,k} > 0$$

$$\Delta\eta_{k+1,k} = 0$$

$$\Delta\eta_{k+1,k} < 0.$$

Ossia, indicando con

$$x_{o,k+1}^{\frac{1}{2}} = \eta_k$$

la deformazione che dovrà essere liberata dalla eventuale $(k+1)^{ma}$ replica affinché il processo risulti stazionario, si avrà

$$x_{k+1}^{\frac{1}{2}} > x_{o,k+1}^{\frac{1}{2}}, \quad x_{k+1}^{\frac{1}{2}} = x_{o,k+1}^{\frac{1}{2}}, \quad x_{k+1}^{\frac{1}{2}} < x_{o,k+1}^{\frac{1}{2}}$$

a seconda che il fenomeno si presenti, in questa successiva replica, rispettivamente crescente, stazionario oppure decrescente.

Poiché $x_{k+1}^{\frac{1}{2}}$ rappresenta la deformazione (normalizzata) liberata nella eventuale $(k+1)^{ma}$ replica, il suo valore si calcola immediatamente, e questo valore, posto a confronto con il $x_{\sigma, k+1}^{\frac{1}{2}} = \eta_k$ già calcolato fino alla k^{ma} replica dice subito in quale delle tre fasi possibili viene a trovarsi il processo delle repliche stesse.

Se quindi nel corso del verificarsi delle repliche si costruisce un grafico riportando in ascisse il loro numero d'ordine e in ordinate il corrispondente valore del rendimento attuale e se a questo si sovrappone il grafico delle deformazioni (normalizzate) si è in grado di controllare, all'insorgere di ogni replica, se il processo delle repliche stesse si trovi in una fase crescente, o stazionaria, oppure decrescente.

Nel caso dei terremoti della Tolfa il processo delle repliche è stato sempre decrescente, come risulta dalla Fig. 4.

PREVISIONE DELL'INTERVALLO IN CUI POTRÀ ESSERE COMPRESA LA VARIAZIONE DEL RENDIMENTO ATTUALE NEL PASSAGGIO DA UNA REPLICA ALLA EVENTUALE SUCCESSIVA.

Nella citata nota sul periodo sismico siciliano si è anche rilevato che la variazione del rendimento attuale da una replica k^{ma} alla eventuale successiva $(k+1)^{ma}$

$$\Delta\eta_{k+1, k} = \frac{x_{k+1}^{\frac{1}{2}} (x_{k+1}^{\frac{1}{2}} - \eta_k)}{b_k + x_{k+1}^{\frac{1}{2}}}$$

è una funzione continua della variabile x_{k+1} nel suo intervallo di definizione $0 \leq x_{k+1} \leq 1$, la quale ha un minimo

$$\Delta\eta_m = -\frac{x_m}{b_k}$$

che assume per

$$x_{k+1} = x_m$$

con

$$x_m = b_k^2 \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{\eta_k}{b_k}} \right)^2 .$$

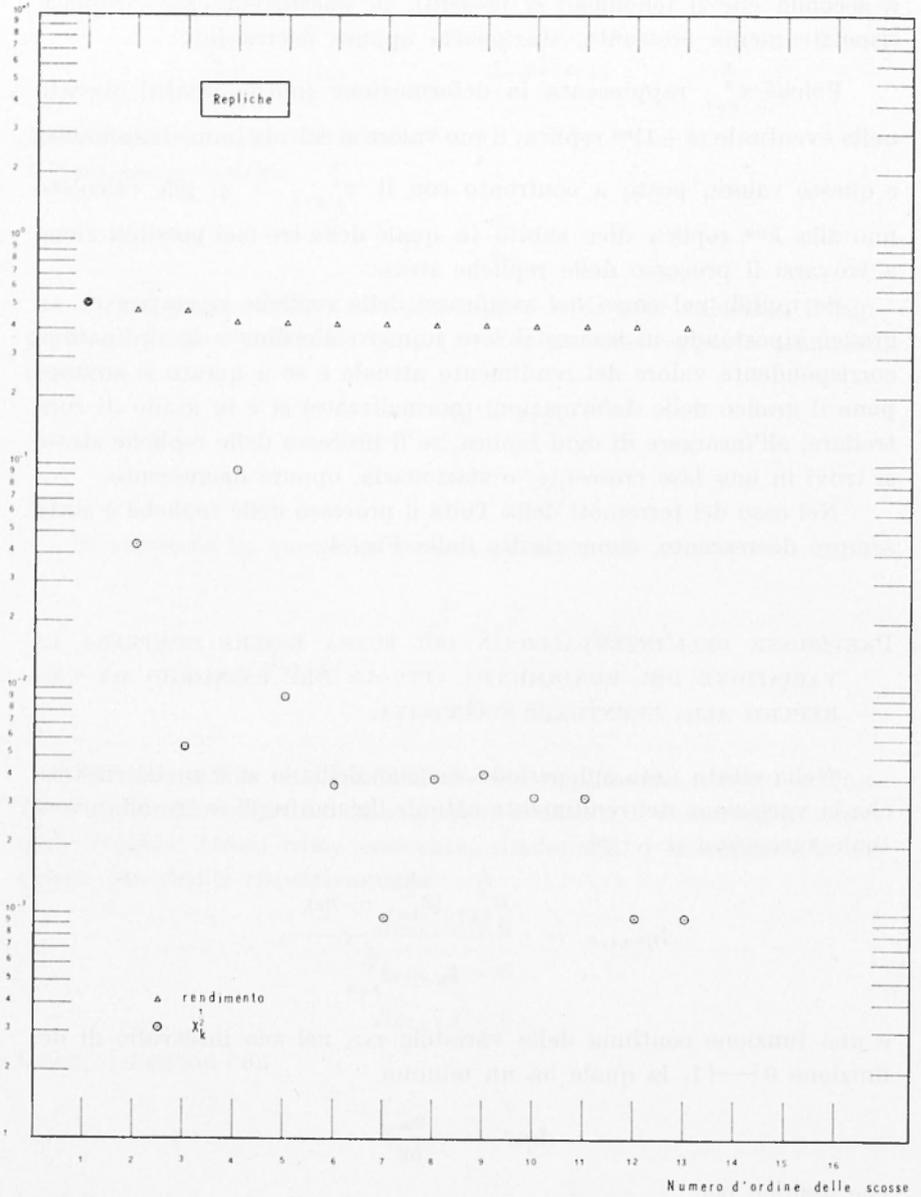


Fig. 4 - Rendimento attuale del processo delle repliche, in funzione del loro numero d'ordine.

Passa per lo zero quando

$$x_{k+1} - x_{o, k+1} = \eta_k^2$$

e poi cresce fino a raggiungere il suo valore più grande

$$\Delta\eta_M = \frac{1 - \eta_k}{1 + b_k}$$

che assume per

$$x_{k+1} = 1.$$

Pertanto l'intervallo entro il quale può variare il rendimento attuale nel passaggio del processo da una replica alla eventuale successiva può essere previsto in quanto vale sempre la limitazione

$$\Delta\eta_m \leq \Delta\eta_{k+1, k} \leq \Delta\eta_M.$$

Se si introduce la «variazione ridotta del rendimento attuale $\Delta\eta/\Delta\eta_M$ » il cui valore minimo prevedibile è definito dalla

$$r_m = \frac{\Delta\eta_m}{\Delta\eta_M}$$

da confrontare con l'eventuale analoga variazione ridotta *osservata*

$$r = \frac{\Delta\eta_{k+1, k}}{\Delta\eta_M}$$

si può prevedere l'intervallo entro il quale potrà essere compresa la grandezza r nel passaggio del processo delle repliche dalla k^{ma} alla $(k+1)^{ma}$, perché sussiste la limitazione

$$r_m \leq r \leq 1.$$

Evidentemente per

$$r_m \leq r < 0$$

il processo è decrescente.

Se $r = 0$

il processo è stazionario e se

$$0 < r \leq 1$$

il processo è crescente.

L'andamento di r_m in funzione del numero d'ordine delle repliche può fornire qualche indicazione sulla possibilità che il processo cambi fase.

Se fino ad un certo valore di k il processo delle repliche è risultato decrescente ($r_m \leq r < 0$), ma r_m è cresciuto rapidamente avvicinandosi al valore zero, sussiste il pericolo che il processo stesso cambi fase, passando da decrescente a crescente. È possibile peraltro che il processo cambi fase anche se non si presentano le suddette condizioni.

Nel caso del periodo sismico dei Monti della Tolfa il processo è stato sempre decrescente, come è stato già rilevato. Il parametro r_m è cresciuto piuttosto lentamente, come mostra la Fig. 5, e ciò ha

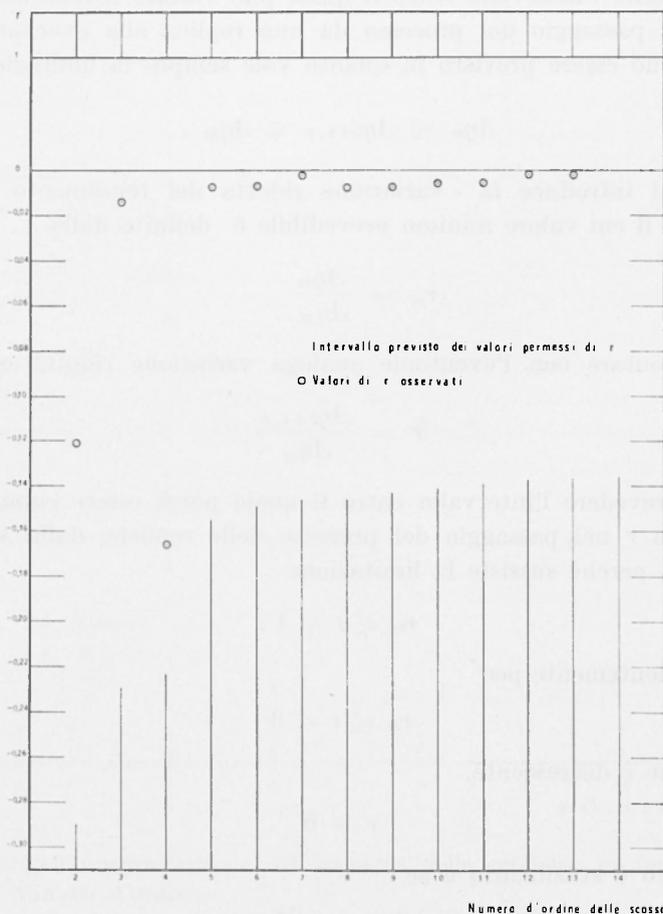


Fig. 5 — Intervallo previsto dei valori permessi del parametro r e valori osservati, in funzione del numero d'ordine delle repliche.

consentito di ritenere, dopo ogni replica, che difficilmente il processo avrebbe cambiato fase.

OSSERVAZIONI.

Il periodo sismico dei Monti della Tolfa iniziò alle 09^h55^m (ore legali) del giorno 2 Luglio 1969. Alle ore 14 circa era già stato costruito parte del grafico di Fig. 2, con le scosse verificatesi fino a quel momento.

Come si è già accennato, questo grafico induceva a ritenere che il periodo era iniziato direttamente con la scossa principale e che il fenomeno era già in fase di repliche.

La pratica certezza si ebbe dagli altri grafici costruiti il giorno successivo.

Vi è da rilevare che all'inizio di un periodo sismico sussiste sempre il dubbio se le prime scosse siano premonitricie o meno. Difatti l'intervallo di tempo che intercorre tra la prima scossa premonitrice e la scossa principale può essere molto breve, ma può durare anche qualche giorno, come mostrano i pochi dati contenuti nella Tabella V.

Tabella V

Periodo sismico	Magnitudo della scossa principale	Intervallo di tempo tra la prima scossa premonitrice e la scossa principale (ore)	Numero delle scosse premonitricie	Limite inf. della Magnitudo delle scosse premonitricie
Palombara Sabina ⁽⁵⁾ (1901)	6	70	7	2,4
Termini Imerese ⁽⁶⁾ (1906)	4,8	70	5	2,9
Irpinia ⁽⁷⁾ (1962)	6,2	2,4	3	4,5
Sicilia ⁽¹⁾ (1968)	6	13	7	3
Tolfa (1969)	4,3	—	0	—

BIBLIOGRAFIA

- (1) VALLE P. E., *Tentativo di controllo del periodo sismico siciliano iniziato il 14 Gennaio 1968*. « Annali di Geofisica », **XXII**, 1, (1969).
- (2) DE PANFILIS M., *Un periodo sismico nella zona dei Monti della Tolfa*. « Annali di Geofisica », **XXII**, 3, (1969).
- (3) DI FILIPPO D. - MARCELLI L., *Magnitudo ed energia dei terremoti in Italia*. « Annali di Geofisica », **III**, 3, (1950).
- (4) BENIOFF H., *Earthquakes and rock creep*. « Bull. Seism. Soc. Amer. », **XLI**, 31-62, (1951).
- (5) CANCELI A., *Sul periodo sismico iniziato il 24 Aprile 1901 sul territorio di Palombara Sabina*. « Boll. Soc. Sism. Italiana », **VII**, 169-193, (1901).
- (6) CIOFALO M., *Orografia, geologia e tettonica delle zone scosse dai terremoti di Termini Imerese del Settembre 1906*. « Boll. Soc. Sism. Italiana », **XIII**, 162-183, (1908).
- (7) DI FILIPPO D. - PERONACI F., *Indagine preliminare della natura fisica del fenomeno che ha originato il periodo sismico Irpino dell'agosto 1962*. « Annali di Geofisica » **XVI**, 4 (1963).