

ONDE SISMICHE GUIDATE DAGLI STRATI SEDIMENTARI (*)

P. CALOI - D. DI FILIPPO - M. C. SPADEA

Per strati sedimentari intendiamo quelli di origine alluvionale, che formano il fondo di valli e di estese pianure; non solo, ma anche gli strati di già consolidati che si sono formati nell'eocene e nel cretaceo.

È noto che le stazioni sismiche poste sopra stratificazioni alluvionali più o meno spessi e consolidati, registrano, specie in occasione di terremoti ad origine vicina, tutta una serie di oscillazioni, non facilmente interpretabili, derivanti appunto da fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione dovuti al passaggio dell'energia sismica attraverso le superficie o le zone che separano gli uni dagli altri strati costituenti la coltre alluvionale. È noto pure che generalmente, quando questi strati hanno una determinata potenza, provocano un'amplificazione dell'onda sismica.

Avviene così che le stazioni di registrazione che si trovano alla stessa distanza da un epicentro ma sono poste su stratificazioni di diversa origine, registrano lo stesso terremoto in modo sensibilmente diverso: quelle su stratificazioni alluvionali con tutto un seguito di ampie oscillazioni, non sempre interpretabili, mentre i sismogrammi registrati da stazioni poste su roccia risultano costituiti, a parità di altre condizioni, di fasi meno ampie ma molto più chiare e intervallate.

Il terremoto della Val Padana del 15-16 maggio 1951, ha fornito esempi di eccezionale interesse a questo riguardo. Ad esso abbiamo dedicato un lungo lavoro di prossima pubblicazione. Il terremoto si è verificato nel punto di coordinate $45^{\circ}18',3$ N- $9^{\circ}36',8$ E a pochi km a SE di Lodi, nei pressi di Caviaga. La sua profondità è risultata di 6 km ca. in una zona ai margini fra la base delle stratificazioni alluvionali della Val Padana e l'inizio del sottostante strato del « granito ».

(*) Comunicazione presentata alla « Association Internationale de Séismologie et Physique de l'intérieur de la Terre » nella X Assemblea Generale dell'U.G.C.I. - Roma 1954.



Fig. 1

Il meccanismo di produzione ha avuto un aspetto del tutto eccezionale per la zona. Come risulta dalle figg. 1 e 2, che si riferiscono alla prima e alla seconda scossa avvenute dal 15 al 16 maggio 1951, la delimitazione tra compressioni e dilatazioni non rientra in quelle che caratterizzano le fratture.

La scossa più violenta, del 15 Maggio, ha provocato una suddivisione superficiale dei movimenti iniziali di forma pressoché ellissoidica, nella quale l'epicentro è prossimo ad uno degli estremi dell'asse

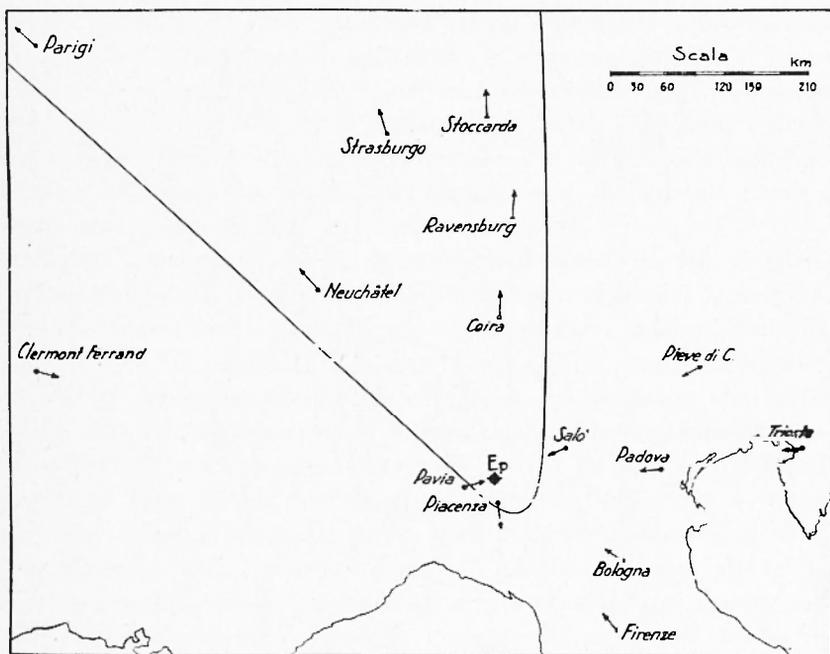


Fig. 2

maggiore. Sembra quasi che all'ipocentro il fenomeno si sia manifestato sotto forma di violenta esplosione, lungo un asse fortemente inclinato sulla orizzontale, in direzione NW.

Anche le osservazioni macrosismiche presentano un'accentuazione di intensità in detta direzione, nonostante che la presenza della Val Padana avrebbe potuto determinare un aumento di intensità in direzione ortogonale (fig. 3).

Che il terremoto in questione possa essere stato determinato da un fenomeno esplosivo, trova una base di attendibilità nella natura geologica della zona da esso interessata. Detta zona era ritenuta asi-

smica, non avendo dato manifestazioni telluriche attraverso le epoche storiche. Però, negli ultimi decenni, la scoperta del gas metano nel sottosuolo della Val Padana, ha fatto sì che in molte zone di essa siano stati praticati pozzi di prelevamento del gas. Specie nella zona di Caviaga, il numero di questi pozzi è notevole. Se si pensa che il gas presenta alla bocca dei pozzi pressioni che variano da 130 a 160 kg/cm², ci si può rendere conto della enorme decompressione in atto nelle regioni di dove il gas proviene. Non sembra quindi azzardato ritenere la scossa in questione, come causata dallo squilibrio delle tensioni, determinato dalla fuoriuscita del gas in quantità notevolissima.

Su questo argomento ad ogni modo, ci intratteniamo più a lungo nella memoria specifica. Qui ci limitiamo ad accennarvi al solo scopo di mettere in evidenza come la posizione geografica della zona epicentrale e il meccanismo con cui il terremoto si è verificato, abbia dato origine ad esempi numerosissimi di propagazione dell'energia sismica, guidata dalle stratificazioni alluvionali superficiali.

Infatti una delle parti più interessanti di questo lavoro, si riferisce alle stratificazioni che precedono il cosiddetto strato del « granito ».

I sedimenti hanno sicuramente in Val Padana spessori notevoli, anche se variabili da luogo a luogo; la fig. 4 rappresenta, in sezione, il risultato della prospezione sismica eseguita in una zona non molto discosta da quella epicentrale (¹). Da essa risulta chiaro quanto sia complessa la coltre sedimentaria costituente la Val Padana e il notevole numero di strati che la costituiscono; strati che dalle sabbie sciolte della superficie, arrivano alle rocce sedimentarie del liocene. In detti strati naturalmente si osservano sensibili variazioni della velocità di propagazione delle onde longitudinali e trasversali. La posizione particolare dell'epicentro, il fatto che l'origine del terremoto debba cercarsi nella zona intermedia fra i sedimenti e lo strato del « granito », hanno fatto sì che le oscillazioni sismiche interessanti gli strati di copertura siano state di preponderante portata.

Specie nelle stazioni sismiche situate nella Val Padana o ai limiti della stessa, le oscillazioni guidate dagli strati sedimentari sono risultate le più ampie e le più persistenti: così a Pavia, a Piacenza, a Bologna, a Padova, a Venezia e, in minor misura, a Salò e a Trieste.

Sebbene la cosa non sembrasse in principio troppo agevole, ci siamo proposti di determinare le caratteristiche peculiari delle oscillazioni longitudinali e trasversali proprie degli strati sedimentari; e di vedere se dette oscillazioni interessavano pressoché esclusivamente la Val Padana o se venivano registrate anche a maggiore distanza.

Per quanto concerne la Val Padana con le registrazioni ottenute a Salò, Bologna e Padova, abbiamo potuto calcolare la velocità media di propagazione delle onde longitudinali relative ai sedimenti, onde che noi indichiamo con il simbolo P_s . Tale velocità è risultata di 3,8 km/sec.

Qui necessita un'osservazione. Questa velocità ha senza dubbio il valore di velocità media, come si è già detto. È noto infatti — e ciò del resto risulta chiaramente dalla fig. 4 — che gli strati sedimentari, costituenti il fondo della Val Padana, hanno caratteristiche che li distinguono gli uni dagli altri, talvolta in modo molto marcato. Gli

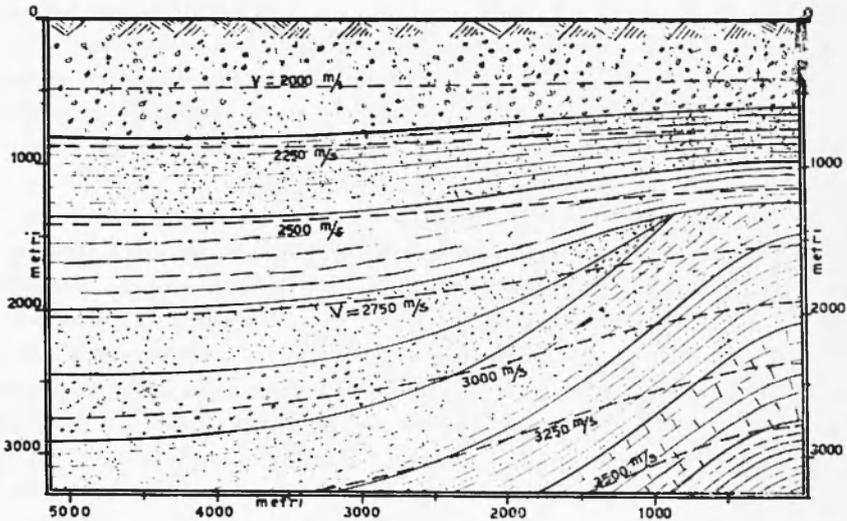


Fig. 4

strati superficiali, risultanti da materiale sciolto, sono caratterizzati da deboli velocità di propagazione. Dette velocità tentano a crescere negli strati consolidati sottostanti.

Tale accrescimento però non è allatto lineare; non solo, ma si presenta fortemente saltuario da zona a zona. Conseguo da ciò, sulla scorta della teoria della propagazione per « fronti guida », che la velocità media su indicata riguarda prevalentemente gli strati sedimentari più profondi; dove detta velocità presenta i massimi valori. Ciò è provato dal fatto che le vibrazioni interessanti i detti strati non si esauriscono in un impulso isolato, ma risultano costituite da tutta una serie di impulsi successivi, convogliati alle stazioni di osservazione dai « fronti guida » con velocità via via decrescenti.

Quanto si è detto vale naturalmente anche per le corrispondenti

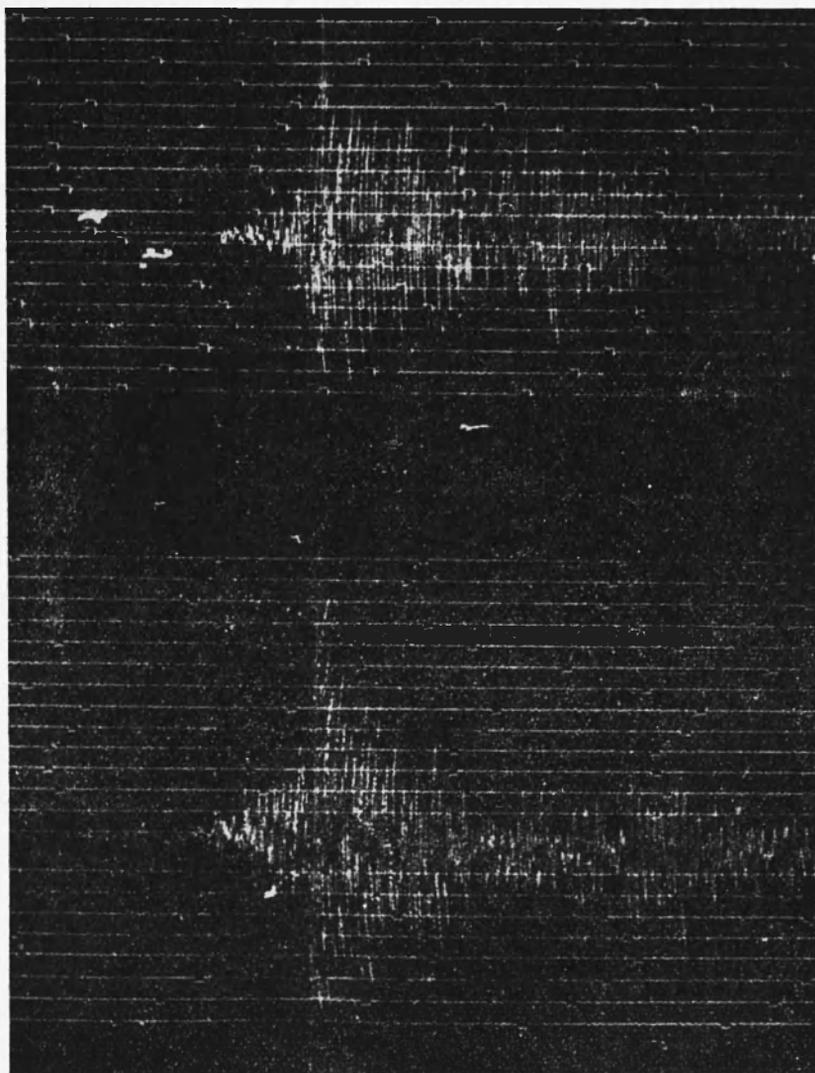


Fig. 5

onde trasversali, da noi indicate con il simbolo S_s . Con i dati di Salò, Bologna, Padova, Pieve di Cadore, Trieste, abbiamo ottenuto per la velocità media delle onde S_s il valore di 2,38 km/sec.

Le onde P_s ed S_s hanno dato vistose, prolungate registrazioni in tutte le stazioni della Val Padana, nelle quali hanno costituito le fasi preponderanti (fig. 5). Per le stazioni oltre la Val Padana la registra-

zione dei tipi d'onda sopra accennati è continuata in maniera molto evidente. Soltanto è venuto a diminuire il numero degli impulsi, seguenti quelli iniziali dovuti alle stratificazioni di maggiore velocità. Ciò si spiega facilmente quando si tenga presente che la Val Padana risulta dalla sovrapposizione di tutta una serie di sedimenti (fig. 4).

È chiaro che ai margini della Val Padana le stratificazioni più superficiali vengono via via a mancare, mentre si presentano come affioranti quelle più profonde. Ciò è messo in netta evidenza dalla fig. 6 che dà una sezione del fondo dell'alto Adriatico dai pressi di Venezia

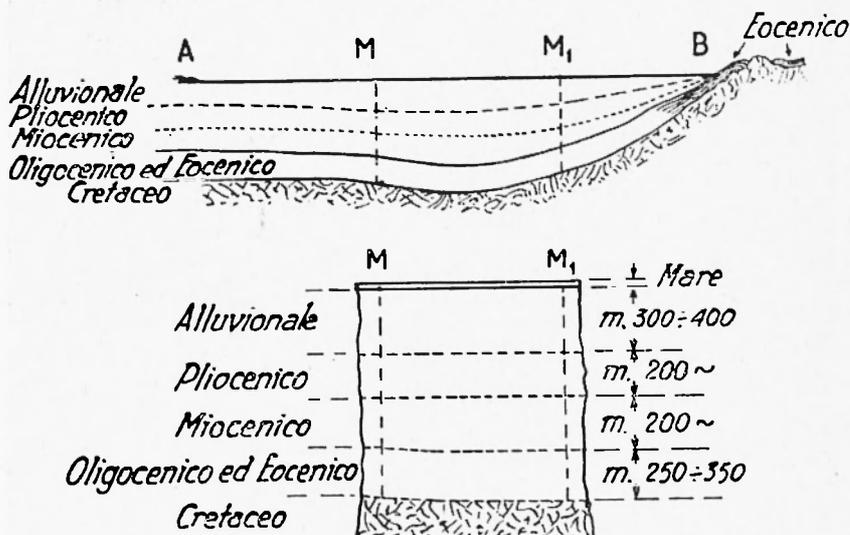


Fig. 6

(località Cavallino) a Trieste (Barcola) (²). A Trieste infatti gli impulsi provenienti dagli strati sedimentari sono già notevolmente diminuiti di numero. È questa del resto la caratteristica predominante di quasi tutte le stazioni oltre la Val Padana, nelle quali gli impulsi propri degli strati sedimentari, sono quelli relativi alle stratificazioni consolidate del leocene e del cretaceo. Esempi chiarissimi di onde \bar{F}_s ed S_s si sono ottenuti in tutte le stazioni europee: a Coira, Neuchâtel, Roma, a Stoccarda, Jena, fino in Spagna.

Anche le stazioni alpine hanno registrato chiari esempi di queste onde. È da ritenere pertanto che le stratificazioni caratterizzate da velocità medie di 4 km/sec ca. per le onde longitudinali e di 2,5 km/sec ca. per le trasversali, costituiscano una copertura generalmente diffusa, con spessore variabile da luogo a luogo.

Il fatto che le oscillazioni interessanti gli strati sedimentari abbiano assunto, per il terremoto in esame, tanta importanza può essere spiegato con le particolari modalità che hanno contraddistinto le origini del terremoto. Infatti lo scuotimento essendosi verificato con i caratteri di un brusco sollevamento secondo un asse quasi orizzontale e ai limiti fra i sedimenti e lo strato del « granito », ha fatto sì che gran parte dell'energia si sia propagata nelle stratificazioni, guidata dalle superficie limitanti inferiormente le stratificazioni stesse.

Resta comunque assodato che il cosiddetto strato del « granito » risulta coperto, per tutta l'estensione del continente europeo, da una coltre di stratificazioni consolidate, nelle quali la media della velocità di propagazione delle onde longitudinali raggiunge un valore di 3,8-4 km/ sec. Che dette stratificazioni abbiano un carattere di continuità — indipendentemente dalla variazione del loro spessore — è provata dal fatto che le onde P ed S_x vengono registrate anche dalle stazioni Spagnole.

Roma — Istituto Nazionale di Geofisica — Agosto 1954.

RIASSUNTO

Per strati sedimentari intendiamo quelli di origine alluvionale, che formano il fondo di valli e di estese pianure; non solo, ma anche gli strati di già consolidati che si sono formati nell'Eocene e nel Cretaceo.

È noto che le stazioni sismiche poste sopra stratificazioni alluvionali, più o meno spesse e consolidate, registrano, specie in occasione di terremoti ad origine vicina, tutta una serie di oscillazioni, non facilmente interpretabili, derivanti appunto da fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione dovuti al passaggio dell'energia sismica attraverso le superficie o le zone che separano, gli uni dagli altri, gli strati costituenti la coltre alluvionale. È noto pure che generalmente, quando questi strati hanno una determinata potenza, provocano un'amplificazione della onda sismica.

Il terremoto della Val Padana del 15-16 maggio 1951, ha fornito esempi di eccezionale interesse a questo riguardo. Ad esso abbiamo dedicato un lungo lavoro, di prossima pubblicazione.

La scossa più violenta del 15 maggio, ha provocato una suddivisione superficiale dei movimenti iniziali di forma pressoché elissoi-

dica, nella quale l'epicentro è prossimo ad uno degli estremi dell'asse maggiore. Sembra quasi che all'ipocentro il fenomeno si sia manifestato sotto forma di violenta esplosione, lungo un asse fortemente inclinato sull'orizzontale, in direzione NW.

Specie nelle stazioni sismiche situate nella Val Padana o ai limiti della stessa, le oscillazioni guidate dagli strati sedimentari sono risultate le più ampie e le più persistenti: così a Pavia, a Piacenza, a Bologna, a Padova, a Venezia e, in minor misura, a Salò e a Trieste.

Per quanto concerne la Val Padana, abbiamo potuto calcolare la velocità media di propagazione delle onde longitudinali relative ai sedimenti, onde che noi indichiamo con il simbolo P_s . Tale velocità è risultata di 3,8 Km/sec.

Questa velocità ha senza dubbio il valore di velocità media. È noto infatti che gli strati sedimentari costituenti il fondo della Val Padana hanno caratteristiche che li distinguono gli uni dagli altri, talvolta in modo molto marcato. Gli strati superficiali, risultanti da materiale sciolto, sono caratterizzati da deboli velocità di propagazione. Dette velocità tendono a crescere negli strati consolidati sottostanti.

Tale accrescimento però non è affatto lineare; non solo, ma si presenta fortemente saltuario da zona a zona. Conseguo da ciò che la velocità media su indicata riguarda prevalentemente gli strati sedimentari più profondi dove detta profondità presenta i massimi valori. Ciò è provato dal fatto che le vibrazioni interessanti i detti strati non si esauriscono in un impulso isolato, ma risultano costituite da tutta una serie di impulsi successivi, convogliati alle stazioni d'osservazione dai « fronti guida » con velocità via via decrescenti.

Quanto si è detto vale naturalmente anche per le corrispondenti onde trasversali, da noi indicate con il simbolo S_s , per le quali abbiamo ottenuto la velocità media di 2 Km/sec.

Le onde P_s ed S_s hanno dato vistose prolungate registrazioni in tutte le stazioni della Val Padana nelle quali hanno costituito le fasi preponderanti. Per le stazioni oltre la Val Padana la registrazione dei tipi d'onda sopra accennati è continuata in maniera molto evidente. Soltanto è venuto a diminuire il numero degli impulsi seguenti quelli iniziali dovuti alle stratificazioni di maggiore velocità. Ciò si spiega facilmente quando si tenga presente che la Val Padana risulta dalla sovrapposizione di tutta una serie di sedimenti. È chiaro che ai margini della Val Padana le stratificazioni più superficiali vengono via

via a mancare mentre si presentano come affioranti quelle più profonde.

Anche le stazioni alpine hanno registrato chiari esempi di onde P_s , S_s . È da ritenere pertanto che le stratificazioni caratterizzate da velocità medie di 4 Km/sec.ca. per le onde longitudinali e di 2,5 Km/sec.ca. per le trasversali, costituiscano una copertura generalmente diffusa, con spessore variabile da luogo a luogo.

Resta con ciò assodato che il così detto strato del « granito » risulta coperto, per tutta l'estensione del continente europeo, da una coltre di stratificazioni consolidate, nelle quali la media velocità di propagazione delle onde longitudinali raggiunge un valore di 3,8-4 Km/sec. Che dette stratificazioni abbiano un carattere di continuità, indipendentemente dalla variazione del loro spessore, è provato dal fatto che le onde P_s ed S_s vengono registrate anche dalle stazioni spagnole.

SUMMARY

We intend, by sedimentary layers, those of alluvial origin that form the bottom land of valleys and extended plains; not only, but also the layers previously solidified that were formed in the Eocene and Cretaceous eras.

It is known that seismic stations placed above alluvial stratifications, more or less thick and solidified, register, especially on the occasion of nearby earthquakes, a complete series of oscillations, not easily interpreted, which are derived from reflection phenomena, refraction and diffraction due to the passage of the seismic energy across the surfaces or the zones that separate the layers formed of alluvial strata. It is further known that, generally, when these strata have a certain thickness, there is an amplification of the seismic wave.

The earthquake of the Val Padana of the 15th and 16th of May, 1951 has furnished an example of exceptional interest in this regard. A long report of this work is soon to be published.

The most violent shock of the 15th of May provoked a surface subdivision of the initial movements of approximately ellipsoidal form, in which the epicenter is near one of the extreme ends of the major axis. It almost seems that the phenomenon has taken the form of a violent explosion at the focus, and along an axis strongly inclined toward the horizontal in the NW direction.

The oscillations carried by the sedimentary layers have been found to be the strongest and most persistent in the seismic stations situated in the Val Padana or on the boundaries: that is, at Pavia, Piacenza, Bologna, Padova, Venezia, and to a smaller degree at Salò and Trieste.

For the Val Padana, we have been able to calculate the mean propagation velocity of the longitudinal waves in the sediments, waves which we indicate with the symbol Ps. This velocity was found to be 3.8 Km/sec.

This velocity is, without doubt, the mean velocity. It is known in fact that the sedimentary strata of the bottom of the Val Padana have very distinguishing characteristics, often in a very marked way. The surface layers, which are a combination of loose materials, are characterized by very low propagation velocities. These velocities tend to increase in the underlying solidified strata.

This increase, is not however, at all linear: in fact there are strong jumps from zone to zone. It follows thus that the mean velocity given above applies to the deeper sedimentary layers where the higher velocities are found. This is verified by the fact that the vibrations of these layers are not exhausted in a single pulse, but are represented by a series of successive pulses which arrive at the observation stations from the « guide fronts » with velocities which gradually decrease.

All that has been said is naturally valid for the corresponding transversal waves, indicated with the symbol Ss, and for which we have found a mean velocity of 2.5 Km/sec.

The Ps and Ss waves have produced strong and prolonged registrations in all the stations in the Val Padana, which represent the predominant phases. For the stations beyond the Val Padana, the continued recording of the waves of the above mentioned type has been very evident. Only a decrease in the number of pulses has occurred, following the initial waves due to the strata of greater velocity. This is easily explained when one remembers that the Val Padana is the result of the superposition of a whole series of sedimentations. It is clear that at the margins of the Val Padana, the more superficial strata begin to be missing, while the deeper strata are more in evidence.

Also the Alpine stations have registered clear examples of the Ps and Ss waves. It is to be remembered, however, that the stratifications characterized by mean velocities of about 4 Km/sec for the longitudinal waves, and of about 2.5 Km/sec for the transverse waves, constitute a very wide-spread covering, whose thickness varies from place to place.

It thus remains confirmed that the so-called stratum of « granite » is covered, for the whole extent of the European continent, by a cover of solidified stratifications, in which the mean propagation velocity of the longitudinal waves reaches a value of 3.8 to 4 Km/sec. That these stratifications have a continuous character which is independent of their thickness is proved by the fact that the Ps and Ss waves are also registered by the Spanish stations.

BIBLIOGRAFIA

(1) CONTINI S., *Il calcolo delle superficie riflettenti nei rilievi sismici a riflessione*. Annali di Geofisica, V 1952.

(2) CALOI P., *Sull'origine dei microsismi, con particolare riguardo all'alto Adriatico*. Annali di Geofisica, IV 1951.