483

La Magnitudo macrosismica come funzione di I_0 e di h

*Relazioni proposte per 9 settori principali
dell'Area Italiana.*

The Macroseismic Magnitudo as function of I_0 and h .

Relationship suggested for 9 main parts of the Italian Area.

A. BASILI * - L. MARCELLI * - G. SMRIGLIO *

Ricevuto il 20 Maggio 1980

RIASSUNTO

La ricerca vuol essere un ulteriore contributo per una migliore conoscenza della sismicità in Italia. In particolare si propone di migliorare dati già acquisiti circa la correlazione esistente tra Magnitudo e Intensità dei terremoti, introducendo nella relazione anche un parametro di profondità variabile entro cinque intervalli principali

$$h < 10 \text{ km}$$

$$10 < h < 20$$

$$20 < h < 30$$

$$30 < h < 40$$

$$h > 40$$

* Istituto Nazionale di Geofisica, Roma.

Sfruttando come dati di partenza 171 terremoti di cui si conosce, oltre l'intensità macrosismica I_0 all'epicentro, anche la profondità ipocentrale h e la Magnitudo M (calcolate queste ultime strumentalmente) si sono impostati cinque sistemi di n equazioni del tipo

$$M = \alpha I_0 + \beta \log h + c \quad [1]$$

che, risolti con il metodo dei minimi quadrati per ciascuno dei cinque intervalli di profondità di cui sopra, hanno dato luogo a cinque relazioni del tipo [1], ciascuna delle quali con una propria terna di coefficienti α , β , c . Sono stati calcolati gli scarti (ϵ) tra i dati di Magnitudo rappresentati dalla [1] e quelli di partenza. Suddiviso poi il territorio italiano in 9 settori principali, per ogni settore si sono calcolati i fattori correttivi da applicarsi alle formule [1] a seconda del settore di provenienza del terremoto, per cui la [1] diventa più correttamente

$$M = (\alpha I_0 + \beta \log h_i + c) - \bar{\epsilon}_i \quad [1']$$

Grafici e tabelle rendono facilmente utilizzabili i risultati della ricerca.

ABSTRACT

An empirical relationship between the parameters I_0 (epicentral intensity), h (hypocentral depth) and M (magnitude), has been tried.

One hundred and seventy one recorded earthquakes have been utilised

The hypocentral depth h was divided in five ranges: $h < 10$ km; $10 < h < 20$ km; $20 < h < 30$ km; $30 < h < 40$ km; $h > 40$ km.

For each range of depth has been written an equation:

$$M = \alpha I_0 + \beta \log h + c \quad [1]$$

The numerical coefficients have been calculated by least squares method.

The differences between the values of M calculated by [1] and the instrumental values have been averaged for nine regions (geologically enough homogeneous), in which the Italian territory has been divided.

The relationship between M , h , I_0 becomes:

$$M = (\alpha I_0 + \beta \log h_i + c) - \bar{\epsilon}_i$$

There are tables for a faster utilisation of data.

INTRODUZIONE: RICHIAMI E GENERALITA'

Richiamiamo brevemente alcuni concetti generali introduttivi alla presente ricerca la quale si propone di apportare uno strumento di lavoro per una migliore conoscenza della sismicità dell'Italia.

E' noto che la sismicità di una data regione può venire considerata sotto vari aspetti che la caratterizzano.

I principali sono da ritenere i seguenti:

- il numero N degli eventi sismici che vi si manifestano, la loro intensità massima I_0 , ed il loro eventuale legame temporale;

- la tipologia degli eventi stessi, che possono insorgere con caratteristiche particolari: sia come scosse isolate, sia come periodi sismici più o meno prolungati, sia come sciame.

- la profondità ipocentrale prevalente;

- il meccanismo focale che ha provocato l'evento;

- l'energia sismica liberata dai terremoti e gli effetti che i terremoti stessi producono in superficie;

- l'andamento delle curve di attenuazione dell'intensità macrosismica (con eventuali indicazioni azimutali di massima o minima estensione).

E' noto altresì che la sismicità è profondamente legata alle strutture tettoniche della terra, per cui i parametri che concorrono alla sua caratterizzazione sono molteplici e non ancora del tutto conosciuti.

L'analisi strumentale consente la determinazione dei parametri fondamentali di un terremoto (coordinate ipocentrali e tempo origine) e della Magnitudo.

La Magnitudo M è legata all'energia sismica E da una relazione del tipo

$$\log E = aM + b$$

dove a e b sono coefficienti numerici opportunamente calcolati.

Riportiamo le due relazioni più note e più usate:

$$\log E = 11.8 + 1.5 M \text{ (Gutenberg - Richter)}$$

$$\log E = 12.24 + 1.44 M \text{ (Båth)}$$

SCOPO DELLA RICERCA

Quanto detto finora investe l'aspetto strumentale-analitico di un fenomeno sismico.

Tutti i parametri cui si è accennato (ϕ , λ , h , H , M) sono deducibili tramite interpretazione di registrazioni.

Si sa che esiste anche un aspetto macrosismico del fenomeno, ovviamente meno preciso, il cui studio però dovrebbe condurre a valutazioni degli stessi parametri se non identiche, quantomeno confrontabili.

Ogni terremoto andrebbe studiato sotto il duplice aspetto (strumentale e macrosismico), ed è quanto si fa generalmente per eventi di una certa importanza.

Poiché però le attrezzature strumentali partono da un'epoca molto tarda rispetto alla documentazione sismica esistente, per i terremoti anteriori ad una certa data l'unica possibilità di studio è quello macrosismico.

E' per questo che molti autori hanno cercato di individuare i parametri di cui sopra con metodi non analitici, servendosi quindi di dati non strumentali.

Per quanto riguarda *lo scopo specifico del presente lavoro ci siamo prefissi la determinazione della Magnitudo macrosismica, supponendo noti gli altri parametri.*

E' evidente che l'intensità massima I_0 con cui un sisma si manifesta in superficie (all'epicentro macrosismico) dipende dalla energia liberata (e quindi dalla M) e dalla profondità h del fuoco, per cui esiste un legame che vincola tra loro le tre grandezze.

Cercheremo pertanto di esplicitare la generica funzione $f(I_0, h, M)$ in modo da trovare una relazione di cui far uso per la determinazione della Magnitudo macrosismica quando si conoscano le altre due grandezze.

Ricordiamo che uno studio del genere è stato già condotto da uno degli autori (Marcelli, Montecchi, 1962) e le relazioni che si erano trovate erano le seguenti:

$$M^* = 0.481 I_0 + 1.047 + \varepsilon \text{ (per } I_0 \leq \text{VIII M.C.S.)}$$

ε = fattore correttivo regionale

$$M^* = 0.024 I_0^2 + 0.206 I_0 + 2.157 \text{ (per } I_0 > \text{VIII M.C.S.)}$$

Però, come veniva esplicitamente detto nella nota citata, i risultati conseguiti erano da considerarsi perfettibili per due motivi fondamentali:

1) l'indagine era stata condotta su un arco di tempo relativamente tranquillo (il quinquennio 1953-57, in cui si era avuto un solo terremoto di grado VIII);

2) era stata fatta l'ipotesi di una profondità ipocentrale media di circa 20 km; per cui le due formule trovate presuppongono costantemente tale profondità.

Le migliorate attrezzature strumentali e i più rapidi procedimenti di calcolo consentono oggi di rilevare con una certa regolarità anche il dato di profondità ipocentrale che non sempre oscilla intorno ai 20 km.

Ciò risulta anche da vari studi particolareggiati condotti su terremoti Italiani che hanno portato a valori di profondità differenti dai 20 km assunti, per cui ci è sembrato utile e doveroso tentare di migliorare i risultati precedenti introducendo nella formula il parametro h variabile.

Scopo del presente lavoro è quindi la ricerca di una relazione analitica che consenta di calcolare la *Magnitudo macrosismica* di un terremoto quando se ne conosca l'intensità I_0 all'epicentro e la profondità ipocentrale.

Analogamente a come è stato trattato il problema da altri autori, abbiamo assunto le seguenti ipotesi di partenza:

— dipendenza lineare tra Magnitudo e intensità all'epicentro;

— dipendenza logaritmica tra Magnitudo e profondità.

Entrambe le ipotesi sono esprimibili mediante una relazione del tipo

$$M = \alpha I_0 + \beta \log h + c$$

con α , β , c coefficienti numerici da determinare.

I DATI DI PARTENZA

Tratteremo pertanto il problema sfruttando un certo numero di terremoti caratterizzati dalla conoscenza dei parametri di:

— Magnitudo M (rilevata strumentalmente);

— Profondità ipocentrale h (ricavata analiticamente da registrazioni, o da studi specifici sul terremoto, o da ipotesi attendibili);

— Intensità macrosismica all'epicentro, I_0 (valutata in scala M.C.S.).

Le condizioni imposte per l'utilizzo dei dati di partenza (conoscenza di M , h , I_0), hanno limitato il numero dei terremoti disponibili; purtroppo la mancanza anche di uno solo dei tre dati essenziali ha reso inservibili un gran numero di terremoti.

Quando è stato possibile i dati sono stati tratti tutti da una stessa fonte; in alcuni casi però si è stati costretti a reperire i tre parametri in due o tre fonti differenti tra loro.

La Tabella 1, riporta in ordine cronologico gli eventi sismici utilizzabili ai fini della presente ricerca.

Gli epicentri, posizionati sulla carta d'Italia, coprono l'intero territorio nazionale e zone limitrofe, ma non in maniera uniforme: un particolare addensamento si verifica nell'Italia centrale, mentre grave penuria presentano la Puglia, la Sardegna e gran parte dell'Arco Alpino.

E' superfluo dire che tale distribuzione *non* è una rappresentazione della sismicità sul territorio Italiano.

Nella Tabella 1 per uniformità le coordinate epicentrali sono espresse tutte in gradi e decimi (o centesimi) di grado anche quando i valori originari erano dati in gradi, primi e secondi.

Per quanto riguarda le profondità ipocentrali va precisato che in questa scelta di materiale da utilizzare, sono stati trascurati gli errori (spesso molto sensibili) associati alle determinazioni di h . La loro presenza costituirebbe una enorme complicazione, di scarsa utilità pratica. Abbiamo preferito assumere per validi i valori di h privi dell'errore. Per una analisi critica sull'argomento rimandiamo al lavoro di Marcelli L., Peronaci M. (1979).

I valori di h posti tra parentesi stanno ad indicare valutazioni di profondità dedotte da ipotesi ritenute attendibili dalla fonte di informazione.

METODO DI SOLUZIONE

Il problema posto si riduce quindi in generale, alla ricerca dei coefficienti numerici α , β , c , che compaiono nella

$$M = \alpha I_0 + \beta \log h + c \quad [1]$$

e che la renderanno applicabile ai terremoti con ipocentro in area Italiana.

Si tratta come è noto di un problema di analisi indeterminata. Per ciascuno degli N terremoti utilizzabili vanno posti, nella [1], i valori numerici di M , I_0 , h .

Si otterrà così un sistema di N equazioni nelle tre incognite α, β, c . Il metodo dei minimi quadrati che qui applicheremo, permette di risolvere il problema tramite l'impostazione del seguente sistema di tre equazioni a matrice quadrata:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha A_{11} + \beta A_{12} + c A_{13} = K_1 \\ \alpha A_{21} + \beta A_{22} + c A_{23} = K_2 \\ \alpha A_{31} + \beta A_{32} + c A_{33} = K_3 \end{array} \right. \quad [2]$$

Nel sistema [2] i simboli A_{ij} , K_i hanno i seguenti significati:

$$A_{11} = \sum_1^N (I_{oi})^2 \quad A_{12} = A_{21} \quad A_{13} = A_{31}$$

$$A_{21} = \sum_1^N (\log h_i \cdot I_{oi}) \quad A_{22} = \sum_1^N (\log h_i)^2 \quad A_{23} = A_{32}$$

$$A_{31} = \sum_1^N I_{oi} \quad A_{32} = \sum_1^N \log h_i \quad A_{33} = N$$

$$K_1 = \sum_1^N (M_i \cdot I_{oi}) \quad K_2 = \sum_1^N (M_i \cdot \log h_i) \quad K_3 = \sum_1^N M_i$$

Una volta calcolati i valori numerici degli A e dei K il sistema [2] è agevolmente risolubile con il metodo di Cramer.

Prima di procedere ai calcoli è opportuno esporre alcune considerazioni, nei riguardi delle profondità ipocentrali, in seguito alle quali si è ritenuto opportuno suddividere l'insieme generale delle profondità in cinque intervalli minori.

SUDDIVISIONE IN CINQUE INTERVALLI DI PROFONDITA' E LE CORRISPONDENTI RELAZIONI $M = \alpha I_0 + \beta \log h + c$

E' ben noto che i parametri fisici legati alla propagazione dell'energia sismica all'interno della terra (costanti elastiche, densità, ecc.) variano al variare della profondità; di conseguenza la formulazione di una relazione

$$M = \alpha I_0 + \beta \log h + c$$

nella quale i coefficienti α , β , c siano gli stessi per qualsiasi profondità sarebbe poco attendibile.

In considerazione di ciò si è pensato di raggruppare gli eventi sismici disponibili in intervalli di profondità ragionevolmente limitati.

Si è ritenuto opportuno considerare 5 intervalli così distribuiti:

- 1) $h \leq 10$ km
- 2) $10 < h < 20$ km
- 3) $20 < h \leq 30$ km
- 4) $30 < h \leq 40$ km
- 5) $h > 40$ km

E' importante far notare che pur mantenendo questo criterio generale di suddivisione, le repliche di uno stesso evento sono state considerate, nello svolgimento del lavoro, come appartenenti all'intervallo comprendente la h della scossa principale. Questo criterio potrebbe sembrare arbitrario, ma diciamo subito che è

stato seguito solo quando la profondità della replica differiva di poco (di $1 \div 2$ km) da quella della scossa principale, e trova la sua giustificazione nel fatto che il « range » degli errori può talvolta trasferire una profondità da uno dei 5 intervalli a quello immediatamente contiguo. La suddivisione dei terremoti in 5 classi di profondità porta come conseguenza la necessità di determinare 5 distinte relazioni del tipo [1], ognuna valida per la propria classe.

Nella tabella 2 sono sintetizzati i risultati dei calcoli eseguiti per i 5 intervalli di profondità. Dal numero percentuale di eventi disponibili per ogni intervallo risulta che la maggior parte dei terremoti considerati proviene da profondità non superiori a 20 km: infatti il 25% dei casi trattati ha una profondità media di 7 km ca., mentre la maggior parte, il 52%, proviene da una profondità media presumibile prossima a 20 km. Tra gli altri, il 6% ha profondità comprese tra 20 e 30 km, mentre nel 9% dei casi ci si trova in prossimità della Moho: solo l'8% supera 40 km.

Naturalmente tra i dati di elaborazione presi in considerazione non compare alcun terremoto con epicentro in mare aperto, per la impossibilità di averne il dato di intensità all'epicentro. Nell'ultima colonna della tabella 2 sono riportate le relazioni non compare alcun terremoto con epicentro in mare aperto.

Le 5 relazioni trovate sono state graficate nella serie dei grafici 1, 2, 3, 4, 5 che sono stati tracciati assumendo per h i valori medi della terza colonna della tabella 2.

TABELLA 2

Classe di h	N degli eventi	h medio	Relazioni
$h < 10$	43 = 25%	6.82	$M = 0.455 I_0 + 0.436 \log h + 1.182$
$10 < h < 20$	89 = 52%	19.34	$M = 0.503 I_0 + 0.031 \log h + 1.242$
$20 < h < 30$	11 = 6%	25.94	$M = 0.413 I_0 - 0.542 \log h + 3.035$
$30 < h < 40$	15 = 9%	36.12	$M = 0.817 I_0 + 13.850 \log h - 22.309$
$h > 40$	13 = 8%	52.13	$M = 0.522 I_0 - 1.690 \log h + 4.139$

Grafico 1) $M = 0.455 I_0 + 0.436 \log 6.82 + 1.182$ Grafico 2) $M = 0.503 I_0 + 0.031 \log 19.34 + 1.242$

Grafico 3) $M = 0.413 I_0 - 0.542 \log 25.94 + 3.035$

Grafico 4) $M = 0.817 I_0 + 13.850 \log 36.12 - 22.309$

Grafico 5) $M = 0.522 I_0 - 1.690 \log 52.13 + 4.139$

GLI SCARTI

Le 5 relazioni trovate rappresentano dunque le 5 rette che meglio approssimano l'andamento lineare dei dati sperimentali usati; ma naturalmente ciascuno di essi (Magnitudo strumentale) presenta uno scarto

$$\varepsilon = (M \text{ calcolata} - M \text{ strumentale})$$

rispetto alla funzione analitica trovata.

Per non appesantire i grafici abbiamo preferito riportare i valori numerici degli scarti nell'ultima colonna della tabella 1.

SUDDIVISIONE DEL TERRITORIO ITALIANO IN 9 SETTORI PRINCIPALI E RICERCA DEI CORRISPONDENTI FATTORI CORRETTIVI.

A questo punto si potrebbe obiettare che, fissata l'attenzione su una qualsiasi delle classi di profondità, non ci si può

aspettare che la corrispondente equazione soddisfi completamente il problema, qualunque sia la posizione dell'epicentro sul territorio italiano.

Una relazione che legghi tra loro tre grandezze così intimamente connesse come la Magnitudo, l'Intensità macrosismica all'epicentro e la profondità ipocentrale, potrebbe variare da una regione geologica all'altra.

Sarebbe forse stato più corretto individuare prima le varie regioni e poi procedere singolarmente all'analisi dettagliata. Un tentativo iniziale fatto in questo senso è stato abbandonato in quanto la quantità e la qualità dei dati sperimentali disponibili non consentiva né un frazionamento in sottoinsiemi geologicamente omogenei (il che per certe regioni avrebbe ridotto il numero dei dati disponibili tanto da vanificare qualsiasi tentativo di elaborazione), né una individuazione di zone spiccatamente caratterizzate da una profondità ipocentrale prevalente.

Si è quindi preferito lavorare inizialmente, come è stato esposto, su tutti i dati disponibili, riservando alla fine un'ultima correzione con la ricerca di eventuali fattori correttivi da inserire nelle relazioni trovate.

A tal fine si è convenuto di dividere l'intero territorio nazionale nei 9 settori tracciati in figura 1, i quali comprendono zone grossolanamente simili dal punto di vista sismotettonico.

Questi settori, pur con le variazioni arbitrarie dovute alla necessità di avere un numero sufficiente di dati per ciascun settore, ricalcano a grandi linee la carta dei distretti sismici senza peraltro avere la pretesa di imporli come tali.

E' necessario far notare che in questa fase della ricerca la somma degli eventi appartenenti ai singoli settori non è uguale al numero totale dei casi considerati perché alcuni terremoti, pur avendo contribuito al calcolo delle equazioni per la loro classe di profondità, non possono essere localizzati in nessuno dei 9 settori indicati. E' questo il caso del terremoto n. 18 (in Sardegna; unico terremoto in quella zona), dei nn. 17, 41, 98, i cui epicentri sono al di fuori del territorio nazionale (sia pure vicini ai confini) e del n. 6 che ha epicentro in mare circa 15 km dalle coste.

La suddivisione così fatta consente ora di procedere alla ricerca dei *fattori correttivi* da applicare alle formule generali, a seconda del settore di provenienza del terremoto. Questi fattori correttivi risulteranno da un processo di media da effettuare sugli scarti.

A tale scopo riuniti i parossismi a seconda dei vari settori di appartenenza, si è computato lo scarto ε di ogni terremoto tra la Magnitudo attribuibile in base alle relazioni $M = (\alpha I_0 + \beta \log h + c)$ e la Magnitudo strumentale. Gli scarti ε in ogni settore sono stati poi mediati indipendentemente dalla profondità, ottenendo in tal modo i cercati fattori correttivi medi ε_i .

TABELLA 3

SETTORE 1		Valore medio globale $\bar{\varepsilon} = -.25$ (media di <i>tutti</i> i valori)		
$h < 10$	$10 < h < 20$	$20 < h < 30$	$30 < h < 40$	$h > 40$
—	n. ε 32) — .93 40) — .21 43) — .47 49) — .14 62) — .06	n. ε 157) — .30 9) .40	—	n. ε 170) — .27
SETTORE 2		Valore medio globale $\bar{\varepsilon} = -.14$ (media di <i>tutti</i> i valori)		
$h < 10$	$10 < h < 20$	$20 < h < 30$	$30 < h < 40$	$h > 40$
n. ε 155) .39 158) — .33 27) — .63 147) .03	n. ε 140) — .01 116) — .11 136) .09 55) — .60	n. ε 160) .66	n. ε 100) — .86	—

N.B.: «n.» rappresenta il numero progressivo che il terremoto occupa nella TABELLA 1.

segue TAB. 3

SETTORE 5				Valore medio globale $\bar{\varepsilon} = .10$ (media di <i>tutti</i> i valori)				
$h \leq 10$		$10 < h \leq 20$		$20 < h \leq 30$	$30 < h < 40$		$h > 40$	
n.	ε	n.	ε		n.	ε	n.	ε
161)	.07	141)	— .20	—	143)	— .15	165)	.33
169)	.11	19)	.01		151)	.63		
26)	— .06	22)	.56		152)	.43		
96)	— .27	30)	.44		28)	.60		
11)	— .36	35)	.39		162)	— .08		
15)	— .58	58)	— .09					
5)	— .18	61)	.60					
164)	.79	64)	.29					
		65)	.02					
		66)	— .03					
		67)	.21					
		68)	.35					
		72)	.03					
		76)	— .21					
		88)	.00					
		89)	.30					
		90)	.15					
		91)	.21					
		92)	.06					
		93)	— .41					
		94)	.25					
		95)	.34					
		24)	— .88					

SETTORE 6				Valore medio globale $\bar{\varepsilon} = .02$ (media di <i>tutti</i> i valori)				
$h \leq 10$		$10 < h < 20$		$20 < h < 30$	$30 < h < 40$		$h > 40$	
		n.	ε				n.	ε
—		21)	.10	—	—		163)	.26
		31)	— .63					
		45)	.23					
		46)	— .61					
		47)	— .39					
		48)	.67					
		59)	.87					
		60)	— .33					

segue TAB. 3

SETTORE 7				Valore medio globale $\varepsilon = .02$ (media di <i>tutti</i> i valori)					
$h \leq 10$		$10 < h \leq 20$		$20 < h \leq 30$		$30 < h \leq 40$		$h > 40$	
n.	ε	n.	ε	n.	ε	n.	ε		
156)	— .18	121)	.34	145)	— .29	153)	— .26	—	
159)	— .33	33)	— .35	4)	.30	137)	— .14		
144)	.84	36)	— .15			97)	.15		
118)	— .12	42)	— .25						
119)	— .05	52)	.39						
120)	.55	63)	.10						
10)	— .40	75)	— .31						
23)	.52								

SETTORE 8				Valore medio globale $\varepsilon = - .18$ (media di <i>tutti</i> i valori)					
$h \leq 10$		$10 < h \leq 20$		$20 < h \leq 30$		$30 < h < 40$		$h > 40$	
n.	ε	n.	ε	n.	ε			n.	ε
3)	— .15	2)	— .10	1)	— .89	—		167)	— .14
		29)	.00						
		50)	.27						
		54)	— .38						
		71)	— .06						

SETTORE 9				Valore medio globale $\varepsilon = .01$ (media di <i>tutti</i> i valori)					
$h \leq 10$		$10 < h \leq 20$		$20 < h \leq 30$		$30 < h \leq 40$		$h > 40$	
n.	ε	n.	ε	n.	ε	n.	ε	n.	ε
117)	— .05	44)	— .57	102)	.37	101)	.68	99)	— .15
138)	— .19	53)	.01			107)	.52	103)	.27
		20A)	— 1.20			109)	— .44	104)	.15
						111)	.29	105)	.12
								106)	.26
								108)	.01
								110)	.16

I singoli calcoli sono riportati nella tabella 3 ove sono riassunti i risultati di quest'ultima fase della ricerca. Ivi sono riportati, per ogni settore, anche gli scarti relativi alle singole classi di profondità.

La tabella (riassuntiva) 4 offre un quadro sintetico dei risultati ottenuti.

Le formule da applicarsi per trovare la M di un terremoto di cui si conosca la I_0 e la h assumeranno quindi l'aspetto definitivo:

$$M = (\alpha I_0 + \beta \log h + c) - \varepsilon_i \quad [1']$$

TABELLA 4 (Riassuntiva)

Settore	num. di eventi	num. di eventi	num. di eventi	num. di eventi	num. di eventi	Fattori Correttivi ε_i
1	(0)	(5)	(2)	(0)	(1)	— 0.25
2	(4)	(4)	(1)	(1)	(0)	— 0.14
3	(9)	(19)	(4)	(0)	(2)	— 0.04
4	(11)	(12)	(0)	(0)	(0)	0.19
5	(8)	(23)	(0)	(5)	(1)	0.10
6	(0)	(8)	(0)	(0)	(1)	0.02
7	(8)	(7)	(2)	(3)	(0)	0.02
8	(1)	(5)	(1)	(0)	(1)	— 0.18
9	(2)	(3)	(1)	(4)	(7)	0.01
	$h < 10$	$10 < h < 20$	$20 < h < 30$	$30 < h < 40$	$h > 40$	↑ Valori medi globali
h medio	→ 6.82	19.34	25.94	36.12	52.13	
$\alpha \rightarrow 0.455$	0.503	0.413	0.817	0.522		
$\beta \rightarrow 0.436$	0.031	— 0.542	13.850	— 1.690		
$c \rightarrow 1.182$	1.242	3.035	— 22.309	4.139		

Fattori correttivi ε_i nei 9 settori considerati
(e coeff. α β c relativi alle singole classi di profondità)

Fig. 1 - L'Italia suddivisa in 9 settori principali (e fattori correttivi medi globali $\bar{\epsilon}$)

COMMENTI E CONCLUSIONI

Senza dubbio alcune critiche possono essere espresse sui risultati ottenuti. Un elevato numero di dati ipocentrali in cui fossero rappresentati in modo numericamente sufficiente i vari intervalli di profondità, avrebbe consentito una valutazione dei fattori correttivi anche in funzione di h .

I dati sperimentali di partenza portano sempre in sé elementi iniziali di incertezze e di errori, tanto più gravi quanto meno controllabili strumentalmente, come ad esempio la I_0 .

Purtroppo anche quando sono disponibili alcuni dati desunti strumentalmente, come ad esempio le profondità ipocentrali, gli errori di calcolo ad essi associati non possono non lasciare perplessi. Ancora oggi, pur con le moderne tecniche da elaboratore, difficilmente si riesce a calcolare tale parametro con accettabile precisione; il valore di h risulta sensibilmente vincolato al modello di dromocrona utilizzato e naturalmente una tale imprecisione si riflette sulla suddivisione dei terremoti nelle diverse classi di profondità e quindi sui risultati finali.

Il processo da noi seguito di mediare gli scarti può essere considerato discutibile, come pure può essere criticabile la scelta dei 9 settori proposti.

Non presumiamo di avere presentato risultati definitivi ma solo un miglioramento di elaborazioni precedenti.

E' logico aspettarsi di meglio via via che migliora la quantità e la qualità dei dati di elaborazione.

Per il momento le relazioni trovate nella presente ricerca costituiscono una proposta per una migliore valutazione della Magnitudo di un sisma attraverso la conoscenza dell'intensità I_0 e della profondità ipocentrale h .

TABELLA 1

N.	DATA	Epicentro ϕ λ	I_0	M (Strumentale)	h (km)	REGIONE EPICENTRALE	$(M_c - M_s) (*)$ SCARTI ϵ
1	1905 8 sett.	38.83 — 16.10	10	7.3	25	Golfo di S. Eufemia (Calabria)	— .89
2	1907 23 ott.	38.0 — 16.10	9	5.9	12	Ferruzzano (Calabria)	— .10
3	1908 28 dic.	38.17 — 15.58	11-12	7.0	10	R. Calabria	— .15
4	1910 7 giu.	40.90 — 15.45	9-10	5.9	25	Calitri (Campania)	.30
5	1915 13 genn.	41.98 — 13.60	11	6.8	10	Avezzano	— .18
6	1916 17 magg.	44.18 — 12.91	8	5.8	20	Pesaro	— .49
7	1919 29 giu.	43.9 — 11.5	9-10	6.2	25	Vicchio (Toscana)	0.00
8	1920 7 sett.	44.25 — 10.28	9-10	6.3	10	Fivizzano (Garfagnana)	— .36
9	1928 27 mar.	46.40 — 13.00	9-10	5.8	25	Friuli	.40
10	1930 23 lugl.	41.05 — 15.42	10	6.5	7	Irpinia	— .40
11	1930 30 ott.	43.73 — 13.33	9	5.9	4	Senigallia (Marche)	— .36
12	1939 11 febb.	44.07 — 11.64	6-7	5.2	22	Appennino toscano-romagnolo	— .18
13	1939 15 ott.	44.23 — 10.23	7	5.4	27	Garfagnana	— .26
14	1940 19 giu.	42.83 — 11.67	6-7	4.0	20	Monte Amiata	.54
15	1941 8 sett.	42.03 — 13.07	5-6	4.7	10	Cervara di Roma	— .58
16	1941 3 nov.	43.03 — 12.43	7	4.3	20	Deruta (Perugia)	.51
17	1946 25 genn.	46.3 — 7.5	8-9	6.0	35	Alpi Svizzere	.02
18	1948 13 nov.	40.93 — 8.88	6	4.6	(20)	Aggiu (Sardegna)	— .33
19	1948 31 dic.	42.50 — 12.90	7	4.8	(20)	Rivodutri (Rieti)	.01
20	1949 11 genn.	—	5-6	3.2	(20)	Vetralla (Viterbo)	.87
20A	1949 8 ott.	36.3 — 14.5	6	5.5	(20)	Caltagirone (Catania)	— 1.20
21	1949 24 ott.	—	5	3.7	(20)	San Severo (Foggia)	.10
22	1949 27 ott.	42.60 — 12.60	6-7	4.0	(20)	Morro Reatino (presso)	.56
23	1950 1 genn.	41.2 — 14.9	6	3.7	5	Irpinia	.52
24	1950 7 mar.	42.3 — 14.00	5	4.7	(20)	Alanno (Pescara)	— .88
25	1950 1 apr.	43.5 — 10.3	7	4.7	10	Livorno	.10
26	1950 5 sett.	42.51 — 13.33	8	5.1	3.2	Gran Sasso	— .05
27	1951 15 magg.	45.31 — 9.61	7	5.3	5	Lodigiano	— .63
28	1951 1 sett.	43.1 — 13.2	7	5	40	Macerata	.60
29	1953 25 febb.	38.7 — 16.1	6	4.30	(20)	Filogaso (Catanzaro)	.00
30	1953 26 febb.	42.63 — 12.92	5	3.36	(20)	Monteleone di Spoleto (Perugia)	.44
31	1953 19 lugl.	41.72 — 15.50	5	4.43	(20)	San Giovanni Rotondo (FG)	— .63
32	1953 25 lugl.	46.5 — 13.1	5	4.73	(20)	Arta (Udine)	— .93
33	1953 5 ott.	40.68 — 15.95	5	4.15	(20)	Cancellara (Potenza)	— .35
34	1953 19 ott.	43.28 — 11.60	5	3.47	(20)	Asciano (Siena)	.33
35	1953 24 nov.	42.0 — 13.5	5	3.41	(20)	Avezzano (L'Aquila)	.39
36	1953 3 dic.	41.7 — 14.8	5	3.95	(20)	Colletorto (Campobasso)	— .15
37	1953 7 dic.	43.2 — 11.1	5	4.03	(20)	Radicondoli - Chiusdino (SI)	— .23
38	1953 14 dic.	44.07 — 12.18	6	4.15	(20)	Cesena (Forlì)	.15
39	1954 30 mar.	44.00 — 11.15	5	4.63	(20)	Galeata (Forlì)	— .83
40	1954 25 apr.	46.45 — 12.83	6	4.51	(20)	Raveo (Udine)	— .21
41	1954 29 lugl.	46.3 — 7.3	6-7	4.8	(20)	Alpi Svizzere	— .26
42	1954 6 ago.	40.67 — 15.88	6	4.55	(20)	Potenza	— .25

(*) M_c = magn. calcolata
 M_s = magn. strumentale

N.	DATA	Epicentro ϕ λ	I_0	M (Strumentale)	h (km)	REGIONE EPICENTRALE	$(M_s - M_c)$ SCARTI ϵ
43	1954 11 ott.	46.33 — 13.10	6	4.77	(20)	Venzone (Udine)	— .47
44	1954 25 nov.	37.9 — 13.1	5	4.37	(20)	Grisi (Palermo)	— .57
45	1955 4 mar.	41.8 — 15.8	6	4.07	(20)	Monte S. Angelo (Foggia)	.23
46	1955 18 mar.	41.8 — 15.8	6-7	5.16	(20)	Monte S. Angelo (Foggia)	— .61
47	1955 5 magg.	41.8 — 15.7	5	4.19	(20)	S. Giovanni Rotondo (FG)	— .39
48	1955 12 lugl.	41.8 — 15.8	6	3.63	(20)	Monte S. Angelo (Foggia)	.67
49	1955 23 lugl.	46.20 — 12.72	6	4.44	(20)	Maniago (Udine)	— .14
50	1955 23 lugl.	39.58 — 16.42	6	4.03	(20)	S. Cosmo Albanese (CS)	.27
51	1955 13 dic.	44.12 — 10.15	5	3.89	(20)	Carrara	— .09
52	1956 9 genn.	40.62 — 16.30	7	4.41	(20)	Grassano (Matera)	.39
53	1956 15 genn.	37.9 — 13.1	5	3.79	(20)	Grisi (Palermo)	.01
54	1956 27 genn.	39.5 — 16.0	5	4.18	(20)	S. Martino di Finita (CS)	— .38
55	1956 20 febb.	44.6 — 11.8	5-6	4.65	(20)	Argenta (Ferrara)	— .60
56	1956 26 apr.	44.15 — 11.32	6	3.88	(20)	Pietramala (Firenze)	.42
57	1956 26 magg.	43.95 — 11.78	7	5.13	(20)	Santa Sofia (Forlì)	— .33
58	1956 16 ago.	42.6 — 13.1	5	3.89	(20)	Cittareale (Rieti)	— .09
59	1956 17 ago.	41.72 — 15.67	6-7	3.68	(20)	S. Giovanni Rotondo (FG)	.87
60	1956 22 sett.	41.67 — 15.67	6	4.63	(20)	S. Giovanni Rotondo (FG)	— .33
61	1956 3 ott.	42.20 — 13.98	5	3.20	(20)	Caramanico - Tocco Casau- ria (Pescara)	.60
62	1956 5 nov.	46.53 — 13.00	6	4.36	(20)	Paluzza - Treppo Carnico (Udine)	— .06

A. BASILI - L. MARCELLI - G. SMRIGLIO

63	1956 25 nov.	41.58 — 14.40	6	4.20	(20)	Macchiagodena (CB)	.10
64	1956 26 nov.	43 — 13.2	5	3.51	(20)	Amandola (A. Piceno - Caldarola (MC)	.29
65	1957 25 genn.	42.4 — 13.2	5-6	4.03	(20)	Pizzoli (L'Aquila)	.02
66	1957 12 mar.	42.8 — 13	6	4.33	(20)	Norcia (Perugia)	— .03
67	1957 13 mar.	42.7 — 13.2	5	3.59	(20)	Amatrice (RI) - Cascia (PG)	.21
68	1957 11 apr.	42.28 — 13.03	6	3.95	(20)	Petrella Salto (RI) - Varco Sabino	.35
69	1957 17 apr.	43.90 — 11.83	7	4.44	(20)	Santa Sofia (Forlì)	.36
70	1957 30 apr.	43.72 — 12.03	6	4.12	(20)	Pieve S. Stef. (Arezzo)	.18
71	1957 6 magg.	38.1 — 14.8	5	3.86	(20)	Naso (Messina)	— .06
72	1957 16 magg.	42.9 — 13.4	5	3.77	(20)	Force (Ascoli Piceno)	.03
73	1957 22 magg.	43.90 — 11.03	5	3.87	(20)	Santa Sofia (Forlì)	— .07
74	1957 27 ago.	44.3 — 10.9	6	4.76	(20)	Zocca (Modena)	— .46
75	1957 18 ott.	40.5 — 15.6	5	4.11	(20)	Satriano di Lucania (PZ)	— .31
76	1957 11 nov.	43.5 — 13.7	6	4.51	(20)	Numana (Ancona) - Porto Recanati (MC)	— .21
77	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	7-8	4.63	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.42
78	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	5	3.75	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.04
79	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	4	3.15	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.14
80	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	6-7	4.66	(20)	Castel Giorgio (Terni)	— .11
81	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	4-5	3.43	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.12
82	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	5	3.54	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.26
83	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	4	2.94	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.35
84	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	4-5	3.49	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.06

LA MAGNITUDO MACROISMICA COME FUNZIONE ECC.

N.	DATA	Epicentro ϕ λ	I_0	M (Strumentale)	h (km)	REGIONE EPICENTRALE	(M_s - M_s) SCARTI ϵ
85	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	4	3.01	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.28
86	1957 6 dic.	42.73 — 12.00	6-7	3.74	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.81
87	1957 8 dic.	42.73 — 12.00	6-7	3.85	(20)	Castel Giorgio (Terni)	.70
88	1960 18 lugl.	—	5	3.80	(20)	Narni (Terni)	.00
89	1960 18 lugl.	—	6	4.00	(20)	Montecastrilli (Terni)	.30
90	1960 20 lugl.	—	6-7	4.40	(20)	Narni (Terni)	.15
91	1960 31 lugl.	—	3-4	2.83	(20)	Terni	.21
92	1960 31 lugl.	—	3-4	2.98	(20)	Terni	.06
93	1960 10 ago.	—	4	3.70	(20)	Attigliano (Terni)	— .41
94	1960 19 ago.	—	4	3.04	(20)	Leonessa (Rieti)	.25
95	1960 3 sett.	—	3-4	2.70	(20)	Cittaducale (Rieti)	.34
96	1961 31 ott.	42.36 — 13.02	7-8	5.2	6	Peschiera	— .27
97	1962 21 ago.	41.1 — 15.1	9	6.1	34	Irpinia	.15
98	1963 19 magg.	46.0 — 14.6	7	5.6	32	Jugoslavia	— 1.34
99	1967 31 ott.	37.80 — 14.37	8	5.4	70	Sperlinga (Enna)	— .15
100	1967 30 dic.	44.7 — 12.2	7	5.3	33	Padova	— .86
101	1968 14 genn.	37.91 — 13.05	63/4	4.7	39.93	Belice	.68
102	1968 14 genn.	37.85 — 13.14	7	4.8	28.42	Belice	.37
103	1968 14 genn.	37.88 — 13.07	71/4	4.9	44.22	Belice	.27
104	1968 15 genn.	37.89 — 13.12	83/4	5.8	48.77	Belice	.15
105	1968 15 genn.	37.79 — 13.02	9	6	43.77	Belice	.12

A. BASILI - L. MARCELLI - G. SMRIGLIO

106	1968 15 genn.	37.81 — 13.15	7.5	5.0	45.62	Belice	.26
107	1968 15 genn.	37.82 — 13.07	63/4	4.7	38.57	Belice	.52
108	1968 15 genn.	37.69 — 13.02	6	4.3	57.34	Belice	.01
109	1968 16 genn.	37.72 — 12.95	6	4.3	34.47	Belice	— .44
110	1968 16 genn.	37.82 — 13.12	83/4	5.8	46.99	Belice	.16
111	1968 25 genn.	37.83 — 13.01	8.5	5.7	34.82	Belice	.29
112	1969 6 genn.	44.07 — 10.73	6	4.0	20	Appennino Toscano	.30
113	1969 6 genn.	44.07 — 10.73	3	3.3	20	Appennino Toscano	— .51
114	1969 6 genn.	44.07 — 10.73	4	3.7	21	Appennino Toscano	— .41
115	1969 6 genn.	44.07 — 10.73	4	3.7	17	Appennino Toscano	— .41
116	1969 10 genn.	44.38 — 12.00	5	3.9	15	Romagna	— .11
117	1969 31 mar.	37.70 — 15.30	6	4.4	10	Giarre (Etna)	— .05
118	1969 17 apr.	41.58 — 13.78	6-7	4.6	6	Bassa Ciociaria	— .12
119	1969 28 apr.	41.50 — 13.10	3	2.9	5	Priverno (Latina)	— .05
120	1969 2 magg.	41.50 — 13.10	3	2.3	5	Priverno (Latina)	.55
121	1969 21 magg.	40.32 — 14.97	5-6	3.7	14	Cilento (Campania)	.34
122	1969 24 giu.	44.75 — 10.20	4	4.0	45	Val Baganza (Parma)	— .51
123	1969 2 lugl.	42.18 — 12.00	7	4.4	8	Monti della Tolfa	.36
124	1969 2 lugl.	42.18 — 12.00	5-6	4.4	11	Monti della Tolfa	— .26
125	1969 2 lugl.	42.18 — 12.00	3-4	3.5	9	Monti della Tolfa	— .31
126	1969 2 lugl.	42.18 — 12.00	4	3.5	8	Monti della Tolfa	— .10
127	1969 2 lugl.	42.18 — 12.00	3	2.8	8	Monti della Tolfa	.14
128	1969 2 lugl.	42.18 — 12.00	2-3	2.8	8	Monti della Tolfa	— .09
129	1969 2 lugl.	42.18 — 12.00	2-3	2.8	8	Monti della Tolfa	— .09

LA MAGNITUDO MACROSISMICA COME FUNZIONE ECC.

N.	DATA	Epicentro ϕ λ	I_0	M (Strumentale)	h (km)	REGIONE EPICENTRALE	(M_s-M_c) SCARTI ϵ
130	1969 9 ago.	43.70 — 11.93	3	3.1	10	Casentino (Toscana)	— .12
131	1969 9 ago.	43.70 — 11.93	6	4.1	10	Casentino (Toscana)	.25
132	1969 9 ago.	43.70 — 11.93	4	3.3	10	Casentino (Toscana)	.14
133	1969 10 ago.	43.70 — 11.93	4.5	3.5	11	Casentino (Toscana)	.18
134	1969 10 ago.	43.70 — 11.93	3	3.0	9	Casentino (Toscana)	— .04
135	1969 11 ago.	43.03 — 12.20	7	4.5	17	Trasimeno	.30
136	1969 9 ott.	45.08 — 7.37	6	4.2	13	Val di Susa	.09
137	1969 14 nov.	40.58 — 15.57	5	4.1	40	Appennino Lucano	— .14
138	1969 30 dic.	37.52 — 13.02	4	3.5	5	Piana del Belice	— .19
139	1970 9 febb.	43.97 — 12.10	6	4.5	28	Galeata (Forlì)	.23
140	1970 19 apr.	45.65 — 10.47	6	4.3	13	Lago di Garda	— .01
141	1970 7 lugl.	42.8 — 13.0	5	4.0	17	Umbria	— .20
142	1970 19 ago.	43.09 — 10.77	6	4.4	10	Monterotondo maritt. (GR)	— .05
143	1970 7 sett.	42.87 — 12.95	6	4.3	35	Appennino Umbro	— .15
144	1970 27 sett.	41.37 — 14.02	7	3.9	7	Mignano Montelungo (CE)	.84
145	1970 27 sett.	41.7 — 13.8	4	4.2	27	Zona di Mignano Montelungo	— .29
146	1970 29 sett.	41.7 — 12.7	5	3.4	2.5	Colonna (Roma)	.23
147	1970 31 dic.	44.15 — 8.28	6	4.3	9	Pietra Ligure	.03
148	1971 6 febb.	42.45 — 11.83	8	4.5	4	Tuscania	.63
149	1971 6 febb.	42.42 — 11.87	6	4.4	2	Alto Lazio	— .36
150	1971 11 febb.	43.17 — 12.65	6	4.3	4	Umbria	— .13

151	1971 2 mar.	42.71 — 12.22	6	4	39	Umbria	.63
152	1971 2 apr.	42.74 — 13.11	6	4.2	39	Umbria	.43
153	1971 6 magg.	41.20 — 15.24	7	4.7	33	Campania, Puglia	— .26
154	1971 16 giu.	43.90 — 12.54	4	4	44	Marche, Romagna	— .50
155	1971 15 lugl.	44.80 — 10.30	8	4.8	7	Val Padana	.39
156	1971 3 lugl.	41.37 — 14.02	4	3.5	5.5	Campania	— .18
157	1971 7 sett.	46.12 — 12.41	4	4.2	28	Alpi Venete	— .30
158	1971 25 sett.	44.20 — 8.60	5	4	3	Liguria	— .33
159	1971 29 nov.	40.34 — 15.77	6	4.5	4	Basilicata	— .33
160	1972 18 genn.	44.22 — 8.17	6	4.1	25	Liguria occidentale	.66
161	1972 25 genn.	43.74 — 13.46	7	4.3	1	Marche	.07
162	1972 25 genn.	43.77 — 13.36	6	3.7	33	Marche	— .08
163	1972 29 febb.	42.02 — 15.20	6	4.1	57	Puglia	.26
164	1972 14 giu.	43.69 — 13.47	9	4.7	3	Ancona	.79
165	1972 24 nov.	42.50 — 12.80	6	3.9	68	Marche	.33
166	1973 28 febb.	41.80 — 12.70	4	2.7	2	Monteporzio	.43
167	1973 13 apr.	38.97 — 16.92	6	4.7	43	Calabria	— .14
168	1973 19 apr.	43.47 — 12.38	6	4.2	11	Umbria - Marche	.09
169	1973 3 lugl.	43.94 — 13.19	6	4.2	8	Costa Marchigiana	.11
170	1974 6 magg.	46.50 — 13.18	4	3.5	64	Austria / sentito nel Trentino	— .27

BIBLIOGRAFIA

- GASPARINI C., GIOVANI L., 1973 - *Attività sismica in Italia nell'anno 1970*. « Annali di Geofisica », XXVI.
- GASPARINI C., 1974 - *Attività sismica in Italia nel 1969*. « Annali di Geofisica », XXVII.
- KARNIK V., 1969 - *Seismicity of the European Area*. Czechoslovak Academy of Sciences.
- International Seismological Center, Bulletin, (Edinburgh).
- Istituto Naz. di Geofisica, Bollettini sismici (Roma).
- MARCELLI L., MONTECCHI A., 1962 - *Contributo per uno studio sulla sismicità dell'Italia*. « Annali di Geofisica », XV.
- MARCELLI L., PERONACI M., 1979 - *Analisi critica sulle profondità ipocentrali*. « Annali di Geofisica », XXXII.
- ROTHÉ J.P., 1969 - *The seismicity of the Earth 1953-1965*. (Unesco).