

**LA PROTEZIONE DEL PATRIMONIO MONUMENTALE
DAL RISCHIO SISMICO** **Termini del Problema**

MATERIALI PER L'APPROFONDIMENTO DI ALCUNI TEMI DELLA MOSTRA

2

Note sulle Carte di Sismicità Utilizzabili ai Fini della Protezione del Patrimonio Monumentale

- 2.1 Il rischio derivante dal ritardo degli eventi sismici
- 2.2 Pattern recognition of earthquake-prone areas
- 2.3 Carte della sismicità ottenute con filtraggio numerico

LA PROTEZIONE DEL PATRIMONIO MONUMENTALE
DAL RISCHIO SISMICO Termini del Problema

MATERIALI PER L'APPROFONDIMENTO DI ALCUNI TEMI DELLA MOSTRA

2.1 Michele Caputo, Rodolfo Console, Giuliano Milana
Il Rischio Derivante dal Ritardo degli Eventi Sismici

Premessa

In Italia, come del resto in molte altre parti del mondo, ogni considerazione riguardante particolari provvedimenti da prendere per le costruzioni in zone sismiche è basata sull'assunzione che l'attività sismica si manifesti con scosse distribuite casualmente nel tempo ed aventi a lungo andare una frequenza media caratteristica delle singole zone.

In genere non vengono mai presi in considerazione criteri che tengano conto del fatto che in un certo sito la precedente scossa di una certa intensità sia avvenuta in un periodo di tempo più o meno remoto rispetto a quello attuale. Ciò nonostante l'opinione popolare, ed anche quella di molti tecnici della materia, è, più o meno consciamente, orientata verso la certezza che in un determinato punto un terremoto sia tanto più probabile quanto più remoto sia stato l'evento precedente. Questa opinione trae la sua origine, naturalmente, dal fatto che il meccanismo di liberazione dell'energia di un terremoto è immaginato simile a quello della carica di una molla in un sistema meccanico.

Allo scopo di verificare l'esistenza, nella realtà, di un tale fenomeno di "memoria" dei terremoti di notevole intensità nei confronti l'uno dell'altro, abbiamo effettuato uno studio, descritto nel seguito, che tendeva ad analizzare i dati del catalogo sismico nazionale, mettendoli a confronto con i risultati provenienti dall'applicazione di un modello puramente statistico e matematico.

Lo studio intrapreso consiste essenzialmente nell'esaminare la distribuzione statistica degli intervalli di tempo che intercorrono tra due eventi di intensità pari o superiore ad una certa intensità di soglia. Nel nostro caso si sono considerate le intensità prodotte da ogni terremoto su un dato punto, non necessariamente coincidente con l'epicentro, rivolgendo quindi l'attenzione sulla storia di un singolo sito prodotta da eventi sismici originatisi da tutta la zona circostante, e non su un semplice elenco di eventi sismici avvenuti nell'intera zona, ciascuno di essi essendo caratterizzato dalla propria intensità epicentrale.

Inoltre, allo scopo di rendere omogenei i dati relativi ad ogni sito con quelli degli altri, sono stati considerati, anziché i ritardi Δt in anni, i loro rapporti r con il periodo di ritorno τ del terremoto di data intensità nel sito stesso. Quest'ultimo essendo definito come la durata dell'intero periodo di tempo considerato, diviso per il numero di eventi di intensità pari o superiore all'intensità di soglia.

E' ovvio che, se gli eventi sismici più forti si presentassero in maniera rigorosamente periodica nello stesso luogo, la distribuzione statistica dei loro ritardi definiti come si è ora visto sarebbe rappresentata da un valore di probabilità nullo e

cetto che nel punto di ritardo pari al periodo di ritorno (rapporto $r = \Delta t/\tau = 1$), dove si avrebbe un picco di altezza pari al numero totale di casi. Uno scostamento più o meno forte da questa legge tanto regolare si manifesterebbe in un allargamento più o meno vistoso del picco nella distribuzione statistica se non, addirittura, un appiattimento completo nel caso di un comportamento del tutto casuale degli eventi sismici.

1 Modello Statistico dei Terremoti

Supponiamo che gli eventi sismici di intensità pari o superiore ad un valore prefissato siano, per un certo sito, completamente scorrelati uno rispetto all'altro, e che si presentino casualmente secondo la legge statistica di Poisson.

Chiamiamo con T la durata complessiva del periodo di tempo considerato (durata della nostra storia sismica del sito) e sia N il numero totale di eventi da noi presi in considerazione.

Si potrà definire il ritardo medio τ fra due eventi con

$$\tau = T/N \quad (1)$$

Consideriamo un intervallo di tempo prefissato Δt . Nel tempo Δt ci sono in media m eventi, con

$$m = \frac{\Delta t}{T} N \quad (2)$$

Nella distribuzione di Poisson la probabilità che nell'intervallo Δt cadano n eventi è

$$W(n) = \alpha \frac{m^n e^{-m}}{n!} = \alpha \frac{(\Delta t/\tau)^n e^{-\Delta t/\tau}}{n!}$$

dove α è un coefficiente di proporzionalità che verrà determina-

to in seguito.

La probabilità che nell'intervallo Δt non si verifichi alcun evento è

$$W(0) = \alpha e^{-\Delta t/\tau},$$

ma tale probabilità equivale anche a quella di avere un ritardo Δt tra due scosse.

Ovviamente dovrà valere la seguente relazione che esprime la certezza che

$$N = \alpha \int_0^{\infty} e^{-\Delta t/\tau} d\Delta t = \alpha \tau$$

che, assieme alla (1), serve a determinare α :

$$\alpha = \frac{N^2}{T}$$

Quindi il numero aspettato di volte in cui l'intervallo fra due eventi è proprio quello compreso tra Δt e $\Delta t + d\Delta t$ sarà

$$P(\Delta t) d\Delta t = \frac{N^2}{T} e^{-\Delta t/\tau} d\Delta t. \quad (3)$$

Allo scopo di uniformare i dati delle varie regioni è opportuno misurare il tempo in unità τ , si ha:

$$P(\Delta t) d\Delta t = N e^{-\Delta t} d\Delta t. \quad (4)$$

Questo servirà al confronto delle varie regioni considerate.

2 Distribuzione Statistica degli Intervalli fra Due Eventi Sismici nel Territorio Nazionale

Il campione di dati su cui si è lavorato è stato ottenuto a partire dal catalogo E.N.E.L., integrato con i dati fino al 1979, con opportune elaborazioni necessarie per renderlo il più possibile omogeneo per i nostri scopi.

Il territorio nazionale è stato diviso in maglie quadrate di 10 Km di lato alle quali è stata determinata l'appartenenza di tutti gli eventi del catalogo. Per tutti quelli in cui manca il dato di intensità Mercalli, esso è stato ricavato a partire dalla magnitudo mediante la formula $I = 2M - 2.5$.

Il passo successivo è stata l'eliminazione delle repliche e delle scosse premonitrici. Sono state considerate repliche o premonitrici di un certo evento tutte le scosse con distanza epicentrale inferiore ai 50 Km verificatesi entro un anno prima o dopo della scossa principale, cioè quella di intensità più alta.

Nell'analisi sono stati considerati soltanto gli eventi successivi al 1700 con intensità maggiore o uguale al VII grado Mercalli, poiché si ritiene che il catalogo sia completo di tutti gli eventi di questo tipo a partire da quella data, ed anche perché sono questi gli eventi che più interessano la conservazione del patrimonio architettonico, artistico, ecc.

Ognuno di questi eventi è stato considerato come evento origine per tutta una serie di terremoti con intensità decrescenti per distanze via via crescenti dall'epicentro secondo la legge di attenuazione usata nelle Carte preliminari di scuotibilità

del P.F.G.; questi eventi rappresentano i terremoti sentiti in zone poste intorno all'epicentro ed anche in questo caso sono stati scartati tutti gli eventi con intensità minore del VII grado Mercalli.

A questo punto è stato possibile associare ad ogni maglia un sottocatalogo contenente tutti gli eventi, ricavati come descritto sopra, verificatisi all'interno della maglia stessa. E' da notare come, a differenza del catalogo di partenza, questi sottocataloghi contengano non solo i dati epicentrali ma tutti gli eventi con intensità maggiore o pari al VII grado che hanno colpito una data zona.

Per le elaborazioni successive sono state prese in considerazione soltanto le maglie colpite da almeno due eventi di intensità uguale all'VIII grado Mercalli dal 1700 in poi. Queste maglie sono risultate in numero di 130 circa.

Per ognuna di esse è stato calcolato il tempo medio tra gli eventi ed i rapporti $\frac{dT_i}{T}$ dove dT_i è il tempo intercorso tra 2 eventi consecutivi e T il tempo medio; la divisione per \bar{T} permette di ottenere dei risultati normalizzati, indipendenti cioè dal \bar{T} di ogni maglia, e quindi di confrontare i dati relativi a maglie differenti.

E' stato quindi costruito un istogramma (fig. 1) del numero dei casi con classi di $\frac{dT_i}{T}$ di ampiezza 0.2.

La distribuzione ottenuta è stata interpolata con un esponenziale decrescente del tipo $y = a \cdot e^{-bx}$, con $x = dT/T$ i cui coefficienti, calcolati con il metodo dei minimi quadrati sono risultati essere:

$$a = 108.88; \quad b = 1.05$$

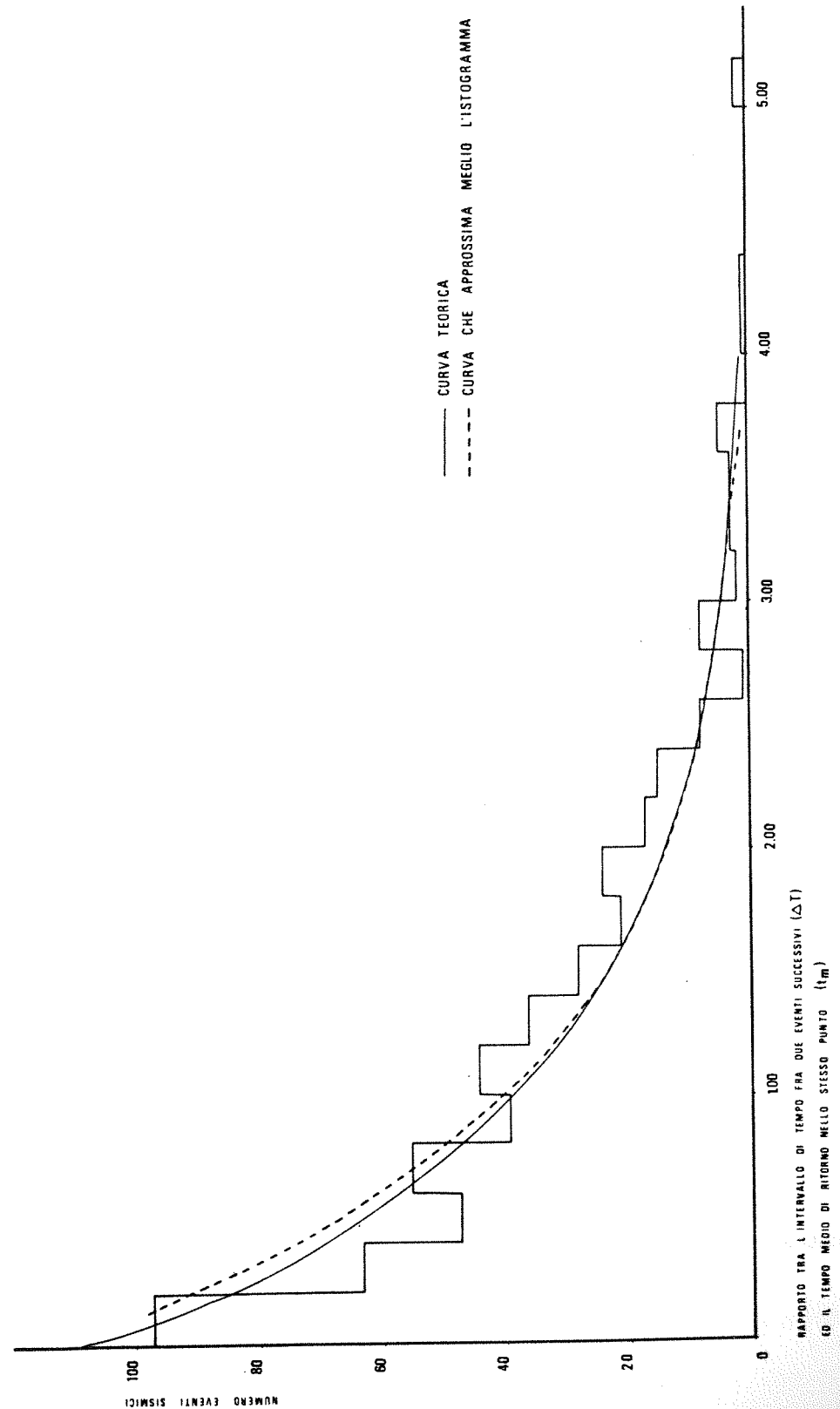


Fig. 1 - Istogramma della frequenza di eventi in funzione del rapporto $\frac{\Delta T}{t_m}$.

Allo scopo di mettere a confronto la distribuzione statistica teorica con quella ottenuta per gli eventi realmente riportati nel catalogo sismico, si tiene presente che il numero totale degli eventi che compaiono nell'analisi del paragrafo precedente è $N = 520$ e l'intervallo $d\Delta t$ è pari a 0.2 .

In tal modo è possibile applicare numericamente la formula (4) ottenendo

$$y = a \cdot e^{-bx}$$

dove: $a = 104$
 $b = 1.0$

Si noti che, in questo caso, il valore del parametro b discende direttamente dalla teoria matematica, e non dipende dai dati da analizzare.

Appare evidente la notevole somiglianza, sia fra i parametri a e b ottenuti sperimentalmente e teoricamente, sia anche fra le due curve tracciate in fig. 1.

Il confronto così effettuato ci conduce alla considerazione che, almeno nell'ambito dell'attività sismica da noi considerata, non si può certo parlare di una evidente periodicità delle scosse. Esse infatti si sono mediamente presentate ad intervalli che si adattano molto bene su di una distribuzione statistica di Poisson che è completamente casuale.

3 Ritardo della Scossa di IX Grado

Il ritardo dall'ultimo evento sismico di notevole entità verificatosi in una data zona è un dato rilevante ai fini della pro

tezione del patrimonio monumentale perché, una nuova eventuale scossa che si verificasse in quella zona colpirebbe la rilevante quantità di patrimonio accumulatasi in quel lungo intervallo di tempo.

A questo riguardo si è ipotizzato che un terremoto di IX grado comporti la quasi totale distruzione del patrimonio storico architettonico. Ci si è posti, quindi, il problema di individuare su una mappa del territorio nazionale, le zone caratterizzate da diversi ritardi per l'ultima scossa di IX grado o superiore (v. Catalogo, app. 2: Carta dei ritardi per terremoti di elevata intensità). I ritardi sono stati suddivisi nelle seguenti quattro classi:

- dall'anno 1000 al 1299
- dall'anno 1300 al 1599
- dall'anno 1600 al 1899
- dall'anno 1900 al 1979

Per la compilazione della mappa su indicata si sono adottati gli stessi criteri presentati precedentemente per quanto concerne la suddivisione del territorio e l'uso della formula di attenuazione. L'analisi è stata effettuata sull'intero catalogo E.N.E.L. (dall'anno 1000).

4 Possibilità di Intersezione con il metodo "pattern recognition"

Dai risultati ottenuti discende la possibilità di stabilire un criterio per determinare le priorità degli interventi da operarsi su monumenti a fini di adeguamento antisismico.

Come è già stato dimostrato per i terremoti della California, abbiamo visto che anche per quelli italiani la distribuzione temporale degli eventi con intensità maggiore del VII grado Mercalli è casuale. Tuttavia, come nel caso della California, non si può fare uno studio sulla casualità degli eventi di intensità del grado IX e X data la scarsità del numero di eventi stessi; per contro, esistono studi che mostrano che in talune regioni sismiche fra le quali l'Italia, la California, la Nuova Zelanda, il Caucaso e il Giappone gli eventi di intensità elevata sono correlati con sciami di piccoli eventi o fra di loro; ciò che farebbe escludere la loro casualità.

Asserta la non casualità dei terremoti delle intensità più elevate, si può ragionevolmente assumere, come è stato fatto in alcuni studi, che il ritardo di uno di questi eventi in una data regione sia indice di pericolo del prossimo verificarsi di un nuovo grosso evento.

Nella scelta di un criterio per stabilire le priorità di un intervento è quindi opportuno considerare l'intersezione fra le aree di ritardo degli eventi di intensità maggiore al IX grado, con le aree prossime ai punti che hanno vocazione ai terremoti di magnitudo maggiore di 6,5, determinati col metodo del "pattern recognition" (v.: pannello 29; contributo n. 2.2). Queste aree di intersezione, a parità di grado e di entità di valore contenuto, dovrebbero avere la massima priorità degli interventi protettivi.

LA PROTEZIONE DEL PATRIMONIO MONUMENTALE
DAL RISCHIO SISMICO Termini del Problema

MATERIALI PER L'APPROFONDIMENTO DI ALCUNI TEMI DELLA MOSTRA

2.2 M. Caputo, V. Keilis-Borok, E. Oficerova, E. Ranzman,
I. Rotwain, A. Solovjeff

Pattern Recognition of Earthquake-Prone Areas

PATTERN RECOGNITION OF EARTHQUAKE-PRONE AREAS IN ITALY

M. CAPUTO¹, V. KEILIS-BOROK², E. OFICEROVA², E. RANZMAN³,
I. ROTWAIN² and A. SOLOVJEFF²

¹ Istituto Nazionale di Geofisica, Istituto di Fisica della Università di Roma, Rome (Italy)

² Institute of Physics of the Earth, Academy of Sciences of the U.S.S.R., Moscow (U.S.S.R.)

³ Institute of Geography, Academy of Sciences of the U.S.S.R., Moscow (U.S.S.R.)

(Received April 24, 1978; revised and accepted July 27, 1978)

Caputo, M., Keilis-Borok, V., Oficerova, E., Ranzman, E., Rotwain, I. and Solovjeff, A., 1980. Pattern recognition of earthquake-prone areas in Italy. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 21: 305-320.

In accordance with a map of lineaments in the Italian region, the intersections of lineaments where, according to the results of previous studies, strong earthquakes may be expected to occur, have been identified. The parameters used for the pattern recognition method are mostly based on elevation and slope. Many control experiments were carried out to test the validity and stability of the results obtained. Results show several locations where strong earthquakes have not occurred in historic times, but where they may occur in the future.

1. Introduction

This paper considers the determination of areas where the epicenters of strong earthquakes ($M \geq 6$) may be situated in Italy. The problem was studied using pattern recognition methods previously applied for Central Asia (Gelfand et al., 1972), Anatolia and adjacent regions (Gelfand et al., 1974) and California (Gelfand et al., 1976). The state of the art is summarized by Gelfand et al. (1976).

These papers concluded that epicenters of strong earthquakes are only situated within specific areas which are associated with only some parts of active faults. Only within those areas, and not at any point along the fault break associated with the earthquake, may the initial rupture occur.

The recognition of such areas would be important for earthquake prediction studies, since earthquake precursors in these areas could be different, and/or could be manifested in different ways than precursors elsewhere. These areas are also of interest for studies of seismic risk, and of the mechanism of development of active faults which are associated with earthquakes.

2. Major lineaments

The major lineaments in the Italian region are shown in Fig. 1. The definition of lineaments and the criteria for their recognition are given in Gelfand et al. (1976) and Alexeevskaja et al. (1977).

Essentially, lineaments are the surface traces of active faults in the crust or in the whole lithosphere. They are determined by combined analysis of geological, geomorphological and geophysical evidence, and satellite photographs. Faults shown in tectonic maps are usually those parts of lineaments which are expressed mainly by geological evidence.

For the determination of the lineaments shown in Fig. 1, the following maps were used: (a) 1 : 250 000 and 1 : 2 500 000 topographic maps of Italy; (b) Carta Strutturale d'Italia, scale 1 : 1 000 000 (Ogniben, 1973); (c) Carta Geologica d'Italia, scale 1 : 1 000 000 (Servizio Geologico d'Italia, 1961); (d) Tectonic Map of Eurasia (Yanshin, 1966); (e) Tectonic Map of Europe (Shatsky, 1962); and (f) Seismotectonic Map of Europe (Belousov et al., 1967).

The ERTS photographs of Italy (scale 1 : 1 000 000)

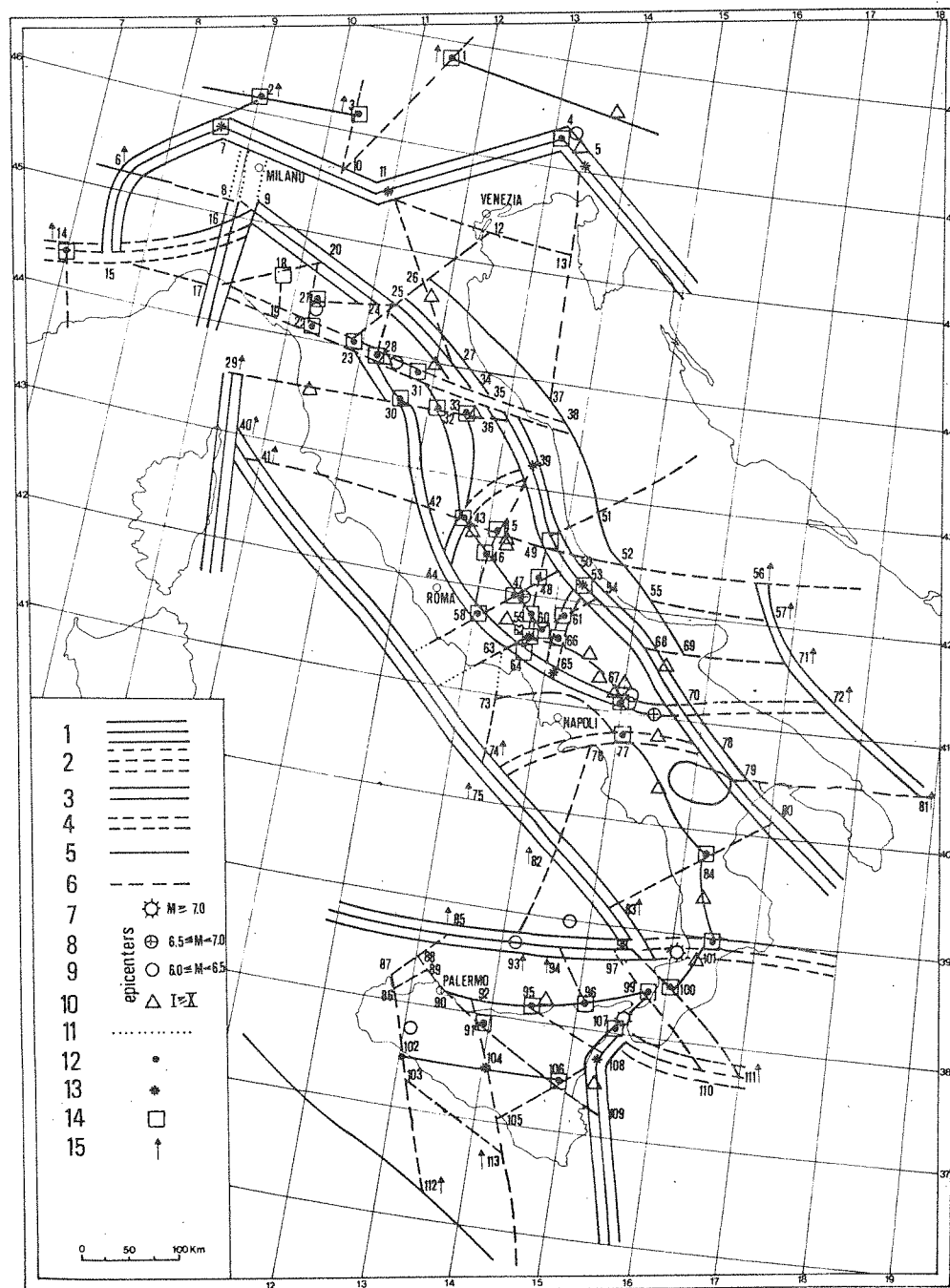


Fig. 1. Map of the major lineaments of the Italian region, and of the intersections of the lineaments considered in this paper as potentially dangerous. Numbers in the main diagram correspond to earthquakes listed in Table I. Numbers in the key refer to the following classification of lineaments, epicenters, boundaries and intersections. Lineaments: 1, 2, first order; 3, 4, second order; 5, 6, third order; 1, 3, 5, longitudinal; 2, 4, 6, transverse; the transverse lineaments 2, 4, 6 are not expressed in topography. Epicenters: 7, 8, 9, 10. Uncertain lineaments (covered by sediments or sea): 11. Intersections: 12, recognized as D in the basic variant; 13, recognized as uncertain in the basic variant; 14, recognized as D in the Earthquake Future (E.F.) experiment; 15, not used because the intersections are on the outer boundaries of the regions.

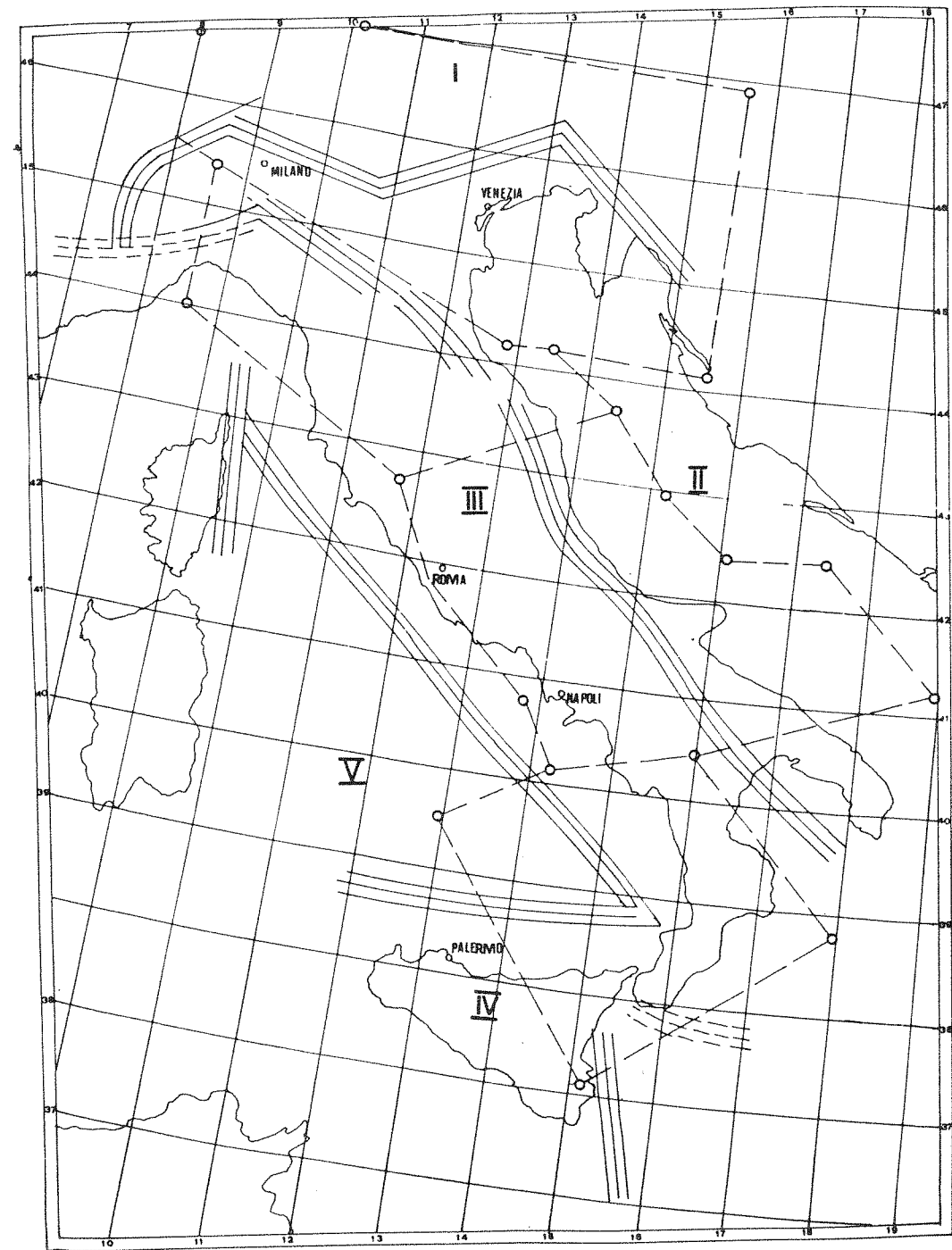


Fig. 2. Morphostructural provinces of the Italian region (shown by the heavy triple lines): I, Alpine; II, Adriatic depression; III, Apennines; IV, Sicily; V, Tyrrhenian Sea. The dashed lines show the four regions considered for time prediction in Caputo et al. (1977), which indicate the different seismically-active zones supposed independent in that study.

kindly provided by NASA were also very useful. Information on tectonic structure and history was taken mainly from the available geological maps and monographs.

In Fig. 1 the territory of Italy is divided into five morphostructural provinces: I, Alpine; II, Adriatic depression; III, Apennines; IV, Sicily and V, Tyrrhenian sea. These provinces are outlined on Fig. 2. They are separated by first-order lineaments. Each province is divided into megablocks by second-order lineaments, and some megablocks are subdivided by third-order

TABLE I

List of Italian earthquakes with focal depth, according to the catalogues of ENEL (1978) and of Carrozzo et al. (1973)

	Date (day.month.year)	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Intensity or magnitude	Number of closest intersection	Distance from closest intersection (km)
1	11.X.1125	41.2	14.8	X	67	17
2	4.II.1169	37.5	15.3	XI	108	27
3	4.II.1180	41.25	15.0	X	67	17
4	30.IV.1279	44.0	12.0	X	27	15
5	30.XI.1298	42.5	12.8	X	43	15
6	25.I.1348	46.6	13.8	XI	5	62
7	5.XII.1456	41.3	14.7	XI	67	40
8	27.XI.1461	42.33	13.33	X	46	25
9	26.III.1511	46.25	13.33	X	4	17
10	13.VI.1542	44.0	11.33	X	28	10
11	19.VIII.1561	40.33	15.6	X	77	67
12	19.III.1624	44.6	11.8	X	26	22
13	23.VII.1654	41.75	13.5	X	59	22
14	5.I.1659	38.75	16.25	X	100	32
15	5.VI.1688	41.2	14.9	X	67	10
16	9.VIII.1694	40.8	15.6	X	70	35
17	2.II.1703	42.0	13.3	X	45	20
18	20.III.1731	41.5	15.5	X	69	22
19	3.VI.1781	43.6	12.6	X	33	12
20	26.VII.1805	41.5	14.6	X	66	40
21	5.III.1823	38.25	14.75	X	95	27
22	14.VIII.1846	43.5	10.5	X	23	67
23	4.X.1870	39.3	16.3	X	101	42
24	8.IX.1905	38.83	16.1	7.3	101	3
25	28.XII.1908	38.17	15.6	7.0	107	1
26	13.I.1915	41.98	13.6	6.8	47	7
27	29.VI.1919	43.9	11.5	6.2	28	22
28	7.IX.1920	44.25	10.28	6.3	21	10
29	17.VIII.1926	39.0	14.75	6.0	94	30
30	23.VII.1930	41.1	15.42	6.5	70	27
31	21.V.1957	38.7	14.1	6.1	93	2
32	21.VIII.1962	41.1	15.1	6.1	67	5
33	15.I.1968	37.79	13.01	6.0	102	30
34	6.V.1976	46.3	13.3	6.2	4	15

lineaments. The scheme on Fig. 1 is thought to be satisfactory for this study, but there is also a need for further improvement. This would require field research and a cooperative effort between specialists in the geology of this region. For example, the accuracy of the position of the boundary between Alpine and Apennine morphostructural provinces, between intersections 15 and 9 on Fig. 1, is doubtful. Also, the southern boundary of region III (Apennines) is sometimes placed further to the north by other workers.

3. Formulation of problem

The problem is to determine where epicenters of future strong earthquakes ($M \geq 6$) may be situated.

A list of previous such earthquakes is given in Table I, which also gives details of some of the strongest (macroseismic intensity $I \geq X$, Modified Mercalli Scale) earthquakes of past centuries. This Table is based on the ENEL (1978) catalogue and the work of Carrozzo et al. (1973). The epicenters of these earthquakes are shown in Fig. 1. It is assumed as an a priori hypothesis that epicenters can only be situated near some intersections of the lineaments, as occurs in California and Central Asia. For Italy, this hypothesis is consistent with the pattern of known epicenters, but so far it remains unproven, and requires further testing.

Assuming this hypothesis is correct, the problem can be reduced to the following: to separate the intersections into two groups, D (dangerous) and N (non-dangerous), near which the epicenters of strong earthquakes may and may not be situated respectively. A priori, intersections are divided into two classes, I and II, which are close to, and far from, known epicenters, respectively.

Subscripts I and II are assigned to the intersections of those classes giving an a priori separation as follows: Class I: D_I, N_I (close to known epicenters)
Class II: D_{II}, N_{II} (far from known epicenters)

Class I may include intersections of N_I type, due to errors in the positions of epicenters or in the observed magnitudes. Class II may include intersections of the D_{II} type because earthquakes may occur in places where the intersections are still unknown. The purpose of this paper is to identify such D_{II} intersections. The problem now is: (i) to find the characteristic features of intersections of types D and N, and (ii) to use these features to classify intersections as type D or N.

4. Data used for recognition

Each intersection is described by a number of parameters, which are listed in Table II. Some of these parameters have been used successfully in previous work on pattern recognition of earthquake-prone areas. The possibility that many other parameters can also be

TABLE II

Explanation of the parameters used in the following Tables and in recognition

1	Elevation, h_1 (m)
2 *	Maximum elevation, h_{\max} (m)
3 *	Minimum elevation, h_{\min}
4 *	Number of lineaments departing from the intersection, n_1
5 *	Relative area of soft sediments, q (%)
6 *	Distance of the closest lineament, r_1 (km)
7	Distance to the closest lineament of the first rank, R_{11} (km)
8	Distance to the second-closest lineament of the first rank, R_{12} (km)
9	Distance to the closest lineament of the second rank, R_{21} (km)
10	Distance to the second-closest lineament of the second rank, R_{22} (km)
11	Distance to the second closest longitudinal lineament r_3 (km)
12 **	Maximum elevation, H_{\max} (m)
13 **	Minimum elevation, H_{\min} (m)
14 **	Maximum difference of elevation, ΔH (m)
15 **	$\Delta H/l_4$
16 **	Relative area of soft sediments, Q (%)
17 **	Number of intersections, n_2

* Parameter determined in a circle of 12.5-km radius around the intersection.

** Parameter determined in a circle of 30-km radius around the intersection.

l_4 in parameter 15 is the distance (km) between the points with maximum and minimum elevation.

used for the same purpose is not excluded. However, too many parameters cannot be analysed simultaneously, because the number of known epicenters is limited, and too large a number of parameters could introduce spurious statistical relationships, which would decrease or invalidate the significance of the results.

The parameters listed in Table II were chosen because they represent intensities of neotectonic movements (parameters referring to elevation), or the degree of large scale fracturing of the crust (parameters referring to density of lineaments).

The next step is the selection of thresholds for the discretization of the parameters. Discretization was done independently of the priori division of intersections into classes I and II. The method of discretization was as follows. The histogram of each parameter

TABLE III
Discretization of parameters used for pattern recognition

Parameter	Discretization	
	Sicily	Continental Italy
<i>R</i> = 12.5 km		
1 h_1	≤ 0 ≤ 250	
2 h_{max}	≤ 0 ≤ 600	≤ 600 ≤ 1250
3 h_{min}	≤ -2000 ≤ -500	≤ 75 ≤ 150
4 n_1	≤ 3	
5 q	≤ 75 ≤ 95	≤ 25 ≤ 75
6 r_1	0 ≤ 25	
7 R_{11}	0 0-62.5 > 62.5	
8 R_{12}	0 ≤ 50	
9 R_{22}	60 60-175 > 175	
10 R_{22}	50 ≤ 87.5	
11 r_3	0 ≤ 50	≤ 25 ≤ 42.5
<i>R</i> = 30 km		
12 H_{max}	≤ 750 ≤ 1100	≤ 1100 ≤ 2050
13 H_{min}	≤ -1500	≤ 180
14 ΔH	≤ 1250 ≤ 2100	
15 $\Delta H/l_4$	≤ 0.056 ≤ 0.096	
16 Q	≤ 60 ≤ 90	≤ 30 ≤ 77
17 n_2	≤ 2	

was constructed including all intersections except those situated on the boundaries of whole regions. Excluded intersections are marked on Fig. 1 by arrows. Then thresholds were chosen such that the intersections were divided into two or three groups, with equal numbers of intersections in each group (see Table III).

5. Results of recognition

For the recognition procedure the algorithm SUBCLASSES was used. This is a modification of the algorithm CORA-3, introduced by Bongard et al. (1966); both are described by Gelfand et al. (1976). The first stage of the recognition algorithm is LEARNING. In this stage the characteristic features of D and N which are specified by the inequalities imposed on one, two or three parameters simultaneously are found. For the LEARNING stage, all intersections less than 35 km from one of the known epicenters of strong instrumentally-determined earthquakes were included in the first class. The second class includes all intersections more than 35 km from any of these epicenters, and also from any of the historical epicenters with macroseismic intensity $>IX$ which are listed in Table I. Data on these epicenters were taken from the catalogue of ENEL (1978) and from Carrozzo et al. (1973). The remaining intersections were assigned to the third class, which is not considered in LEARNING. Also included in the third class are the points situated on the boundary of the Italian region, because there the parameters characterizing the density of the lineaments are not reliable. These intersections are marked in Fig. 1 with arrows. The third class intersections which are situated close to historical epicenters (see Table I) are divided into subclasses for the purpose of the control experiments described below.

The results of LEARNING are shown in Table IV. The upper part of this Table shows the features of group D intersections, and the lower part the features of group N. Where the discretization was different for continental Italy and Sicily, the inequalities for Sicily are indicated in parentheses. For example, an intersection has a feature number of 2 for D if the value of R_{11} for this object is between 0 and 62.5 km, H_{max} is >1100 m (>750 m for Sicily) and $\Delta H/l_4$ is >0.056 .

The second stage of the recognition algorithm is VOTING; in this stage the number of D and N features possessed by each intersection is counted and, on the basis of this count, each intersection is classified as D or N. The results of VOTING are shown in Table V. The symbols n_D and n_N in Table V represent the numbers of features of D- and N-types respectively. The numbers in the Table correspond to the intersections indicated in Fig. 1. For example, intersection 58, which is about 50 km southeast of Rome, and the other

TABLE IV
Results of LEARNING (see text for explanation)

	h_{max}	h_{min}	q	R_{11}	R_{21}	H_{max}	$\Delta H/l_4$
<i>D</i>							
1				≤ 62.5			>0.096
2				0-62.5		>1100 (>750)	>0.056
3		>75 (>-2000)			0	>1100 (>750)	
4		>150 (>-500)		$\neq 0$		>1100 (>750)	
5		≤ 150 (≤ -500)		0		>1100 (>750)	
6		>75 (>-2000)	≤ 25 (≤ 75)			>1100 (>750)	
7			25-75 (75-95)	0			
<i>N</i>							
1				≤ 62.5		≤ 2050 (≤ 1100)	≤ 0.096
2			>25 >75		$\neq 0$		≤ 0.096
3					$\neq 0$	≤ 2050 (≤ 1100)	
4		≤ 150 (≤ -500)	>25 >75			≤ 2050 (≤ 1100)	
5	≤ 1250 (≤ 600)	≤ 150 (≤ -500)				≤ 2050 (≤ 1100)	
6	≤ 1250 (≤ 600)				$\neq 0$		
7			>75 (>95)				

intersections in the same tesserae, have 3 features of D-type and no feature of N-type. The tildas indicate class II intersections. Bars indicate intersections of class III and those marked with an asterisk are intersections which are less than 35 km from some of the historical epicenters shown in Table I. No special sign is used to indicate intersections of class I (less than 35 km from an instrumental epicenter shown in Table I). It should be noted that the intersections are well divided by VOTING; this is encouraging and allows their subdivision into D and N groups. However, this subdivision is not uniquely defined by the distribution of intersections in the (n_D, n_N) plane. The intersections are placed in D or N groups, as shown in Table V, on the basis of the value of $n_D - n_N$.

The lower the threshold for $n_D - n_N$, the higher is

the probability of incorrect classification as D, and the lower is the probability of failure to recognize a D intersection. Two thresholds for $n_D - n_N$ are shown on Table V by continuous and broken lines; the solid line was chosen in such a way that at least one point in each subclass is identified as D. The broken line is drawn parallel to the continuous line one unit higher. Intersections in the area below the solid line are recognized as D and intersections above the dashed line as N. Intersections in the area between the two thresholds are not classified. From the results in Table V, the 113 intersections are divided by VOTING as shown in Table VI.

As mentioned during the formulation of the problem, the set of D points is being sought, because they are of special interest in assessing seismic risk. Among

TABLE V

Results of VOTING (shown also in Fig. 1). Continuous and dashed lines indicate the subdivision of the diagram into Dangerous (D), Non-dangerous (N), and uncertain portions. For further explanation, see text

n_N	n_D														
	0		1		2		3		4		5				
7	37	51	52												
	55	73	79	20	36*										
	80	89	110												
	26*	29	41												
	74	83	85												
	111	109													
6	13	24	25	9	27*	69*	87								
	68*	12	103												
	113														
5	112			88	82	93	40	94	98						
4	8	38	75	17	105		70								
3	15	35*	56				90	97	34*	92					
	57	71	72												
	81														
2	10	6	78	44	50	54	18	63*							
1	42	76		16	49	86	5	65	100*		21	33*	32		
							39	11	108						
0	64	19		7	104	62*	107	101	84	4	102	77	99		
				53			91	96*	45*	95*	58*	43*	30		
							46*	1	3	14					
										59	60*	2	67	28	31
													23*	66	61
													106		

them are D_{11} points, where strong earthquakes are possible, though as yet unknown. These points could escape detection by other types of analysis. The results of VOTING are also shown in Fig. 1.

It is noted that there are significant areas where epicenters of normal earthquakes of magnitude 6 or larger cannot be situated, according to the results of VOTING. One of these areas covers a large part of

TABLE VI

Separation of intersections

Position	Class in LEARNING	Total number	Recognized as D	Not recognized	Recognized as N
Close to instrumental epicenters with $M \geq 6.0$	I	16	14	1	1
Close to historical epicenters with $I \geq X$, and not close to instrumental epicenters	III	19	9	2	8
Far from both kinds of epicenters, not on border lineaments, but used in LEARNING	II	35	2	3	30
Far from both kinds of epicenters, not on border lineaments, and not used in LEARNING	III	20	5	4	11
On border lineaments	III	23	4	0	19
Total		113	34	10	69

province II (Adriatic depression) and another covers part of Tuscany. Another significant feature is the cluster of D intersections in the central part of the Apennines. Contrary to expectations, these are mostly not on first-order lineaments.

It is also noted that, contrary to the results of similar studies made for California (Gelfand et al., 1976) and Anatolia (Gelfand et al., 1974), and in agreement with results for the Pamir and Tien-Shan (Gelfand et al., 1972), the earthquake-prone areas of Italy are characterized by high elevations. This can be explained by the dominance of dip-slip motions in Italian neotectonics.

6. Control experiment: elimination of parameters

This experiment is reproduced in Table VII, where the first column shows the parameter eliminated in the LEARNING stage. The other columns show how many intersections changed their classification. The parameters Q and h_{\min} are comparatively more important than the other parameters. The stability is considered to be satisfactory.

7. Expansion of learning material

The number of known instrumental epicenters in this study is unusually small so it should be considered whether the results would change significantly after adding other strong earthquakes. For this purpose, the epicenters of the historic earthquakes, in reverse order, starting from the most recent and adding one after

another, were included in LEARNING. Results are shown in Fig. 3 and Table VIII. The first column gives the number identifying the intersection and the second column indicates the year in which an earthquake occurred less than 35 km from the intersections indicated in each subclass. For example, intersections 107 and 99 form the subclass of intersections associated with the earthquake of 1908.

The numbers in the tesseræ show $n_N : n_D$ for the particular intersection whose number is indicated in the first column of the row. Δ is the threshold for the value of $n_D - n_N$. An intersection is recognized as group D when $n_D - n_N \geq \Delta$; the choice of Δ (heavy line in Table V) is described above. The results in Table VIII show that the results of the subdivision into groups do not change significantly up to the end of the experiment, when 11 historic epicenters starting from 1823 to 1279 were included in LEARNING. Of course this does not mean that the historic epicenters are accurately positioned. Rather, the lack of change is probably due to the fact that the D intersections occupy compact continuous areas, and the classification is unchanged by changes in epicenter positions within these areas. The last column in Table VIII shows another experiment (called "earthquake future" (E.F.) in previous studies) of the same kind, which is less dependent on historical epicenters. In this experiment it was assumed that strong earthquakes did actually occur at the points D_{11} , where they are as yet unknown, but possible according to the main variant of the recognition. The E.F. experiment was also successful, in that 6 more D_{11} intersections, in addition to the 20 D_{11} of the main variant of recognition, were recognized. In order to test whether this procedure was convergent,

TABLE VII

Change of recognition in the experimental elimination of parameters, relative to the main variant

Parameter eliminated	D → N	D → not recognized	Not recognized → D	Not recognized → N	N → not recognized	N → D
h_{\max}	0	0	3	1	2	0
h_{\min}	0	5	1	6	4	4
Q	2	1	3	3	3	2
R_{11}	0	1	2	5	2	1
R_{12}	0	1	3	4	4	0
H_{\max}	1	6	1	7	3	0
$\Delta H/l_4$	0	1	1	4	3	1

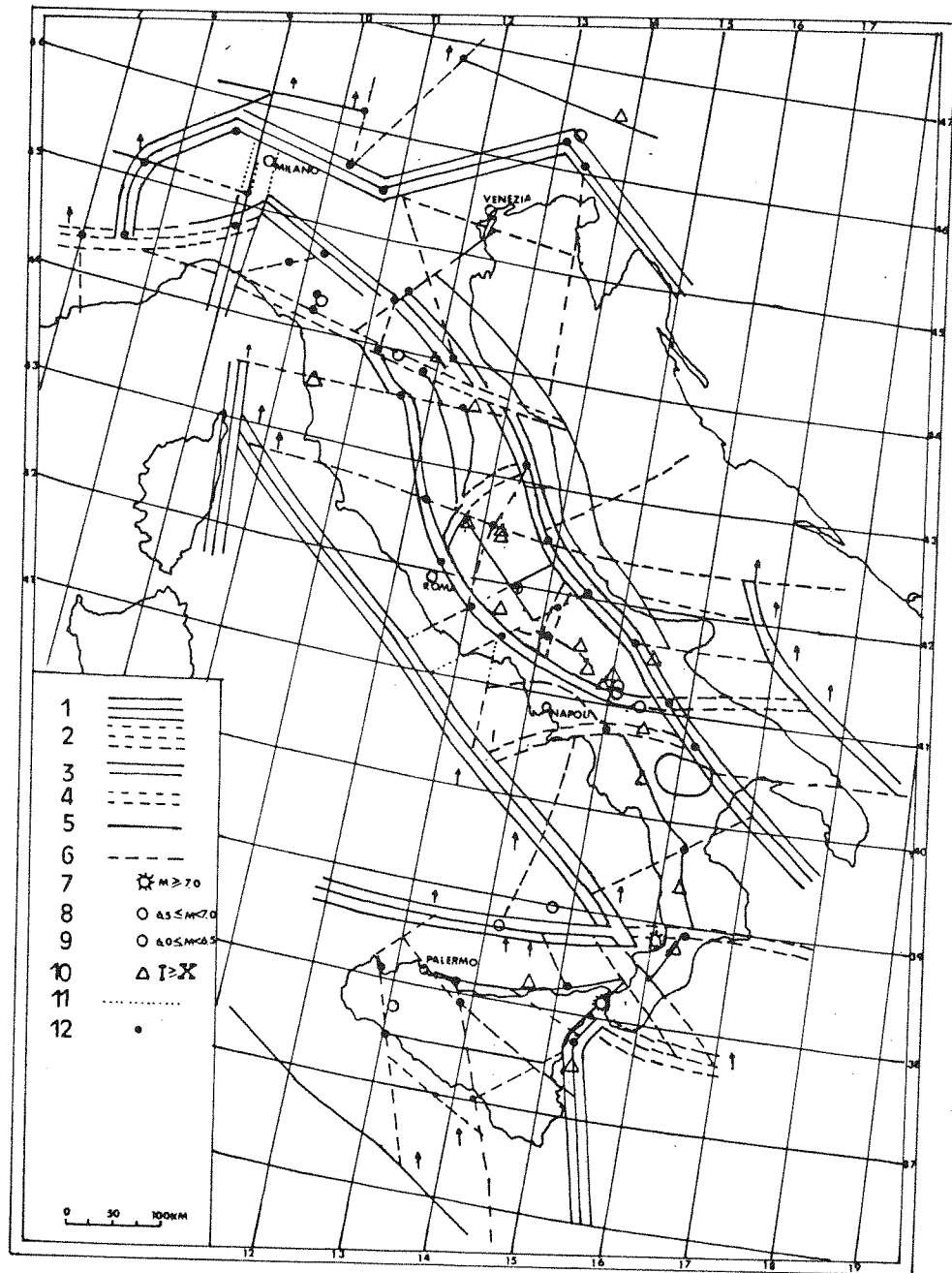


Fig. 3. Intersections recognized as D after including in LEARNING all instrumental and historical epicenters (except the earthquakes which occurred in the years 1348, 1456, 1561, 1805, 1846 and 1870, which are farther than 35 km from all intersections).

TABLE VIII

Results of inclusion of historical epicenters in LEARNING and in the E.F. experiment (see text for further details). Figures in *italics*: recognition uncertain. Underlined figures recognised as D. Other figures recognised as N. Intersections not used in LEARNING are to the left of the heavy vertical line

Intersection no.	Year	1905	1703	1654	1279	1976 + ...
Class I						
4	1976	<u>0:3</u>	<u>0:3</u>	<u>0:3</u>	<u>0:3</u>	<u>0:4</u>
5		<i>1:2</i>	<u>0:2</u>	<u>0:1</u>	<u>0:1</u>	<u>2:2</u>
102	1968	<u>0:3</u>	<u>0:1</u>	<i>0:0</i>	<i>0:0</i>	<u>2:1</u>
67	1962	<u>0:5</u>	<u>0:4</u>	<u>0:6</u>	<u>0:5</u>	<u>1:4</u>
77		<u>0:3</u>	<u>0:2</u>	<i>0:0</i>	<i>0:0</i>	<u>0:3</u>
70	1930	<u>4:2</u>	<u>1:0</u>	<u>0:1</u>	<u>0:1</u>	<u>6:0</u>
67		<u>0:5</u>	<u>0:4</u>	<u>0:6</u>	<u>0:5</u>	<u>1:4</u>
21	1920	<u>1:4</u>	<u>0:5</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>	<u>0:5</u>
22		<u>0:4</u>	<u>0:3</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>	<u>1:5</u>
28	1919	<u>0:5</u>	<u>0:4</u>	<u>0:7</u>	<u>0:7</u>	<u>0:5</u>
31		<u>0:5</u>	<u>0:5</u>	<u>0:7</u>	<u>0:7</u>	<u>0:6</u>
47	1915	<u>0:4</u>	<u>0:6</u>	<u>0:5</u>	<u>0:4</u>	<u>1:5</u>
48		<u>0:4</u>	<u>0:7</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>
59		<u>0:4</u>	<u>0:7</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>
107	1908	<u>0:2</u>	<u>0:2</u>	<u>0:2</u>	<u>0:2</u>	<u>0:3</u>
99		<u>0:3</u>	<u>0:3</u>	<u>0:4</u>	<u>0:3</u>	<u>0:3</u>
101	1905	<u>0:2</u>	<u>0:3</u>	<u>0:2</u>	<u>0:2</u>	<u>0:4</u>
95	1823	<u>0:3</u>	<u>0:3</u>	<u>0:4</u>	<u>0:3</u>	<u>0:3</u>
96		<u>0:2</u>	<u>0:3</u>	<u>0:2</u>	<u>0:1</u>	<u>0:2</u>
33	1781	<u>1:4</u>	<u>0:5</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>	<u>0:5</u>
34		<u>3:2</u>	<i>0:0</i>	<i>0:0</i>	<i>0:0</i>	<u>5:0</u>
35		<u>3:0</u>	<i>0:0</i>	<i>0:0</i>	<i>1:0</i>	<u>5:0</u>
36		<u>7:1</u>	<i>1:0</i>	<i>1:0</i>	<i>0:0</i>	<u>10:0</u>
69	1731	<u>6:1</u>	<u>2:1</u>	<u>2:2</u>	<u>0:1</u>	<u>6:0</u>
68		<u>6:0</u>	<i>0:0</i>	<i>0:0</i>	<i>0:0</i>	<u>7:0</u>
45	1703	<u>0:2</u>	<u>0:5</u>	<u>0:2</u>	<u>0:2</u>	<u>0:5</u>
46		<u>0:2</u>	<u>0:5</u>	<u>0:2</u>	<u>0:2</u>	<u>0:5</u>
70	1694	<u>4:2</u>	<u>1:0</u>	<u>0:1</u>	<u>0:1</u>	<u>6:0</u>
67	1688	<u>0:5</u>	<u>0:4</u>	<u>0:6</u>	<u>0:5</u>	<u>1:4</u>
100	1659	<u>1:2</u>	<u>0:4</u>	<u>0:2</u>	<u>0:1</u>	<u>1:4</u>
101		<u>0:2</u>	<u>0:3</u>	<u>0:2</u>	<u>0:2</u>	<u>0:4</u>
59	1654	<u>0:4</u>	<u>0:7</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>
62		<u>0:7</u>	<u>0:3</u>	<u>0:1</u>	<u>0:1</u>	<u>0:4</u>
47		<u>0:4</u>	<u>0:6</u>	<u>0:5</u>	<u>0:4</u>	<u>1:5</u>
63		<u>2:2</u>	<u>0:1</u>	<u>0:1</u>	<u>0:1</u>	<u>2:2</u>
60		<u>0:4</u>	<u>0:7</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>	<u>0:6</u>
58		<u>0:3</u>	<u>0:4</u>	<u>0:3</u>	<u>0:3</u>	<u>0:5</u>
26	1624	<u>7:0</u>	<u>7:0</u>	<u>9:0</u>	<u>7:0</u>	<u>7:0</u>
28	1542	<u>0:5</u>	<u>0:4</u>	<u>0:7</u>	<u>0:7</u>	<u>0:5</u>
23		<u>0:5</u>	<u>0:7</u>	<u>0:7</u>	<u>0:7</u>	<u>0:7</u>
43	1298	<u>0:3</u>	<u>0:4</u>	<u>0:3</u>	<u>0:3</u>	<u>0:5</u>
45		<u>0:2</u>	<u>0:5</u>	<u>0:2</u>	<u>0:2</u>	<u>0:5</u>
46		<u>0:2</u>	<u>0:5</u>	<u>0:2</u>	<u>0:2</u>	<u>0:5</u>
27	1279	<u>6:1</u>	<u>1:0</u>	<u>1:0</u>	<u>0:0</u>	<u>7:0</u>
31		<u>0:5</u>	<u>0:5</u>	<u>0:7</u>	<u>0:7</u>	<u>0:6</u>

(continued)

TABLE VIII (continued)

Intersection no.	Year	1905	1703	1654	1279	1976 + ...
Class II						
7		0:1	0:2	0:1	0:1	1:4
8		4:0	4:0	5:0	5:0	5:0
10		2:0	0:1	0:0	0:0	2:2
13		6:0	7:0	9:0	7:0	6:0
15		3:0	1:0	1:0	0:0	3:0
16		1:1	0:1	0:0	0:0	4:1
17		4:1	1:0	1:0	1:0	6:0
18		2:2	0:3	0:2	0:2	2:4
20		7:1	2:0	2:0	1:0	8:0
24		6:0	0:0	0:0	1:0	7:0
25		6:0	1:0	2:2	1:0	7:0
37		7:0	7:0	9:0	8:0	7:0
38		4:0	5:0	6:0	7:0	5:0
42		1:0	1:0	1:1	1:1	2:1
44		2:1	1:1	1:0	2:0	2:2
49		1:1	0:1	0:0	0:0	1:2
51		7:0	7:0	9:0	7:0	7:0
52		7:0	7:0	9:0	8:0	7:0
55		7:0	7:0	9:0	7:0	7:0
64		0:0	0:1	0:0	0:0	0:2
65		1:2	0:0	0:0	0:0	2:1
73		7:0	7:0	9:0	7:0	7:0
79		7:0	4:0	4:0	3:0	8:0
80		7:0	5:0	6:0	5:0	8:0
84		0:2	0:3	0:2	0:2	0:4
87		6:2	1:1	1:2	0:1	6:1
88		5:1	7:0	9:0	8:0	4:0
89		7:0	5:0	7:0	6:0	7:0
90		3:2	0:1	0:2	0:1	4:1
91		0:2	0:5	0:2	0:2	0:5
92		3:3	2:0	2:1	2:1	3:0
97		3:2	3:0	3:0	1:0	4:0
104		0:1	1:0	1:0	1:0	2:0
105		4:1	2:0	2:0	1:0	5:0
110		7:0	5:0	6:0	5:0	8:0
Class III						
1		0:2	0:3	0:2	0:2	0:4
2		0:4	0:6	0:5	0:5	0:6
3		0:2	0:4	0:2	0:2	0:5
6		2:0	1:0	1:0	0:0	2:1
9		6:1	0:0	0:0	0:0	7:0
12		6:0	7:0	9:0	7:0	6:0
14		0:2	0:3	0:3	0:3	0:5
19		0:0	0:0	0:0	0:0	1:1
29		7:0	5:0	6:0	5:0	8:0
39		1:2	0:0	0:1	0:1	2:0
40		5:2	4:0	4:0	3:0	5:0
41		7:0	5:0	6:0	5:0	8:0
56		3:0	5:0	6:0	7:0	4:0
57		3:0	5:0	6:0	7:0	4:0
66		0:5	0:7	0:7	0:7	0:7
71		3:0	5:0	6:0	7:0	4:0

(continued)

TABLE VIII (continued)

Intersection no.	Year	1905	1703	1654	1279	1976 + ...
72		3:0	5:0	6:0	7:0	4:0
74		7:0	5:0	6:0	6:0	8:0
75		4:0	3:0	3:0	5:0	6:0
78		2:0	2:0	2:1	3:1	5:0
81		3:0	5:0	6:0	7:0	4:0
82		5:1	5:0	6:0	5:0	5:0
83		7:0	5:0	6:0	5:0	8:0
85		7:0	5:0	6:0	5:0	8:0
86		1:1	0:1	0:1	0:1	2:2
93		5:1	5:0	6:0	5:0	5:0
94		5:2	4:0	4:0	3:0	5:0
98		5:2	4:0	4:0	3:0	5:0
103		6:0	5:0	7:0	6:0	6:0
111		7:0	5:0	6:0	5:0	8:0
112		5:0	5:0	7:0	5:0	4:0
113		6:0	4:0	4:0	2:0	6:0
53		0:1	0:1	0:0	0:0	0:2
50		2:1	1:0	1:0	0:0	2:0
61		0:5	0:7	0:7	0:7	0:7
54		2:1	0:1	0:0	0:0	2:1
32		1:4	0:5	0:6	0:6	0:5
30		0:3	0:3	0:2	0:2	0:4
11		1:2	0:2	0:1	0:1	2:2
76		1:0	0:0	0:0	0:0	2:1
108		1:2	0:2	0:1	0:1	2:2
109		7:0	5:0	6:0	6:0	8:0
106		0:5	0:6	0:6	0:5	0:5

these 6 D_{11} intersections were included in LEARNING. The number of D_{11} intersections recognized did not change. The stability of these results is illustrated in Table IX, which summarizes the results of Table VIII.

After all these experiments, it is considered that the results are reasonably stable.

TABLE IX

Change of recognition after including historical epicenters

After including epicenters from the	Increase in the number of intersections classified as		
	D	N	Not recognized
18th and 19th centuries	12	0	1
13th-19th centuries	19	1	1

8. Elimination of epicenters in separate subregions

This experiment was performed to check the homogeneity of the region.

All epicenters in one of the three subregions, Northern, Central and Southern, shown in Fig. 4, were eliminated from LEARNING. The boundaries of the subregions are indicated in Fig. 4 by east-west solid lines close to latitudes 43.3 and 40.0 N. To obtain the necessary LEARNING material, historical epicenters near which D_2 intersections were recognized in the basic variant had to be included. The results are shown in Fig. 3, where intersections not recognized in the main variant are indicated. For instance, on eliminating the Northern subregion from LEARNING, the classification of intersection 7 changed from uncertain to D, 5 changed from uncertain to N, 6, 10, 15, 16 and 18 changed from N to D, 22 changed from D to uncertain; and 30 intersections remained un-

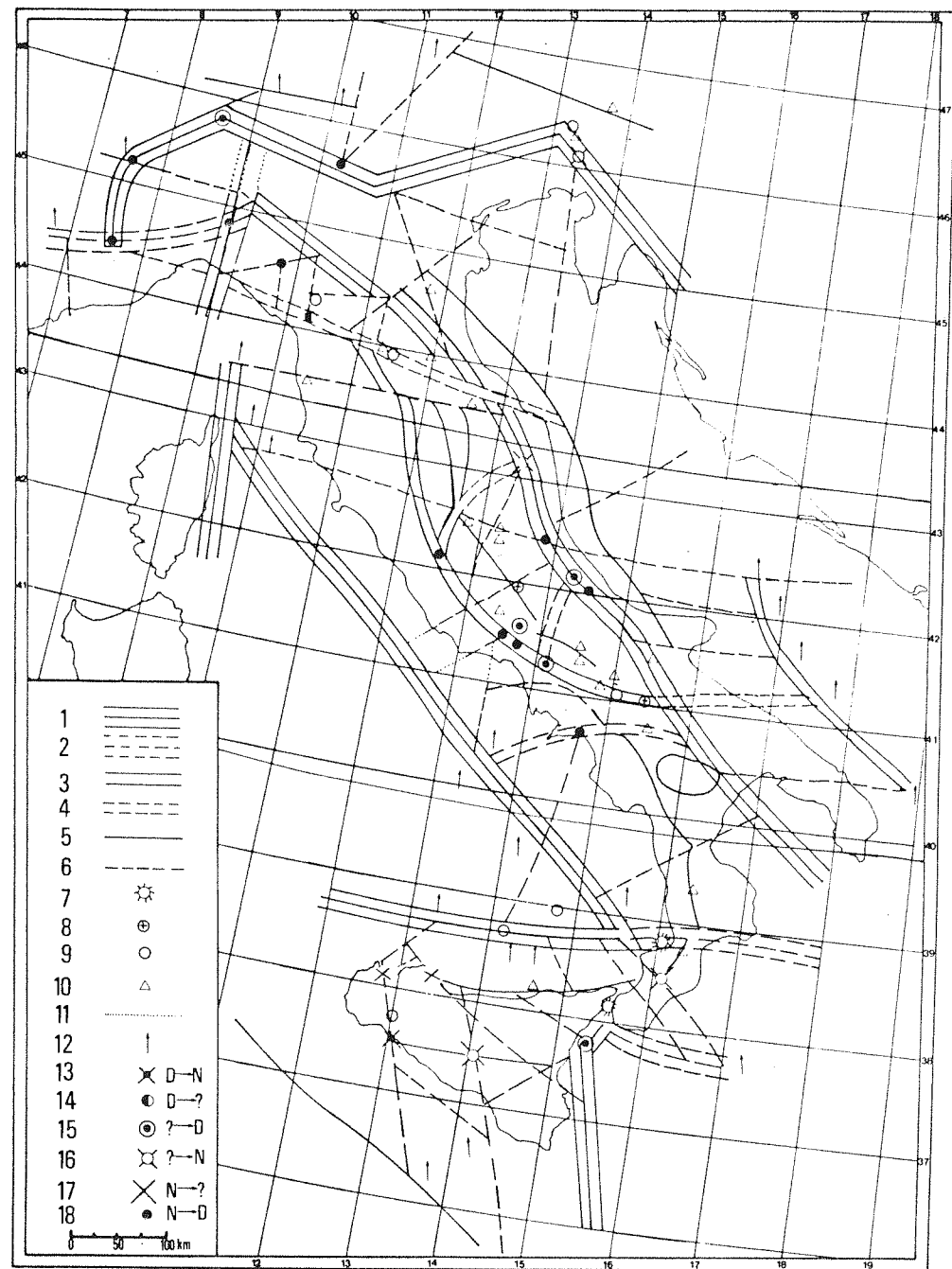


Fig. 4. Results of the test for homogeneity of subregions. Notations 1-11 are the same as in the key to Fig. 1. Notations 11-18 are defined in the key. The bold east-west lines indicate the boundaries of the subregions. Arrows indicate the change in voting of intersections. For example, D → ? represents a change from dangerous to uncertain.

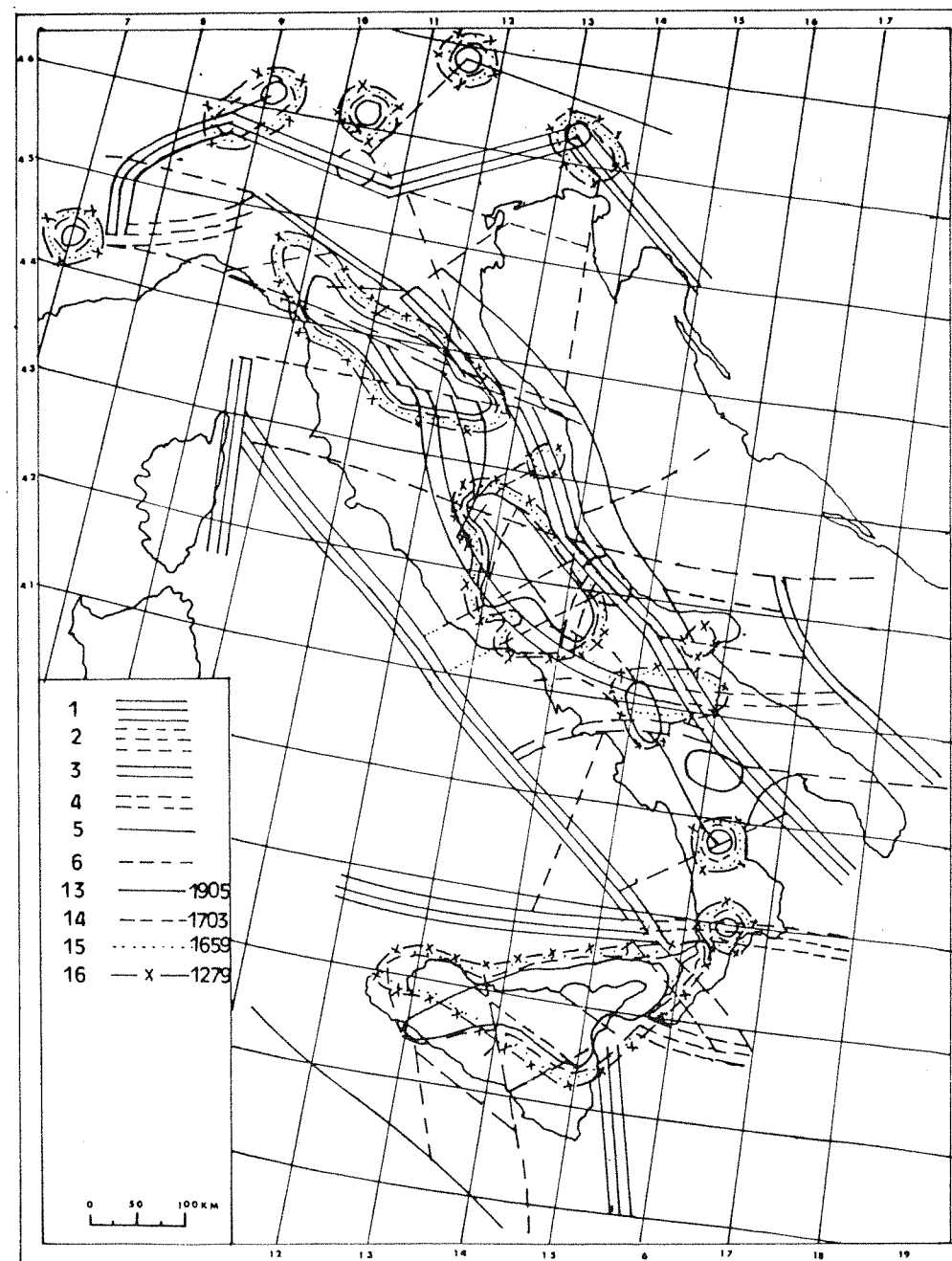


Fig. 5. D areas obtained when the historical epicenters are included in LEARNING. The D areas were obtained by including in LEARNING all the earthquakes that occurred after the years 1905, 1703, 1659 and 1279; they are limited by different contours as shown.

changed in North Italy. The total change seems insignificant. For Central Italy, the D region expanded and most uncertain VOTINGS changed to D. In the Sicilian region, the D intersections on the northern boundary, which is the major sublateral lineament in the southern Tyrrhenian sea, were not identified.

In conclusion, the D areas in the Northern subregion can be reasonably well recognized from the results of LEARNING in the Central and Sicilian subregions. LEARNING in the Northern and Sicilian regions slightly expands the D area in the Central subregion. LEARNING in the Northern and Central subregions did not recognize any D intersections in the Sicilian subregion.

At the end of this study, it was felt that results were dominated by elevation.

9. Conclusion

Summing up the distribution of D and N areas (see Fig. 5), two clusters of D points are noted: on the lineament 17–38 separating the North Apennines from the Peninsula, and in the central part of the Apennines (most of intersections 43–66). It is interesting that D intersections in the Apennines are concentrated in the dense groups of lineaments of the two lower orders, rather than on lineaments of the first order. On the northern front of the Po valley and in Sicily, D intersections are less concentrated. Results are not satisfactory for the intersections at sea: at least two D intersections were not recognized – near the epicenters of the earthquakes of 1926 and 1957.

Areas of D intersections differ from those of N intersections mainly by large elevations and steep gradients, which indicate intensive neotectonic development. Following this observation, a more simple formulation of the difference between D and N intersections was sought by comparing one-dimensional distributions of H_{\max} for two groups of intersections, $\{D_I + D_{II}\}$ and $\{N_I + N_{II}\}$; the same was done for the parameters h_{\min} and q . These groups could not be separated by any single parameter among these three, and so the rule of recognition was not altogether unduly complicated.

The interpretation of results is not clear for the lineament 17–38. The movement along it has a significant strike-slip component. In California and Anatolia, low elevation is characteristic of D intersections on strike-slip faults, where, as on lineament 17–38, these intersections are recognized by the same criteria (which include high elevation) as for the whole of Italy. So far, this difference in characteristic elevations of D intersections between different regions cannot be explained.

References

- Alexeevskaya, M., Gabrielov, A., Gelfand, I., Gvishiani, A. and Rantsman, E., 1977. Formal morphostructural zoning of mountain territories. *J. Geophys.*, 43: 227–233.
- Belousov, V.V., Sorsky, A.A. and Bune, B.I., 1967. Seismotectonic Map of Europe. Nauka, Moscow, pp. 12–25.
- Bongard, M.M., Vaintsveig, M.I., Guberman, Sh.A., Izrekova, M.L. and Smirnov, M.S., 1966. The use of self learning program in the detection of oil-containing layers. *Geol. Geofiz.*, 6: 96–105.
- Caputo, M., Gasperini, P., Keilis-Borok, V.I., Marcelli, L. and Rotwain, I., 1977. Earthquake swarms as forerunners of strong earthquakes in Italy. *Ann. Geofis.*, 2–3: 15–30.
- ENEL (Ente Nazionale Energia Elettrica), 1978. *Catálogo Generale dei Terremoti d'Italia dall'anno 1000 all'anno 1975*. Rome.
- Gelfand, I.M., Guberman, Sh. A., Izvekova, M.L., Keilis-Borok, V.I. and Ranzman, E. Ia., 1972. Criteria of high seismicity determined by pattern recognition. In A.R. Ritsema (Editor), *The Upper Mantle. Tectonophysics*, 13: 415–422.
- Gelfand, I.M., Guberman, Sh., Keilis-Borok, V.I., Knopoff, L., Press, F., Ranzman, I. Ya., Rotwain, I.M. and Sadovsky, A.M., 1976. Pattern recognition applied to earthquake epicenters in California. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 11: 227–283.
- Gelfand, I.M., Guberman, Sh.A., Keilis-Borok, V.I., Ranzman, E. Ia., Rotwain, I.M. and Zhidkov, M.P., 1974. Recognition of places where strong earthquakes may occur. III, the case when the boundaries of disjunctive knots are unknown. *Comput. Seismol.*, 7: 41–65.
- Ogniben, L. (Editor), 1973. *Structural model of Italy (scale 1 : 1 000 000)*, Nos. 1 and 2. CNR, Rome.
- Servizio Geologico d'Italia, 1961. *Carta Geologica d'Italia*. Rome.
- Shatsky, I.S. (Editor), 1966. *Tectonic Map of Europe*. GUGT, Moscow.
- Yanshin, A.L. (Editor), 1966. *Tectonic Map of Eurasia (scale 1 : 5 000 000)*. Nedra, Moscow.

LA PROTEZIONE DEL PATRIMONIO MONUMENTALE
DAL RISCHIO SISMICO Termini del Problema

MATERIALI PER L'APPROFONDIMENTO DI ALCUNI TEMI DELLA MOSTRA

2.3 Giuliano Milana

Carte della Sismicità Ottenute con Filtraggio Numerico

I filtri numerici sono procedimenti matematici che permettono di eliminare determinate lunghezze d'onda tra quelle che compongono un qualsiasi segnale nello spazio dei tempi. La necessità di questa procedura deriva dal fatto che non sempre si è interessati allo studio di tutte le componenti di un segnale, e dal fatto che spesso alcune lunghezze d'onda alterano il significato del segnale stesso, come nel caso dei rumori di fondo.

Supponiamo quindi di avere una funzione $f(t)$, e sia $-\infty \leq t \leq \infty$. Trasformando la $f(t)$ secondo Fourier si ottiene una:

$$F(w) = \text{TF}(f(t)) \quad \text{con} \quad -\infty \leq w \leq \infty \quad (1.1)$$

Eliminare delle lunghezze d'onda nello spazio dei tempi equivale ad eliminare le corrispondenti frequenze nello spazio delle frequenze, basterà quindi moltiplicare la $f(w)$ per una funzione $B(w)$ così definita:

$$\begin{aligned} B(w) &= 1 && \text{per } w_1 \leq w \leq w_2 \\ B(w) &= 0 && \text{per } |w| > w_2, |w| < w_1 \end{aligned} \quad (1.2)$$

essendo w_1 e w_2 le frequenze corrispondenti alle lunghezze d'on

da λ_1 e λ_2 estremi dell'intervallo che vogliamo studiare nello spazio dei tempi.

A questo punto basterà ritornare nello spazio dei tempi antitrasformando il prodotto $F(w) \cdot B(w)$ per ottenere una $f'(t)$ filtrata delle lunghezze d'onda che non interessano. Si ottiene quindi:

$$f'(t) = T^{-1}F(F(w) \cdot B(w))$$

che, per il teorema della convoluzione, diventa il prodotto di convoluzione delle $T^{-1}F$ delle singole funzioni $f(w)$ e $B(w)$:

$$f'(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) b(\tau-t) dt \quad \text{con} \quad b(t) = T^{-1}F(B(w)) \quad (1.3)$$

Questo significa che il valore della $f'(\tau)$ in un punto τ_0 è dato dalla somma dei prodotti della $f(\tau_0) \cdot b(0)$, più $f(\tau_0 \pm d\tau) \cdot b(\mp d\tau)$ e così via, facendo variare τ su tutto l'intervallo di definizione.

Se dal punto di vista teorico il problema è già risolto, la situazione in pratica è complicata dal fatto che la $f(t)$ è definita sempre su un intervallo finito (a,b) , e questo fatto costringe a troncamento del filtro per non perdere troppe informazioni vicino agli estremi a e b dell'intervallo di definizione. Infatti se il filtro ha semilunghezza $\Delta\tau$ tutti i punti della $f'(t)$ con $a \leq t \leq a + \Delta\tau$, e $b - \Delta\tau \leq t \leq b$ risultano pesanti con un numero di punti non simmetrico rispetto al centro dell'intervallo $(t - \Delta\tau, t + \Delta\tau)$, a differenza dei punti con

$$a + \Delta\tau < t < b - \Delta\tau.$$

Il troncamento del filtro crea ulteriori complicazioni, in quanto la $b(t)$ che corrisponde alla $B(w)$ precedentemente definita, è una funzione definita su tutto l'intervallo reale nello spazio dei tempi, troncata equivale quindi a deformare la sua immagine nello spazio delle frequenze, dando origine al cosiddetto fenomeno Gibbs.

Per cui se da un lato è necessario usare filtri di lunghezza limitata per perdere meno informazioni possibili ai bordi, dall'altro bisogna cercare di ridurre al minimo il troncamento per limitare il più possibile il fenomeno di Gibbs che altera la bontà del filtro deformando i segnali.

Quanto detto finora può essere esteso ad un caso bidimensionale.

Le tecniche fin qui esposte sono state applicate allo studio della distribuzione degli epicentri sul territorio nazionale. Infatti tale distribuzione, come ricavata dai cataloghi sismici, presenta notevoli imprecisioni legate agli errori di localizzazione degli eventi.

Naturalmente queste imprecisioni sono più evidenti per i terremoti antichi che non potevano venire registrati in modo esatto.

Si può quindi affermare che gli errori nella determinazione delle coordinate epicentrali introducono delle distorsioni nella distribuzione bidimensionale reale degli epicentri. Considerando queste distorsioni come un rumore di fondo ad alte

frequenze sovrapposto alla distribuzione reale si può cercare di eliminarle, o almeno di eliminare le loro componenti casuali, ricorrendo a filtri bidimensionali passa bassa.

Per far questo è stato diviso il territorio nazionale per mezzo di un reticolato a maglie quadrate di 10 Km di lato ed è stata associata la frequenza assoluta di epicentri registrati sulla sua superficie.

La funzione ottenuta è stata filtrata con un filtro bidimensionale di passa bassa con frequenza di taglio $f_c = (1/60) \text{ Km}^{-1}$. I pesi usati sono 121 e coprono una superficie quadrata di 110 Km di lato.

Il numero dei pesi è stato scelto così piccolo per evitare effetti di bordo sui tratti costieri della penisola, considerata la mancanza totale di dati epicentrali in mare.

Il lavoro è stato ripetuto su diversi campioni di dati ed ha portato alla realizzazione di carte a linee di livello come quelle esposte (v. pannello 34).