

**Le variazioni d'inclinazione e la sismicità
che hanno preceduto il forte terremoto del Friuli
del 6 Maggio 1976**

P. F. BIAGI(*) - P. CALOI(**) - M. MIGANI(***) - M. C. SPADEA(****)

Ricevuto il 30 Settembre 1976

RIASSUNTO. — In questa prima parte del lavoro, che ci proponiamo di dedicare alla disastrosa crisi sismica che ha colpito il Friuli nel 1976, ci limitiamo a delineare le caratteristiche presismiche, che hanno preceduto la forte scossa del 6 Maggio 1976.

Nelle premesse, vengono richiamati gli studi su fenomeni presismici, iniziati in Italia già negli anni Cinquanta.

SUMMARY. — In the first part of the work, which we have decided upon dedicating to the disastrous seismic crisis that struck the Friuli area in 1976, we will limit ourselves to delineating the pre-seismic characteristics that preceded the strong shock of May 6th, 1976. In the introduction, reference is made to the studies of pre-seismic phenomena started in Italy in the 1950's.

1 - PREMESSE

1.1 - In un lungo lavoro sulle caratteristiche sismiche e geodinamiche della Val Padana — intesa in senso lato, come comprensiva della fossa adrio-padana e di tutti gli alvei e bacini dei fiumi che sfociano nell'alto Adriatico, nonché dei monti che la limitano — fra

(*) Istituto di Geologia e Paleontologia, Università - Roma.

(**) Accademia dei Lincei - Roma.

(***) E.N.E.L., Compartimento Venezia - Venezia.

(****) Istituto Nazionale di Geofisica - Osservatorio Geofisico Centrale - Monte Porzio Catone - Roma.

l'altro, a commento del diagramma delle energie sviluppate negli ultimi secoli fino a tutto il 1969, Caloi *et al* (1970)^(?), con particolare riferimento all'ultimo secolo, osservano: « Esso inizia con il forte terremoto di Santa Croce, del 1875 che aveva improvvisamente rotto la relativa calma sismica che durava in tutta l'ampia zona dal 1800. Alla disastrosa crisi sismica della zona del lago di Santa Croce, risponde, nello stesso anno, una potente attività sismica al lato opposto della pianura, dal mare, presso Cattolica, lungo le pendici appenniniche settentrionali. *Sembra quasi che queste violente rotture dell'equilibrio elastico, ai due lati della pianura, siano legate come da causa ad effetto, e viceversa.* Il fenomeno si ripeterà altre volte durante l'ultimo secolo; così, p. es., al forte terremoto adriatico del 1934 (Caloi, 1937)⁽¹⁾, farà riscontro, due anni dopo, il fortissimo terremoto del Cansiglio (Caloi, 1938)⁽²⁾. Dal 1875, l'attività sismica, in misura ridotta, non ebbe praticamente più soste, manifestandosi, or qua or là, con scosse non molto intense, come se l'intero bacino padano fosse sotto l'azione perturbatrice di un'inquietudine tettonica unitaria, che si rivela presente soprattutto ai margini settentrionali e meridionali. Tale attività si è andata fortemente attenuando nell'ultimo trentennio, accennando ad una sensibile ripresa con il terremoto di VIII grado, verificatosi nel Delta il 30-XII-1967. *Non è escluso che tale tregua trentennale venga ulteriormente rotta con altre manifestazioni sensibili, probabilmente ai margini della zona* ».

Previsione? No, naturalmente: soltanto un logico suggerimento della situazione, quale era venuta creandosi. Sta di fatto che, nell'anno successivo — il 1971 — forti scosse sismiche misero, a più riprese, in allarme le popolazioni dell'Appennino modenese ed emiliano in genere. Nel 1972, poi, ebbe inizio la drammatica crisi sismica che ha così duramente, e a lungo, colpito Ancona e zone limitrofe.

Ci si doveva aspettare la conferma dell'interdipendenza delle attività sismiche nelle due zone estreme. E ciò purtroppo, si è puntualmente verificato con la disastrosa crisi sismica del Friuli, iniziata la sera del 6 Maggio 1976.

1.2 - Va sottolineato il fatto che l'epicentro della forte scossa del Friuli (la 2^a) del 6 Maggio 1976, praticamente coincide con quello del terremoto dell'11 Ottobre 1954, verificatosi fra Bordano ed Osoppo. Com'è noto, quello del 1954 costituisce il primo terremoto sorpreso nella fase di preparazione (Caloi, Spadea, 1955)⁽³⁾: fu possibile, infatti, seguire la variazione della verticale apparente ad esso associata, dapprima lenta, quindi rapidissima, per tornare successivamente lenta e

sfociare, dopo 22 giorni, nel terremoto. La scossa principale fu inoltre preceduta da tutta una serie di microscosse, iniziatasi alcuni giorni prima di quella, a sua volta seguita da una lunga serie di repliche, alcune delle quali violente.

Altre avvisaglie presismiche, legate alla verticale apparente, si verificarono nella zona, associate a scosse manifestatesi nei dintorni di Tolmezzo fino al 1965; ma nessuna ebbe i caratteri inconfondibili della scossa del 1954.

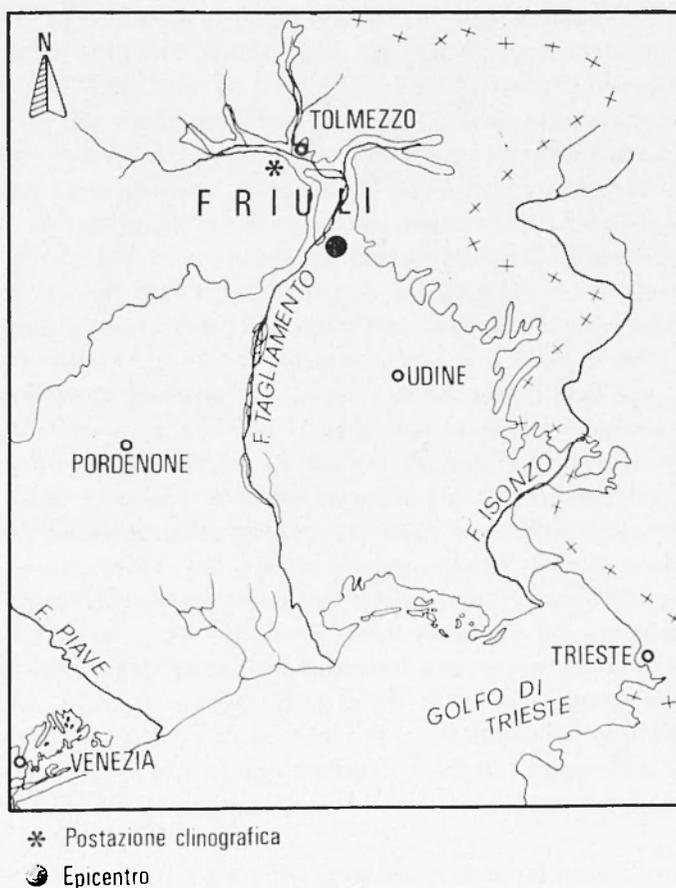


Fig. 1 - Epicentro del forte terremoto del 6 Maggio 1976 e postazione clinografica presso l'Ambiesta.

Fig. 1 - Epicenter of the May 6th, 1976 earthquake and the tiltmeter station installed at Ambiesta.

1.3. — Ma non si limitarono alla verticale apparente e alla microsismicità le variazioni presismiche osservate in Italia. Fin dal 1950, Caloi, nelle indagini condotte per il rilevamento del modulo di elasticità nei pressi di grandi dighe e dei relativi bacini, aveva constatato che la microsismicità provocata determinava invariabilmente una diminuzione del modulo di elasticità della roccia e, quindi, della velocità di propagazione delle onde sismiche, con particolare riferimento alle longitudinali. Di questi risultati, fu riferito in numerose pubblicazioni, in modo specifico, studiando il fenomeno della dispersione anomala nell'ambito delle altissime frequenze (Caloi, 1957) ⁽¹⁾. Dopo un riesame delle cognizioni conseguite (Caloi, 1962) ⁽²⁾, di fronte all'agnosticismo, alla ostentata indifferenza, se non all'ostilità, dell'ambiente direttamente interessato nei confronti delle nuove scoperte sul comportamento del campo elastico in roccia sollecitata da microsismicità naturale o provocata, e all'enorme interesse della loro estensione allo studio dei fenomeni sismici in generale, ai fini di una possibile previsione, si è tornati sull'argomento con carattere vibratamente polemico, scrivendo fra l'altro (Caloi, 1964) ⁽³⁾: « *Si richiama, ancora una volta, l'attenzione sull'interesse (a volte fondamentale, anche ai fini pratici) della costante osservazione delle variazioni del campo elastico, nelle zone in cui un mezzo solido è sottoposto a continue variazioni di tensione, comunque determinate. L'azione di tormento, associata alle variazioni di tensione, si traduce in un decadimento del modulo elastico, testimoniato dal più o meno sensibile diminuire della velocità di propagazione delle onde elastiche. L'osservazione continua del campo elastico in una zona sismica, combinata con la contemporanea osservazione della variazione della verticale apparente, può costituire una valida via d'approccio nel problema della previsione dei terremoti.* ».

Si è ritenuto opportuno fare questi richiami per dimostrare che, negli anni Cinquanta, in Italia si conducevano ricerche nel campo delle variazioni presismiche, con carattere di spiccata priorità (naturalmente all'insaputa degli . . . italiani, quelli usi a guardare sempre oltre confine).

1.4. — Successivamente, indagini del genere furono iniziate anche all'estero, particolarmente in Giappone, dove erano stati osservati mutamenti nella velocità delle onde sismiche, prima di grossi terremoti; mutamenti attribuiti a modificazioni nelle proprietà elastiche della crosta terrestre, nell'area dove il terremoto stava preparandosi. Ciò aveva indotto gli esperti giapponesi ad introdurre, nel loro vasto pro-

gramma di indagini, tese alla previsione dei terremoti (Tsuboi *et al.*, 1962) (9), anche periodiche determinazioni di velocità delle onde sismiche, provocate mediante esplosioni, in zone ad elevata sismicità opportunamente prescelte.

Ricerche analoghe si estesero ad altre nazioni. Nell'U.R.S.S. furono osservate variazioni del rapporto $\frac{v_p}{v_s}$ nella zona di Garm, prima di alcuni terremoti, con magnitudo variabile da 4,2 a 5,4. Negli U.S.A. si indagò particolarmente sulle avvisaglie presismiche che avevano preceduto il distruttivo terremoto di San Fernando del 9 Febbraio 1971, riscontrando una ben delineata anomalia nel rapporto $\frac{v_p}{v_s}$. Altre ne seguirono in Giappone e negli U.S.A. Il fenomeno legato alla variazione del rapporto $\frac{v_p}{v_s}$, negli Stati Uniti fu spiegato con l'espansione (dilatancy) che si verificherebbe nella fase di preparazione di un terremoto, sebbene questa venisse attribuita ad eventi fisicamente discutibili.

Le ricerche furono quindi estese alle variazioni presismiche associate ai movimenti crostali, alla resistività elettrica, al campo magnetico, all'emissione radon, ecc. Tali ricerche sono state recentemente riassunte da uno di noi (Caloi, 1976) (9).

Sulla base dei risultati finora raggiunti nell'U.R.S.S. e negli U.S.A., era stato tracciato un diagramma che dà l'intervallo di tempo precursore (espresso in giorni, in scala logaritmica) in funzione della magnitudo. Ebbene, con esso si concorda ottimamente l'intervallo precursore del terremoto del Friuli del 1954 di magnitudo 4,4, primo studiato da questo punto di vista (fig. 4).

2 - VARIAZIONI PRESISMICHE RISCONTRATE IN CORRISPONDENZA DEL FORTE TERREMOTO DEL FRIULI DEL 6 MAGGIO 1976.

2.1. - L'epicentro della scossa disastrosa del 6 Maggio 1976 fu determinato (sia pure in via provvisoria) usufruendo delle cinque stazioni dell'« ENEL » più vicine: Ambiesta (Tolmezzo), La Maina (Sauris), Pieve di Cadore, Vajont e Mis (Belluno).

Le determinazioni fornite dai Centri internazionali sono sempre alquanto approssimative, con particolare riguardo alla profondità, specie per terremoti della crosta terrestre. I motivi sono evidenti e si identificano principalmente con le inomogeneità diffuse e le varia-

zioni degli spessori della crosta nelle diverse direzioni. Ciò sa bene chi si occupa di questi problemi, ed ha imparato, a sue spese, a diffidare dei risultati ottenuti, avvalendosi di stazioni troppo discoste dagli epicentri, e a limitare le indagini sulle coordinate ipocentrali servendosi dei tempi delle stazioni prossime.

Le coordinate epicentrali risultarono come segue:

$$\varphi = 46^{\circ} 16',5 \text{ N}; \quad \lambda = 13^{\circ} 06',0 \text{ E}$$

con riferimento alla 2^a scossa. La profondità è risultata non inferiore ai 15 km e il tempo origine

$$H = 20.00.15,5$$

Altri hanno ottenuto per queste grandezze i valori più disparati, specialmente per quanto si riferisce al tempo origine, che viene persino dato 7 secondi prima di quello riportato. Se così fosse, poiché il tempo della 2^a scossa all'Ambiesta — a 15 km di distanza epicentrale — fu per le P_g di 20.00.18,5 ($\pm 2/10$ di sec), le onde longitudinali dirette avrebbero impiegato ben 10 sec a compiere il tragitto di 20 km ca.: il che è manifestamente assurdo. Per la magnitudo, si è scelto un valore compreso fra 6.3 e 6.5.

Esula, per ora, dalla nostra attenzione il problema del meccanismo del terremoto all'ipocentro, da altri tratto sulla base delle repliche, il che non è affatto corretto. Ci riserviamo di ritornare sull'argomento, quando potremo usufruire delle registrazioni originali di un congruo numero di stazioni sismiche, sparse per il mondo.

Qui ci limitiamo a riferire sulle variazioni presismiche, osservate nella zona dell'Ambiesta.

2.2. — Si tratta, naturalmente, di un'indagine a posteriori: le stazioni clinografiche funzionanti presso le dighe « ENEL » hanno infatti uno scopo di controllo del tutto locale, con particolare riferimento alla stabilità degli sbarramenti e alla stabilità della culla rocciosa, sopportante a monte il bacino idrico.

Non tutte le postazioni clinografiche sono atte al rilievo di fenomeni di carattere tettonico. Si prestano invece a questo scopo, le postazioni a lato della diga dell'Ambiesta, con particolare riferimento a quella posta al largo della sponda sinistra, sul bordo di una faglia attiva.

Questa postazione è particolarmente sensibile alle manifestazioni sismiche locali; sicché molto raramente le variazioni della verticale

ivi osservate sono trascurabili. Per esempio, durante il 1971, l'attività clinografica fu piuttosto vivace, associata com'era ad una serie di scosse sismiche, di piccola intensità, verificatasi nella zona.

Il 1972, invece, fu un anno relativamente tranquillo, esente da attività sismica locale: i lievi e disordinati movimenti osservati, essendo da attribuire all'azione perturbante di depressioni bariche in transito.

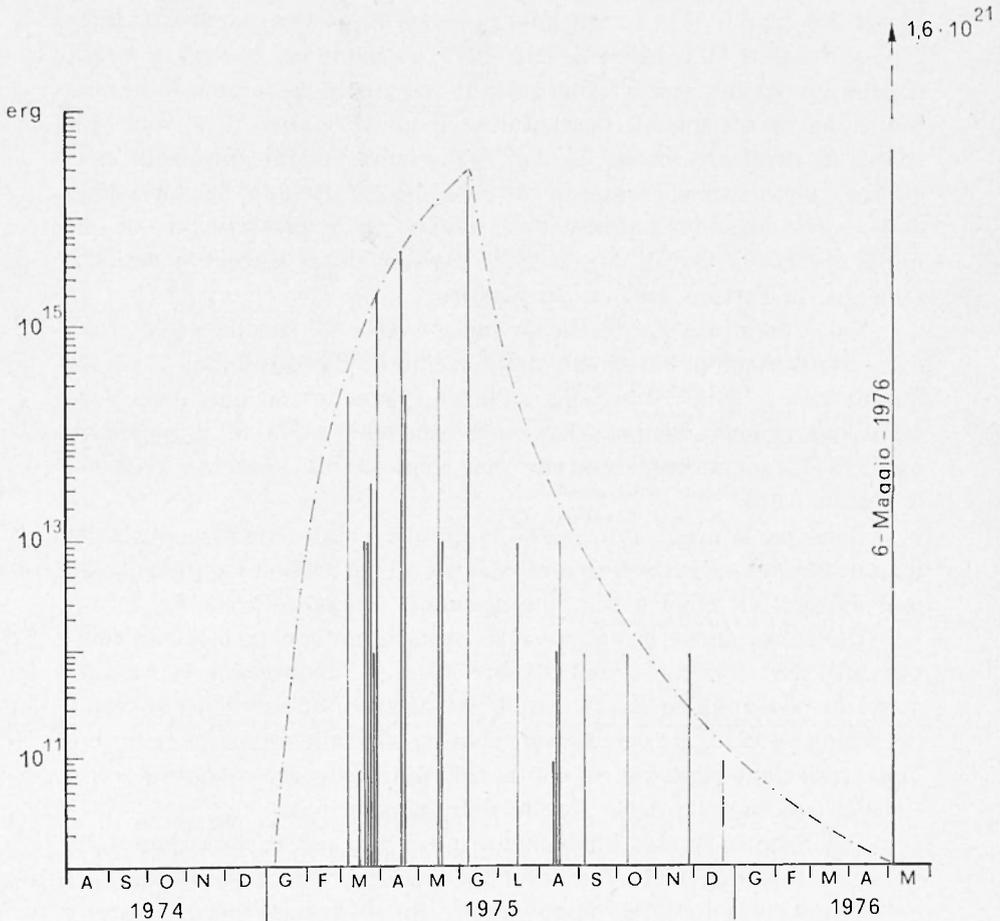


Fig. 3 - Andamento dell'attività presismica che ha preceduto il forte terremoto del Friuli del 6 Maggio 1976 (v. fig. 2).

Fig. 3 - Trend of the pre-seismic activity that preceded the strong Friuli earthquake of May 6th, 1976 (cf. Fig. 2).

Con il 1973, il fatto nuovo (fig. 2). Con qualche esitazione, la verticale apparente piega, decisa, nel settore di SE, e compie, sia pure lentamente, un'ampia, contrastata volta fino al 6 Dicembre. A partire da questo giorno, la variazione della verticale volge decisamente verso SSE e, in detta direzione, procede veloce per quasi tutto il 1974. La sensibile deviazione osservata negli ultimi due mesi, complicatasi addirittura con un cappio, lasciava prevedere un movimento tettonico in atto. Questo, infatti, cominciò a manifestarsi con una prima scossa il 7 Marzo 1975 e, con alterna intensità, si fece particolarmente intenso fra il 24 Marzo e l'8 Giugno 1975, giorno in cui la zona fu messa in allarme da una scossa di magnitudo 3.6 ca. Indi l'inquietudine tettonica parve attenuarsi, per esaurirsi il 25 Dicembre 1975, con una scossa di carattere locale. La fig. 3 riassume l'andamento delle magnitudo delle scosse di questo periodo. Nel frattempo, la variazione della verticale andava riducendosi sempre più e praticamente si annullava verso la fine di Aprile 1976. La sera del 6 Maggio si verificò, violenta, la rottura del campo elastico.

Va sottolineata la stretta analogia con la variazione della verticale, verificatasi in occasione del terremoto del Friuli del 1954: in questo caso, lenta variazione all'inizio, lenta variazione nella fase finale, variazione veloce nella parte centrale; salve le proporzioni, analogo il comportamento che ha condotto alla cruenta crisi del 6 Maggio 1976.

Come per la precedente scossa, la durata è stata condizionata dalla magnitudo del veniente terremoto: 22 giorni nel primo caso (magnitudo dell'ordine 4.4), circa 3 anni nel secondo (magnitudo fra 6.3 e 6.5).

Del resto, anche le prescosse si verificarono con successione comparabile. Nel terremoto dell'Ottobre 1954 le microscosse si manifestano in prossimità della 2^a fase di rallentamento; per la forte scossa del 6 Maggio 1976, la fase presismica anticipa il rallentamento definitivo della variazione clinografica, con la sola differenza che — questa volta — sono scosse autentiche, sentite dalla popolazione.

Del resto, è questo l'andamento osservato per le variazioni della velocità, massime nella fase centrale dell'anomalia presismica.

A questo punto, ci siamo chiesti se — avendo potuto seguire passo passo l'andamento delle perturbazioni presismiche — saremmo stati in grado di predire, con qualche margine di sicurezza, ciò che stava maturando. In coscienza, la risposta è negativa. Troppi sono ancora gli elementi d'incertezza che condizionano il maturare di siffatti fenomeni; e di essi si fa cenno nel recente lavoro di uno di noi (Caloi, 1976) (*).

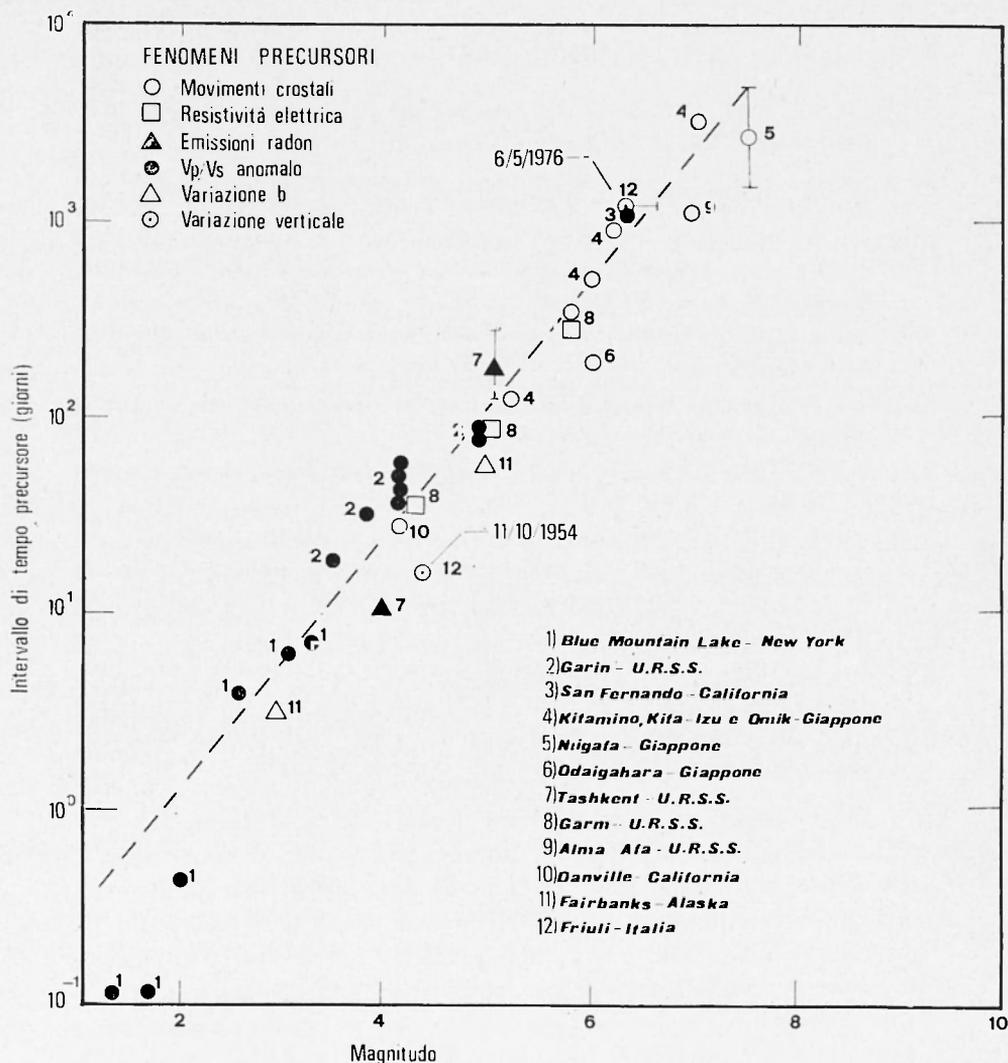


Fig. 4 - Il terremoto del Friuli del 1954 fu il primo seguito nelle sue variazioni presismiche, clinografica e microsismografica. La durata della variazione presismica e la sua magnitudo concordano bene con il diagramma tracciato circa vent'anni dopo. Con questo diagramma concorda pure la variazione presismica del forte terremoto del Friuli del 1976, ritenuto di magnitudo 6.3. Nel caso di $M = 6.5$ (come è stata calcolata da qualche centro internazionale), il cerchietto verrebbe a cadere proprio sulla retta mediana.

Fig. 4 - The Friuli earthquake, 1954, was the first studied in its pre-seismic variations, tilting and microseismic. The duration of the pre-seismic variation and its magnitude agrees well with the diagram drawn about 20 years later. The pre-seismic variation in the Friuli earthquake of May 6th, 1976 considered of magnitude 6.3 ab., is in well accordance with this diagram. In the case of $M = 6.5$ (as has been calculated by some international centers), the circle would fall precisely on the middle straight line.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CALOI P., 1937. - *Il terremoto adriatico del 30 Novembre 1934*. « Boll. Soc. Sismol. Ital. », XXXV.
- (2) CALOI P., 1938. - *Ricerche su terremoti ad origine vicina. Scosse del Consiglio dell'Ottobre 1936*. « La Ricerca Scientifica », S. II, A. IX, II.
- (3) CALOI P., SPADEA M. C., 1955. - *Relazioni fra lente variazioni d'inclinazione e moti sismici in zone ad elevata sismicità*. « Rend. Acc. Naz. Lincei », S. VIII, XVIII.
- (4) CALOI P., 1957. - *Sulla dispersione delle onde sismiche nell'ambito delle altissime frequenze*. « Annali di Geofisica », X, 3-4.
- (5) CALOI P., 1962. - *Aspetti della dinamica di rocce, calcestruzzo ed acque*. « Annali di Geofisica », XV, 2-3.
- (6) CALOI P., 1964. - *La geodinamica al servizio delle grandi dighe*. « Annali di Geofisica », XVI, 1.
- (7) CALOI P., ROMUALDI G., SPADEA M. C., 1970. - *Caratteristiche sismiche e geodinamiche della Val Padana quali risultano dall'attività sismica ivi verificatasi dall'inizio dell'Era Volgare a tutto il 1969*. « Annali di Geofisica », XXIII, 2-3.
- (8) CALOI P., 1976. - *Sulle possibilità di previsione dei terremoti*. « Acc. Naz. dei Lincei: Commiss. di studio delle calamità naturali ... », XIV.
- (9) TSUBOI Ch., WADATI K., HAGIWARA T., 1962. - *Prediction of Earthquakes*. « Earth. Res. Institute », University of Tokyo.