

ROBERTO CERVELLATI

PREVISIONE DEI TERREMOTI, OGGI

« Alle 19 e 36 del 4 febbraio 1975 un terremoto di magnitudo 7.3 ebbe luogo in prossimità della città di Haicheng, provincia del Liaoning della Repubblica Popolare Cinese. Il terremoto fu sentito bene in tutta la Cina nord-orientale e causò danni considerevoli agli edifici esistenti ed ai territori coltivati nella regione epicentrale. Un 90% circa degli edifici di Haicheng, una città di 90.000 abitanti, venne distrutto o seriamente danneggiato durante il terremoto. Considerando l'ora, una temperatura ambiente al di sotto dello zero e la densità della popolazione nella regione ove si ebbero i danni più ingenti, ci si sarebbero potuti aspettare oltre 100.000 morti, se questo terremoto non fosse stato previsto così accuratamente da far effettuare una evacuazione generale della popolazione dalle proprie case nel pomeriggio del 4 febbraio. La previsione del terremoto di Haicheng è un risultato straordinario dei sismologi e dei geofisici della Repubblica Popolare Cinese, il cui programma nazionale di ricerca sui terremoti aveva in quel momento meno di dieci anni di vita ».

In questi termini una delegazione di scienziati, inviati in Cina dai più prestigiosi istituti di ricerca americani a prendere contatto con i colleghi e i metodi cinesi, introduce una dettagliata relazione sugli aspetti scientifici e sulle implicazioni sociali del terremoto di Haicheng [1].

E' un fatto che negli ultimi 4 o 5 anni, dopo cioè il risultato lusinghiero della previsione cinese, l'argomento della previsione

dei terremoti ha valicato i confini della stampa scientifica specializzata [2-11] ed è stato ripreso più volte dai quotidiani e dagli altri *mass media*. Il settimanale « Time », parafrasando i comunicati meteorologici ben familiari ai telespettatori americani, così intitolava un servizio speciale in quei mesi: *Previsto: terremoto*. Il mensile « Le Scienze » dedica poi alcune pagine all'argomento [12] e il « National Geographic Magazine » con l'articolo *Possiamo predire i terremoti?* [13] si domanda quale sia lo stato dell'arte e passa in rassegna le tecniche più promettenti, all'indomani del disastroso terremoto in Guatemala, che lasciò dietro di sé, nel febbraio del 1976, 23.000 morti, 77.000 feriti, un milione di senzatetto, su una popolazione di cinque milioni di abitanti.

E' anche significativo che la comunità scientifica sia uscita per così dire allo scoperto dedicando alla previsione dei terremoti congressi o quanto meno intere sezioni nei congressi di sismologia [14, 15, 16]. « Alcuni anni fa — scrivevano nel 1966 i due eminenti geologi del Massachusetts Institute of Technology F. Press e W.F. Brace — il soggetto della previsione dei terremoti rientrava nel raggio di azione degli astrologi, degli amatori di scienza da strapazzo, di chi andava in cerca di pubblicità, e delle sette religiose in attesa del giudizio universale. Nulla di strano che, se uno scienziato azzardava una opinione sull'argomento, lo facesse con cautela, e mantenendosi su posizioni conservatrici per paura di venir messo al bando dai suoi colleghi » [3].

La situazione ha cominciato a mutare intorno agli anni Sessanta, quando le nazioni tecnologicamente più avanzate, e cioè principalmente Giappone, Stati Uniti, Unione Sovietica e, come si è accennato sopra, Cina, hanno varato piani pluriennali di ricerca sismica il cui obiettivo ultimo era appunto quello della previsione [17, 18, 19].

LE CAUSE. — Sebbene la conoscenza del nostro pianeta sia tutt'altro che completamente acquisita, è abbastanza chiaro agli addetti ai lavori che la Terra, invece di essere solida come appare a chi vi abita in superficie, è sostanzialmente una grossa goccia

di materiale fluido, che appunto a questa sua fluidità deve la forma sferica. « Se un gigante la prendesse tra due dita, questa goccia si schiaccerebbe miseramente » dice ridendo uno studente di geologia.

Sulla superficie della sfera si è formata, a causa del raffreddamento continuo, una buccia di materiale solido che chiamiamo crosta terrestre. La crosta è qualcosa che può ricordare la pellicola che si forma sul latte dopo che lo si è bollito; è costituita da più parti, una ventina di zolle (se si numerano le più grandi), le quali galleggiano al di sopra del magma fluido sottostante e si toccano le une con le altre lungo i bordi. Questo modo di vedere la crosta terrestre è detto « teoria della tettonica a zolle » ed è il punto di vista dal quale in questo secolo si sono interpretati i principali fenomeni che riguardano la superficie terrestre ed il suo stesso aspetto [20, 21].

In questo modo sono stati collegati tra loro, in una visione organica piuttosto soddisfacente, molti fatti ben noti ma apparentemente non collegati e di cui nessuno prima si era chiesto il perché. Tra essi il fatto che una grossa parte del continente sudamericano, per intenderci il Brasile, si adatta piuttosto bene per forma e per natura geologica al golfo di Guinea, l'esistenza di catene sottomarine al centro degli oceani, la presenza di specie animali simili in Africa ed in Sudamerica, la continuità di un sistema montuoso che va dalle Alpi all'Himalaya, la presenza delle altissime Ande proprio lì dove sono, e cioè sulla linea di separazione tra continente ed Oceano Pacifico, e infine la concentrazione di vulcani e terremoti in quell'anello, detto in modo colorito « cintura di fuoco », che corre grosso modo lungo tutta la costa pacifica delle Americhe, dell'Asia e dell'Oceania.

Tutto ciò propone una visione dinamica della nostra Terra, in contrapposizione all'immagine statica che ne avevano gli antichi. I continenti non sono sempre stati come e dove la nostra generazione li vede oggi, ma si sono spostati e deformati continuamente nelle ultime ere geologiche. Questa deriva dei continenti è tuttora in atto e le velocità in gioco sono di qualche centimetro all'anno. Ci si convince facilmente, con un conto di larga massima, che questa è la velocità necessaria per giu-

stificare un allontanamento tra Sudamerica e Africa di circa 4500 km in un tempo dell'ordine di 200 milioni di anni, che ci porta all'epoca in cui dovevano vivere nell'unico continente non ancora separato i progenitori degli animali oggi indigeni nei due continenti.

E' probabile che responsabili di queste continue alterazioni superficiali siano gli incessanti moti convettivi che animano la parte centrale, fluida e calda, del pianeta. Ed è praticamente accertato che le zolle si muovono, si spingono, si scivolano accanto, si incuneano l'una sotto l'altra, lentamente, per lo più silenziosamente, come testuggini mostruose. L'eruzione vulcanica avvenuta nel novembre 1978 vicino a Gibuti sarebbe associata, a quel che sembra, alla prima osservazione diretta del supposto moto di allontanamento tra Arabia ed Africa (uno spostamento di un metro nella settimana dell'eruzione).

Non c'è dubbio che dove le zolle continentali si toccano, si sviluppano delle compressioni o degli sforzi di taglio che a lungo andare possono avvicinarsi ai limiti della resistenza delle rocce. Quando questi limiti sono raggiunti si ha un cedimento brusco, che porta ad uno slittamento, lungo una superficie di separazione piana, di parte delle rocce sotto sforzo rispetto ad un'altra parte. Questi piani di scorrimento o faglie sono spesso visibili in superficie: la individuazione di essi è divenuta ancora più facile mediante l'osservazione del pianeta dai satelliti. A volte valli e insiemi di valli altro non sono che la manifestazione superficiale di strutture ben più profonde, che sono appunto le faglie. Che siano visibili in superficie o giacciono in profondità interamente nascoste, è piuttosto comprensibile che siano proprio esse a costituire i punti deboli che faranno le spese delle mastodontiche compressioni in gioco. Quando il limite di resistenza di una faglia viene superato si hanno un improvviso movimento reciproco delle due parti affacciate e una violenta vibrazione in tutta la regione soprastante.

In realtà non solo una regione ma l'intera Terra, come un « gong » colpito in un punto, seguita a vibrare per parecchio tempo, un quarto d'ora o giù di lì; le onde sismiche percorrono ogni punto della superficie terrestre; per questa ragione ad un

sismometro (che è uno strumento tanto semplice quanto sensibile e che può mettere in evidenza vibrazioni più piccole dello spessore di un foglio di carta) non sfugge un terremoto catastrofico in qualunque altra parte del mondo sia esso avvenuto.

Non tutti i terremoti, però, sono legati ad una faglia. Vi sono terremoti di origine vulcanica, terremoti dovuti a crolli e frane superficiali o profonde; e prendono il nome di terremoti anche le vibrazioni indotte da esplosioni, ad esempio di ordigni termonucleari. Non vi è dubbio, però, che una frazione preponderante dei terremoti trae origine da una o più faglie (terremoti tettonici).

Alla luce di questa visione globale, il terremoto non appare più come un castigo di Dio rovesciato sull'umanità ad un momento del tutto imprevedibile ed in un luogo anch'esso imprevedibile. Si è affermata la convinzione che il terremoto, al pari di qualunque altro fenomeno che riguarda la superficie terrestre, sia perfettamente determinato tanto nelle cause che nelle caratteristiche. Deve verificarsi, cioè, tutta una catena di fatti, una vera e propria evoluzione del fenomeno, che nella prima fase, praticamente latente, porta le rocce a caricarsi, come viene caricata una molla, di energia elastica; in una seconda fase, anche troppo nota e che non sfugge certo all'osservazione, una parte di questa energia elastica viene liberata violentemente e induce deformazioni e vibrazioni della crosta terrestre. Ed esiste una terza fase, la « coda » del terremoto, in cui la terra è scossa dalle cosiddette repliche. A distanza di tempo, spesso decenni o secoli, l'energia elastica nuovamente accumulata può raggiungere ancora una volta i limiti in cui le forze di coesione delle rocce non sono più sufficienti a mantenere la stabilità. Si può anche parlare, per questa ragione, di un periodo di ritorno del terremoto [25], senza però aspettarsi da esso una « puntualità » che permetterebbe di prendere in tempo le necessarie misure di sicurezza ed evitare le conseguenze peggiori.

La chiave di una previsione scientifica di un terremoto sta in questo: osservare la crosta terrestre con estrema cura per mettere in evidenza quei segni premonitori che, conseguenza degli sforzi sulle rocce sottostanti, quasi certamente devono poter

essere osservabili. Anche se possiamo anticipare che non saranno certamente vistosi, dato che altrimenti l'esperienza popolare li avrebbe certamente già segnalati inequivocabilmente. Sull'esperienza popolare e sull'approccio empirico dei sismologi cinesi torneremo tra un momento.

Forse vale la pena, a questo punto, di fare un parallelo con le previsioni meteorologiche, le quali, a differenza della previsione sismica, sono un fatto praticamente acquisito. In entrambi i casi si tratta di possedere così bene le leggi che governano un fenomeno che, date certe premesse, si possano anticipare gli sviluppi successivi.

Il fatto che la previsione meteorologica sia « più avanti » va attribuito principalmente al motivo che l'atmosfera, sede dei fenomeni meteorologici, è ambiente più semplice e più conosciuto che non il sottosuolo. Essa, sebbene diversa da punto a punto per temperatura, pressione e composizione del miscuglio gassoso, è sostanzialmente omogenea se rapportata alla complessità ed alla anisotropia del sottosuolo. Ma soprattutto è trasparente e ci si vede attraverso: la forma, il movimento delle nuvole sono cose note da sempre. Inoltre, paradossalmente, è stato più facile all'uomo volare e persino portarsi al di sopra dell'atmosfera che non calarsi nelle viscere della Terra, ove le alte temperature e pressioni pongono alle indagini ostacoli insormontabili.

L'atmosfera, poi, è sede di fenomeni ad alternanza più rapida; l'arrivo di fronti freddi, di perturbazioni, di cicloni ed anticicloni avviene in termini di giorni o di settimane; una ben precisa periodicità della posizione della Terra rispetto al Sole fissa una certa periodicità annuale dei fenomeni atmosferici. Al contrario i fenomeni sismici hanno tempi di ricorrenza secolari [22-25]; ciò rende la vita dura alla sismologia, in quanto non permette, una volta fatte osservazioni, ipotesi e previsioni, di avere più verifiche o smentite nei termini di una generazione scientifica o della vita di un sismologo. Naturalmente il lento ripetersi dei terremoti è a tutto vantaggio delle popolazioni che vivono in aree sismiche (circa 2 miliardi di persone), e nes-

suno si sognerebbe di augurarsi una maggiore cadenza di terremoti per... studiarli meglio.

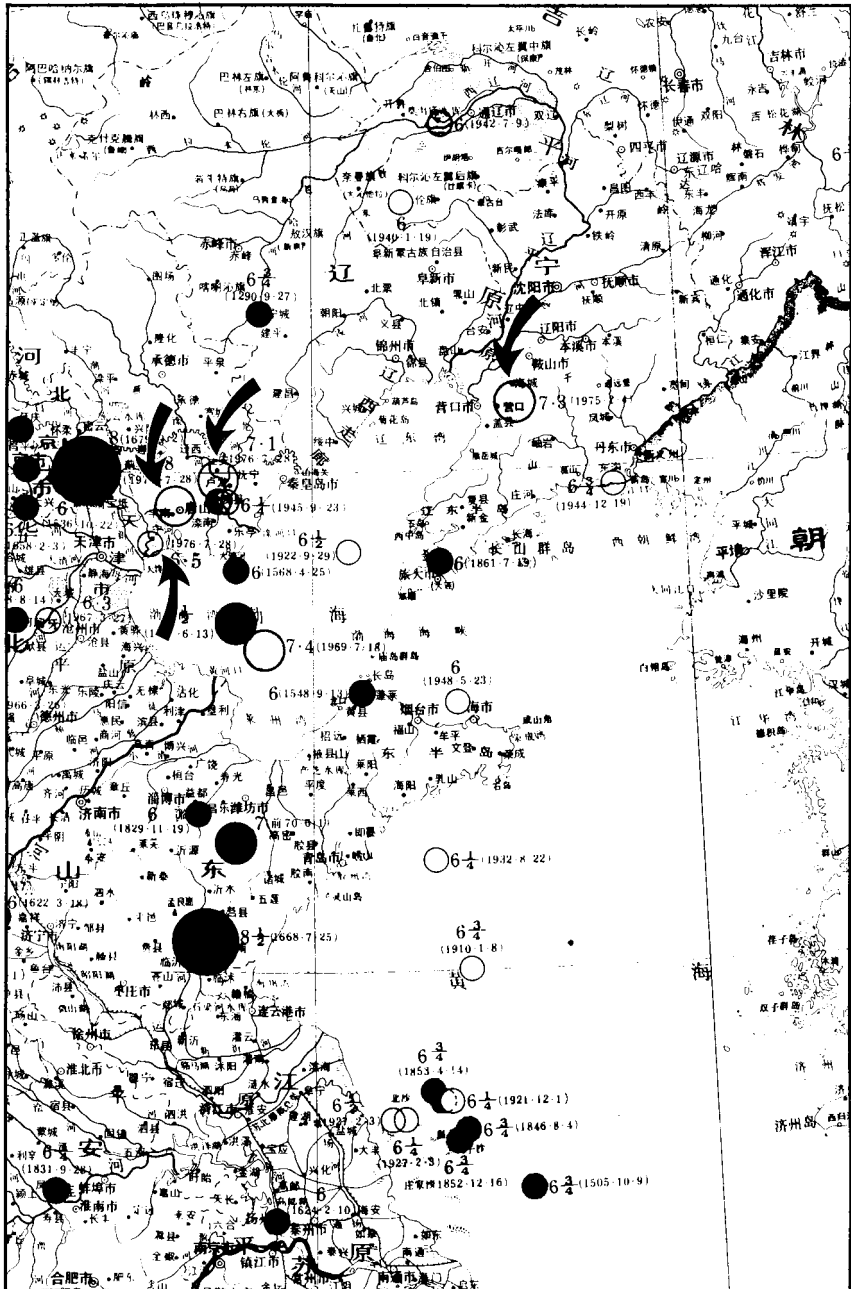
LA PREVISIONE CINESE. — Non sarà male, ora, ripercorrere le tappe della previsione cinese del terremoto di Haicheng per vedere concretamente in che tempi essa si sia compiuta, con quali modalità e con quali fenomeni precursori.

Nel 1966, dopo due catastrofici terremoti nella regione di Hopeh, Chou En-lai in persona, sembra, aveva fatto partire un programma di ricerca sismica mirante appunto alla previsione. Sul territorio erano state disseminate venti stazioni sismiche di tipo standard e altre 250 stazioni sismiche locali. Tra sismologi ed addetti si contava uno staff di 10.000 persone. Molti di più erano i volontari, che nello spirito di un grande sforzo collettivo si prestavano ad eseguire osservazioni e a compiere limitate azioni locali [1].

Dopo qualche anno che il programma era partito, e precisamente nel 1970, venne concordato di concentrare gli sforzi della ricerca nella provincia di Haicheng. La ragione principale era che gli ultimi terremoti importanti (Hsingtai, 1966; Hochien, 1967; Pohai, 1969) indicavano un lento spostamento degli epicentri che, se fosse continuato, avrebbe investito la nostra provincia. Un'altra buona ragione per sorvegliare con cura la provincia di Haicheng era l'alta densità di popolazione e l'importanza economica di essa, ciò che avrebbe dato a una eventuale previsione il carattere di un successo non solo scientifico ma anche sociale (fig. 1).

Inoltre sembra che per tutto questo secolo si sia avuta in Cina una alternanza di periodi, all'incirca decennali, di attività sismica più intensa e di altri in cui si aveva una relativa quiete. Il 1970 coincideva appunto con l'inizio del prossimo presunto periodo di attività sismica.

In quell'anno si iniziò dunque lo studio della regione da vari punti di vista. Si fece un censimento di tutte le faglie esistenti; si registrarono accuratamente, con i metodi che sono ben noti ai topografi, le distanze tra i vari punti cosiddetti fissi (di solito le cime delle montagne) proprio allo scopo di controllare



se rimanevano reciprocamente fissi; venne misurato il livello, ossia la quota sul livello del mare, di numerosi punti; vennero installati degli inclinometri, strumenti che permettono di controllare che un piano di appoggio inizialmente orizzontale si mantenga tale col passare del tempo (*); vennero misurati il valore e la direzione del campo magnetico terrestre, quello che orienta l'ago della bussola, qua e là su tutta la regione.

Il primo risultato di tutto questo sforzo verso una migliore conoscenza del proprio territorio, portato avanti da una alacre comunità di geofisici e di dilettanti, non si fece attendere. Nell'arco di tempo dal 1971 al 1974 si poté assistere ad un piccolo ma percettibile sollevamento, accompagnato da una inclinazione verso nord-ovest dell'intera penisola di Liaotung (di dimensioni confrontabili con la nostra Calabria, di cui condivide anche la latitudine). L'inclinazione osservata era di alcuni microradianti, dunque assai piccola, poiché un microradiante è la pendenza che assumerebbe un chilometro di strada in piano qualora se ne innalzasse un estremo rispetto all'altro di 1 millimetro; e d'altra parte si pensi a quali forze gigantesche entrano in gioco per sollevare anche di un solo millimetro una... penisola.

Nel 1974 i sismometri registrarono un aumento della microsismicità locale, ossia un aumento della frequenza di quelle scosse così piccole da non venir avvertite dalla popolazione né segnalate dai giornali, ma che non potevano sfuggire agli strumenti installati nella zona. Il campo magnetico mostrò delle variazioni rispetto alla mappa di valori che era stata ottenuta precedentemente: anche qui si trattava di variazioni assai piccole (dell'ordine di 1/1000 del valore normale) ed in un certo

(*) Un inclinometro è, ad esempio, la livella a bolla del muratore: se lascio una livella su un pavimento e dopo alcuni mesi trovo che la bolla non è più esattamente al punto iniziale devo pensare che il pavimento non è più orizzontale.

← FIG. 1 — SISMICITA' NELLA CINA NORD-ORIENTALE.

Il terremoto di Haicheng, poco ad ovest del confine con la Corea, e quello di Tangshan (scossa principale e repliche) sono indicati con frecce su una carta sismica originale (cortesia della prof.ssa R. Simoncelli). L'ampiezza dei cerchi è proporzionale alla magnitudo Richter; il colore nero indica i terremoti anteriori al 1900.

senso opinabili [1]. Sempre nel corso del 1974 si iniziarono misure capillari (alcune migliaia di punti) concernenti il livello delle acque nei pozzi, le correnti telluriche e il contenuto di radon nelle acque sorgive.

Per quanto riguarda le correnti telluriche, piuttosto che dire di cosa si tratti (e non sarebbe cosa facile neppure per gli stessi esecutori delle misure), è meglio dire cosa veniva fatto. Si trattava sostanzialmente di conficcare un paio di elettrodi nel terreno a distanza di alcune decine di metri l'uno dall'altro e misurare la differenza di potenziale elettrico tra di essi. Lo strumento era molto simile a quello che assiste ogni radiotecnico quando cerca il guasto in un televisore.

Il radon (o più esattamente il radon-222) è un gas radioattivo che si trova in varia misura nelle acque minerali. E' prodotto dalla trasformazione dell'uranio e del torio che compongono alcuni tipi di rocce. Vi sono buone ragioni per ritenere che un processo di microsgretolamento delle rocce metta in libertà quantità anomale di radon, rimasto fino ad allora intrappolato nelle porosità, e che le acque minerali profonde lo portino in superficie.

Nel corso dello stesso anno venne iniziato un programma sistematico di studio del comportamento animale. In ogni paese la tradizione popolare vuole che gli animali diano segni di irrequietezza o quanto meno esibiscano un comportamento anomalo nell'imminenza di una forte scossa [26]. Questa convinzione, che del resto si riaffaccia sistematicamente anche nelle vecchie cronache dei terremoti nostrani, è particolarmente radicata nelle tradizioni rurali cinesi.

Alla fine dell'anno, il 22 dicembre e nei giorni seguenti, si ebbe uno sciame di terremoti, ossia una serie di scosse piuttosto numerosa in cui però nessuna scossa era particolarmente forte. Lo sciame interessò una zona 90 km a nord-est di Haicheng. Poteva essere questo sciame la manifestazione sismica che da qualche mese ormai si paventava? I sismologi cinesi, proprio per tale sua caratteristica, preferirono ritenere di no; vennero invece intensificati gli sforzi per prepararsi ad un grosso terremoto. Era frattanto aumentato lo scambio di informazioni

nei due sensi; da una parte i maggiori sismologi e le autorità fecero in modo che le informazioni relative al rischio sismico raggiungessero capillarmente ogni famiglia; dall'altra parte la popolazione, tramite i comitati locali, faceva affluire informazioni relative alle acque nei pozzi, al comportamento animale e, ove possibile, alle altre misure in corso.

Il 13 gennaio 1975 l'Istituto Sismico di Stato rese pubblica la seguente previsione: vi sarebbe stato un terremoto entro il primo semestre dell'anno, di magnitudo tra 5.5 e 6 (*), in una zona individuabile approssimativamente come un grosso triangolo di 200 km di lato. Nei primi quattro giorni di febbraio si registrarono parecchie scosse, di cui una decina, concentrate nell'arco di 24 ore, ben avvertite dalla popolazione. Poi seguirono alcune ore di calma. Ai più venne in mente ciò che insegnava l'esperienza di precedenti terremoti: scosse a ripetizione seguite dalla quiete, poi il colpo forte.

Intanto da Shenyang, 140 km a nord di Haicheng, ove era stato installato qualche mese prima un inclinometro, veniva segnalata una vistosa anomalia (fig. 2): l'indicazione dello strumento, abbandonato il suo lento ciclo annuale, mostrava un'impennata sorprendente. Negli stessi giorni — il 2 e il 3 di febbraio — venne segnalato da più parti che pozzi normalmente ricchi di acqua si erano improvvisamente inariditi, mentre in almeno due pozzi, da cui l'acqua veniva estratta con secchi o pompe, era invece accaduto che ora l'acqua traboccava e sgorgava spontaneamente, come da un pozzo artesiano. Degli animali — soprattutto di quelli che maggiormente cadevano sotto gli occhi della popolazione contadina: oche, polli, cani e topi — venivano riferiti segni di irrequietezza.

(*) Il terremoto viene classificato in base alla « magnitudo » (Richter, 1935), facendo riferimento alla oscillazione che subisce un sismometro campione posto ad una distanza prestabilita. Per quel che segue sarà sufficiente ricordare che la magnitudo (M) è approssimativamente una misura della energia liberata dal terremoto. Differenze anche piccole di magnitudo corrispondono a grandi differenze in energia: ad esempio passando da $M = 5$ ad $M = 6$ l'energia diviene 35 volte maggiore. Le più grandi magnitudo finora registrate sono: $M = 8.6$ (Alaska, 1899 e 1964) e $M = 8.7$ (India, 1897).

La scala « Mercalli modificata » (1931) è invece basata sugli effetti; dunque, un terremoto di data magnitudo è « visto » di diversa intensità Mercalli a seconda della distanza [27, 28].

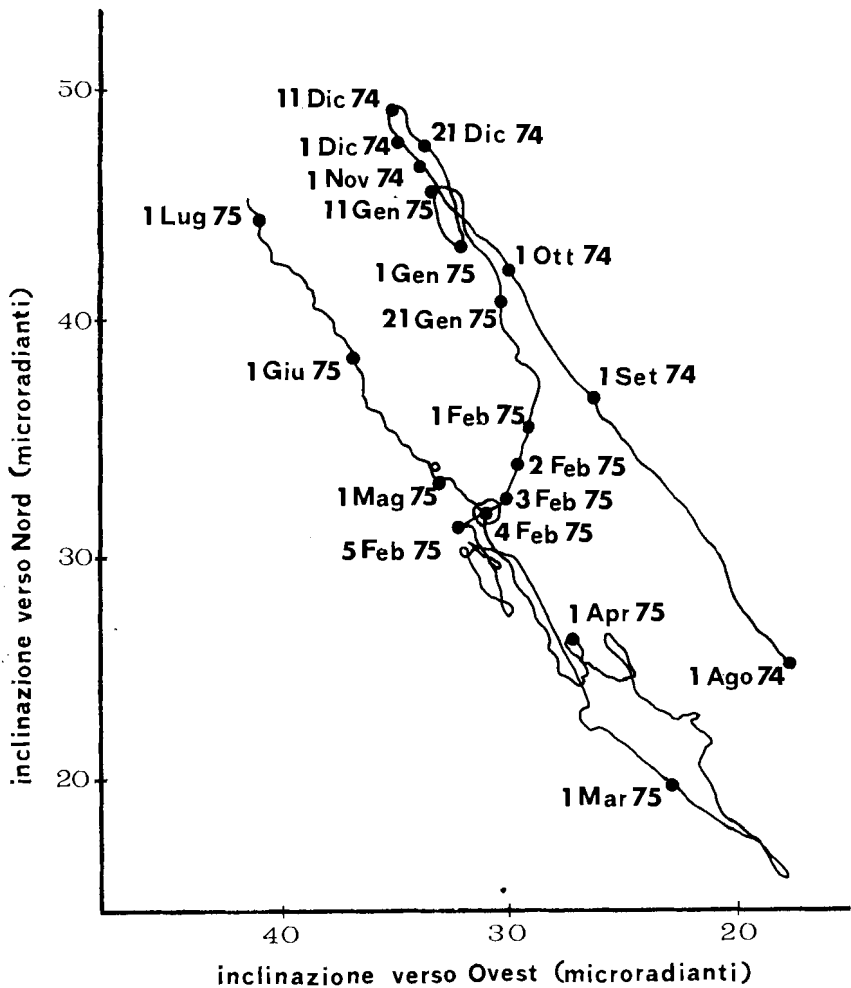


FIG. 2 → INCLINAZIONE DEL SUOLO A SHENYANG.

La località è situata 140 km a nord di Haicheng. Si noti la rapida variazione di inclinazione registrata dall'apposito strumento (inclinometro) nei primi giorni del febbraio 1975, subito prima del terremoto.

Tutto ciò convinse le autorità a disporre un rapido allestimento di ricoveri e di posti di pronto soccorso. Ebbero luogo le prime evacuazioni; era il 3 febbraio. Nella notte fra il 3 e il 4 febbraio il Comitato Provinciale Rivoluzionario diramò l'allarme, con riferimento ad un forte terremoto previsto in giornata, vicino ad Haicheng. Tra i vari accorgimenti che vennero adottati per richiamare la gente fuori delle abitazioni vi fu anche quello di installare, nonostante la rigida temperatura invernale, dei cinematografi all'aperto; venivano in tal modo costituiti dei grossi punti di raccolta.

Il terremoto ebbe luogo alle 19 e 36 di quel giorno. La scossa, di un paio di minuti, mise a terra o danneggiò gravemente quasi tutti gli edifici. L'intensità fu almeno del IX grado della scala Mercalli modificata su un'area di circa 1000 km² in cui abitavano 500.000 persone. Le reali perdite umane non sono note: si sa che furono ridotte, non nulle, però. « Delle 2000 persone della Comune » si legge su « Frontiere Sismiche » a proposito della Comune di Kuantun « solo i testardi, che ignorarono l'ordine di mobilitazione, rimasero feriti o uccisi dal terremoto. Tutti gli altri si salvarono. Non venne perduto neppure un capo di bestiame ».

Viene certamente da domandarsi se la previsione cinese del 4 febbraio fu un fatto isolato, eccezionale, o se costituisca uno fra i tanti episodi nel quadro di una tecnica ormai affermata. Probabilmente né l'uno né l'altro; il lettore giudichi egli stesso.

Di altri terremoti importanti, posteriori a quello di Haicheng, risulta che vennero previsti i seguenti [14, 29]:

luogo	data	magnitudo
Lungling (Yunnan meridionale)	29 maggio 1976	7.5 e 7.6
Siyepan (Szechwan)	agosto 1976	7.2, 6.7 e 7.2
Yenyuen (Yunnan)	7 nov. e 13 dic. 1976	6.9 e 6.8

In ognuno di questi casi venne diramato un allarme; nel primo caso con un anticipo di soli 20 minuti. Si tratta, come si vede

dalle magnitudo delle scosse principali, di terremoti tutti più forti, ad esempio, di quello recente del Friuli (magnitudo = 6.5). Non venne invece previsto, com'è noto, il terremoto catastrofico di Tangshan (Hopei) del luglio 1976, con magnitudo 7.8. Sarà dunque opportuno aggiungere due parole su quest'ultimo terremoto, a quanto sembra (700.000 morti?) il più catastrofico di questo secolo e il secondo nella storia.

In un'epoca in cui si parla concretamente di previsione sismica, all'indomani di ogni terremoto importante avviene che ci si domandi: era stato previsto? Erano in corso studi sui segni premonitori in quella zona? E tali segni vennero osservati? Se la risposta è « sì », ciò vuol dire che un nuovo successo è stato raggiunto, che certe ipotesi sono valide, che si è sulla buona strada, perché alcuni fenomeni, supposti precursori sismici per le precedenti esperienze, hanno anche questa volta preceduto il terremoto. Ma la risposta può essere « no », e anche questa eventualità, indubbiamente negativa, costituisce pur sempre un risultato, un capitolo non inutile di questa sfida alle forze della natura. Se la risposta è « no », ciò può significare che dei fenomeni, supposti premonitori perché già osservati in concomitanza di altre manifestazioni sismiche, non si sono verificati, o la loro osservazione è aleatoria o, almeno questa volta, è risultata più difficile. Un « no », e ancor più una serie di « no », può anche mettere in forse una o più ipotesi che andavano guadagnando in credibilità. In altre parole, fenomeni ritenuti precursori potrebbero essere riconosciuti come irrilevanti e non connessi con il manifestarsi violento del terremoto. Per tutti questi motivi un terremoto non previsto, oggi (è evidente che tutti i terremoti storici non poterono essere previsti, in senso scientifico), ha qualcosa da insegnare e merita di essere studiato non meno degli altri [30]. « Sembra questa un'angolazione degli studi di previsione dei terremoti che è stata un poco trascurata » ammonisce J. C. Savage; « sarebbe invece necessario considerare l'assenza di precursori misurabili per contrapporla alle anomalie che vengono riferite e che possono essere correlate solo per pura coincidenza con i terremoti che seguono ».

Così il terremoto di Tangshan costituisce un evento ugual-

mente importante nella previsione sismica. « Era esso prevedibile, allo stato presente della previsione sismica cinese? » si domandano su « Nature » [29] Cinna e Larissa Lomnitz, dell'Università di Città del Messico. La loro risposta è « no ». E' vero che nell'ultima settimana prima dell'evento erano state registrate una significativa anomalia della resistività elettrica del suolo e molte segnalazioni relative alle acque nei pozzi; ma nessuna di queste portò ad un ordine di evacuazione. Si rimase in uno stato di preallarme in quanto, in effetti, da altri fenomeni a lungo termine, per quell'area un terremoto era sì stato previsto, ma per tempi dell'ordine di un anno.

Ciò che venne principalmente a mancare furono le scosse premonitrici (o meglio quella o quelle scosse che a posteriori, dopo l'evento principale, prendono il nome di premonitrici). Esse, oltre a costituire di per sé un ulteriore campanello di allarme, puntualizzano, a quel che sembra, il luogo della scossa principale ed aiutano ad interpretare il complesso delle altre osservazioni. Altri fenomeni poi, e principalmente irregolarità nello scivolamento della faglia che attraversa Tangshan e nella distribuzione delle intensità delle piccole scosse locali, avrebbero potuto essere dei preziosi indizi solo che fossero stati riconosciuti in tempo. Ma di essi ci si accorse dopo la scossa principale, studiando le registrazioni.

In sintesi, questo terremoto si presentò con caratteristiche diverse dagli altri per i quali era stato diramato l'ordine di evacuazione, e, sulla sola scorta delle esperienze precedenti, non se ne riconobbe la imminenza.

ALTRE RICERCHE E FENOMENI PREMONITORI. — Ci siamo dilungati un po' sul terremoto di Haicheng e sugli altri risultati della previsione cinese per i seguenti motivi [18]:

- innanzi tutto, riassumere a grandi linee le fasi preparatorie e culminanti di un terremoto previsto ha permesso di rivivere, giornalmisticamente parlando, un momento drammatico per quella popolazione e, forse, significativo per la storia della scienza;

- in secondo luogo, abbiamo visto come in questi anni i sismologi cinesi abbiano collezionato successi ed insuccessi e questo, meglio di ogni altro argomento, dà una misura dello stato di avanzamento della previsione dei terremoti, perlomeno nella Repubblica Popolare Cinese;
- infine, l'esposizione di questi eventi ci ha permesso di introdurre incidentalmente un elenco di fenomeni che, nella fase attuale delle conoscenze, si ritengono associati alla preparazione del sisma.

E' ora il momento di lasciare l'esperienza cinese e di tentare una rassegna più generale, anche se non completa, che risponda ai numerosi quesiti presumibilmente aperti dal discorso sin qui svolto. Avendo parlato di Cina, di fenomeni, di tecniche e di risultati, discendono quasi naturalmente alcune domande. Quali sono le nazioni più avanti in queste ricerche? Quale il tipo di approccio? Quali sono i metodi impiegati ed i fenomeni finora osservati in tutto il mondo? Quali gli altri risultati raggiunti finora?

L'elenco delle nazioni più fortemente impegnate in questo campo vede ai primi posti, oltre la Cina, USA (specialmente la California), URSS e Giappone. Si tratta di nazioni da un lato tecnologicamente sviluppate e scientificamente all'avanguardia; dall'altro frequentemente colpite dal terremoto e dunque interessate, anche in senso economico, al problema sismico. Altre nazioni attive nel campo sono l'Italia, la Jugoslavia, il Messico, l'India, Israele e la Francia. Sull'Italia, che ci interessa più da vicino, torneremo alla fine. Inoltre si deve ricordare la recente raccomandazione del Parlamento Europeo (maggio 1979) per un programma comunitario di previsione sismica; è noto che l'Europa ha perduto 130.000 vite umane, nel XX secolo, per terremoti.

Il tipo di approccio cinese sembra differenziarsi alquanto da quello delle altre nazioni. Qui il problema viene affrontato empiricamente, intendendo con ciò indicare che le osservazioni e le anomalie sono prese per quel che sono, senza pretendere di capire in che modo tali manifestazioni siano legate alla prepa-

razione del terremoto [31]. Al contrario dobbiamo a un americano, il sismologo W. F. Brace, del Massachusetts Institute of Technology, la più soddisfacente teoria che legghi insieme, organicamente, i principali fenomeni premonitori [32-36]. Su questa teoria, detta « della dilatazione », generalmente accettata anche dai Russi, sia pure con qualche variante minore, torneremo tra un momento. Inoltre, nell'approccio cinese riscontriamo una vasta collaborazione popolare, sia nella raccolta capillare di informazioni sul territorio, sia nell'accettazione di precauzioni anche di vasta portata, come l'abbandono delle attività lavorative e delle abitazioni.

L'approccio delle nazioni industrializzate consiste in un impiego molto maggiore della strumentazione e dell'elettronica per la raccolta e l'analisi dei dati: telemetria, nastri magnetici, elaboratori elettronici in luogo di un esercito di volontari. Quanto alla risposta di una economia basata sul profitto ad un eventuale stato di allarme, non occorre sottolineare che qui risiede un grosso problema; che diventerebbe il numero uno quando il problema scientifico, di una previsione affidabile, si avvicinasse alla soluzione [37, 38]. « Ove si annunci un sisma di magnitudo 7.3 — riferisce Dan Behrman, dell'UNESCO — ci si può aspettare che gli immobili perdano il 60% del loro valore, che le costruzioni in corso si fermino, che l'insieme delle attività economiche diminuisca di un quarto ».

Per quanto riguarda metodi applicati e fenomeni osservati, il terremoto di Haicheng ci è servito un po' come filo conduttore. Aggiungendo anche contributi ed osservazioni relativi ad altre nazioni ed altri terremoti, otteniamo una situazione generale come quella che segue.

Deformazioni crostali. — Si tratta di eseguire rilevazioni periodiche, sull'arco di anni, per mettere in evidenza eventuali sollevamenti (o abbassamenti) e allontanamenti (o avvicinamenti) di punti geodetici [39-48]. Variazioni possibili: dell'ordine del centimetro. E' il campo di battaglia della trigonometria; e le armi vanno dal tradizionale teodolite, per le triangolazioni, al

geodimetro (*) a laser per le trilaterazioni. Oggi molte osservazioni vengono eseguite con l'ausilio dei satelliti.

Per le misure di livello, particolarmente attrezzato è il territorio giapponese ove piccole piastre di riferimento sono state installate e sepolte lungo tutte le strade nazionali più importanti, a circa due chilometri l'una dall'altra [6]. Più delicate le misure del livello del mare rispetto alla costa: la difficoltà deriva dai complessi incessanti movimenti della superficie marina, ossia moto ondoso, maree, variazioni stagionali. Eseguendo delle medie molto accurate si riesce a stabilire il reale livello medio del mare e dunque a determinare eventuali variazioni di quota della costa. Il terremoto di Niigata (Giappone, 1964, magnitudo 7.5) fu preceduto da complessi moti crostali, che vennero messi in evidenza grazie a misure iniziate 70 anni prima. Il sollevamento presismico aveva superato, in alcuni punti, 15 centimetri [12]. Anche la gravimetria, che in sostanza utilizza la misura del periodo di oscillazione di un pendolo, permette di determinare con grande accuratezza variazioni di quota di un centimetro, come pure eventuali variazioni della densità media della litosfera [54].

Altra strumentazione, non meno raffinata, permette di sorvegliare ininterrottamente inclinazioni e contrazioni (o dilatazioni) della crosta terrestre [55-58]. Si tratta di misurare deviazioni dall'orizzontalità di qualche milionesimo di radiante. Si impegnano per queste misure inclinometri a bolla (la livella a bolla funziona sullo stesso principio dell'inclinometro, ma in quest'ultimo la posizione della bolla viene « sentita » da un ingegnoso circuito elettronico).

E si tratta anche di misurare dilatazioni o contrazioni delle rocce dell'ordine di dieci parti per milione: è come dire che 1000 metri di granito guadagnano (o perdono) un centimetro [59, 60]. Un banco di roccia si comporta infatti come una

(*) Il geodimetro, nome commerciale, misura la distanza tra due punti, posti ad esempio su due cime montane, basandosi sostanzialmente sul tempo di andata e ritorno di un raggio di luce [49-52] (gli addetti ai lavori parlano in realtà di modulazione del fascio e interferenza distruttiva alla sorgente, su tre lunghezze d'onda [53]).

molla, estremamente « dura » ma piuttosto fragile, che reagisce con una forza elastica semplicemente spaventosa a variazioni quasi inapprezzabili delle sue dimensioni; e che tuttavia, per deformazioni crescenti, raggiunge rapidamente il carico di rottura. Si determinano queste deformazioni con gli estensimetri, come quello di Benioff, che in linea di principio è estremamente semplice: una lunga sbarra, costruita in quarzo in modo che la sua lunghezza sia poco sensibile alla temperatura, ha un estremo *A* vincolato ad un punto nella roccia; si determina, con la maggiore accuratezza possibile, la posizione dell'altro estremo *B* rispetto ad un punto della roccia prossimo a *B* [59, 61]. Anche il *creepmeter*, o misuratore dello scorrimento, può essere incluso in questa categoria di strumenti. Si può trattare semplicemente di un filo teso obliquamente attraverso una faglia. Se i due lembi di crosta terrestre separati dalla faglia scivolano con lentezza secolare l'uno rispetto all'altro, il filo va in tensione, così come farebbe una fune tesa tra una barca e il molo.

Velocità delle onde sismiche. — Dall'ipocentro si dipartono, all'istante del terremoto, diversi tipi di onde. Le onde longitudinali, della stessa natura di quelle che trasportano il suono attraverso l'aria, sono le più veloci e le prime ad arrivare: da cui il nome *onde P*, dove *P* sta per prime. Le onde trasversali, simili a quelle che scorrono lungo la corda di un'arpa, arrivano per seconde, da cui il nome di *onde S*. La velocità dell'onda *P* dovrebbe essere, anche per considerazioni teoriche, di un 75% superiore a quella dell'onda *S*. Ed in effetti il rapporto numerico è piuttosto ben rispettato in pratica, almeno in condizioni normali. Ma intorno al 1970 è stato trovato, da una missione sovietica inviata nella regione sismica di Garm (Siberia), che questo valore subisce un apprezzabile calo temporaneo nelle regioni ove si prepara un terremoto (area focale) [62]. Naturalmente occorre far uso di piccoli terremoti locali, ovvero di detonazioni programmate di esplosivo, per poter seguire nel corso di alcuni mesi l'andamento delle velocità sismiche. Il ritornare delle velocità ai valori normali costituirebbe il segnale dell'imminenza del terremoto [63-69].

Attività sismica. — Un evento di grosse proporzioni di solito si inserisce in una sismicità locale la quale, alta o bassa, ha un andamento piuttosto regolare e conosciuto. Ogni anomalia in questo andamento può costituire un indizio premonitore. Non è stata finora trovata alcuna regola fissa, e i fenomeni presentati come possibili precursori sono talvolta addirittura contrastanti [70, 71]. Del terremoto di Haicheng si è detto: venne preceduto da una scarica di scosse forti, seguite da una pausa di qualche ora. Altre volte la scossa principale si presenta preceduta, di qualche minuto o qualche ora, da una sola o un paio di scosse premonitrici. A volte la scossa principale si presenta, come un fulmine a ciel sereno, non preceduta da qualcosa che sia rilevante.

Spesso uno studio statistico dei piccoli terremoti, fatto su un arco di tempo di alcuni mesi, mostra che la distribuzione delle magnitudo registrate non rimane la medesima nell'imminenza di un grosso evento. Questo tipo di osservazione è detto « metodo del valore di b », perché ci si riconduce a determinare il valore di un coefficiente che Gutenberg e Richter, in una formula ben nota agli specialisti, chiamarono b [72]. Ancora, la statistica dei piccoli terremoti di una regione può permettere di individuare una zona in cui per qualche tempo — per esempio alcuni mesi —, anziché aversi una data cadenza di terremoti, prossima a quella delle zone circostanti, si ha una assenza di scosse quasi assoluta. Questa zona stranamente tranquilla (qualcosa di simile ad un prato rimasto asciutto in un giorno di pioggia) è detta « gap sismico ». Anche la migrazione degli ipocentri di più terremoti successivi (se ne è già fatto cenno) può fornire qualche indicazione.

Proprietà elettriche e magnetiche. — Mediante opportuni strumenti, e due (o più) elettrodi infissi nel terreno secondo svariate configurazioni, è possibile misurare valori di correnti elettriche che scorrono nel suolo, differenze di potenziale tra coppie di punti, o anche la resistenza elettrica del suolo stesso [73-80, 33]. Proprio per sondare più in profondità il suolo, l'Accademia delle Scienze sovietica ha recentemente messo a punto degli speciali generatori, detti MHD, che permettono di

iniettare nel suolo un impulso di corrente di alta potenza [81]. Con i moderni magnetometri a protoni è anche possibile misurare il valore del campo magnetico terrestre e metterne in evidenza variazioni dell'ordine di una parte per mille. Si tratta di misure delicate e soggette ad ogni sorta di perturbazioni, che vanno dalle tempeste magnetiche (legate alle macchie solari) all'imbibimento del terreno (causato dalle grandi piogge). In mezzo a tanta erraticità è ancora possibile (e lo è stato effettivamente prima di alcuni terremoti, in URSS e in Cina) osservare delle fluttuazioni al di fuori della norma [82-88].

Acque. — E' stato osservato, per la prima volta dal geofisico russo Ulomov (terremoto di Tashkent, 1966), che il contenuto di radon delle acque profonde subisce delle fluttuazioni importanti e può addirittura raddoppiarsi nella fase presismica [89, 90]. Attraverso processi di fratturazione delle rocce, non solo il tenore di radon ma anche altre caratteristiche delle acque potrebbero portare un messaggio importante « dalle viscere della Terra ». Per questo vengono misurate le temperature (trovati aumenti presismici intono a 15 °C), le portate delle sorgenti (variazioni del 20%) e le concentrazioni dei vari ioni normalmente disciolti nelle acque minerali [91-93].

Recentemente — sono ancora i Sovietici ad aprire questa prospettiva — si è trovato che la concentrazione di gas elio in acqua può essere un altro messaggero. E, su questa via, vengono tenute sotto controllo le concentrazioni di radio, uranio e thoron (un altro isotopo del radon) e i loro rapporti [94, 95]. Tecniche simili del resto sono impiegate per cercare di prevedere le eruzioni vulcaniche [96-101].

Anche il regime delle falde acquifere superficiali (le acque, cioè, che scorrono a pochi metri o decine di metri sotto il suolo) sembra disturbato nella fase presismica [1, 102-104]. In analogia con il regime delle acque, vengono studiate correlazioni tra la portata dei pozzi petroliferi e l'attività sismica. Ricerche israeliane non hanno apportato per ora risultati conclusivi [105].

Comportamento animale. — Antiche cronache e resoconti verbali hanno spesso riportato che gli animali diedero segni

di irrequietezza prima di una scossa catastrofica; tuttavia, non ne esistono prove inconfutabili [106-109]. L'argomento è di per sé complesso, in quanto si pone al confine tra due scienze alquanto dissimili, l'etologia, che si occupa del comportamento animale, e la fisica terrestre. Inoltre, mal si presta ad una sperimentazione programmata per la aleatorietà del terremoto.

Sta di fatto che l'esistenza di questo ipotetico comportamento, sebbene non venga apertamente rifiutata da nessuno, non viene presa in grande considerazione da molti sismologi [110, 111]. J. C. Savage, dell'U.S. Geological Survey, che pure visitò e riferì su Haicheng, in una sua rassegna sui più recenti precursori sismici non nomina altri fenomeni che non siano strettamente fisici [49]. Neppure il sismologo giapponese Rikitake, nella sua raccolta sistematica [112], ritiene di aggiungere una classe relativa al comportamento animale alle 19 nelle quali raggruppa 391 osservazioni di fenomeni precursori. Raccoglie però, in una pubblicazione a parte [26], 157 casi che si riferiscono al comportamento della sfera biologica. Citando a caso: « I cavalli si arrestarono davanti alla carrozza e si rifiutarono di proseguire » (cinque minuti prima di un terremoto che avvenne in Liguria, nel 1877); « I maiali non volevano mangiare e si arrampicavano sulle pareti » (un giorno prima; Haicheng, 1975); « I topi sparirono da un'osteria nota come *La topaia* » (un giorno prima; Giappone, 1891); « Le cicogne erano eccitate e si alzarono in volo » (30 minuti prima; Tessaglia, 1954); « Molti pesci vennero trovati galleggiare ed in agonia » (due ore prima; Kanto, 1923); « Serpenti in letargo uscirono dalle tane (sei settimane prima; Haicheng, 1975); « Le formiche si allontanarono portando le crisalidi con sé » (un'ora prima; Ashkabad (URSS), 1948); « Uccelli in gabbia erano irrequieti e svolazzavano » (20 minuti prima; Friuli, 1976).

A proposito del Friuli, l'A., essendosi fermato nella regione per alcune settimane durante la fase delle repliche, avendo interrogato in proposito decine di persone e avendo raccolto testimonianze contrastanti, sente il dovere di dire che non è riuscito a formarsi un'opinione definitiva sull'argomento. Tuttavia è proprio da osservazioni fatte sul recente sisma italiano

che parte una ipotesi interessante. « Le notizie circa strani comportamenti di animali... mi hanno convinto — scrive H. Tributsch su "Nature" — che particelle in aerosol erano elettricamente cariche prima del terremoto e che gli effetti fisiologici erano essenzialmente causati da un aumento della concentrazione ionica dell'aria, ciò che risultava in reazioni quali la sindrome di irritazione da serotonina » [113].

Quali fenomeni e quale teoria? — Tutta la discussione precedente mostra che gli effetti premonitori sembrano appartenere a molte, diverse categorie. Viene da chiedersi se troppi fenomeni, in questo caso, non significhi in definitiva nessuno. Ed è infatti probabile che, se la previsione dei terremoti raggiungerà un suo assetto definitivo e, da ricerca, diverrà tecnologia, la schiera dei fenomeni oggi presi in considerazione verrà di molto assottigliata.

Inoltre, ogni complesso di fenomeni diviene chiaro ed utilizzabile dall'uomo solo quando sia illuminato da una teoria ed unificato sotto di essa. Ogni teoria è d'altra parte solo un momento della conoscenza, ed ha una validità che cessa quando un'altra, più esatta e più generale, la rimpiazza. Attualmente la teoria detta « della dilatanza » spiega la maggior parte dei fenomeni premonitori. Essa è così chiamata poiché le rocce, sottoposte a sforzi prossimi a quelli massimi sopportabili (carico di rottura), subiscono una microfratturazione che porta, a dispetto delle compressioni in gioco, ad un aumento del volume totale. Il fenomeno della dilatazione non è ipotetico; esso viene realmente osservato in laboratorio, a partire dal 1960, sottoponendo campioni di rocce a pressioni estreme [114, 115]. Ciò che andrebbe definitivamente assodato è se la dilatanza può rendere conto di quanto si osserva in superficie con i misuratori di livello, di inclinazione, di resistenza elettrica, di radon.

IN ITALIA. — L'Italia è un paese notoriamente sismico e vulcanico [28, 116, 117]; anche in questo secolo ha collezionato un terremoto del XII grado della scala Mercalli (cioè il massimo) ed uno intorno all'XI grado. La sismicità della nostra peni-

sola, unitamente al fatto che la cultura fiorì qui prima che in molte altre parti del mondo, può spiegare l'esistenza di una solida tradizione di sismologia. I nostri sismometri, costruiti ai primi del 1800 da pazienti artigiani che lavoravano gomito a gomito con il « professore », potevano essere ritrovati negli osservatori di ogni continente; i primi sismogrammi italiani risalgono quanto meno al 1783 (terremoti della Calabria); il nome di Mercalli, appunto per la sua scala delle intensità, ricorre continuamente sulle pubblicazioni specializzate come sui quotidiani di ogni paese.

Non si ha in Italia, contrariamente al Giappone ad esempio [118], un vero e proprio programma nazionale di previsione sismica. Esiste però uno dei progetti finalizzati del Consiglio Nazionale delle Ricerche (il progetto « Geodinamica », quest'anno in fase conclusiva) che include implicitamente anche questo argomento nel suo raggio di azione. Esistono inoltre numerose competenze; è come dire che la materia prima per fare una ricerca interdisciplinare c'è, e anche di buona qualità [119, 120].

Vi è innanzitutto una Rete Sismica Nazionale, frutto del progetto CNR citato sopra e coordinata dall'Istituto Nazionale di Geofisica: conta 52 osservatori e permette di calcolare rapidamente gli ipocentri e le magnitudo dei terremoti mediante elaborazione elettronica [121]. Vi sono poi numerose reti sismometriche locali che sorvegliano, a volte temporaneamente, a volte a tempo indeterminato, zone limitate: Friuli, Liguria, Ancona, Larderello, Aquilano, Campi Flegrei e Vesuvio, Irpinia, Eolie, stretto di Messina.

Esistono competenze nel campo della gravimetria (Trieste), delle correnti telluriche (Padova), della resistività elettrica (Siena). Interessanti rilevazioni sono state eseguite con il geodimetro sia nei dintorni di Ancona (posteriormente al terremoto del 1972), sia a cavallo dello stretto di Messina; queste ultime confortando l'ipotesi che la Sicilia stia scivolando verso nord rispetto al « continente » [50].

Presso il Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare esiste una competenza particolare, relativa alle analisi del gas radioattivo radon, come pure dell'elio e di altri componenti delle acque.



FIG. 3 -- TERREMOTO DEL FRIULI (1976)

Case sinistrate, nei pressi di Osoppo.

E, in effetti, misure idrogeochimiche vengono eseguite ormai da anni, sistematicamente, su numerose acque di origine profonda [122-124]. Un'altra competenza, di tipo statistico, permette di affrontare il problema da un punto di vista differente. Per una data area geografica, la successione nel tempo dei terremoti passati viene studiata con formule matematiche non molto dissimili da quelle che descrivono la rivelazione dei neutroni in un reattore nucleare. Si può da qui ricavare, in termini probabilistici, una ragionevole sequenza di terremoti futuri [130]. « Non è compito di noi del CNEN — si afferma d'altra parte negli ambienti preposti alla Sicurezza — fare della previsione sismica. Noi dobbiamo fare della prevenzione; fare in modo che le centrali nucleari siano costruite talmente bene che l'operatore del reattore possa andare a dormire assolutamente tranquillo. Anche sapendo che ci sarà un terremoto stanotte ».

Vi sono infine tutte le misure di controllo sulle dighe, che l'ENEL esegue con estensimetri ed inclinometri [125]. A proposito di questo, superfluo dire quanto le registrazioni ottenute prima del terremoto del Friuli, con gli inclinometri e con i sismometri installati in prossimità di Tolmezzo, siano state analizzate e discusse. I grafici si possono vedere sulla relativa pubblicazione dell'ENEL. Segni premonitori? Scrivono gli Autori: « ... 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 » [126].

Forse l'unico programma in Italia in cui si parli esplicitamente di previsione è quello promosso dalla NATO attraverso il suo Comitato per le Sfide alla Società Moderna (CCMS, *Committee for the Challenges to the Modern Society*). Fissati gli obiettivi (valutazione del rischio sismico, previsione dei terremoti, riduzione delle perdite), sono state individuate delle aree adatte per studiare la fisica dei fenomeni premonitori. Uno di questi « laboratori naturali » sarà il nostro arco calabro (Sicilia e Calabria); un altro — non c'è da meravigliarsi — la California, e precisamente la grandiosa, così evidente faglia di San Andreas [127, 128]; una terza area pilota, la Turchia occidentale.

Sull'arco calabro è prevista una importante partecipazione del Centro Sismologico Europeo-Mediterraneo (CSEM) di Strasburgo; oltre che di molte delle nostre Università, specialmente del Centro-Sud. « Ma proprio qui da noi dovevano studiare i terremoti? » esclama perplesso il sindaco di un paesino arroccato tra la Sila e il mare. La cosa si sdrammatizza presto. Innanzitutto spiegando che la probabilità di un sisma (diciamo, per fissare le idee, un VIII grado Mercalli, in questo comune e in questo anno) è quella che è, come risulta dalla sismicità storica, e non aumenta né diminuisce se qualcuno installa degli inclinometri, dei sismometri e delle antenne. Poi, facendo notare questo: che avere un orecchio vigile che ti sente il sottosuolo e delle « teste d'uovo » che ci ragionano su è, semmai, un punto di vantaggio rispetto a tante altre regioni, meno studiate e non meno esposte al rischio sismico.



FIG. 4 — TERREMOTO DI NORCIA (1979).
Particolare di una casa danneggiata.

CONCLUSIONI. — La rassegna sin qui svolta sullo « stato dell'arte » non dovrebbe aver fatto dimenticare l'altro aspetto importante della protezione antisismica, quello della prevenzione, che qui non abbiamo trattato. E' evidente che nel nostro paese, e nel mondo, si debbano programmare — come in effetti si fa — ubicazioni e tipi di costruzione per gli edifici e per gli impianti in modo da fare il miglior uso dei dati statistici sismici in nostro possesso. In tal modo si prevengono gli effetti di un sisma. Previsione, d'altra parte, non è un termine antitetico a prevenzione. E' un aspetto complementare, particolarmente importante per quanto riguarda, il risparmio di vite umane. Ciò premesso, si possono ora delineare alcune conclusioni.

Prevedibile ma arduo. — E' convinzione di molti ricercatori, ed anche di chi scrive, che il terremoto — fenomeno fisico complesso e tuttavia deterministico — sia, almeno in linea di principio, prevedibile, così come lo sono altri nell'ambito della fisica terrestre. Le manifestazioni premonitrici, che accompagnano la fase latente del terremoto, non sono ancora completamente riconosciute, ma si può fin d'ora anticipare che esse potranno venire evidenziate solo mediante tecniche sperimentali raffinate.

Un residuo margine di incertezza. — I risultati finora raggiunti nel campo della previsione sono poco numerosi, non sempre positivi, talvolta contraddittori. Vi sono stati negli ultimi anni alcuni terremoti previsti, ma la maggior parte è sfuggita alla previsione. Si deve riconoscere che questa scienza è perlomeno acerba. Ma anche quando le tecniche saranno ben più avanzate, non ci si potrà attendere una matematica capacità di prevedere. Ogni anticipazione andrà presa in senso probabilistico.

Rari e tutti diversi. — Una delle difficoltà peculiari di questo tipo di ricerche risiede nella lunga durata della fase preparatoria di un terremoto (essa stessa da dimostrare). Ciò, unito al fatto che osservazioni accurate e sistematiche del territorio non risalgono in nessun caso a più di qualche decennio, fa sì che i dati sperimentali di base siano ancora statisticamente poveri. Un'altra difficoltà obiettiva risiede nel fatto che non esiste

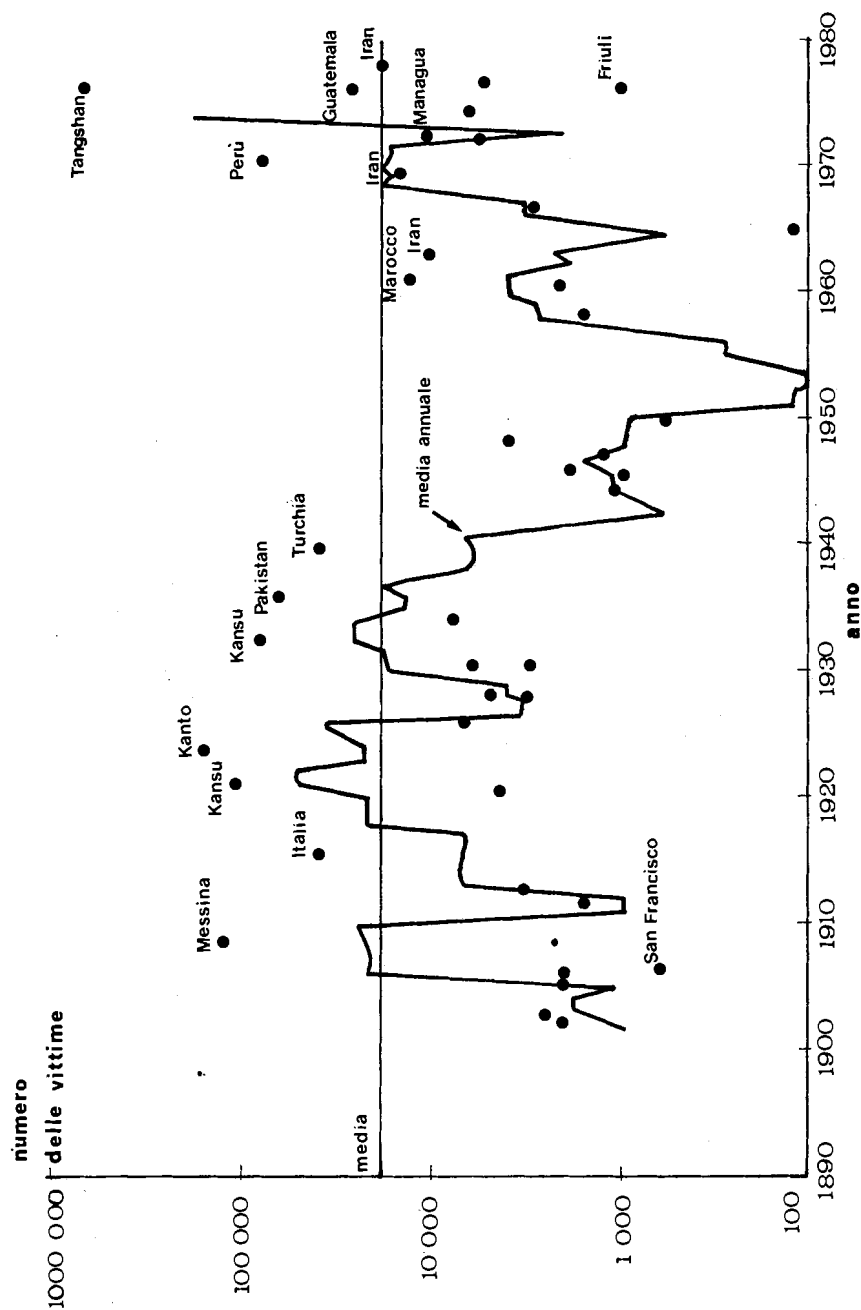


FIG. 5 — PERDITE DI VITE UMANE CAUSATE DAI TERREMOTI.

I punti indicano le perdite provocate da singoli eventi sismici, nel mondo. La linea spezzata indica la media annuale, calcolata su intervalli di cinque anni (da KANAMORI [27]).

un « terremoto-tipo », preceduto da una ben determinata sequenza di precursori. Pertanto, manifestazioni associate ad un terremoto potrebbero mancare nella fase latente di un altro; inoltre, una grande profondità ipocentrale potrebbe nascondere effetti osservati facilmente prima di una scossa superficiale.

Oggi per domani. — Sembra opportuno, anche alla luce dei punti precedenti, che la raccolta dei dati geofisici, per le regioni di maggior interesse, abbia inizio il più tempestivamente possibile, ancora prima cioè che la teoria dell'intero fenomeno abbia raggiunto un assetto soddisfacente. « Misurare oggi quello che potrebbe servire domani ». E' credibile che molte idee si chiariscano nei prossimi venti anni. Poter disporre, a quella data, di rilevamenti che vadano dietro nel tempo per oltre un decennio sarà oltremodo prezioso. E' pertanto auspicabile che, mediante uno sforzo coordinato tra più laboratori scientifici, prenda corpo un programma di sorveglianza del territorio nazionale. Nel suo ambito si eseguiranno registrazioni di tutte le grandezze menzionate in precedenza, in maniera continua ed accurata. Come l'esperienza cinese insegna, rimane qui ampio spazio perché scuole e dilettanti possano dare un contributo [1].

Pre- o postsismico? — Solo qualche volta la variazione di una certa grandezza (ad esempio la portata di una sorgente termale o l'indicazione di un inclinometro) è univocamente correlabile con un terremoto imminente. Le più grosse variazioni osservate sono di solito cosismiche o postsismiche, ossia sono simultanee al terremoto o sono una diretta conseguenza di esso; tali variazioni non sono ovviamente utilizzabili come fenomeni premonitori. D'altra parte in molte zone sismiche si verifica, nei mesi o negli anni, un continuo ripetersi di terremoti; per una qualunque grandezza fisica tenuta sotto osservazione in tale zona, diviene problematico stabilire se una variazione anomala vada attribuita a terremoti precedenti o sia il segnale di un evento futuro [105, 129].

Approccio quantitativo. — Sembra attualmente necessaria una massiccia introduzione, in questo campo, di tecniche statistiche ed in particolare di analisi di correlazione tra grandezze

geofisiche, inclusa la serie temporale delle magnitudo [130, 131]. La carenza di un approccio rigoroso, appoggiato da ricercatori in questo senso specializzati, induce alcuni autori ad indicare un effetto come un possibile premonitore, sottovalutando la necessità di un'osservazione prolungata che escluda le coincidenze puramente casuali. E' d'altra parte vero che, nell'attuale fase delle ricerche, anche una osservazione non rigorosa potrebbe contenere un'indicazione determinante.

La sfera biologica. — Sul comportamento degli organismi viventi si è lontani dal poter dire una parola definitiva. Sembra molto utile una ricerca interdisciplinare nella quale si uniscano competenze di etologia, di sismologia e di fisica. Qualsiasi risultato ben definito scaturisse da questa ricerca, esso sarebbe altamente gratificante, sia che portasse ad escludere certe capacità sensoriali più volte affermate, sia ad accertare, al contrario, l'esistenza di un agente fisico (in un secondo tempo misurabile con appropriati strumenti) il quale stimolerebbe la sensibilità animale.

Sociologi e sismologi. — Il saper prevedere un fenomeno costituisce la migliore dimostrazione del fatto che le sue leggi sono state intimamente comprese. Specialmente in questo punto sta il valore di un terremoto previsto per il sismologo. Da una miglior comprensione del fenomeno « sisma » — ancor più che dalla singola previsione in sé — prendono vantaggio tutte le ricerche volte alla utilizzazione ottimale del territorio: in particolare quelle indirizzate alla sicurezza degli insediamenti umani, dei trasporti, degli impianti chimici e nucleari, delle miniere, delle centrali elettriche [132]. D'altra parte, per il sociologo e per l'economista, il valore di un terremoto correttamente previsto è così immediatamente monetizzabile che non ha bisogno di essere sottolineato.

« ... non si deve celare alcuna parte... ». — Come e quando informare gli organi responsabili, la stampa, la radio, la televisione e tutta l'opinione pubblica dei risultati, anche se parziali, delle ricerche in corso? E potrebbe trattarsi di risultati di normale (e tranquilla) amministrazione, ma anche di dati di dubbia inter-

pretazione, ovvero allarmanti... E chi dovrebbe farlo? « Prevedeva terremoti: ammenda di 100 mila lire ». Così titolava « Il Messaggero » riferendo una sentenza del Pretore di Patti, nei giorni delle scosse sentite in Sicilia durante il 1978. Viene forse a proposito, anche se non sminuisce il problema, una frase di A. Einstein, che si è voluta incidere ai piedi della grande statua commemorativa inaugurata a Washington l'anno scorso: « Il diritto di ricercare la verità comporta anche un dovere; non si deve celare alcuna parte di ciò che è stato riconosciuto per vero » [38].

Necessario continuare. — Dal terremoto di Haicheng sono trascorsi cinque anni senza che altri successi di portata confrontabile siano stati registrati. Qualche segnalazione positiva, ma molto parziale, dalla California, dal Guatemala, dal Giappone, ancora dall'Unione Sovietica e dalla Cina, e anche dall'Italia: troppo poco? Con lucidità, esponenti dell'Ufficio Sismologico di Stato cinese avevano dichiarato, dopo Haicheng e, profeticamente, prima di Hangshan: « Ci saranno errori e delusioni, come pure inevitabili sbagli nel comunicare o nel non comunicare singole previsioni... La previsione dei terremoti è un importante e complesso problema scientifico che abbraccia molte discipline e che non ci si può aspettare di risolvere in tempi brevi. Dobbiamo percorrere una lunga strada e lavorare sodo » [29]. Una ricerca dunque difficile e delicata, doverosa per tutte le nazioni ad alto rischio sismico. Da portare avanti senza perdere troppo tempo e, insieme, con prudenza. Risultati positivi isolati potrebbero far sorgere false speranze ed indurre a prematuri entusiasmi. Previsioni errate, d'altra parte, potrebbero pregiudicare lo sviluppo di un valido ed impegnativo programma [17, 133].

BIBLIOGRAFIA

- [1] RALEIGH B. e altri, *Prediction of the Haicheng Earthquake*, « EOS Transactions Amer. Geophys. Union », Washington, 58 (1977).
- [2] KISSLINGER C., *Earthquake Prediction*, « Physics Today », New York (1974, marzo).
- [3] PRESS F. e BRACE W. F., *Earthquake Prediction*, « Science », Washington, 152 (1966).

-
- [4] PAKISER L. C. e RALEIGH B., *Earthquake Prediction and Control*, ibid., 166 (1969).
 - [5] RIKITAKE T., *Earthquake Prediction*, « Developments in Solid Earth Geophysics », Amsterdam, 9 (1975).
 - [6] RIKITAKE T., *Earthquake Precursors*, « Bull. Seismol. Soc. of America », Berkeley, 65 (1975).
 - [7] SCHOLZ C. M. e altri, *Earthquake prediction: a physical basis*, « Science », Washington, 181 (1973).
 - [8] TSUBOI C. H. e altri, *Prediction of Earthquakes*, Earth. Research Institute, University of Tokyo (1962).
 - [9] CHI-YUEN WANG e BRUCE A. B., *The present status of earthquake prediction*, « Critical Reviews in Solid State Sciences » (1975, settembre).
 - [10] WATANABE H., *On the precursors of small earthquake*, « Rep. Coord. Comm. Earthquake Prediction », 18 (1977).
 - [11] FRIEDMANN H., *Moeglichkeiten der Erstellung von Erdbebenprognosen*, « Naturwissenschaften », 64 (1977).
 - [12] PRESS F., *La previsione dei terremoti*, « Le Scienze », Milano, XV, 85 (1975).
 - [13] CANBY T. Y., *Can We Predict Quakes?*, « National Geographic Magazine », Washington (1976, giugno).
 - [14] *Proceedings of Advisory Meeting on Earthquake Prediction*, International Centre for Theoretical Physics, Trieste (1977).
 - [15] *Geophysical phenomena preceding, accompanying and following earthquakes*, XVI General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, Symposium n. 4, Grenoble (1975).
 - [16] *Symposium on Earthquake Forerunners Searching*, International Union of Geodesy and Geophysics, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, Tashkent (1974).
 - [17] PRESS F., *Strategy for Earthquake Prediction*, U.S. Japan Seminar on Theoretical and Experimental Investigations of Earthquake Precursors, Tokyo (1977).
 - [18] ALLEN C. R. e altri, *Earthquake research in China*, « EOS Transactions Amer. Geophys. Union », Washington, 56 (1975).
 - [19] LOMNITZ C., *Global tectonics and earthquake risk*, Amsterdam, Elsevier (1974).
 - [20] ANDERSON D. L., *Accelerated plate tectonics*, « Science », Washington, 187 (1975).
 - [21] KELLER J. A. e altri, *Possible criteria for predicting locations and their application to major plate boundaries of the Pacific and the Caribbean*, « Journ. of Geophys. Research », Washington, 78 (1973).

- [22] FEDOTOV S. A., *Regularities of the distribution of strong earthquakes of Kamchatka, the Kurile Islands and north-eastern Japan*, Trudy Inst. Fiziki Zemli Akad. Nauk., Mosca, 36 (1965).
- [23] RIKITAKE T., *Recurrence of great earthquakes at subduction zones*, «Tectonophysics», Amsterdam, 35 (1976).
- [24] SCHENKOVA Z., *Time distribution of earthquake occurrence in the North-Eastern Mediterranean zone*, Papers presented at the meeting: *Statistical and tectonophysical aspects of seismicity*, CSE Working Group Statistical Methods, Jena (1972).
- [25] SCHENKOVA Z. e SCHENK V., *Return Period of Earthquakes and Trends of Seismic Activity*, «Pageoph. (Pure and Applied Geophysics)», Basilea, 113 (1975).
- [26] RIKITAKE T., *Biosystem Behaviour as an Earthquake Precursor*, «Tectonophysics», Amsterdam, 48 (1978).
- [27] KANAMORI H., *Quantification of earthquakes*, «Nature», Londra, 271 (1978).
- [28] IACCARINO E., *Sismicità dell'Italia nei secoli scorsi*, Rapporto tecnico CNEN, Serie Protezione (1973).
- [29] LOMNITZ C. e LOMNITZ L., *Tangshan 1976: a case history in earthquake prediction*, «Nature», Londra, 271 (1978).
- [30] McGARR A., *Earthquake Prediction: Absence of a Precursive Change in Seismic Velocities before a Tremor of Magnitude 3.8*, «Science», Washington, 185 (1974).
- [31] MJACHKIN V. I. e DIETRICH J. H., *Two models for earthquake forerunners*, «Pageoph.», Basilea, 113 (1975).
- [32] BRACE W. F., PAULDING B. W. e SCHOLZ C. H., *Dilatancy in the fracture of cristalline rocks*, «Journ. of Geophys. Research», Washington, 71 (1966).
- [33] BRACE W. F. e ORANGE A. S., *Electrical resistivity changes in saturated rocks during fracture and frictional sliding*, *ibid.*, 73 (1968).
- [34] BRADY B. T., *Theory of earthquakes*, «Pageoph.», Basilea, 112 (1974).
- [35] NUR A., *Dilatancy, pore fluids, premonitory variations of t_s/t_p travel times*, «Bull. Seismol. Soc. of America», Berkeley, 62 (1972).
- [36] ARMSTRONG B. H., *Acoustic emission prior to rockburst and earthquake*, *ibid.*, 59 (1969).
- [37] FOURNIER D'ALBE E. M., *SMR-35/A.5*, Advisory Meeting on Earthquake Prediction, Trieste (1977).
- [38] HAAS J. E. e MILETI D. S., *Socio-economic impact of earthquake prediction on government, business, and community*, Institute of Behavioral Science, University of Colorado (1977).

- [39] SAVAGE J. C. e PRESCOTT W. H., *Precision of Geodolite Distance Measurements for Determining Fault Movements*, «Journ. of Geophys. Research», Washington, 78 (1973).
- [40] CASTLE R. O. e ELLIOT M. R., *Aseismic uplift in southern California*, «Science», Washington, 192 (1976).
- [41] CASTLE R. O. e SAVAGE J. C., *Preseismic and coseismic elevation changes in the epicentral region of the Point Mugu earthquake of February 21, 1973*, «Bull. Seismol. Soc. of America», Berkeley, 67 (1977).
- [42] FUJII Y., *Relation between duration period of the precursory crustal movement and magnitude of earthquake*, «Journ. Geodetic Soc. of Japan», Tokyo, 27 (1974).
- [43] HUGGETT G. R. e SLATER L. E., *Precision electromagnetic distance-measuring instrument for determining secular strain and fault movement*, «Tectonophysics», Amsterdam, 29 (1975).
- [44] MIKUMO T. e TANAKA T., *Possibility of temporal variations in earth tidal strain amplitudes associated with major earthquake*, «Journ. of Physics of the Earth», Tokyo (1977).
- [45] PRIESTLEY K. F., *Crustal Strain Measurements in Nevada*, «Bull. Seismol. Soc. of America», Berkeley, 64 (1974).
- [46] SAVAGE J. C. e PRESCOTT W. H., *Preseismic and coseismic deformation associated with the Hollister earthquake of November 28, 1974*, «Journ. of Geophys. Research», Washington, 81 (1976).
- [47] TSUBOKAWA I., *A relation between duration of precursory geophysical phenomena and duration of crustal movement before earthquake*, «Journ. Geodetic Soc. of Japan», Tokyo, 19 (1973).
- [48] TSUMURA K., *Anomalous Crustal Activity in the Izu peninsula and earthquake prediction*, Proceedings Symp. Earthquake Prediction, Seismol. Soc. of Japan, Tokyo (1977).
- [49] SAVAGE J. C., *Recent Earthquake Precursors*, Advisory Meeting on Earthquake Prediction, Trieste (1977).
- [50] CAPUTO M. e altri, *Geodimetric Control across the Straits of Messina*, «Geophys. Journ. Royal Astr. Soc.», Oxford, 38 (1974).
- [51] GREENSFELDER R. W. e CRICE D., *Geodimeter fault movement investigations in California*, «California Geology», Sacramento (1971).
- [52] KASAHARA M., *Premonitory crustal movement observed at Erimo before the earthquake of Niihau peninsula on June 17, 1973*, Proceedings Symp. Earthquake Prediction, Seismol. Soc. of Japan, Tokyo (1977).
- [53] HUGGETT G. R. e LANGBEIN J., *Fault slip episodes near Hollister, California: Initial results using a multiwavelength distance-measuring instrument*, «Journ. of Geophys. Research», Washington, 82 (1977).

- [54] WYATT F. e BERGER J., *Strain and gravity observations of a local earthquake of magnitude 4.9 on the San Jacinto Fault*, « EOS Transactions Amer. Geophys. Union », Washington, 56 (1975).
- [55] ALLEN R. V. e MORTENSEN C. E., *Some instruments and techniques for measurements of tidal tilt*, « Philosophical Transactions Royal Soc. of London », A 274, Londra (1973).
- [56] JOHNSTON M. J. S. e MORTENSEN C. E., *Tilt precursors before earthquake on the San Andreas fault, California*, « Science », Washington, 186 (1974).
- [57] MORTENSEN C. E. e JOHNSTON M. J. S., *Anomalous tilt preceding the Hollister earthquake of November 28, 1974*, « Journ. of Geophys. Research », Washington, 81 (1976).
- [58] OSTROVSKY A. E., *On changes in tilts of the earth's surface before strong near earthquakes*, nel vol. *Physical basis of seeking methods of predicting earthquakes*, Mosca, Accademia delle Scienze (1970).
- [59] BLAYNEY L. e GILMAN R., *A portable strainmeter with continuous interferometric calibration*, « Bull. Seismol. Soc. of America », 55 (1965).
- [60] RYALL A. e PRIESTLEY K. F., *Seismicity, secular strain and earthquake potential in the Excelsior Mountains area, Nevada*, « Bull. Geol. Soc. of America », New York (1975).
- [61] MIGANI M., *Sopra una stazione estensimetrica di grande sensibilità*, « Rend. Accad. Naz. dei Lincei », Roma, ser. VIII, vol. LVII (1974).
- [62] SEMENOV A. N., *Variations in the travel time of transverse and longitudinal waves before violent earthquakes*, « Physics of the Solid Earth », Washington, 245 (1969).
- [63] AGGARWAL Y. P. e altri, *Premonitory changes in seismic velocities and prediction of earthquakes*, « Nature », Londra, 241 (1973).
- [64] TETSUO S., *A short note on decay of the earthquakes occurrence after the end of V_p/V_s anomaly*, « Bull. Int. Inst. Seismol. and Earthq. Engineering », 12 (1974).
- [65] AGGARWAL Y. P. e RICHARDS P. G., *Spatial and temporal variations in t_s/t_p and P wave residuals at Blue Mountain Lake, New York: Application to earthquake prediction*, « Journ. of Geophys. Research », Washington, 80 (1975).
- [66] KANAMORI H. e WAI-YING CHUNG, *Temporal changes in P-wave velocity in southern California*, « Tectonophysics », Amsterdam, 23 (1974).
- [67] SHIMOZURU D., *Elasticity of rocks under initial stresses with special reference to the fracture problem*, « Bull. Earthq. Research Inst. », Tokyo, 33 (1955).

- [68] TERASHIMA T., *Change of V_p/V_s before the large earthquake of April 1, 1968 in Hyuganada, Japan*, «Bull. Int. Inst. Seismol. and Earthq. Engineering», 12, (1974).
- [69] WHITCOMB J. H. e altri, *Earthquake prediction: variation of seismic velocities before the San Fernando earthquake*, «Science», Washington, 180 (1973).
- [70] ISHIDA e KANAMORI H., *The spatio-temporal variation of seismicity before the 1971, San Fernando earthquake, California*, «Geophys. Research Letters», 4 (1977).
- [71] EVISON F. F., *Fluctuations of seismicity before major earthquake*, «Nature», Londra, 266 (1977).
- [72] HATTORI S., *Regional distribution of b in the world*, «Bull. Int. Inst. Seismol. and Earthq. Engineering», 12 (1974).
- [73] BRACE W. F., *Dilatancy-related electrical resistivity changes in rocks*, «Pageoph.», Basilea, 113 (1975).
- [74] BARSUKOV O. M. e SOROKIN O. N., *Variations in apparent resistivity of rocks in the seismically active Garm region*, «Physics of the Solid Earth», Washington, 10 (1973).
- [75] MAZZELLA A. e MORRISON H. F., *Electrical resistivity variations associated with earthquakes on the San Andreas fault*, «Science», Washington, 185 (1974).
- [76] CORWIN R. F. e MORRISON H. F., *Self-potential variations preceding earthquakes in central California*, «Geophys. Research Letters», 4 (1977).
- [77] BARSUKOV O. M., *Relationship between the electrical resistivity of rocks and tectonic processes*, «Physics of the Solid Earth», Washington, 1 (1970).
- [78] YAMAZAKI Y., *Electrical conductivity of strained rocks (the 4th paper). Improvement of the resistivity variometer*, «Bull. Earthq. Research Inst.», Tokyo, 46 (1968).
- [79] YAMAZAKI Y., *Coseismic Resistivity Steps*, «Tectonophysics», Amsterdam, 22 (1974).
- [80] YAMAZAKI Y., *Precursory and coseismic resistivity changes*, «Pageoph.», Basilea, 113 (1975).
- [81] ZEIGARNIK V., *Earthquake prediction by deep electromagnetic sounding of earth's crust using high-power impulse MHD-generators*, conferenze tenute presso il CNR, Roma (1979).
- [82] KAPITZA S. P., *Magnetic properties of eruptive rocks exposed to mechanical stresses*, «Izv. Serija Geofiz. Akad. Nauk.», Mosca, 6 (1955).
- [83] BREINER S., *A magnetometer array for investigation of the piezo-magnetic effect in seismically active area*, Proceedings U.S. Japan Conf. Res. Earthquake Prediction Problems, New York (1966).

- [84] WILSON E., *On the susceptibility of magnetic bodies as affected by compression*, «Proceedings Royal Soc.», Londra, ser. S, 101 (1922).
- [85] STACEY F. D. e BANERJEE S. K., *The Physical Principles of Rock Magnetism*, «Developments in Solid Earth Geophysics», Amsterdam, 5 (1974).
- [86] SMITH B. E. e JOHNSTON M. J. S., *A tectonomagnetic effect observed before a magnitude 5.2 earthquake near Hollister, California*, «Journ. of Geophys. Research», Washington, 81 (1976).
- [87] RIKITAKE T. e altri, *Geomagnetic and geoelectric studies of the Matsushiro earthquake swarm*, «Bull. Earthq. Research Inst.», Tokyo, 44 (1966); 45 (1967).
- [88] RIKITAKE T., *Geomagnetism and earthquake prediction*, «Tectonophysics», Amsterdam, 6 (1968).
- [89] SULTANKHODZHAEV A. N. e altri, *On the possibility of predicting strong earthquake focus on the basis of radon content variations*, «Uzb. Geol. Zh.», 3 (1977).
- [90] MELVIN J. D. e altri, *An automated radon-thoron monitor for earthquake prediction research*, «Nucl. Inst. Meth.», 153 (1978).
- [91] NAKAMURA S., *Behavior of the Atami Geyser before and after the Kanto great earthquake*, «Repts. on Prev. Earthq. Diasa», 78 (1925).
- [92] NOGUKI K. e altri, *Geochemical study on the variation of hot spring waters caused by the Matsushiro earthquake swarm*, «Journ. Balneol. Soc. of Japan», 20 (1969).
- [93] CHALOV P. I. e altri, *Short-term variations of radioisotopic parameters of water of the Earth crust fractures and their connection with earthquake prediction*, «Izv. Akad. Nauk SSSR - Fiziki Zemli», Mosca, 8 (1977).
- [94] SULTANKHODZHAEV A. N. e ZAKIROV T., *Hydrogeoseismic Precursors to the Gasli Earthquake*, «Reports of the Academy of Sciences of Uzbekistan», 7 (1976).
- [95] CRAIG H. e altri, *Investigation of radon and helium as possible fluid-phase precursors to earthquakes*, Technical report n. 1-2-3, Scripps Institution of Oceanography, University of California, 75-15 (1975).
- [96] THOMAS D. M. e NAUGHTON J. J., *Helium/Carbon Dioxide Ratios as Premonitors of Volcanic Activity*, «Science», Washington, 204 (1979).
- [97] IWASAKI I. e altri, *Variation of radon content of fumarolic gases in Oowakidani, Hakone Volcano*, «Journ. Volc. Soc. of Japan», 5 (1960).
- [98] IWASAKI I. e altri, *Differentiation of volcanic emanation around the boiling point of water in geothermal regions in Japan*, «Bull. Volcanologique», 29 (1966).

- [99] IWASAKI I. e altri, *The change in the Radon (Rn 222) and Thoron (Tn) contents of the volcanic gases in the Owakidani district, Hakone Volcano, from 1960 to 1967*, «Journ. Volc. Soc. of Japan», 13 (1968).
- [100] KAMADA M., *Variation on the contents of radioactive components in fumarolic gas from the Owakidani geothermal region, Hakone Volcano*, «Journ. Chemical Soc. of Japan», Tokyo, 82 (1961).
- [101] CHALCOV P.I. e altri, *On earthquake prediction according to the changes of radioisotope parameters of water of the Earth crust fractures*, «Izv. Akad. Nauk SSSR - Fiziki Zemli», Mosca, 8 (1977).
- [102] GREGSON P.J. e McCUE F.K., *An explanation of water level changes preceding the Meckering earthquake of 14 October 1968*, «Bull. Seismol. Soc. of America», Berkeley, 66 (1976).
- [103] KUO T.K. e altri, *Discussion of the change of ground water level preceding a large earthquake from an earthquake source model*, «Acta Geophys. Sinica», Pechino, 17 (1974).
- [104] WAKITA H., *Water wells as possible indicators of tectonic strain*, «Science», Washington, 189 (1975).
- [105] ARIEH E. e MERZER A.M., *Fluctuations in oil flow before and after earthquakes*, «Nature», Londra, 274 (1974).
- [106] ANDERSON C.J., *Animals, earthquakes and eruption*, «Field Museum of Natural Hist. Bull.», Chicago, 44 (1973).
- [107] JOHNSTON M.J.S., *Normal electromagnetic variations, tectonomagnetic effect, earthquake and animal behaviour prior to earthquake*, «I.V.S. Geological Survey», 107 (1976).
- [108] SUYEHIO Y., *Unusual Behavior of Fishes to Earthquakes*, «Scientific Rep. of the Keikyu Ahuratsubo Marine Park Aquarium», Miura City (Giappone), 1 (1968).
- [109] CAIAFFA E. e CERVELLATI R., *La previsione dei terremoti*, Rapporto tecnico CNEN, Serie Ambiente (1978).
- [110] CALLAMAN P.S., *Studies on the shootborer Hypsiplya Grandella (Zeller). The antenna of insects as an electromagnetic sensory organ*, «Turrialba», Turrialba (Costa Rica), 23 (1973).
- [111] PRESMAN A.S., *Electromagnetic Fields and Life*, New York, Plenum Press (1970).
- [112] RIKITAKE T., *Classification of earthquake precursors*, Advisory Meeting on Earthquake Prediction, Trieste (1977).
- [113] TRIBUTSCH H., *Do aerosol anomalies precede earthquakes?*, «Nature», Londra, 276 (1978).
- [114] HADLEY K., *Laboratory investigation of dilatancy and motion on fault surface at low confining pressures*, Proceedings Conf. on Tectonic Problems of the San Andreas Fault System, «Geological Science», 13 (1973).

-
- [115] TAKEUCHI S. e SIMMONS G., *Elasticity of water saturated rocks as a function of temperature and pressure*, «Journ. of Geophys. Research», Washington, 78 (1973).
- [116] CARROZZO M. T., GIORGETTI F., DE VISINTINI G. e IACCARINO E., *General catalogue of italian earthquakes*, Rapporto tecnico CNEN, Serie Protezione (1973).
- [117] SHENKAREVA G. A., *Seismicity of Italy*, «Boll. di Geofisica Teorica ed applicata», Trieste, 13 (1971).
- [118] HAGIWARA T. e RIKITAKE T., *Japanese program on earthquake prediction*, «Science», Washington, 157 (1967).
- [119] CALOI P., *Sulle possibilità di previsione dei terremoti*, Accad. Naz. dei Lincei, Commissione di studio delle calamità naturali, Roma (1976).
- [120] PIERI L. e POSTPISCHL D., *Lo stato attuale delle ricerche sulla previsione dei terremoti*, «Inarcos», Bologna, 374 (1977).
- [121] ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA, *Attività sismica registrata nel corso del 1978 in Italia*, Monografia 11, Roma (1979).
- [122] DALL'AGLIO M., *Geochimica e gestione dell'ambiente*, «Notiziario CNEN», Roma, 20 (1974).
- [123] DALL'AGLIO M., *Geochemistry of Stream and Ground Waters from western Sicily. The Changes in Spring Water Chemistry after the 1968 Earthquake*, «Atti Convegno Internaz. Acque Sotterranee», Palermo (1974).
- [124] DALL'AGLIO M., *Earthquake Prediction by Hydrogeochemical Methods*, «Soc. Italiana di Mineralogia e Petrologia - Rendiconti», Milano, vol. XXXII (1976).
- [125] CALOI P. e ROMUALDI G., *Variazione della verticale apparente e sismicità nella zona di Tolmezzo*, «Annali di Geofisica», Roma, XXVIII (1975).
- [126] BIAGI P. L. e altri, *Le variazioni di inclinazione e la sismicità che hanno preceduto il forte terremoto del Friuli del maggio 1976*, ibid., XXIX (1976).
- [127] JOHNSTON M. J. S., *A review of tilt, magnetic and strain measurements and implications for the earthquake prediction on the San Andreas fault*, U.S. Japan Seminar on Theoretical and Experimental Investigations of Earthquake Precursors, Tokyo (1977).
- [128] MORTENSEN C. E. e JOHNSTON M. J. S., *The nature of surface tilt along 85 km of the San Andreas fault*, «Pageoph.», Basilea, 113 (1975).
- [129] CALOI P., *About some phenomena preceding and following the seismic movements in the zone characterized by high seismicity*, nel vol. *Contributions in Geophysics: in honor of Beno Gutenberg*, Londra, Pergamon Press (1958).

- [130] BASILI A. e altri, *SEISMOS: una routine per il trattamento dei dati sismici storici su IBM-370*, Rapporto tecnico CNEN, Serie Ambiente (1978).
- [131] ENGDAHL E. R. e KISSLINGER C., *Seismological precursors to a magnitude 5 earthquake in the central Aleutian Islands*, «Journ. of Physics of the Earth», Tokyo (1977).
- [132] JOHNSTON M. J. S. e altri, *Earthquakes - can they be predicted or controlled?*, «Industrial Research», Beverly Shores (USA-Ind.) (1974).
- [133] NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, *Earthquake Prediction and Public Policy*, Washington (1975).

EARTHQUAKE PREDICTION TODAY. — Progress in the knowledge of the Earth crust dynamics and some success obtained in the People's Republic of Cina is encouraging the research all over the world in the field of earthquake prediction. Taking the 1975 Haicheng earthquake as the reference event, an up to date, short review of possible effects and detection methods is given. Among them: crustal deformation, seismic velocities, seismic activity, electromagnetic effects, water flow and composition, animal behaviour. Related researches in Italy are also reviewed. In conclusion: the earthquake seems to be, in principle, predictable; a sistematic survey of the seismic areas should be planned as soon as possible.