

Tentativo di controllo del periodo sismico siciliano iniziato il 14 Gennaio 1968

*(About an attempt to control the sicilian seismic phenomena started
on January 14th, 1968)*

P. E. VALLE

Ricevuto 20 Febbraio 1969

RIASSUNTO. — Vengono discussi i risultati di un tentativo di controllo del fenomeno sismico siciliano, effettuato sulla base del metodo intrinseco e della teoria dell'«elastic rebound».

SUMMARY. — The results of an attempt to control the sicilian seismic phenomena are discussed. The attempt has been made on the basis of the intrinsic method and of the elastic rebound theory.

1. — LA TEORIA DELL'«ELASTIC REBOUND» SECONDO H. BENIOFF (*).

In un fenomeno sismico di natura tettonica si possono distinguere generalmente tre fasi e precisamente una serie di scosse premonitriche, la scossa principale e una serie di repliche.

La spiegazione di questo fatto costituisce un problema difficile e la teoria formulata da H. Benioff nel 1951 ⁽¹⁾ è forse quanto di meglio possa oggi disporre la sismologia, anche perchè può essere utilizzata per un controllo del decorso del fenomeno.

(*) Durante il Convegno Annuale dell'Associazione Geofisica Italiana, tenuto a Roma dal 7 al 9 Marzo 1968, l'Autore fece una comunicazione sull'andamento del terremoto siciliano ⁽¹⁰⁾.

Per cause indipendenti dalla sua volontà non potè tradurre, in tempo utile per la pubblicazione sugli Atti del Convegno, la comunicazione in una nota scritta.

Sostanzialmente la teoria di H. Benioff fonda su due principi, uno di carattere geofisico e l'altro basato sul comportamento reologico delle rocce in laboratorio.

Il principio geofisico, detto dell'«elastic rebound», consiste nell'ipotesi che i terremoti tettonici siano dovuti ad una rapida liberazione della deformazione lentamente accumulata nelle masse di roccia, che costituiscono una faglia.

L'altro principio consiste nell'ammettere che il comportamento «in loco» delle rocce possa essere descritto mediante le leggi osservate in laboratorio.

Secondo queste leggi la deformazione di una roccia in funzione del tempo può essere espressa da relazioni del tipo

$$S = A + B \log t$$

$$S = C + D [1 - e^{-a(t-t_0)^\beta}]$$

a seconda che si tratti rispettivamente di deformazioni di pressione (trazione) o di distorsione, e nelle quali A , B , C , D , t_0 , a e β sono costanti dipendenti dalla natura del materiale.

Sulla base di questi due principi, H. Benioff formula un modello del meccanismo, secondo il quale si verifica un fenomeno sismico di carattere tettonico.

Il modello è illustrato dalla Fig. 1.

Gli elementi elastici G_1 e G_2 e l'elemento resistente R , descrivono il comportamento delle rocce in cui esiste la faglia, mentre R_1 è l'elemento secolare resistente del mezzo in cui la tensione generatrice secolare F , supposta costante, si origina e con F determina l'incremento della deformazione degli elementi elastici G_1 e G_2 .

Si supponga che in seguito ad un fenomeno sismico gli elementi G_1 e G_2 siano totalmente rilassati e che la faglia sia saldata.

Il sistema G_1 , G_2 , R_1 , R_2 viene lentamente deformato e l'incremento della deformazione nel tempo è determinato dalla tensione generatrice secolare F e dal termine secolare resistente R_1 , che si ritiene maggiore di R_2 .

La deformazione di G_1 e G_2 esercita una tensione sulla faglia, la quale cresce di un incremento secolare, fino al momento in cui questa tensione supera, in qualche punto, la tensione di coesione esistente nella faglia e inizia in quel punto lo scorrimento della faglia stessa.

Una volta che il movimento sia iniziato, l'attrito statico fra le labbra della faglia si trasforma in attrito dinamico e lo scorrimento

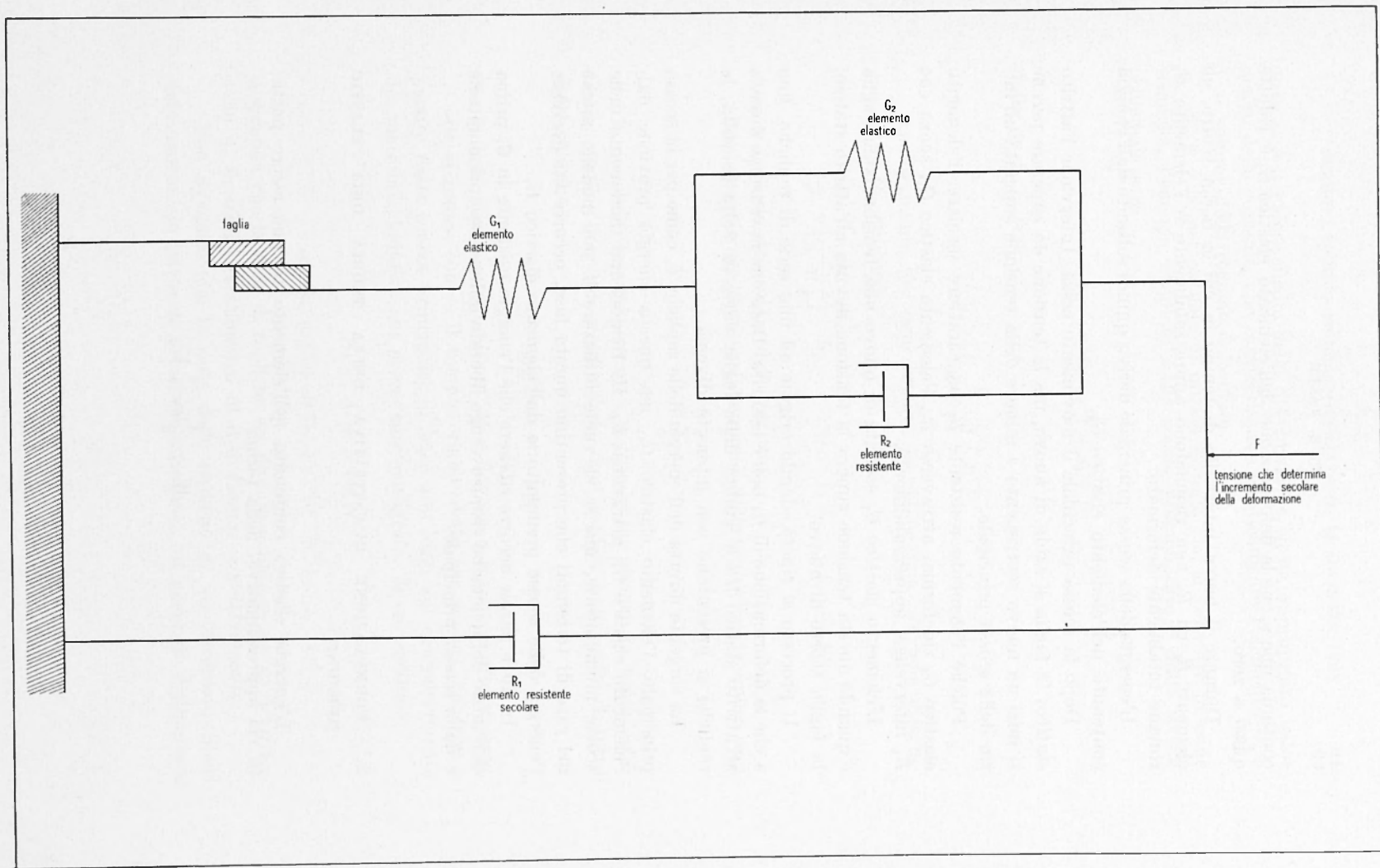


Fig. 1 - Schema del modello di H. Benioff secondo il quale si realizza un fenomeno sismico tettonico.

continua fino a che la deformazione dell'elemento elastico G_1 è ridotta quasi a zero.

Durante il breve intervallo di tempo in cui la faglia scorre, gli elementi R_1 ed R_2 non rispondono apprezzabilmente e l'elemento G_2 rimane totalmente deformato.

L'energia della scossa principale deriva quindi soltanto dall'energia contenuta nell'elemento elastico G_1 .

Dopo la scossa principale il movimento cessa. Interviene l'attrito statico, la faglia si salda di nuovo, ma la tensione da superare perchè si inizi un nuovo scorrimento è minore della tensione superata all'inizio della scossa principale.

Poiché l'elemento resistente R_1 ha carattere secolare, l'elemento elastico G_2 rideforma, attraverso R_2 , l'elemento elastico G_1 , senza che R_1 intervenga apprezzabilmente.

L'elemento elastico G_1 esercita di nuovo una tensione sulla faglia e quando questa tensione supera la tensione dovuta all'attrito statico, la faglia scorre di nuovo.

Il processo si ripete, dando origine ad una serie di repliche, fino a che la deformazione di G_2 non è esaurita. Dato che la tensione dovuta all'attrito statico fra le labbra della faglia varia di volta in volta, le repliche si presentano con intensità diversa.

La sorgente diretta dell'energia delle repliche è, come per la scossa principale, l'elemento elastico G_1 , ma questa energia proviene dall'elemento elastico G_2 , attraverso R_2 . H. Benioff non tiene conto delle scosse premonitricie, ma se si vuole utilizzare il suo modello anche nel caso di terremoti che presentino questa fase, occorre far derivare l'energia delle scosse premonitricie dall'elemento elastico G_1 .

In altre parole occorre ritenere che l'energia esistente in G_1 prima dell'inizio del fenomeno sismico venga liberata dalle scosse premonitricie e dalla scossa principale.

2. - FORMULAZIONE QUANTITATIVA DELLA TEORIA DELL'« ELASTIC REBOUND ».

L'energia elastica contenuta nell'elemento G_1 può essere posta, in via approssimativa, nella forma

$$W_1 = \frac{1}{2} \mu_1 \epsilon_0^2 V$$

dove ε_0 è il valore medio della deformazione, μ_1 un appropriato valor medio delle costanti, che caratterizzano elasticamente l'elemento G_1 e V il volume della regione deformata.

Se p è la percentuale di questa energia che si converte in onde sismiche, l'energia irradiata dalle scosse premonitricie e dalla scossa principale sarà

$$E_0 = \frac{1}{2} \mu_1 \varepsilon_0^2 V p$$

dalla quale si trae

$$\varepsilon_0 = \left(\frac{2}{\mu_1 V p} \right)^{1/2} E_0^{1/2}.$$

Analogamente per ogni replica, la cui energia proviene direttamente da G_1 , risulterà

$$\varepsilon_j = \left(\frac{2}{\mu_1 V p} \right)^{1/2} E_j \quad (j = 1, 2, \dots, k, \dots, n)$$

dove n è il numero totale delle repliche.

La deformazione liberata dalle repliche alla fine della k^{ma} replica sarà

$$S_k = \sum_1^k \varepsilon_j.$$

È possibile determinare questa grandezza, almeno in unità arbitrarie, perchè l'energia irradiata da ogni replica può essere dedotta dalla relazione

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

che la lega alla sua magnitudo M e dove a e b sono costanti note.

Se si indica con t_k il tempo origine della k^{ma} replica, contato a partire dalla scossa principale, in base alle leggi sul comportamento dei materiali, indicate nel precedente paragrafo, dovrà risultare

$$S_k = A + B \log t_k \quad \text{def. parallela}$$

$$S_k = C + D [1 - e^{-\alpha(t_k - t_0)^\beta}] \quad \text{def. di Taglio}$$

a seconda che la serie di repliche sia dovuta a liberazione di deformazioni di pressione (trazione) o di distorsione, rispettivamente.

Può avvenire che la serie delle repliche di un terremoto liberi deformazioni in parte di pressione (trazione), in parte di distorsione,

come mostrano alcuni diagrammi sperimentali costruiti da H. Benioff, che sono risultati in discreto accordo con le precedenti relazioni teoriche.

3. - IL RENDIMENTO ATTUALE DEL PROCESSO DELLE REPLICHE.

Si consideri ora l'energia esistente in G_2 prima dell'inizio del fenomeno sismico. Indicando con W_2 questa energia risulterà

$$W_2 = \frac{1}{2} \mu_2 \varepsilon_2^2 V$$

dove μ_2 e ε_2 sono rispettivamente la costante elastica e la deformazione massima dell'elemento G_2 .

Poiché l'energia contenuta in G_1 vale

$$W_1 = \frac{1}{2} \mu_1 \varepsilon_0^2 V$$

si ha subito

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{\mu_2 \varepsilon_2^2}{\mu_1 \varepsilon_0^2}.$$

Dato che prima dell'inizio del fenomeno sismico le tensioni in G_1 e G_2 sono uguali

$$\mu_2 \varepsilon_2 = \mu_1 \varepsilon_0$$

consegue

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_0}.$$

Ora

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{2}{\mu_1 V p} \right)^{1/2} \sum_1^n E_j^{1/2}$$

pertanto

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{\sum_j^n E_j^{1/2}}{E_0^{1/2}}.$$

Supposto che il fattore p sia lo stesso per tutte le scosse, che costituiscono il fenomeno sismico, indicando con Q l'energia di deformazione trasformata in calore nel processo delle repliche, si ha

$$p W_1 = E_0$$

$$p (W_2 - Q) = \sum_1^n E_j$$

dove il termine a secondo membro della seconda delle precedenti indica l'energia totale irradiata in onde sismiche dalle repliche.

Sussiste quindi la relazione

$$\frac{p Q + \sum_1^n E_j}{E_o} = \frac{\sum_1^n E_j^{1/2}}{E_o^{1/2}}$$

da cui

$$Q = \frac{1}{p} \left(E_o^{1/2} \sum_1^n E_j^{1/2} - \sum_1^n E_j \right).$$

Se si pone

$$Q_j = \frac{1}{p} (E_o^{1/2} E_j^{1/2} - E_j)$$

la quantità d'energia dissipata in calore dopo la k^{ma} replica sarà

$$Q_k = \frac{1}{p} \sum_1^k (E_o^{1/2} E_j^{1/2} - E_j).$$

È possibile quindi definire il rendimento attuale del processo delle repliche, cioè il rendimento relativo al passaggio dell'energia da G_2 e G_1 dopo la k^{ma} replica, mediante la relazione

$$\eta_k = \frac{\frac{1}{p} \sum_1^k E_j}{Q_k + \frac{1}{p} \sum_1^k E_j}$$

ossia

$$\eta_k = \frac{\sum_1^k E_j}{E_o^{1/2} \sum_1^k E_j^{1/2}}.$$

Evidentemente l'energia perduta dall'elemento G_2 dopo la k^{ma} replica è data da

$$\frac{1}{p} E_o^{1/2} \sum_1^k E_j^{1/2}$$

cosicchè il diagramma di H. Benioff non solo rappresenta in unità arbitrarie l'andamento della deformazione liberata dalle repliche in

funzione del tempo, ma anche, a meno di un fattore, forse assai prossimo ad uno, l'energia perduta dall'elemento G_2 dopo la k^{ma} replica.

Le repliche cesseranno quando

$$W_2 - \frac{1}{p} E_o^{1/2} \sum_1^k E_j^{1/2} = 0$$

e ciò si verificherà per $k = n$, dove n è il numero totale delle repliche.

Convien normalizzare le energie ponendo

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

dove E_o è la somma delle energie irradiate in onde sismiche dalle scosse premonitricie e dalla scossa principale e porre

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

Per quanto riguarda la deformazione liberata dalle scosse premonitricie e dalla scossa principale, coerentemente con quanto è stato esposto, essa dovrà essere calcolata mediante la relazione

$$S_{k_o} = \left(\sum_1^{k_o} x_j \right)^{1/2}$$

e risulterà

$$S_{k_o} = 1$$

per $k_o = n_o$, dove n_o è il numero totale delle scosse premonitricie, principale inclusa.

4. - LA DEFORMAZIONE LIBERATA DAL TERREMOTO SICILIANO DEL 15 GENNAIO 1968 IN FUNZIONE DEL TEMPO.

Uno studio dettagliato degli effetti macrosismici del terremoto siciliano del 15 Gennaio 1968 è stato recentemente pubblicato da M. De Panfilis e L. Marcelli (2).

In questa nota è quindi sufficiente ricordare che il fenomeno sismico ha presentato le tre fasi caratteristiche e cioè una serie di scosse premonitricie, la scossa principale e una serie di repliche, ancora oggi non totalmente esaurite.

L'intervallo di tempo intercorso tra la prima scossa premonitrice e la scossa principale è stato molto breve. Si tratta di circa 13 ore. La regione interessata dal terremoto è illustrata dalla Fig. 2, nella quale sono indicati gli epicentri, individuati dal B.C.I.S., della più forte scossa premonitrice, della scossa principale e delle tre repliche di maggiore intensità.

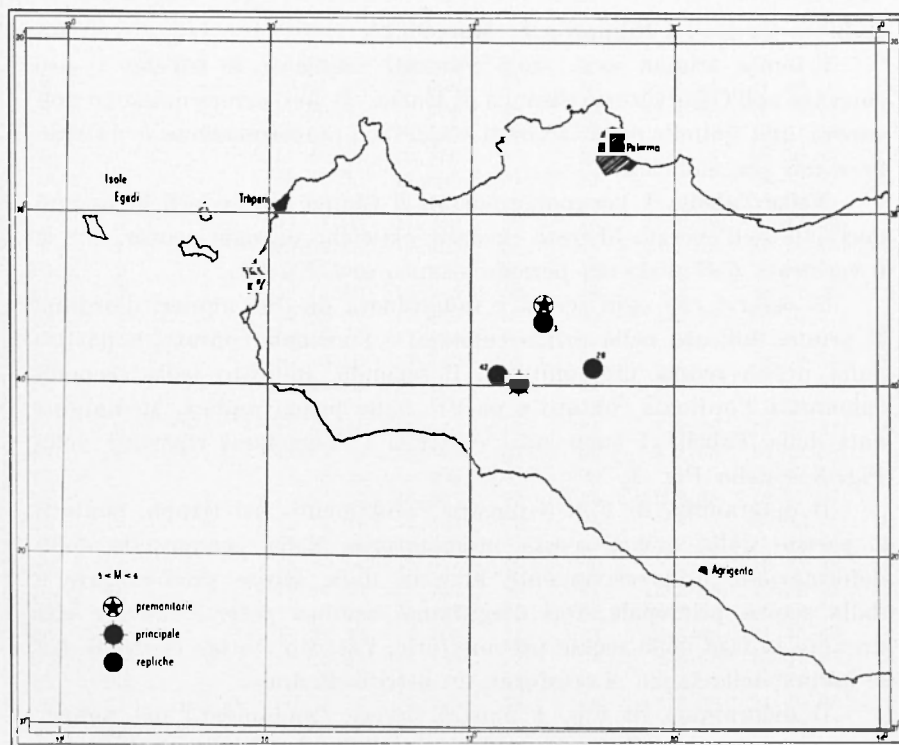


Fig. 2 - *Terremoto siciliano del 15-1-1968.* — Epicentri della scossa premonitrice più intensa, della scossa principale e delle tre repliche più intense.

Vi sono ragioni per ritenere che gli ipocentri delle scosse siano localizzabili nella crosta terrestre e quindi la loro profondità non supera probabilmente una quindicina di km, dato che tale è mediamente l'ordine di grandezza del suo spessore nel Mediterraneo Centro-Occidentale (3).

Le sole magnitudo delle scosse di cui si poteva disporre durante il periodo sismico sono state misurate da L. Marcelli nell'Osservatorio sismico di Roma, che dista dalla zona epicentrale circa 450 km (10).

Gli strumenti dell'Osservatorio hanno registrato con sufficiente chiarezza le scosse di magnitudo non inferiori a tre, e quindi in questa ricerca non vengono prese in considerazione le basse energie.

L'energia liberata in onde elastiche in ogni scossa è stata calcolata con la relazione

$$\text{Log } E = 9,154 + 2,147 M$$

stabilita da D. Di Filippo e L. Marcelli (1).

I tempi origine sono stati valutati mediante le tabelle di uso corrente nell'Osservatorio Sismico di Roma. Il loro errore massimo non supera una quindicina di secondi e questa approssimazione è da ritenere più che sufficiente.

Nella Tabella I vengono riportati il tempo origine e il logaritmo decimale dell'energia liberata in onde elastiche da ogni scossa, che si è verificata dall'inizio del periodo sismico al 1-IX-68.

Si osservi che ogni scossa è individuata da due numeri d'ordine. Il primo, indicato nella prima colonna, è l'ordinale contato, a partire dalla prima scossa premonitrice, il secondo, indicato nella seconda colonna, è l'ordinale contato a partire dalla prima replica. Mediante i dati della Tabella I sono stati costruiti i diagrammi riportati nella Fig. 3 e nella Fig. 4.

Il diagramma di Fig. 3 mostra l'andamento del tempo, contato a partire dalla prima scossa premonitrice, della percentuale della deformazione progressivamente liberata dalle scosse premonitrici e dalla scossa principale. Dal diagramma sembra potersi rilevare che durante la fase delle scosse premonitrici, l'attrito statico esistente fra le labbra della faglia si trasforma in attrito dinamico.

Il diagramma di Fig. 4 mostra invece l'andamento nel tempo, contato a partire dalla scossa principale, della percentuale della deformazione liberata progressivamente dalle repliche, fino al 1 Settembre 1968. Sostanzialmente il diagramma di Fig. 4 coincide col diagramma di H. Benioff e mostra che la deformazione liberata dalle repliche era di pressione (trazione).

La Tabella II è riassuntiva. Da questa tabella risulta che il rapporto fra l'energia contenuta inizialmente in G_2 e G_1 , alla data 1 Settembre 1968 risultava

$$\frac{W_2}{W_1} = 1,556$$

mentre l'energia irradiata in onde elastiche dalle repliche alla stessa

Tabella I

k_o	k	Data	H (T.M.E.C.)			k_o	k	Data	H (T.M.E.C.)			$\text{Log } E$ (E in erg)	
			h	m	s				h	m	s		
1		14-1-68	12	28	20	19,245	46	38	21-1-68	13	18	36	16,883
2		»	12	11	13	17,098	47	39	22-1-68	21	38	10	16,883
3		»	12	43	50	17,205	48	40	23-1-68	16	29	24	16,883
4		»	13	15	37	19,395	49	41	»	16	57	18	16,883
5		»	15	48	26	19,760	50	42	25-1-68	09	56	49	21,392
6		»	23	18	50	17,656	51	43	»	14	35	32	19,202
7		15-1-68	01	32	53	21,521	52	44	26-1-68	08	02	24	18,193
8		»	02	01	02	21,959	53	45	27-1-68	17	43	59	17,313
9	1	»	03	03	58	17,935	54	46	28-1-68	22	21	20	16,883
10	2	»	03	13	50	17,871	55	47	30-1-68	18	50	48	16,239
11	3	»	03	18	36	19,975	56	48	»	18	51	56	16,239
12	4	»	09	03	53	17,849	57	49	1-2-68	05	16	57	16,239
13	5	»	09	40	20	17,549	58	50	»	06	01	58	16,239
14	6	»	10	10	30	17,742	59	51	»	22	59	34	16,024
15	7	»	10	25	02	18,193	60	52	2-2-68	14	25	57	16,024
16	8	»	10	41	30	16,905	19	53	»	17	20	11	16,883
17	9	»	10	54	44	18,515	62	54	5-2-68	11	17	31	16,883
18	10	»	13	41	36	18,558	63	55	8-2-68	14	42	36	17,098
19	11	»	13	43	50	16,905	64	56	»	23	02	40	16,132
20	12	»	14	59	34	18,687	65	57	10-2-68	12	31	07	16,132
21	13	»	15	14	54	16,883	66	58	»	20	02	17	16,346
22	14	»	15	37	48	18,429	67	59	12-2-68	11	25	44	16,239
23	15	»	15	39	44	17,914	68	60	»	16	25	38	19,030
24	16	»	16	34	30	17,742	69	61	13-2-68	22	32	22	17,313
25	17	»	16	48	50	16,883	70	62	16-2-68	05	52	21	16,346
26	18	»	17	31	30	18,408	71	63	2-3-68	21	45	32	16,454
27	19	»	18	22	39	19,159	72	64	4-3-68	23	37	35	18,171
28	20	»	22	19	41	18,472	73	65	5-3-68	09	34	37	16,024
29	21	16-1-68	00	53	51	18,193	74	66	15-3-68	21	46	09	16,883
30	22	»	04	09	04	17,227	75	67	30-3-68	09	35	37	16,883
31	23	»	12	11	03	16,883	76	68	»	13	30	51	16,239
32	24	»	13	10	29	18,450	77	69	»	13	37	43	19,052
33	25	»	14	29	23	17,828	78	70	»	16	16	47	16,883
34	26	»	16	42	37	21,542	79	71	1-4-68	16	14	01	18,386
35	27	»	19	02	17	16,905	80	72	6-4-68	02	19	37	16,239
36	28	»	20	32	04	16,905	81	73	29-5-68	00	36	57	16,668
37	29	17-1-68	02	36	23	16,905	82	74	»	01	36	19	17,098
38	30	»	03	46	19	16,883	83	75	30-5-68	18	55	37	16,239
39	31	»	12	06	39	16,883	84	76	»	23	19	47	18,171
40	32	19-1-68	12	20	24	17,313	85	77	1-6-68	15	29	37	16,668
41	33	»	22	33	06	17,313	86	78	7-6-68	04	42	47	16,024
42	34	»	23	42	06	16,905	87	79	16-8-68	03	27	17	16,883
43	35	20-1-68	03	28	25	17,098	88	80	1-9-68	05	01	39	17,957
44	36	»	19	34	46	17,313	89	81	»	12	54	12	16,668
45	37	21-1-68	02	38	36	17,935							

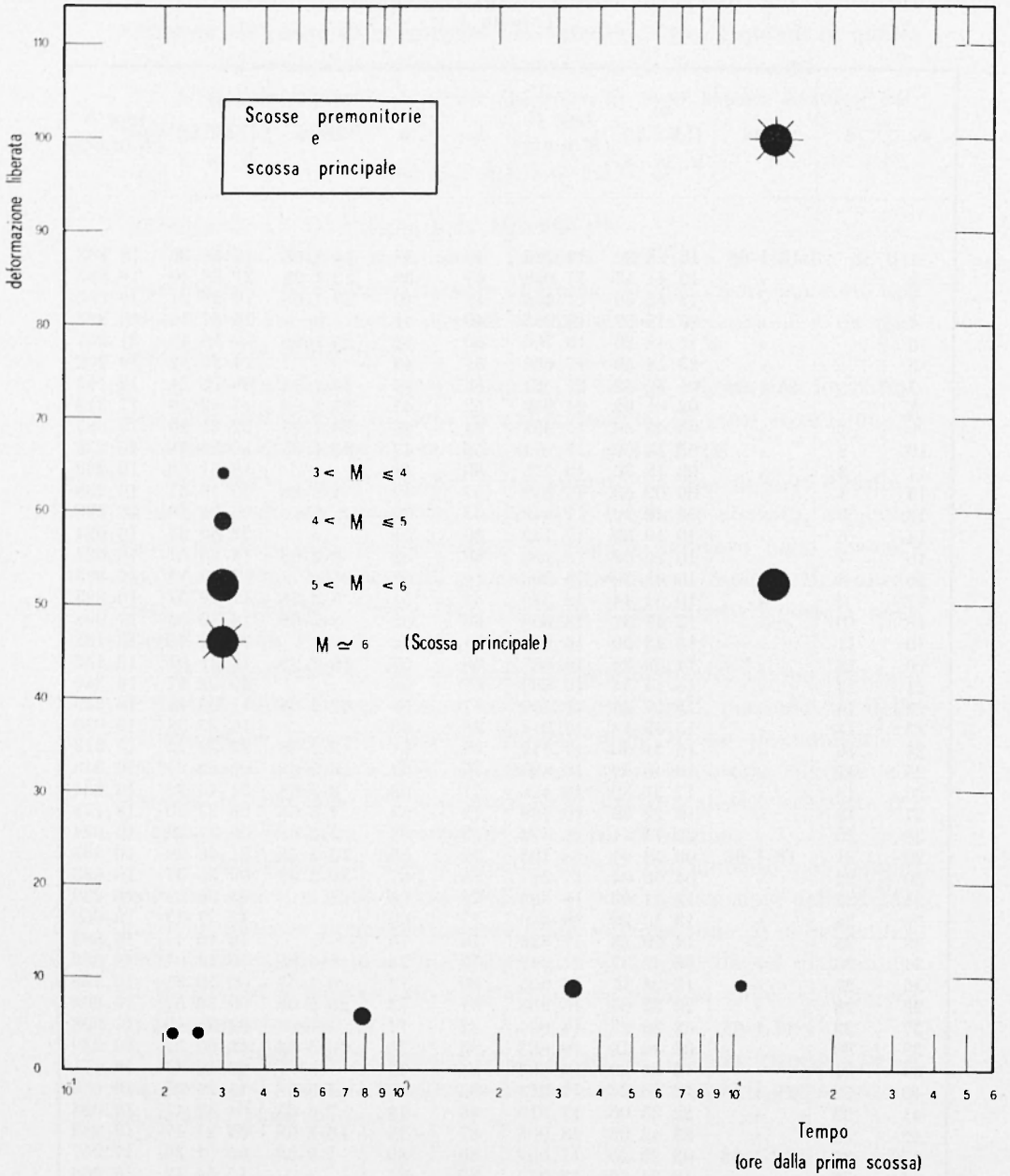


Fig. 3 - *Terremoto siciliano del 15-1-1968.* — Percentuale della deformazione liberata dalle scosse premonitorie e dalla scossa principale in funzione del tempo.

data era solo il 49% dell'energia irradiata in onde elastiche dalle scosse premonitricie e dalla scossa principale.

Tabella 11

Natura delle scosse	Magnitudo	Numero	Percentuale dell'energia liberata in onde elastiche	Percentuale della deformazione liberata in onde elastiche
Premonitricie	$3 < M \leq 4$	3	27,3	52,3
	$4 < M \leq 5$	3		
	$5 < M \leq 6$	1		
Principale	$M \cong 6$	1	72,7	—
Totale		8	100	100
Repliche	$3 < M \leq 4$	54	49,0	155,6
	$4 < M \leq 5$	24		
	$5 < M \leq 6$	3		
Totale		81	49,0	155,6

Il rendimento del processo delle repliche risultava pari a

$$\eta = \frac{49}{155,6}$$

ossia pari a circa il 31,5%, cosicché il 68,5% dell'energia erogata da G_2 al 1 Settembre 1968 si era dissipata in calore.

5. - LA DISTRIBUZIONE DELLE SCOSSE NEL TEMPO.

La distribuzione delle scosse di un fenomeno sismico nel tempo è una questione che si trascina da più di mezzo secolo e ancora oggi risente dell'errata impostazione iniziale.

Questa impostazione consiste nella ricerca dell'andamento nel tempo della frequenza delle scosse, intendendo per frequenza il

numero delle scosse che si verificano in un prefissato intervallo di tempo.

Ora non esiste alcun criterio per stabilire l'ampiezza di questo intervallo e quindi la frequenza delle scosse non è una grandezza fisica, perchè non ammette una definizione operativa.

Non è questa la sede per discutere se la nozione di tempo sia stata inventata perchè in natura esistono gli orologi o viceversa, ma è forse conveniente richiamare l'attenzione sul fatto che ogni fenomeno naturale ha un tempo proprio, il quale è operativamente definito dal numero d'ordine degli eventi in cui il fenomeno si realizza.

Se fra questo numero e il corrispondente numero d'ordine degli eventi indicati da un'orologio convenzionale esiste una qualche relazione, essa può essere messa in evidenza mediante il confronto delle due serie di numeri, avendo cura che le due serie abbiano la stessa origine.

In pratica si tratta semplicemente di costruire, con scale opportune, un grafico riportando in ascisse una delle due serie e l'altra in ordinate.

Per il fenomeno sismico siciliano è stato costruito il diagramma di Fig. 5.

In ascisse è riportato, in scala logaritmica e misurato in ore, il tempo di ciascuna scossa, contato a partire dalla prima, e in ordinate il relativo numero d'ordine, contato anch'esso a partire dalla stessa origine.

Il diagramma mostra che il numero d'ordine delle scosse premonitricie è praticamente proporzionale al logaritmo del tempo e altrettanto avviene per le repliche, ma con andamento differente.

Si rileva facilmente dal diagramma che la scossa principale divide effettivamente due fasi assai diverse dello stesso fenomeno.

Ciò non sembra essere casuale. Infatti gli analoghi diagrammi di Fig. 6 costruiti per il terremoto di Palombara Sabina del 24 Aprile 1901 (5) e per il terremoto di Termini Imerese dell'11 Settembre 1906 (6), mostrano caratteristiche assai simili.

Occorre però avvertire che per il terremoto Marsicano del 13 Gennaio 1915 la dipendenza del numero d'ordine delle repliche dal tempo appare alquanto più complicata (7-8).

Questo terremoto, a quanto è dato di conoscere, iniziò direttamente con la scossa principale ed ebbe più di milleduecento repliche.

Non sembra peraltro che sia stato causato da scorrimento di faglie.

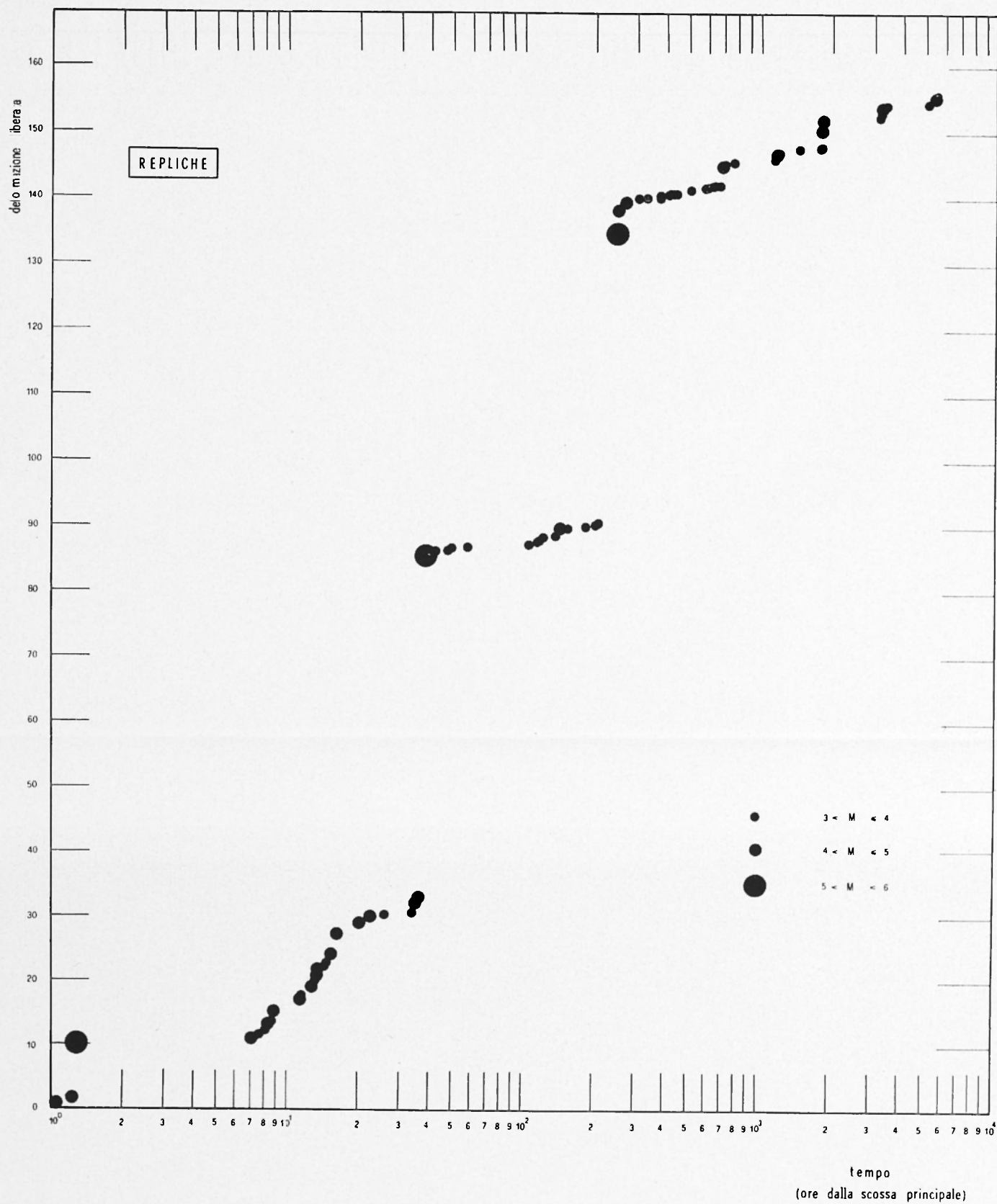


Fig. 4 - *Terremoto siciliano del 15-1-1968.* — Percentuale della deformazione liberata dalle repliche in funzione del tempo.

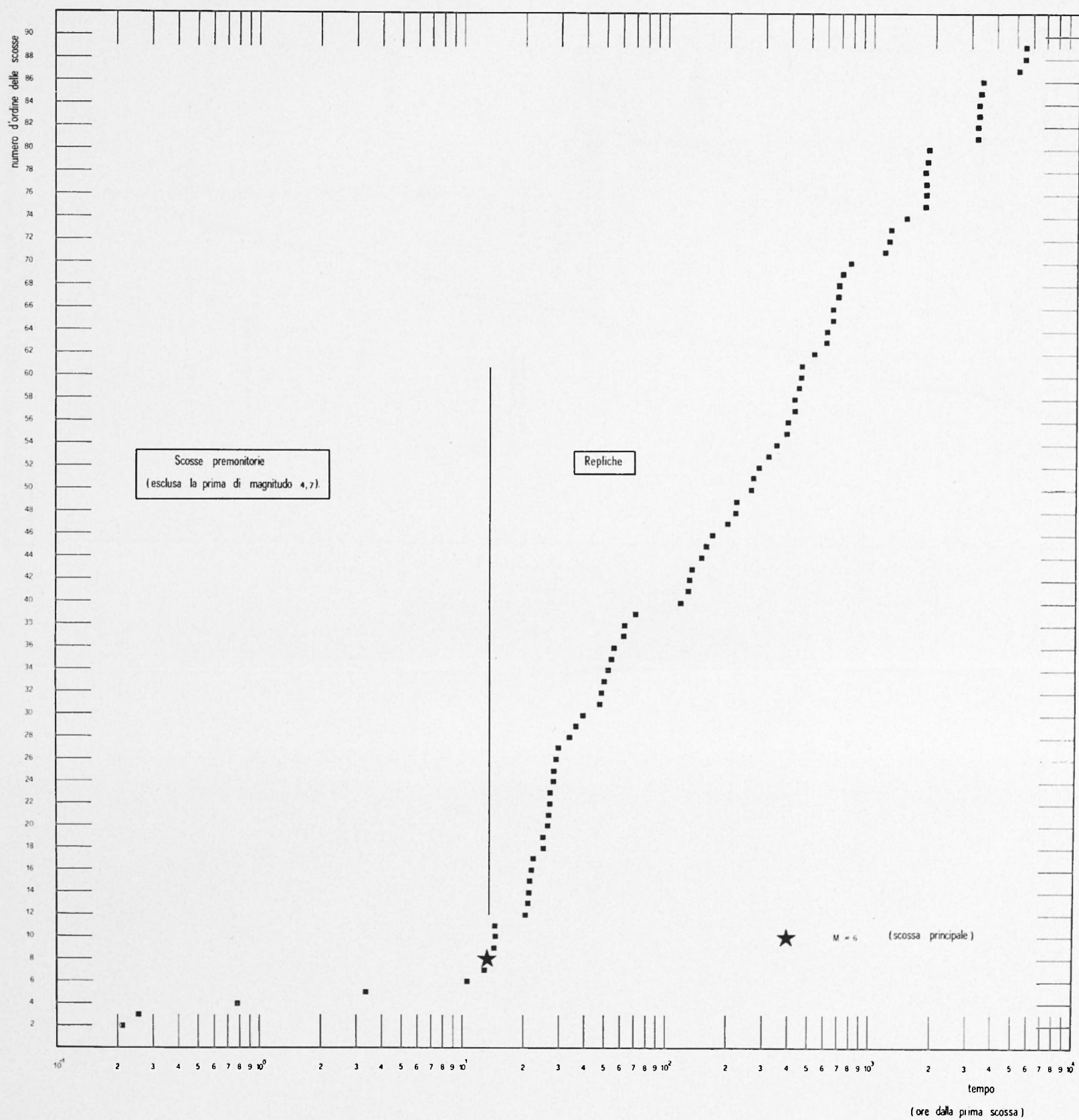


Fig. 5 - Terremoto siciliano del 15-1-1968. — Numero d'ordine delle scosse in funzione del tempo.

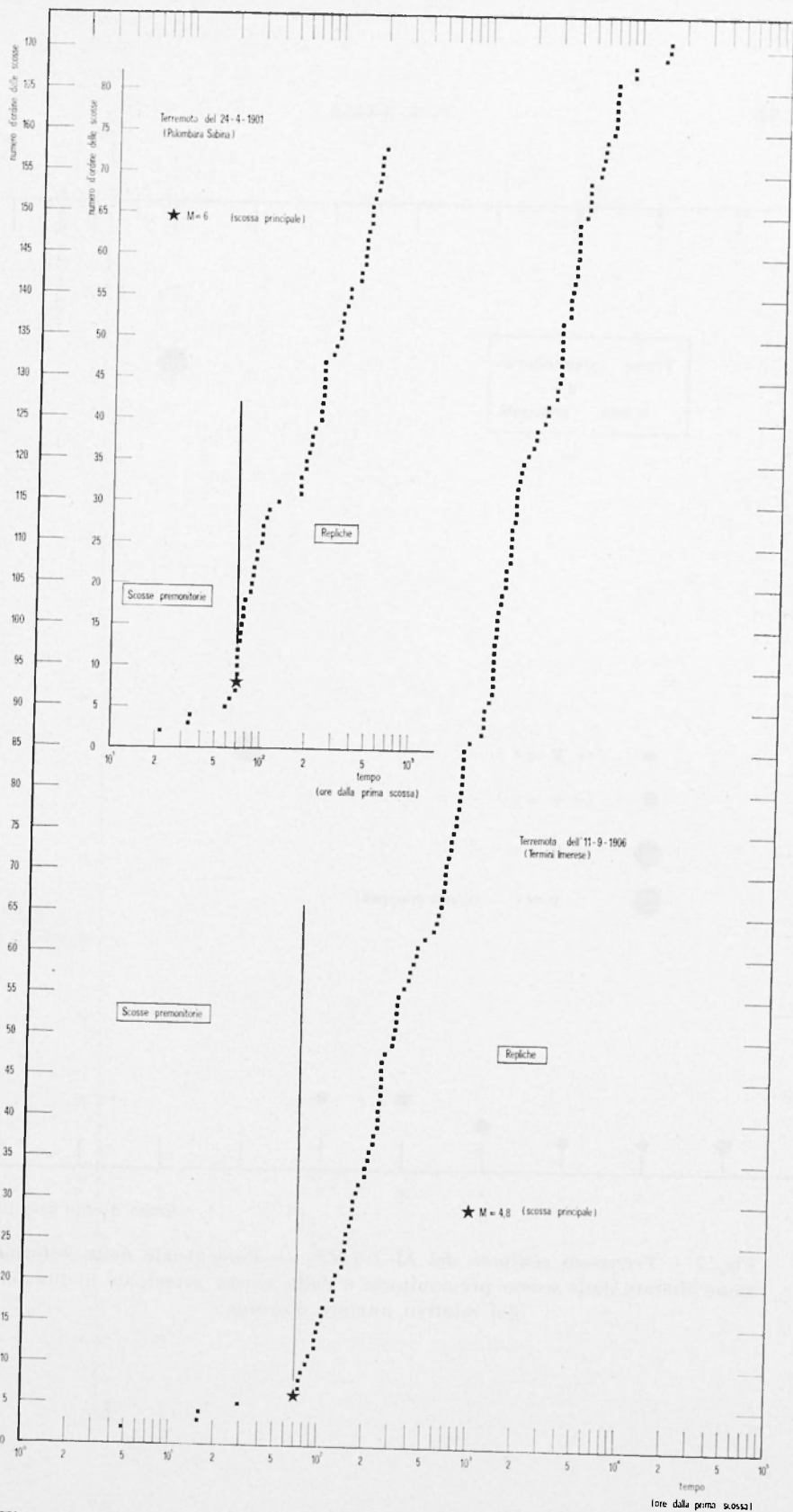


Fig. 6 - Terremoti di Palombara Sabina del 24-4-1901 e terremoti di Termini Imerese dell'11-9-1906. — Numero d'ordine delle scosse in funzione del tempo.

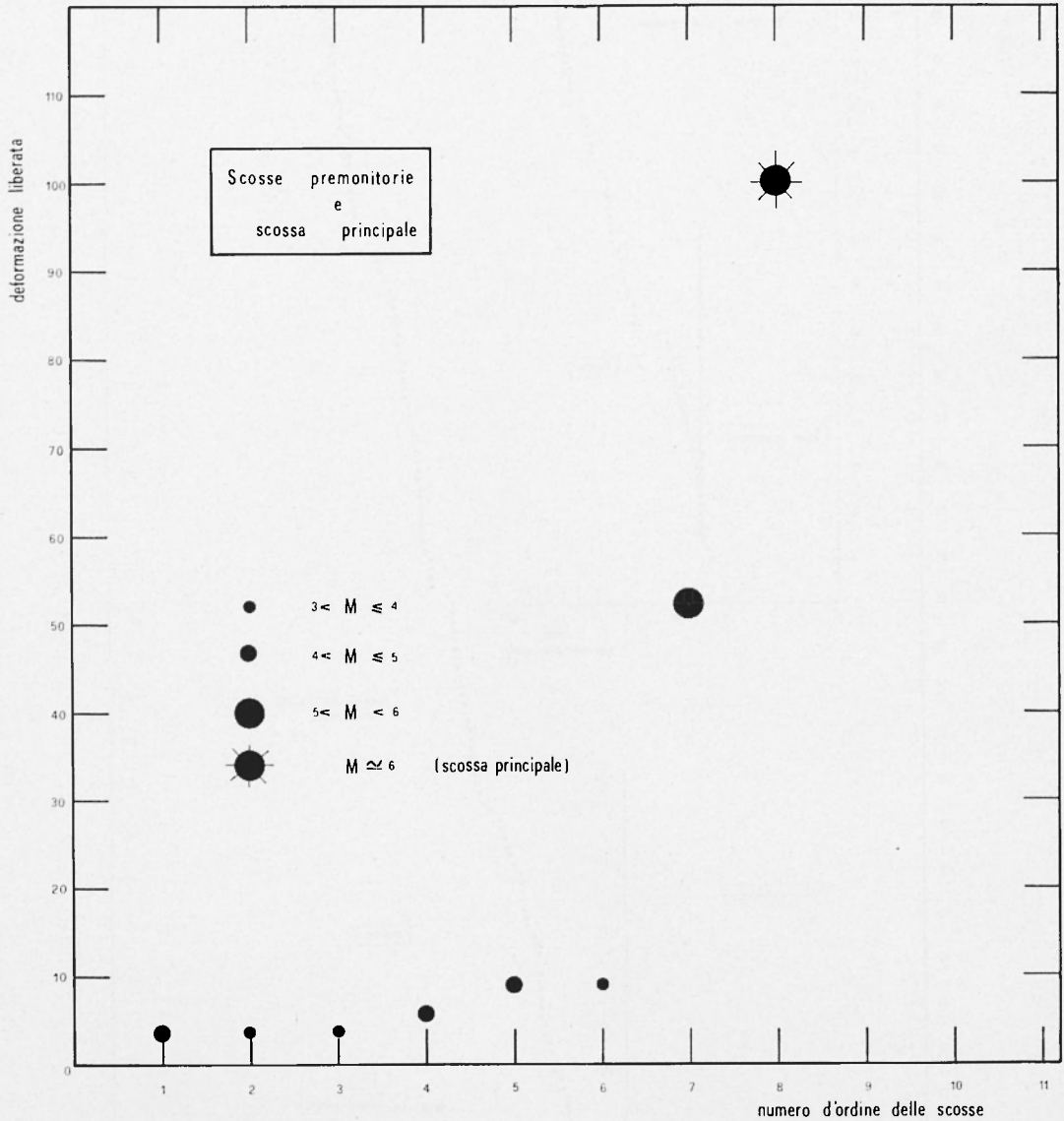


Fig. 7 - *Terremoto siciliano del 15-1-1968.* — Percentuale della deformazione liberata dalle scosse premonitorie e dalla scossa principale in funzione del relativo numero d'ordine.

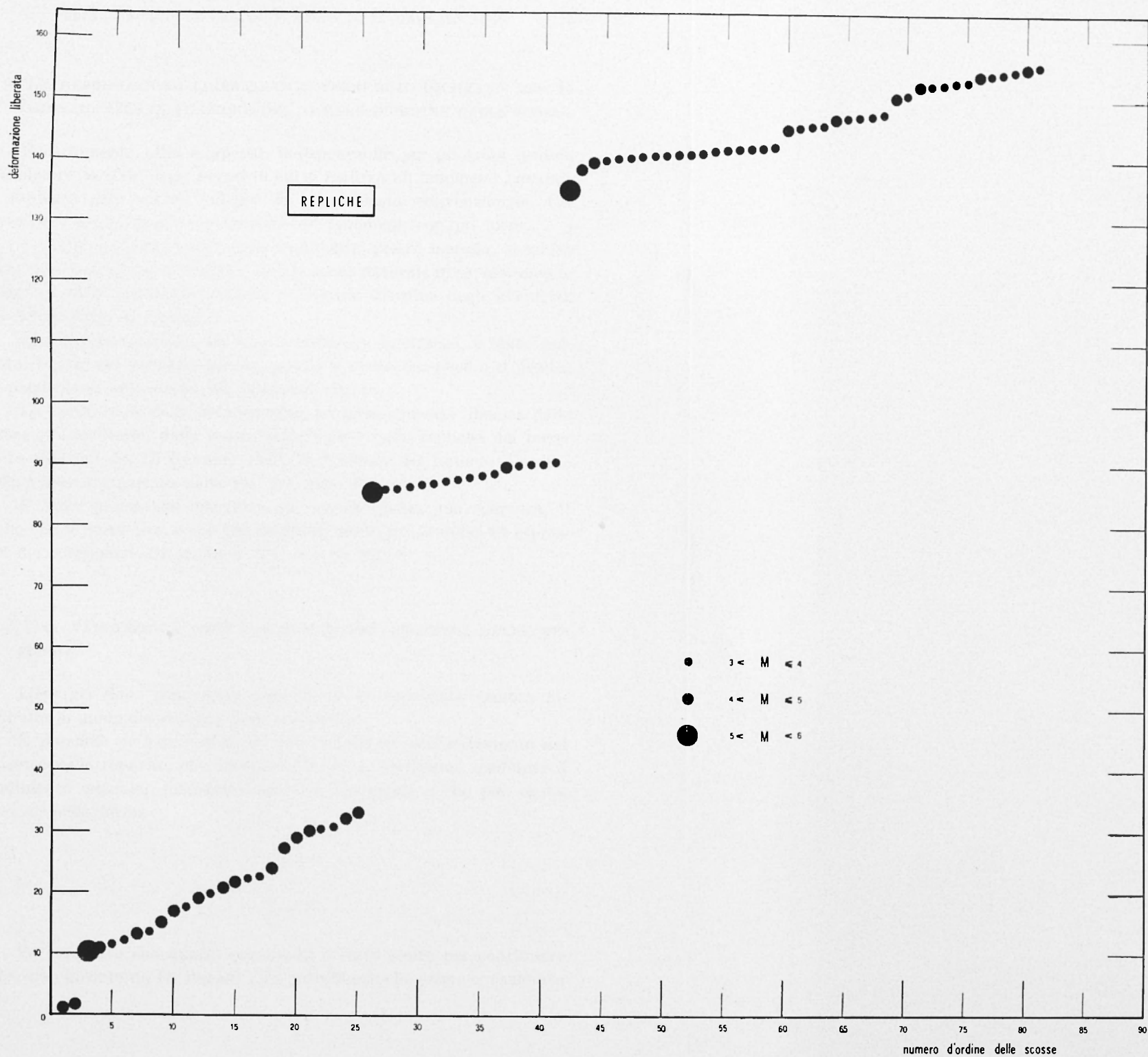


Fig. 8 - *Terremoto siciliano del 15-1-1968.* — Percentuale della deformazione liberata dalle repliche in funzione del relativo numero d'ordine.

6. - LA DEFORMAZIONE LIBERATA DAL TERREMOTO SICILIANO DEL 15 GENNAIO 1968 IN FUNZIONE DEL NUMERO D'ORDINE DELLE SCOSSE.

È certamente utile e, spesso, indispensabile per gli scopi pratici, considerare la serie degli eventi in cui si realizza un fenomeno naturale in rapporto agli eventi indicati da un orologio convenzionale. Ciò significa sostanzialmente confrontare un fenomeno con un altro.

Talvolta peraltro è più utile tralasciare questo metodo, in verità piuttosto complicato, e studiare un fenomeno naturale in sè, assumendo come variabile temporale propria il numero d'ordine degli eventi in cui il fenomeno si realizza.

Con questo metodo, che si può chiamare intrinseco, è stato eseguito il resto del presente lavoro, perchè è molto semplice e si presta, in particolare, allo studio dei fenomeni sismici.

La percentuale della deformazione progressivamente liberata dalle scosse premonitricie, dalla scossa principale e dalle repliche del terremoto siciliano del 15 Gennaio 1968, in funzione del numero d'ordine delle scosse, è riportata nella Fig. 7 e nella Fig. 8.

È forse prematuro discutere qui questi grafici, ma, per ora, il meno che si possa dire, è che essi risultano molto più semplici ed espressivi dei corrispondenti grafici di Fig. 5 e di Fig. 6.

7. - UNA VALUTAZIONE DELL'ANDAMENTO DEL PROCESSO DELLE REPLICHE.

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

È possibile però pervenire ad una definizione dell'andamento del processo delle repliche, che successivamente si verificano, mediante il rendimento attuale, introdotto nel terzo paragrafo e che può essere espresso nella forma

$$\eta_k = \frac{\sum_j^k x_j}{k \sum_j^k x_j^{1/2}} .$$

Va osservato che questo parametro è stato scelto per continuare il discorso iniziato da H. Benioff. Ma potrebbe anche essere considerato

al di fuori di tale discorso, rimanendo tuttavia una grandezza valida perchè definita operativamente, senza avere peraltro il significato fisico che la teoria di H. Benioff gli conferisce.

Per semplicità conviene porre

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

e 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 successiva $(k + 1)^{\text{ma}}$ replica tale rapporto assumerà il valore

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

dove x_{k+1} è l'energia (normalizzata) liberata in onde elastiche dalla eventuale $(k + 1)^{\text{ma}}$ replica.

Il rapporto in questione varierà pertanto di

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

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

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

perchè queste tre eventualità si verificano se sono rispettivamente soddisfatte le condizioni

$$x_{k+1}^{1/2} < \eta_k , \quad x_{k+1}^{1/2} = \eta_k , \quad x_{k+1}^{1/2} > \eta_k$$

nelle quali con x_{k+1} si è indicata la deformazione liberata nella $(k + 1)^{\text{ma}}$ eventuale replica.

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, si può seguire il fenomeno nelle sue fasi decrescenti, stazionarie e crescenti.

Si osservi che qualunque sia stato l'andamento del processo alla k^{ma} replica, indicando con

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

la deformazione (normalizzata) che dovrà essere liberata dalla eventuale $(k+1)^{\text{ma}}$ replica affinché l'andamento risulti stazionario, si avrà

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

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

Ciò vuol dire che è possibile prevedere il massimo e il minimo valore della deformazione che dovrà essere liberata dalla eventuale $(k+1)^{\text{ma}}$ replica, affinché il processo assuma l'andamento decrescente o crescente rispettivamente, dato che il valore di $x_{o,k+1}$ può essere calcolato con i dati fino alla k^{ma} replica, che sono noti.

In queste considerazioni si può anche introdurre la magnitudo delle repliche.

Sia M_o la magnitudo di una scossa unica di energia E_o , cioè di una scossa di energia uguale alla somma delle energie delle scosse premonitricie e della scossa principale.

Dalla relazione contenuta nel secondo paragrafo si ha

$$\text{Log } E_o = b + a M_o .$$

Poiché per una replica di energia E_k risulta

$$\text{Log } E_k = b + a M_k .$$

Consegue

$$\frac{a}{2} (M_k - M_o) = \text{Log } x_k^{1/2}$$

da cui

$$M_k = a M_o + 2 \text{Log } x_k^{1/2} .$$

Posto pertanto

$$M_{o,k+1} = a M_o + 2 \text{Log } x_{o,k+1}^{1/2}$$

che è una grandezza nota, qualunque sia stato l'andamento del processo alla k^{ma} replica, risulterà

$$M_{k+1} < M_{o,k+1} , \quad M_{k+1} = M_{o,k+1} , \quad M_{k+1} > M_{o,k+1}$$

a seconda che alla $(k+1)^{\text{ma}}$ replica il processo si presenti rispettivamente decrescente, stazionario o crescente.

La Tabella III chiarisce la questione.

Tabella III

Andamento del processo alla k^{ma} replica (noto)	Per la fase stazionaria della eventuale $(k+1)^{ma}$ replica		Andamento del processo alla eventuale $(k+1)^{ma}$ replica (ignoto)	Deformazione liberata dalla eventuale $(k+1)^{ma}$ replica	Magnitudo della eventuale $(k+1)^{ma}$ replica
	Deformazione (nota)	Magnitudo (nota)			
Decrescente Stazionario Crescente			Decrescente	È minore di $x_{o,k+1}^{1/2}$	È minore di $M_{o,k+1}$ $\frac{a}{2} (M_{o,k+1} - M_o) < \text{Log } \eta_k$
	$x_{o,k+1}^{1/2} = \eta_k$	$M_{o,k+1}$	Stazionario	È uguale a $x_{o,k+1}^{1/2}$	È uguale a $M_{o,k+1}$ $\frac{a}{2} (M_{o,k+1} - M_o) = \text{Log } \eta_k$
			Crescente	È maggiore di $x_{o,k+1}^{1/2}$	È maggiore di $M_{o,k+1}$ $\frac{a}{2} (M_{o,k+1} - M_o) > \text{Log } \eta_k$

Il diagramma del rendimento attuale del processo delle repliche del terremoto siciliano del 15 Gennaio 1968 è riportato in Fig. 9.

Questo diagramma pone in evidenza che vi sono state soltanto tre fasi crescenti, ognuna costituita da una sola replica e corrispondenti alle repliche $k = 3$, $k = 26$, $k = 42$.

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

Nel paragrafo precedente si è fatto vedere come l'introduzione del rendimento attuale del processo delle repliche consenta di risolvere tale processo in fasi decrescenti, stazionarie e crescenti e ciò in relazione alla variazione che detto parametro subisce da una replica alla successiva.

Questa variazione

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

è una funzione continua della variabile x_{k+1} , definita nell'intervallo $0 \leq x_{k+1} \leq 1$, e che può essere calcolata dopo la k^{ma} replica, perchè sono noti i valori di η_k e b_k .

Si vede facilmente che essa decresce al crescere di x_{k+1} , fino al valore minimo

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

che assume per

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

con

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

e poi cresce passando per lo zero quando

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

fino a raggiungere il valore più grande

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

che assume per

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

Dopo ogni replica si può quindi costruire, in funzione di x_{k+1} o di $x_{k+1}^{1/2}$, il grafico dei valori che la variazione del rendimento attuale potrà assumere se successivamente si verificherà un'altra replica.

Nella Fig. 10 è riportato uno di questi grafici.

Esso è costruito con i dati fino alla replica venticinquesima e si riferisce alla eventuale replica ventiseiesima.

L'intervallo entro il quale può variare il rendimento attuale del processo delle repliche, nel passaggio del processo da una preplica alla eventuale successiva, può quindi essere previsto, poiché sussiste la limitazione

$$-b_k (-1 + \sqrt{1 + \eta_k/b_k})^2 \leq \Delta \eta_{k+1,k} \leq \frac{1 - \eta_k}{1 + b_k} .$$

Convieni peraltro considerare la variazione ridotta del rendimento attuale, il cui valore minimo prevedibile è definito dalla

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

da confrontare con l'eventuale analoga grandezza osservata

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

Risulterà sempre

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

La grandezza r_m può fornire indicazioni sulla tendenza del processo delle repliche a passare da una fase all'altra. Si supponga che alla k^{ma} replica il processo risulti decrescente, ma che il valore di r_m previsto per la eventuale $(k+1)^{ma}$ replica risulti elevato e prossimo allo zero. In questo caso è manifesta la possibilità che il processo alla eventuale $(k+1)^{ma}$ replica cambi fase, assumendo l'andamento crescente, col pericolo che l'energia liberata in onde elastiche da questa eventuale replica superi il valore previsto di $x_{o,k+1}$.

Viceversa accade se il processo risulta crescente, ma r_m è molto piccolo. In questo caso è grande la possibilità che il processo passi da crescente a decrescente e che quindi la replica successiva liberi in onde elastiche un'energia inferiore al valore previsto di $x_{o,k+1}$.

Tabella IV — (REPLICHE)

k	$x_0^{1/2}$ (previsto)	$x_m^{1/2}$ (previsto)	$x^{1/2}$ (osservato)	$\sum x^{1/2}$ (osservato)	$\Delta \eta_m$ (previsto)	$\Delta \eta$ (osservato)	$\Delta \eta_M$ (previsto)	r_m (previsto)	r (osservato)
1	—	—	0,008293	0,008293	—	—	—	—	—
2	0,008293	0,003435	0,007704	0,015997	0,001423	0,0002837	0,9835	0,001447	0,0002884
3	0,008009	0,003600	0,008680	0,102837	0,0008100	0,06657	0,9764	0,0008296	0,06818
4	0,07458	0,03224	0,007511	0,110348	0,01010	0,004565	0,8391	0,01204	0,005440
5	0,07001	0,03073	0,005318	0,115666	0,008556	0,002974	0,8376	0,01022	0,003551
6	0,06704	0,02970	0,006641	0,122307	0,007628	0,003279	0,8362	0,009122	0,003921
7	0,06376	0,02855	0,011161	0,133468	0,006663	0,004398	0,8342	0,007987	0,005273
8	0,05936	0,02696	0,002533	0,136002	0,005445	0,001059	0,8299	0,006561	0,001276
9	0,05830	0,02656	0,016170	0,152172	0,005186	0,004477	0,8290	0,006256	0,005401
10	0,05382	0,02488	0,016991	0,169163	0,004067	0,003700	0,8212	0,004953	0,004505
11	0,05012	0,02344	0,002533	0,171697	0,003248	0,0007022	0,8124	0,003997	0,0008644
12	0,04942	0,02315	0,019711	0,191408	0,003121	0,003060	0,8113	0,003848	0,003771
13	0,04636	0,02193	0,002470	0,193878	0,002512	0,0005592	0,8004	0,003138	0,0006986
14	0,04580	0,02169	0,014646	0,208524	0,002426	0,02188	0,7992	0,003036	0,002738
15	0,04361	0,02077	0,008095	0,216619	0,002069	0,001327	0,7914	0,002615	0,001677
16	0,04229	0,02020	0,006641	0,223260	0,001884	0,001060	0,7872	0,002393	0,001347
17	0,04123	0,01974	0,002470	0,225730	0,001745	0,0004241	0,7838	0,002227	0,0005411
18	0,03922	0,01955	0,014296	0,240026	0,001694	0,001579	0,7825	0,002165	0,002017
19	0,03922	0,01887	0,033940	0,273987	0,001484	0,0006546	0,7748	0,001915	0,0008449
20	0,03857	0,01865	0,015389	0,289356	0,001270	0,001233	0,7547	0,001682	0,001634
21	0,03734	0,01810	0,011161	0,300518	0,001132	0,0009722	0,7466	0,001517	0,001302
22	0,03636	0,01766	0,003670	0,304188	0,001038	0,0003945	0,7410	0,001401	0,0005324
23	0,03597	0,01748	0,002470	0,306658	0,001005	0,0002698	0,7392	0,001359	0,0003651
24	0,03570	0,01736	0,015004	0,321663	0,0009826	0,0009654	0,7380	0,001331	0,001308
25	0,03473	0,01692	0,007332	0,328994	0,0008903	0,0006107	0,7303	0,001219	0,0008362
26	0,03412	0,01664	0,027496	0,356490	0,0008418	0,3039	0,7268	0,001158	0,4181
27	0,03380	0,1550	0,002533	0,359024	0,02804	0,0009893	0,3566	0,07863	0,002774

(segue Tabella IV)

k	$x_o^{1/2}$ (previsto)	$x_m^{1/2}$ (previsto)	$x^{1/2}$ (osservato)	$\Sigma x^{1/2}$ (osservato)	$\Delta \eta_m$ (previsto)	$\Delta \eta$ (osservato)	$\Delta \eta_M$ (previsto)	r_m (previsto)	r osservato)
28	0,3370	0,1546	0,002533	0,861557	0,02782	0,0009835	0,3566	0,07800	0,002758
29	0,3360	0,1542	0,002533	0,864091	0,02760	0,0009777	0,3567	0,07738	0,002741
30	0,3350	0,1538	0,002470	0,866561	0,02738	0,0009480	0,3567	0,07676	0,002657
31	0,3341	0,1534	0,002470	0,869031	0,02717	0,0009426	0,3568	0,07617	0,002642
32	0,3331	0,1531	0,004052	0,873084	0,02697	0,001527	0,3568	0,07558	0,004281
33	0,3316	0,1525	0,004052	0,877136	0,02663	0,001513	0,3568	0,07464	0,004241
34	0,3301	0,1519	0,002533	0,879670	0,02630	0,0009434	0,3569	0,07371	0,002643
35	0,3292	0,1515	0,003164	0,882834	0,02610	0,001168	0,3569	0,07313	0,003273
36	0,3280	0,1511	0,004052	0,886886	0,02585	0,001480	0,3569	0,07243	0,004147
37	0,3265	0,1505	0,008293	0,895179	0,02553	0,002948	0,3569	0,07154	0,008259
38	0,3236	0,1493	0,002470	0,897649	0,02491	0,0008836	0,3569	0,06979	0,002475
39	0,3227	0,1490	0,002470	0,900119	0,02472	0,0008787	0,3569	0,06927	0,002462
40	0,3218	0,1486	0,002470	0,902589	0,02454	0,0008739	0,3569	0,06876	0,002448
41	0,3209	0,1483	0,002470	0,905060	0,02436	0,0008691	0,3569	0,06825	0,002435
42	0,3201	0,1479	0,035663	1,348892	0,02418	0,04073	0,3569	0,06775	0,1141
43	0,3608	0,1697	0,035663	1,384555	0,02135	0,008374	0,2721	0,07846	0,03077
44	0,3524	0,1662	0,011161	1,395717	0,01996	0,002729	0,2716	0,07348	0,01005
45	0,3497	0,1651	0,004052	1,399769	0,01952	0,001000	0,2714	0,07193	0,003686
46	0,3487	0,1647	0,002470	1,402239	0,01937	0,0006099	0,2714	0,07136	0,002247
47	0,3481	0,1644	0,001177	1,403416	0,01927	0,0002909	0,2714	0,07102	0,001072
48	0,3478	0,1643	0,001177	1,404593	0,01923	0,0002904	0,2714	0,07086	0,001070
49	0,3475	0,1641	0,001177	1,405770	0,01918	0,0002899	0,2714	0,07070	0,001068
50	0,3472	0,1640	0,001177	1,406947	0,01914	0,0002894	0,2713	0,07053	0,001066
51	0,3469	0,1639	0,0009188	1,407866	0,01909	0,0002258	0,2713	0,07037	0,0008322
52	0,3467	0,1638	0,0009188	1,408784	0,01906	0,0002255	0,2713	0,07025	0,0008311
53	0,3465	0,1637	0,002470	1,411254	0,01902	0,0006021	0,2713	0,07012	0,002219
54	0,3458	0,1635	0,002470	1,413725	0,01893	0,0006000	0,2713	0,06979	0,002212

(segue Tabella IV)

k	$x_o^{1/2}$ (previsto)	$x_m^{1/2}$ (previsto)	$x^{1/2}$ (osservato)	$\Sigma x^{1/2}$ (osservato)	$\Delta \eta_m$ (previsto)	$\Delta \eta$ (osservato)	$\Delta \eta_M$ (previsto)	τ_m (previsto)	τ (osservato)
55	0,3452	0,1632	0,003164	1,416888	0,01884	0,0007639	0,2713	0,06946	0,002816
56	0,3445	0,1629	0,001040	1,417929	0,01872	0,0002520	0,2712	0,06904	0,0009292
57	0,3442	0,1628	0,001040	1,418969	0,01869	0,0002516	0,2712	0,06890	0,0009279
58	0,3440	0,1627	0,001331	1,420300	0,01865	0,0003211	0,2712	0,06876	0,001184
59	0,3437	0,1625	0,001177	1,421477	0,01860	0,0002835	0,2712	0,06859	0,001046
60	0,3434	0,1624	0,029256	1,450734	0,01856	0,0006335	0,2712	0,06843	0,02336
61	0,3370	0,1597	0,004052	1,454786	0,01759	0,0009276	0,2705	0,06501	0,003429
62	0,3361	0,1593	0,001331	1,456117	0,01745	0,0003060	0,2704	0,06453	0,001132
63	0,3358	0,1592	0,001507	1,457625	0,01741	0,0003457	0,2704	0,06437	0,001278
64	0,3355	0,1591	0,010882	1,468507	0,01736	0,002405	0,2704	0,06419	0,008895
65	0,3331	0,1580	0,0009188	1,469426	0,01701	0,0002077	0,2702	0,06294	0,0007687
66	0,3329	0,1579	0,002470	1,471896	0,01698	0,0005544	0,2702	0,06284	0,002052
67	0,3323	0,1577	0,002470	1,474366	0,01690	0,0005526	0,2701	0,06255	0,002046
68	0,3317	0,1575	0,001177	1,475543	0,01682	0,0002637	0,2701	0,06227	0,0009762
69	0,3315	0,1573	0,030007	1,505549	0,01678	0,006009	0,2700	0,06214	0,02225
70	0,3255	0,1548	0,002470	1,508020	0,01591	0,0005291	0,2692	0,05911	0,001965
71	0,3249	0,1545	0,013939	1,521958	0,01584	0,002848	0,2692	0,05885	0,01058
72	0,3221	0,1533	0,001177	1,523135	0,01545	0,0002480	0,2688	0,05746	0,0009225
73	0,3218	0,1532	0,001928	1,525064	0,01541	0,0004045	0,2688	0,05735	0,001505
74	0,3214	0,1530	0,003164	1,528227	0,01536	0,0006589	0,2687	0,05715	0,002452
75	0,3208	0,1528	0,001177	1,529404	0,01527	0,0002459	0,2686	0,05684	0,0009154
76	0,3205	0,1526	0,010882	1,540287	0,01524	0,002188	0,2686	0,05672	0,008144
77	0,3183	0,1517	0,001928	1,542215	0,01494	0,0003957	0,2683	0,05568	0,001475
78	0,3180	0,1515	0,0009188	1,543134	0,01489	0,0001888	0,2683	0,05550	0,0007036
79	0,3178	0,1514	0,002470	1,545604	0,01486	0,0005039	0,2683	0,05541	0,001878
80	0,3173	0,1512	0,008506	1,554110	0,01480	0,001690	0,2682	0,05517	0,006301
81	0,3156	0,1505	0,001928	1,556038	0,01457	0,0003887	0,2680	0,05439	0,001451
82	0,3152	0,1503	?	?	0,01452	?	0,2679	0,05421	?

Si osservino i diagrammi di Fig. 9 e Fig. 10, che si riferiscono al terremoto siciliano del 15 Gennaio 1968. Alla seconda replica il processo era decrescente, ma il valore previsto di r_m per la eventuale successiva replica era elevato, rendendo manifesto il pericolo del passaggio del processo dalla fase decrescente alla fase crescente, come poi si verificò alla terza replica.

Alla terza replica r_m diminuì sensibilmente, facendo prevedere il ritorno del processo alla fase decrescente e ciò avvenne alla quarta replica.

Dalla quarta replica alla venticinquesima il processo risulta decrescente, ma il valore previsto di r_m cresce progressivamente e alla venticinquesima replica è così vicino allo zero da far ritenere assai prossimo il cambiamento di fase del processo. Ciò avvenne alla ventiseiesima replica.

Il valore di r_m previsto per la eventuale replica ventisettesima risultò molto piccolo e infatti alla replica ventisettesima il processo ritornò alla fase decrescente, ma limitata da valori più elevati di $x_{o,k+1}$ come era anche avvenuto dopo la terza replica.

Dalla replica ventisettesima il valore r_m cresce abbastanza rapidamente, fino alla replica quarantaduesima, ma in questo caso il pericolo del passaggio alla fase crescente, avvenuto alla replica quarantatreesima, è meno manifesto.

Dalla replica quarantatreesima in poi il processo delle repliche è decrescente e i valori di r_m si mantengono piuttosto piccoli.

In pratica l'elaborazione dei dati di Osservatorio è stata eseguita, quando possibile, dopo ogni scossa e, in ogni altro caso, molto più frequentemente di quanto non avvenga in genere negli Osservatori sismologici in normale osservazione.

Nella Tabella IV sono contenuti i valori osservati e previsti delle grandezze relative alla serie delle repliche.

9. - OSSERVAZIONI E CONCLUSIONI.

Un fenomeno naturale può essere considerato in tre momenti, prima che il fenomeno si verifichi, durante la sua evoluzione e a fenomeno concluso.

In questo lavoro si è cercato di far vedere ciò che si può fare per tentare di porre sotto controllo un fenomeno sismico nel secondo momento e con i dati di cui si può disporre nel momento stesso.

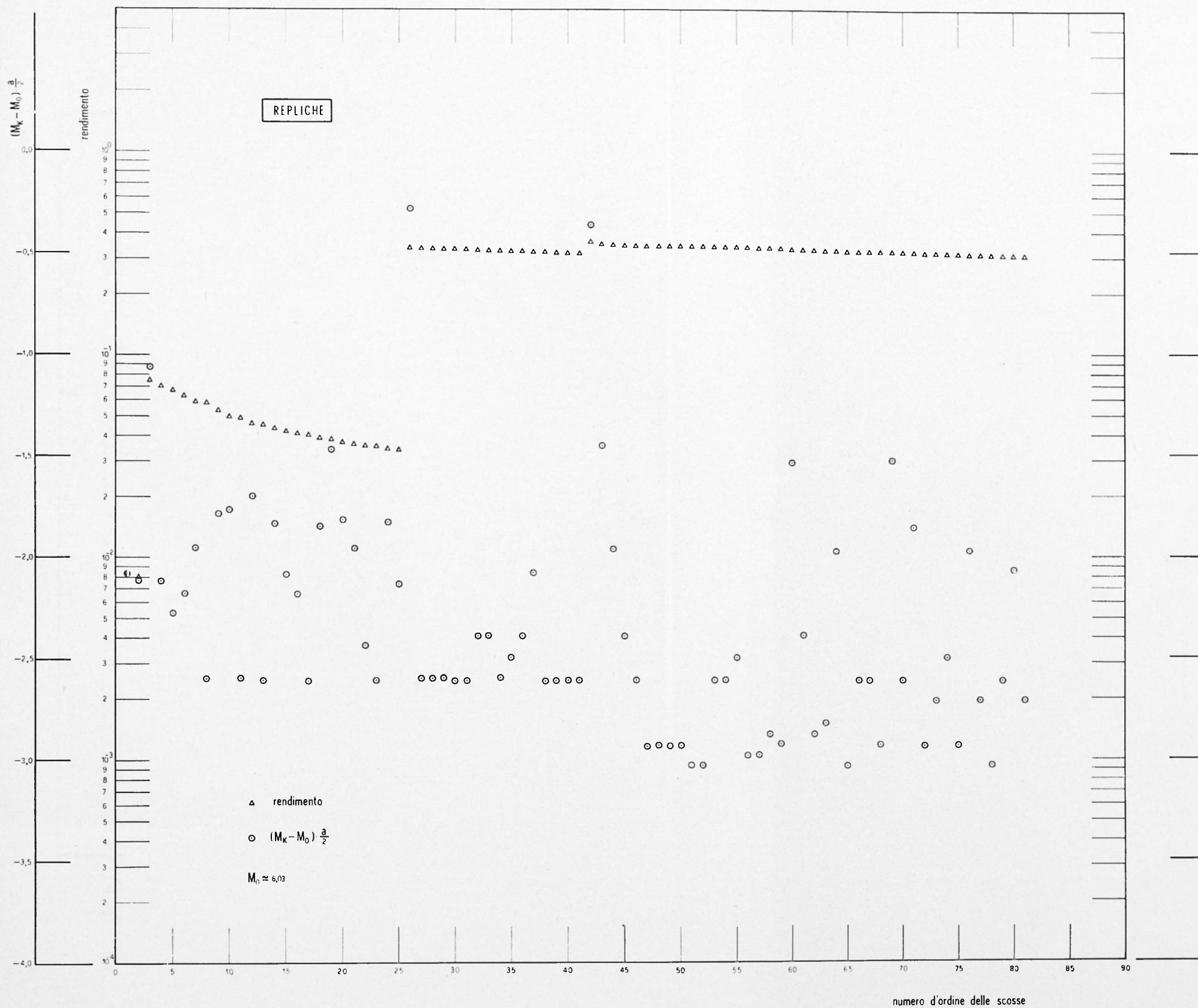


Fig. 9 - *Terremoto siciliano del 15-1-1968.* — Rendimento attuale del processo delle repliche in funzione del relativo numero d'ordine.

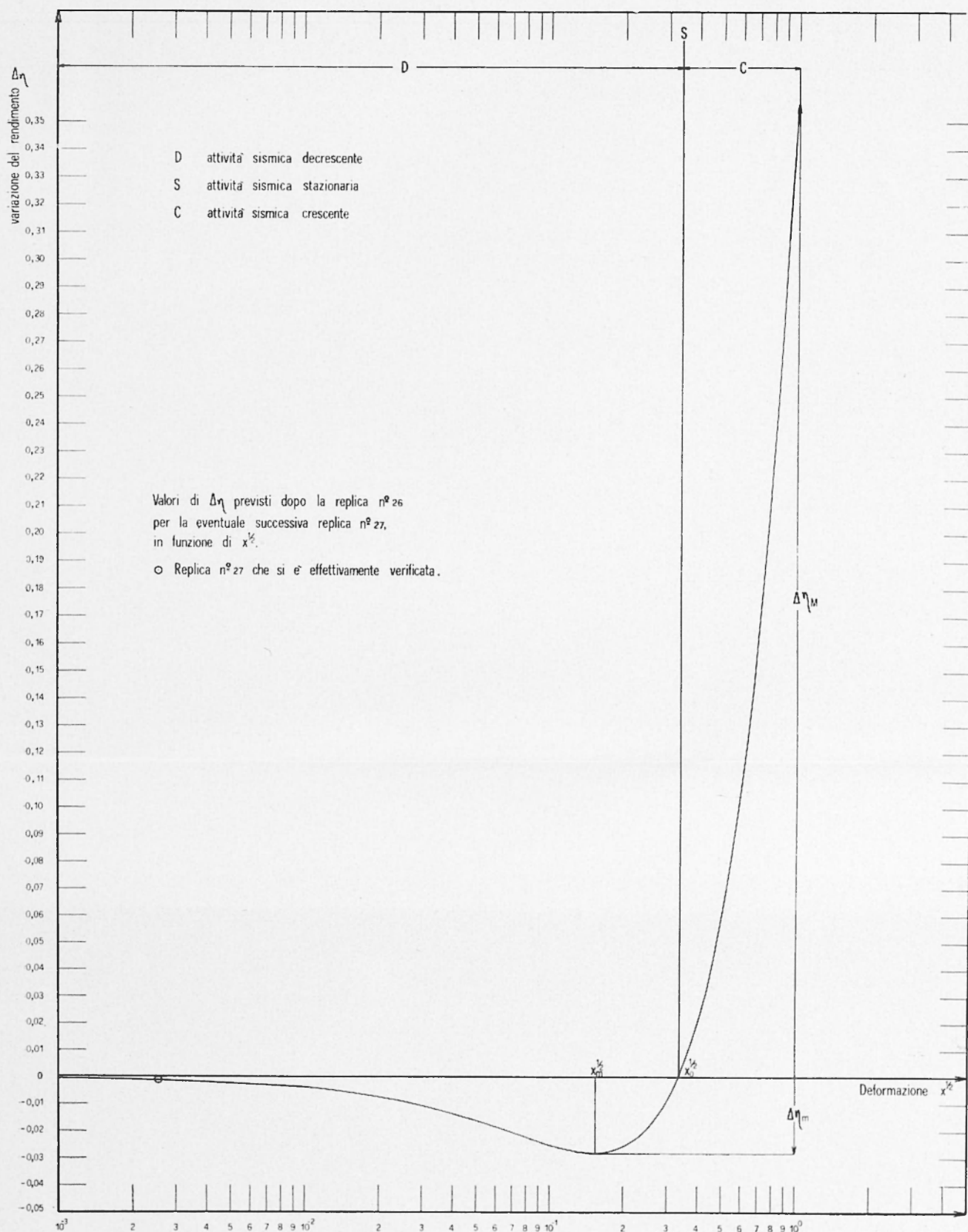


Fig. 10 - *Terremoto siciliano del 15-1-1968.* — Esempio di diagramma previsto per la variazione del rendimento attuale in funzione della deformazione.

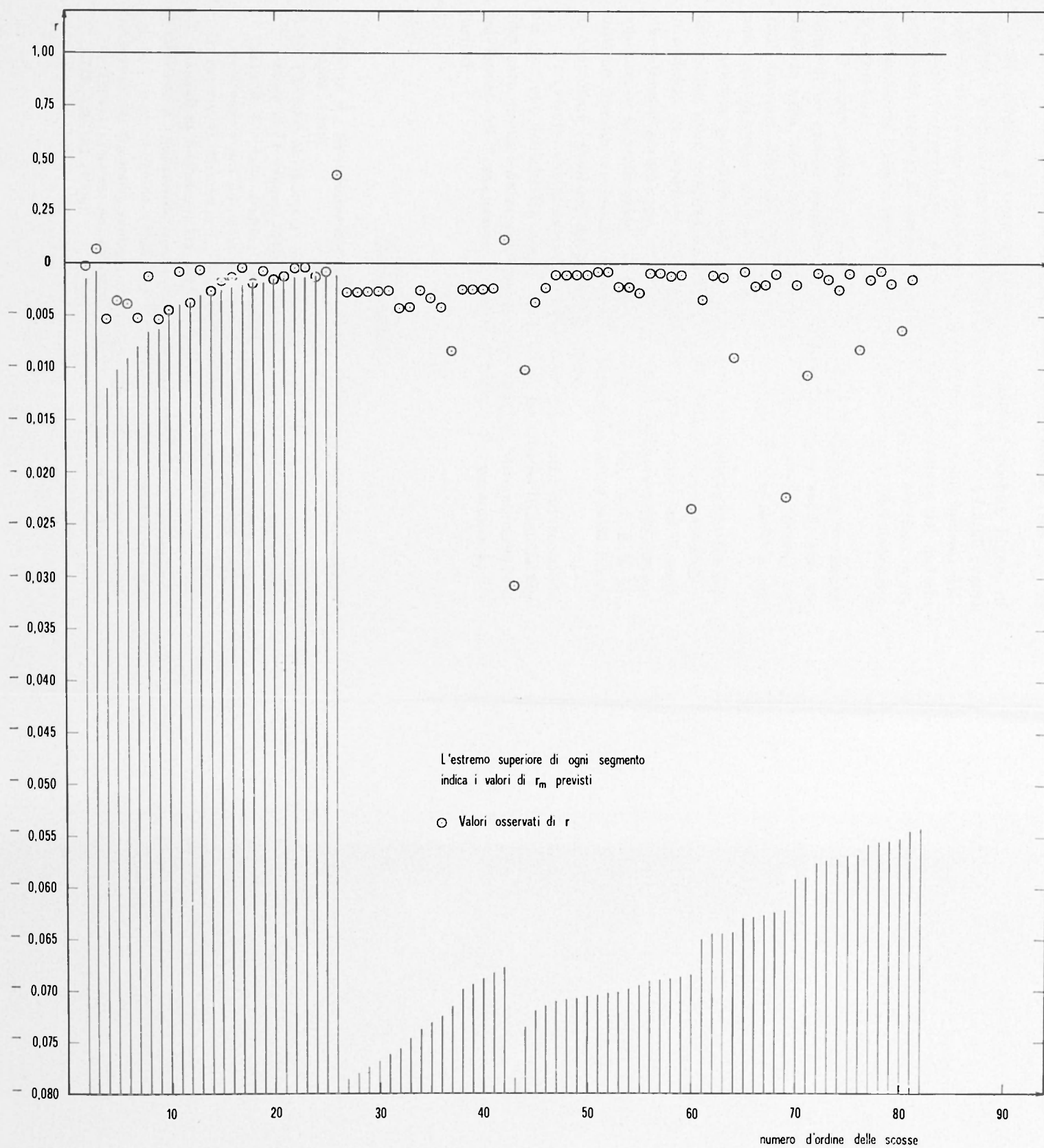


Fig. 11 - *Terremoto siciliano del 15-1-1968.* — Valori minimi previsti e valori osservati dalla variazione ridotta del rendimento attuale del processo delle repliche in funzione del loro numero d'ordine.

Il problema è stato scisso in due problemi distinti. L'uno, di carattere pratico, è costituito dalla ricerca della relazione fra gli eventi con cui si realizza il fenomeno e i corrispondenti eventi indicati dall'orologio convenzionale, l'altro consiste nell'applicazione del metodo intrinseco, secondo il quale un fenomeno naturale va studiato in sè, cioè mediante i valori delle grandezze con cui gli eventi del fenomeno si concretano.

Il primo problema è stato risolto empiricamente con la costruzione di un grafico opportuno, per il secondo è stato continuato un discorso sulla teoria dell'« elastic rebound » iniziato da H. Benioff nel 1951, tenendo conto del carattere del fenomeno, che si manifesta con una serie di eventi discreti (scosse).

Sebbene parecchie questioni non siano state sufficientemente approfondite, altre neppure menzionate e il presente lavoro costituisca in sostanza una relazione « sui generis » di quanto sembra avere qualche interesse ancora oggi, a fenomeno sismico siciliano praticamente concluso, si può affermare che i grafici indicati in Fig. 5, 7, 8, 9, 11, costruiti durante un fenomeno sismico, consentono, entro certi limiti, di controllare l'evolversi del fenomeno stesso.

Non risulta che tentativi analoghi siano stati fatti, ad eccezione del controllo dell'attività sismica de Vulcano Sheveluche (Kamchatka) effettuato, prima e durante la grande eruzione del 12 Novembre 1964 ⁽⁹⁾, dall'Istituto di Vulcanologia Sovietico mediante il diagramma di H. Benioff.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BENIOFF H., *Earthquakes and rock creep*. « Bull. Seism. Soc. Am. », **XLI**, 31-62 (1951).
- (2) DE PANFILIS M.-MARCELLI L., *Il periodo sismico della Sicilia Occidentale iniziato il 14 Gennaio 1968*. « Annali di Geofisica », **XXI**, 343-422 (1968).
- (3) VALLE P. E., *Sulla struttura della crosta terrestre nel Mediterraneo centro-occidentale e nell'Adriatico*. « Annali di Geofisica », **IV**, 399-409 (1951).
- (4) DI FILIPPO D.-MARCELLI L., *Magnitudo ed energia dei terremoti in Italia*. « Annali di Geofisica », **III**, 337-348 (1950).
- (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) CAVASINO A., *La frequenza delle repliche del grande terremoto nella Marsica. Valle del Liri del 13 Gennaio 1915.* « Boll. Soc. Sism. Italiana », **XIX**, 219-291 (1915).
- (8) GRECO N., *Tesi di laurea in corso di esecuzione.*
- (9) TOKAREV P. I., *The giant eruption of the Sheveluch Volcano on November 12, 1964, and its fore runners.* Ac. Sciences U.S.S.R. (I.Z.V.) « Physics of the solid Earth », **9**, 572-579 (1967).
- (10) MARCELLI L., *Breve relazione sull'attività svolta dall'Istituto Nazionale di Geofisica di Roma in occasione degli eventi sismici della Sicilia Occidentale.* « A.G.I. » Atti, **XVII**, 671-681 (1968).
-