

## Progressi della sismica a riflessione nell'esplorazione petrolifera dell'A. G. I. P. nella pianura padana

E' forse superfluo ripetere qui quale importanza abbia assunto, da 3 o 4 lustri, l'esplorazione geofisica per la prospezione mineraria ed in particolare per l'esplorazione petrolifera.

E' infatti noto a chiunque abbia qualche conoscenza di problemi petroliferi come, già da parecchi anni, nessuna grande società petrolifera intraprenda la perforazione di un sondaggio di qualche profondità — specialmente nelle zone dove estese coperture geologicamente uniformi limitano o senz'altro escludono le possibili indagini del geologo — senza prima aver stabilito a mezzo della prospezione geofisica quale sia l'ubicazione più favorevole per il sondaggio di ricerca.

Già nel 1939 (1) si attribuiva alla ricerca geofisica la scoperta di 5 miliardi di barili d'olio.

Si può ancora aggiungere che anche dopo aver trovato il petrolio la geofisica non ha esaurito il suo compito: dopo l'esecuzione delle prime perforazioni in un campo petrolifero, quando si è acquisita la conoscenza della serie dei terreni in profondità e delle loro caratteristiche fisiche, la geofisica infatti permette spesso di guidare la correlazione fra i vari pozzi integrando e perfezionando i risultati geofisici conseguiti in precedenza e di stabilire la morfologia delle strutture con alta precisione, così che l'ubicazione dei nuovi pozzi per lo sfruttamento può essere guidata nel modo più razionale ed economico: ogni inutile sondaggio evitato compensa infatti largamente la spesa per gli studi geofisici per quanto essi possano venir condotti con larghezza di mezzi.

Riguardo all'impiego dei vari metodi geofisici per la esplorazione petrolifera, malgrado le preferenze soggettive dei vari prospettori — preferenze spesso dovute alla particolare applicabilità di un metodo piuttosto che un altro secondo le particolari condizioni geologiche, litologiche, topografiche e fisiche delle zone in istudio — si è stabilito un sufficiente accordo riguardo ai metodi da preferire secondo la natura dei problemi da risolvere.

Il metodo magnetico può essere impiegato come metodo di prima indagine in zone piatte ed estese quando si presume l'esistenza di un basamento cristallino con caratteristiche magnetiche spiccatamente diverse rispetto ai terreni sedimentari ad esso sovraincombenti, oppure quando si presu-

me l'esistenza di terreni magneticamente differenziati negli strati stessi della serie sedimentaria.

Anche il metodo gravimetrico — sia con l'impiego dei gravimetri che con la bilancia di torsione — può essere considerato un metodo geofisico di prima indagine benchè in propizie condizioni esso possa prestarsi, con la bilancia di torsione in particolare, per l'esecuzione di rilievi di dettaglio.

I metodi elettrici e quelli sismici presentano il vantaggio, sui metodi gravimetrici e magnetici, di poter svolgere l'indagine a profondità determinate, sia regolando la penetrazione dei campi di forza artificialmente provocati, sia variando opportunamente le distanze fra le unità generatrici dei detti campi e le unità di ricezione. Lo studio dei risultati conseguiti con i metodi elettrici e sismici permette quindi di arrivare con assai maggior facilità ad una interpretazione quantitativa — soprattutto riguardo alla posizione in profondità delle strutture indagate — di quanto non consentano i metodi gravimetrico e magnetico.

Per questo motivo soprattutto i metodi elettrici e sismici si prestano per l'esecuzione di rilievi di dettaglio.

Nella esplorazione petrolifera, che è prevalentemente profonda, i metodi elettrici trovano però una pregiudiziale limitazione d'impiego a causa della loro scarsa penetrazione in profondità.

Delle varie tecniche sismiche quella a ventaglio e quella a rifrazione non consentono — per motivi di ordine pratico e tecnico — di condurre uno studio sicuro per strutture eccedenti i 1.500 m. di profondità: inoltre sono necessarie, per l'applicazione dei metodi a ventaglio ed a rifrazione, differenziazioni nelle caratteristiche elastiche dei vari terreni assai più spiccate di quanto non occorra per il metodo sismico a riflessione.

Tenendo presente questi criteri e in vista delle condizioni geologiche in varie regioni dell'Italia e nella pianura padana in modo particolare, per le quali l'esplorazione petrolifera deve essere essenzialmente profonda, l'A.G.I.P. — ad integrazione dei rilievi geofisici condotti con i metodi gravimetrici, magnetici, elettrici e col metodo sismico a rifrazione fino dal 1927 ed anni seguenti — si orientò, nel 1938, per attrezzare la propria Sezione per le ricerche geofisiche con i mezzi più efficaci per l'applicazione del metodo sismico a riflessione.

(1) G. Egloff, Colo. School of Mines Mag. 29 (6), 277 (1939).

Solo questo metodo avrebbe infatti consentito di condurre uno studio veramente efficace delle strutture geologiche in zone dove esiste una potente copertura di terreni fra loro scarsamente differenziati riguardo alle loro caratteristiche fisiche, come è appunto il caso della pianura padana. Esso avrebbe inoltre permesso di pervenire, per i motivi precedentemente accennati, alla determinazione delle strutture geologiche con un dettaglio ed una precisione non raggiungibili, nella quasi totalità dei problemi inerenti alla esplorazione petrolifera, con gli altri metodi geofisici.

Per ragioni evidenti — a causa cioè del limitato sviluppo della industria petrolifera nel nostro paese — non ebbe motivo di svilupparsi in Italia, escluse limitatissime eccezioni, una tecnica per la costruzione di apparecchi geofisici adatti all'esplorazione petrolifera.

E' stato quindi naturale per l'A.G.I.P. rivolgersi alla industria degli S. U. che era allora di gran lunga all'avanguardia, rispetto a qualsiasi altro paese del mondo, per quanto riguarda l'impiego dei metodi geofisici alla ricerca petrolifera e in particolare riguardo all'impiego del metodo sismico a riflessione. Le società americane, specializzate nelle ricerche geofisiche, poterono infatti arrivare ad un alto grado di perfezione, sia dal punto di vista costruttivo degli apparecchi impiegati nel metodo sismico a riflessione, sia per la scelta della tecnica più idonea nel lavoro pratico di campagna — a seconda delle più varie condizioni geologiche delle strutture da indagare — in seguito a lunghi anni di esperienza avvantaggiata dall'immenso campo sperimentale costituito dai campi petroliferi americani.

Venne così acquistata una apparecchiatura sismica dalla Western Geophysical Co. con la quale furono iniziati, nel maggio 1940, i primi lavori nella pianura padana. Per qualche tempo prestarono la loro opera, con la sezione geofisica dell'A.G.I.P., due tecnici della Western Geophysical Co.: si evitarono così — fruendo della loro esperienza particolarmente per quanto concerne la pratica del lavoro sul terreno — inutili perditempi nella fase iniziale del lavoro.

\* \* \*

Il principio del metodo a riflessione è noto ed estremamente semplice.

Un ricevitore delle oscillazioni del terreno (sismografo, geofono) viene posto sulla superficie del suolo. In un foro da mina, (profondo da qualche metro a qualche decina di metri), approntato a determinata distanza dal ricevitore viene fatta brillare una piccola carica di esplosivo (da pochi grammi fino a qualche chilogrammo di dinamite). Le onde sismiche dovute a tale esplosione sollecitano il ricevitore con una serie di oscillazioni meccaniche che, nel ricevitore stesso, vengono trasformate in oscillazioni di corrente elettrica. Queste, con-

venientemente amplificate e filtrate, vengono ritrasformate in oscillazioni meccaniche a mezzo di un galvanometro a specchio o a corda. A loro volta queste ultime vengono registrate, con sistema ottico, su un diagramma (sismogramma) unitamente all'istante di esplosione e ad una marcatura del tempo che permette di poter valutare i periodi di tempo decorrenti fra l'istante di esplosione e gli istanti d'arrivo dei vari impulsi sismici al ricevitore.

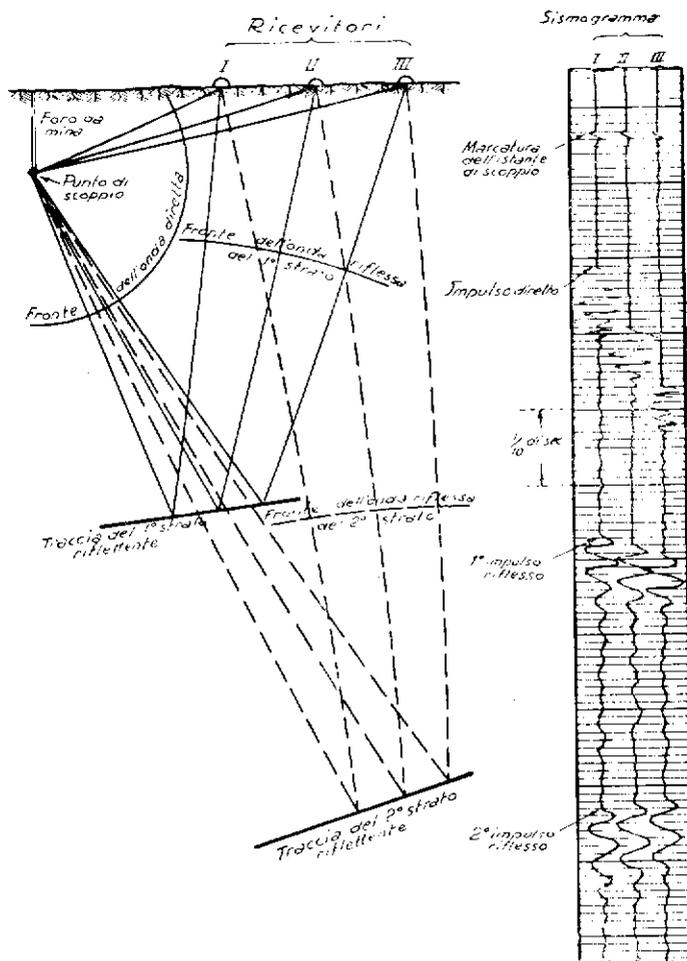


Fig. 1. — Rappresentazione schematica della propagazione degli impulsi sismici e del relativo diagramma di registrazione.

Fra i vari impulsi sismici che sollecitano il ricevitore hanno particolare interesse, nel caso nostro, le onde che arrivano al ricevitore dopo riflessione sugli strati esistenti in profondità e presentanti caratteristiche elastiche diverse da quelle della serie dei terreni ad essi sovrastanti.

Note le posizioni relative del punto di scoppio e del ricevitore e le velocità medie di propagazione delle onde sismiche nella copertura sovrastante gli strati riflettenti è possibile, in base ai tempi di arrivo delle varie onde riflesse, dedurre della serie dei terreni ad essi sovrastanti. Con la rappresentazione schematica riportata in Fig. 1 si è cercato di chiarire quanto è ora stato detto.

In pratica per ogni esplosione vengono disposti sul terreno più ricevitori, lungo un allineamento, così che sul si-

enogramma sono contemporaneamente registrate, su varie « linee » (usualmente da 6 a 12) le oscillazioni che pervengono ai vari ricevitori, o gruppi di ricevitori. In base al gradiente di tempo fra gli impulsi registrati, per uno stesso strato riflettente, dal primo e dall'ultimo ricevitore posti sull'allineamento, è possibile valutare sia la profondità che la pendenza « apparente » degli strati riflettenti. Quando poi per ogni punto di scoppio le registrazioni vengano effettuate con i ricevitori disposti secondo due allineamenti (di solito normali fra loro) si ottengono tutti gli elementi per determinare la pendenza vera degli strati riflettenti e la loro ubicazione nello spazio.

Risulta così intuitivo che avendo rilevato i detti elementi, relativi agli strati riflettenti, per una estesa rete di punti di scoppio, si può dedurre la posizione e la forma delle strutture esistenti nel sottosuolo rilevando la presenza di anticlinali, sinclinali, faglie ecc. In questo modo si possono determinare le ubicazioni dove l'accumulazione degli idrocarburi si è resa possibile e conseguentemente, per esplorare una determinata zona, il numero delle perforazioni di ricerca può venire ridotto al minimo ottenendo una evidentissima economia di tempo e di spesa.

I ricevitori sismici dell'apparecchio in dotazione alla Sezione geofisica dell'A.G.I.P. sono del tipo a riluttanza con smorzamento combinato elettromagnetico e ad olio. Gli amplificatori sono dotati di circuiti di sintonia così che le registrazioni possono venire accordate su quelle bande di frequenza che permettono una più chiara identificazione delle riflessioni. Il volume di amplificazione può poi venire controllato manualmente e simultaneamente per tutti gli amplificatori: l'operatore — sufficientemente allenato — può allora, senza alcuna difficoltà mantenere le registrazioni di ampiezza voluta e uniforme per tutta la lunghezza del sismogramma. Il registratore, con 12 galvanometri a corda, montati su un'unica « arpa », è provvisto di un motorino sincronizzato con un diapason per la marcatura del tempo che av-



Fig. 3. — L'interno della cabina di registrazione.

viene — come è ormai consuetudine per gli apparecchi sismici — su tutta la larghezza del sismogramma e per intervalli di 1/100 di secondo in modo da poter stimare il tempo di 1/1000 di secondo. Tutto l'insieme con i cavi elettrici di collegamento dei ricevitori, l'attrezzatura fotografica per lo sviluppo dei sismogrammi e gli accessori necessari per il lavoro sul terreno, è montato su autocarro (Fig. 2 e 3).

Completano l'attrezzatura della squadra sismica: una perforatrice di tipo rotary, automontata (Fig. 4 e 5), per la preparazione dei fori da mina; una autobotte per il trasporto dell'acqua e dell'argilla necessaria per approntare il fango di

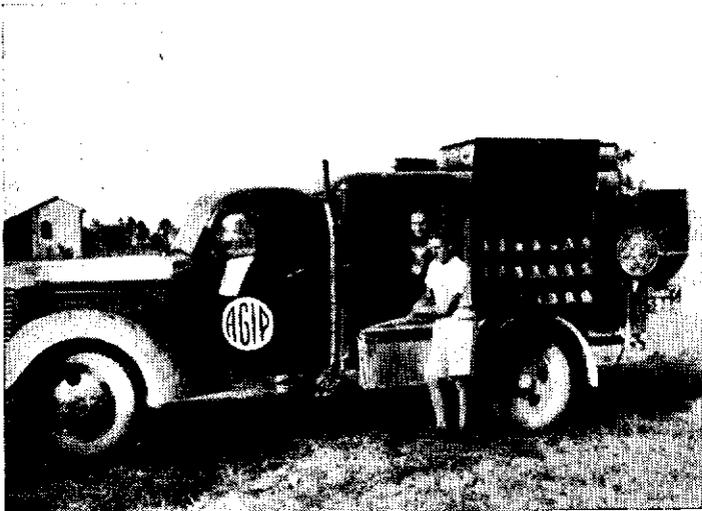


Fig. 2. — Autocarro con l'attrezzatura di registrazione durante l'operazione di sviluppo di un sismogramma.

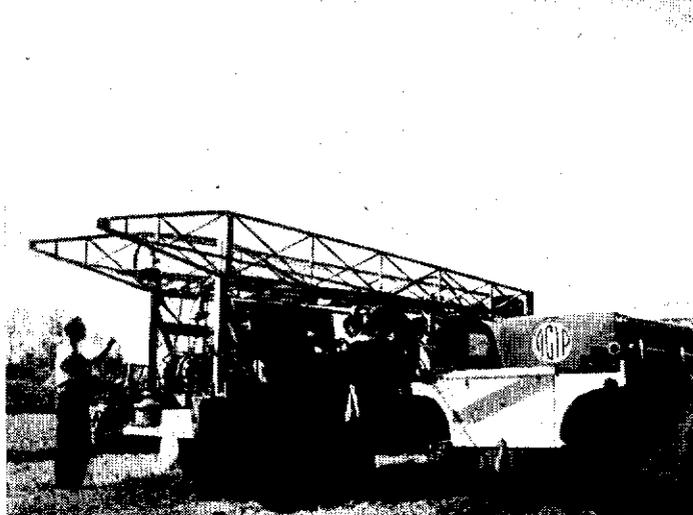


Fig. 4. — Perforatrice automontata ed autobotte.

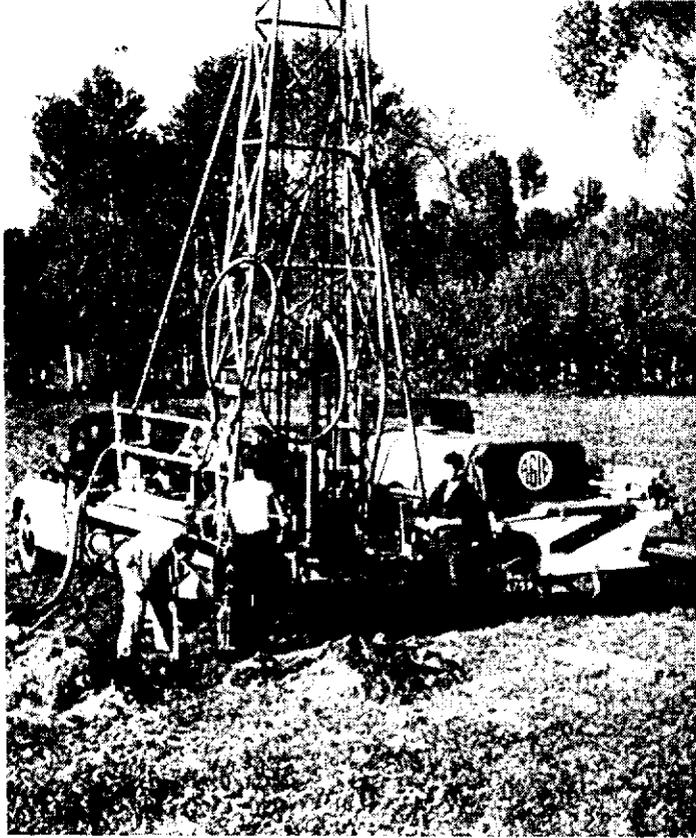


Fig. 5. Perforatrice e autobotte durante la preparazione di un foro da mina.

circolazione da impiegare nella perforazione e per il trasporto delle aste e degli scalpelli da perforazione, dei tubi di rivestimento dei fori da mina e di tutto il materiale occorrente per la perforazione stessa; un autocarro (Fig. 6) infine serve per



Fig. 6. — L'autocarro della stazione di scoppio.

il trasporto dell'esplosivo, del materiale relativo alla stazione di scoppio e dell'acqua occorrente per l'intasamento delle mine.

Con la detta attrezzatura è possibile conseguire un buon rendimento di lavoro: mediamente, quando le condizioni meteorologiche non siano proibitive, vengono infatti utilizzati giornalmente 3-4 fori da mina, effettuando 5-6 postazioni dei sismografi con la registrazione di 15-20 sismogrammi. E ciò malgrado che le condizioni di lavoro non siano sempre ideali: data la intensiva coltura agricola della pianura padana molti perditempi sono causati per evitare, per quanto è possibile, nella misura più scrupolosa — particolarmente nel momento attuale — ogni danno alle coltivazioni.

Fra i vari metodi in uso per l'applicazione del rilievo sismico a riflessione: metodo di correlazione, metodo continuo e metodo di pendenza; si è adottato per ora, nel caso specifico del rilievo della pianura padana, l'ultimo.

Si ha infatti nella pianura padana, come si è già accennato, la presenza di una potente serie di terreni terziari con caratteristiche litologiche molto uniformi: vi è quindi l'assenza di uno o più strati guida, presentanti caratteristiche elastiche ben diverse rispetto a quelle dei terreni ad esso o ad essi strati sovraincombenti. Per tale motivo non avrebbe potuto trovare applicazione il metodo di correlazione. I rilievi in corso non hanno inoltre ancora per scopo di pervenire alla precisazione delle strutture con estremo dettaglio: non è pertanto per ora conveniente applicare il metodo continuo che, se permette di conseguire i maggiori dettagli nel rilievo delle strutture, è d'altra parte molto dispendioso e soprattutto richiede un tempo diverse volte superiore a quello occorrente col metodo di pendenza per rilevare la stessa superficie.

Per quanto riguarda la tecnica di campagna adottata nel metodo di pendenza dalla Sezione geofisica dell'A.G.I.P. si può brevemente esporre quanto segue: i ricevitori vengono disposti sul terreno secondo un determinato allineamento ed il punto di scoppio viene ubicato lateralmente a detto allineamento in modo analogo a quanto è stato esposto da H. Salvatori (2) per il metodo continuo: questa disposizione presenta fra l'altro il vantaggio di evitare le azioni perturbatrici del foro da mina sui ricevitori prossimi ad esso foro. I ricevitori sono collegati fra loro in serie per conseguire, come è noto, il vantaggio di ridurre l'ampiezza delle onde lente superficiali perturbanti e di amplificare invece gli impulsi relativi alle riflessioni: ogni serie è formata da 3 ricevitori così che essendo 12, come si è detto, il numero di « linee » registrate vengono impiegati in totale 36 ricevitori. Gli impulsi che pervengono ad ogni serie di sismografi vengono poi, in parte, portati a sovrapporsi a quelli relativi alla serie di sismografi adiacenti in modo da rendere più evidente, a causa di un leggero

(2) *Henry Salvatori - Mapping faults by the reflection method: Geophysics, Vol. 2, N. 4, 1937.*

trascinarsi delle onde comparanti alle registrazioni, la presenza delle riflessioni. Riguardo a detto artificio i due gruppi di sismografi estremi rimangono indipendenti e ciò allo scopo di non introdurre errori nella valutazione del gradiente di tempo in base al quale viene calcolata, per ogni riflessione, la pendenza dello strato riflettente.

La correzione relativa allo strato alterato superficiale viene apportata determinando, per ogni postazione dei sismografi, potenza e andamento dello strato stesso a mezzo di un piccolo profilo a rifrazione.

Per la maggioranza dei punti di scoppio i sismografi vengono ubicati secondo due allineamenti, normali fra loro, così che è possibile individuare gli stessi strati riflettenti, apparenti sulle registrazioni relative ai due detti allineamenti, e localizzarli quindi nello spazio.

In via di prima approssimazione tuttavia la rappresentazione grafica (vedi Fig. 9, 10, 11 e 12) viene condotta come se i piani contenenti i raggi sismici — partenti dai vari punti di esplosione e arrivanti, dopo essere stati riflessi, ai ricevitori — coincidessero con un unico piano verticale passante per il profilo congiungente i punti di scoppio.

Ora è evidente che con ciò si introduce un errore tanto maggiore quanto più l'allineamento dei sismografi si scosta dalla direzione di massima pendenza degli strati riflettenti e, fermo restando detto scostamento, l'errore aumenta col crescere della pendenza degli strati stessi. L'esperienza ci conforta però nel mostrare che questa rappresentazione — che offre il vantaggio di ridurre al minimo il lavoro di calcolo — e che, come si è detto, viene adottata solo in via di prima approssimazione, raggiunge lo scopo di offrire un quadro

chiaro e sufficientemente preciso delle strutture geologiche esistenti in profondità.

Convieni naturalmente ridurre, per quanto è possibile, il motivo di errore sopra accennato e con tale intendimento i profili sismici vengono ubicati sul terreno, in base ai presupposti geologici o in base a elementi ottenuti con rilievi geofisici di prima ricognizione eseguiti in precedenza, secondo la probabile direzione di massima pendenza degli strati riflettenti. I profili sismici normali a quelli ora detti, ubicati secondo la direzione di massima pendenza degli strati riflettenti, verrebbero a trovarsi allineati con la direzione di strato e quindi — per direzione e pendenza uniforme degli strati riflettenti — si avrebbe il vantaggio che il piano contenente i raggi sismici, pur non coincidendo col piano verticale, sarebbe unico.

Ci sembra utile riportare, nelle figure seguenti, alcuni dei risultati più caratteristici finora ottenuti, nel rilievo sismico a riflessione della pianura padana, allo scopo di illustrare le possibilità del metodo stesso.

La Fig. 7 mostra due sismogrammi con una numerosa serie di riflessioni apparenti anche dopo oltre 4 secondi dell'istante di esplosione ed interessanti quindi (date le velocità medie adottate) profondità dell'ordine di 6.000 metri. Per ogni riflessione viene letto, sul sismogramma, il tempo medio fra l'istante di scoppio e gli istanti di arrivo degli impulsi ai ricevitori ed il gradiente di tempo fra gli impulsi che pervengono ai ricevitori posti ai limiti estremi dell'allineamento sul terreno. Non tutte le riflessioni risultano ugualmente chiare sui sismogrammi e quindi esse vengono classificate, secondo una convenzione adottata dalla Sezione geofisica del-

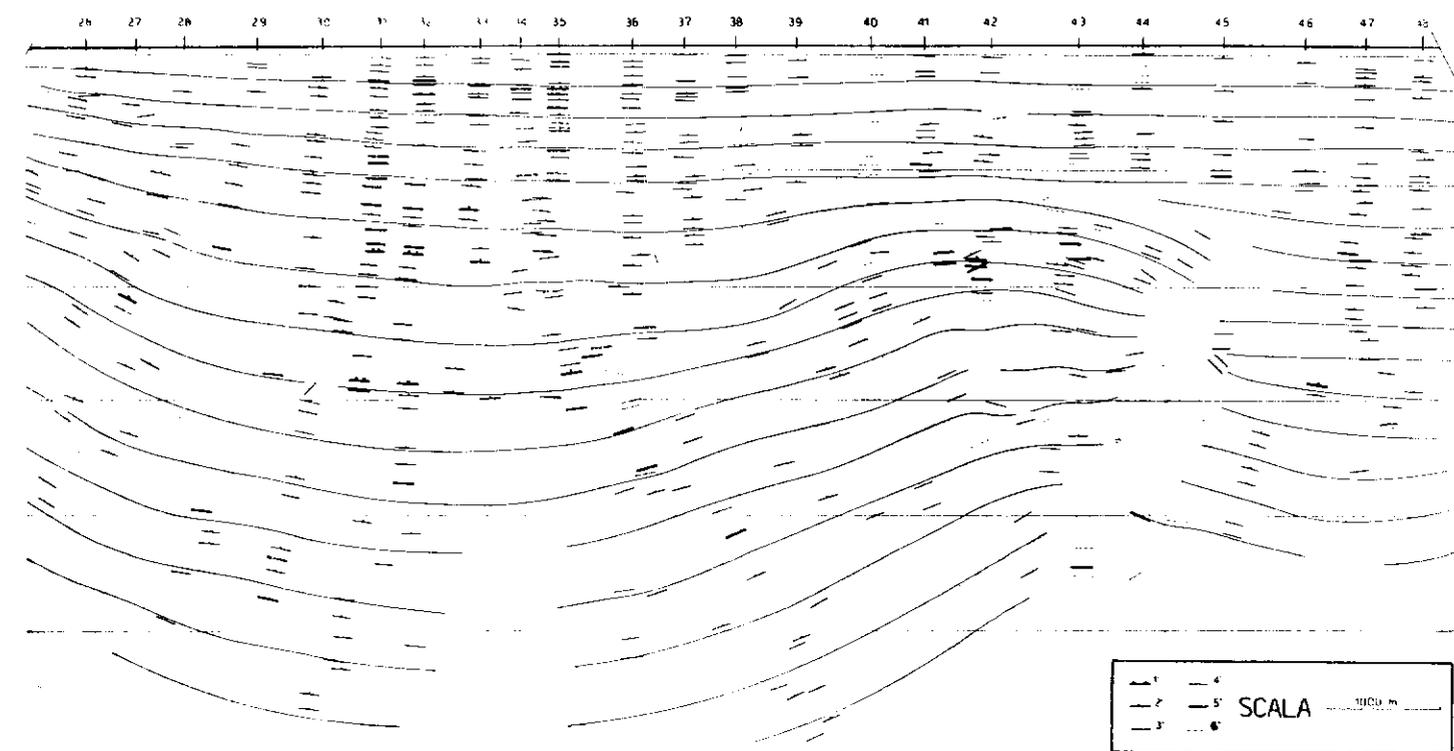


Fig. 9. — Ampia sinclinale e struttura positiva con probabile zona di frattura sul fianco destro.

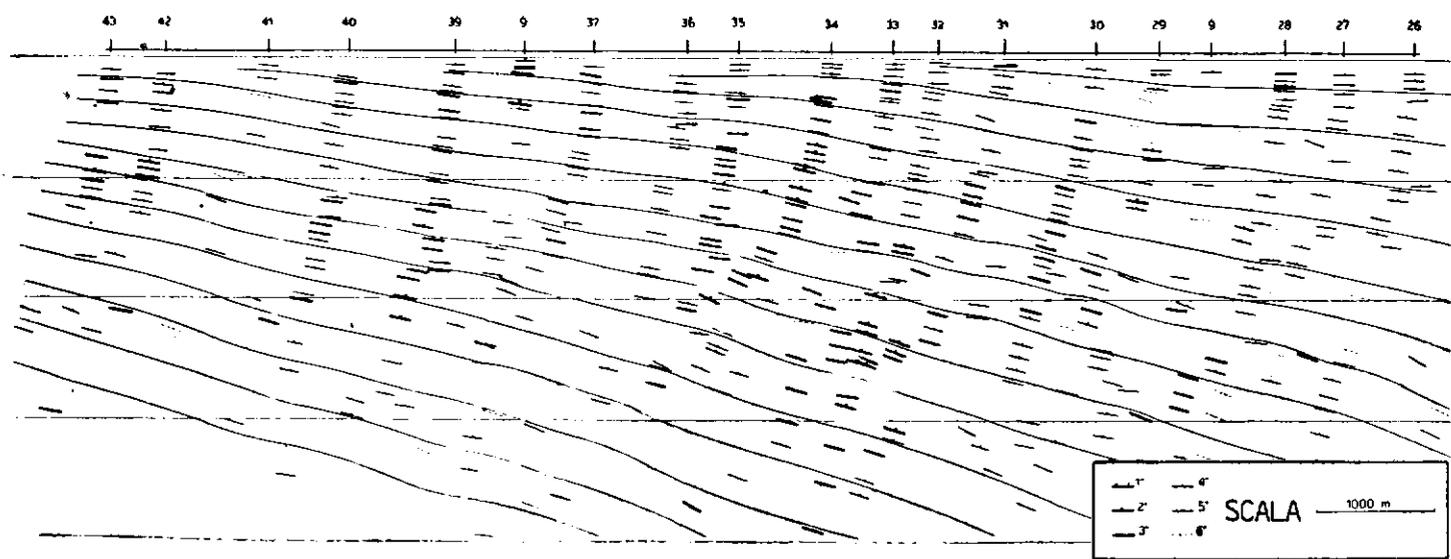


Fig. 10. Monoclinale ad andamento uniforme.

l'A.G.I.P., in 6 gradi che tengono conto della attendibilità delle riflessioni stesse e più ancora della precisione con la quale può essere stimato il gradiente di tempo sopra detto.

Nella Fig. 8 sono riportati due simogrammi registrati per lo stesso punto di scoppio ed identica ubicazione dei ricevitori: la sola differenza è costituita dal fatto che per la registrazione del primo sismogramma sono stati usati circuiti accordati su una banda di frequenza più alta che non per il secondo. Risulta molto evidente come, in accordo con la teoria, le riflessioni relative agli strati più profondi (che appaiono nella parte finale dei sismogrammi) riescano più appariscenti sul secondo sismogramma, dove cioè sono stati impiegati circuiti accordati sulle più basse frequenze. Al contrario sul primo sismogramma sono visibili nella parte iniziale, alcune riflessioni che sul secondo appaiono poco chiare o addirittura irrilevabili.

Le Fig. 9, 10, 11 e 12 mostrano in sezione, e con le limitazioni sopra accennate, alcune strutture rilevate nella pianura padana. In ogni sezione è stata riportata: l'ubicazione dei punti di scoppio — ognuno dei quali ha un numero indicativo — la traccia della superficie del terreno alcune linee orizzontali relative al livello del mare e alle quote negative

di mille in mille metri e le tracce sulla sezione dei piani riflettenti. Tali tracce sono riportate con 6 segni diversi, come è indicato nella leggenda delle figure, a seconda del grado delle riflessioni, come si è detto sopra a proposito della Fig. 7.

Sono state infine tracciate delle « linee di pendenza media » (a linea continua e sottile nelle Fig. 9, 10, 11 e 12). A tali linee di media pendenza non si pretende evidentemente di dare alcun significato stratigrafico; esse hanno solo lo scopo di dare maggior evidenza all'andamento strutturale. Solo quando nella zona rilevata vengano effettuati dei pozzi — che permettano di mettere in luce la serie di terreni esistenti in profondità — le linee di media pendenza potrebbero venire guidate secondo orizzonti stratigrafici direttamente determinati dalle perforazioni.

Dove l'accordo fra le diverse riflessioni non è molto stretto — e ciò avviene soprattutto per il fatto che, come si è già accennato, i piani, contenenti i raggi sismici incidenti e riflessi, per ogni riflessione, si possono scostare anche notevolmente dal piano verticale di figura — l'andamento delle linee di media pendenza viene condotto in modo maggiormente soggettivo dall'interprete. Dove però non esistono fratture nelle strutture rilevate e dove quindi la continuità delle

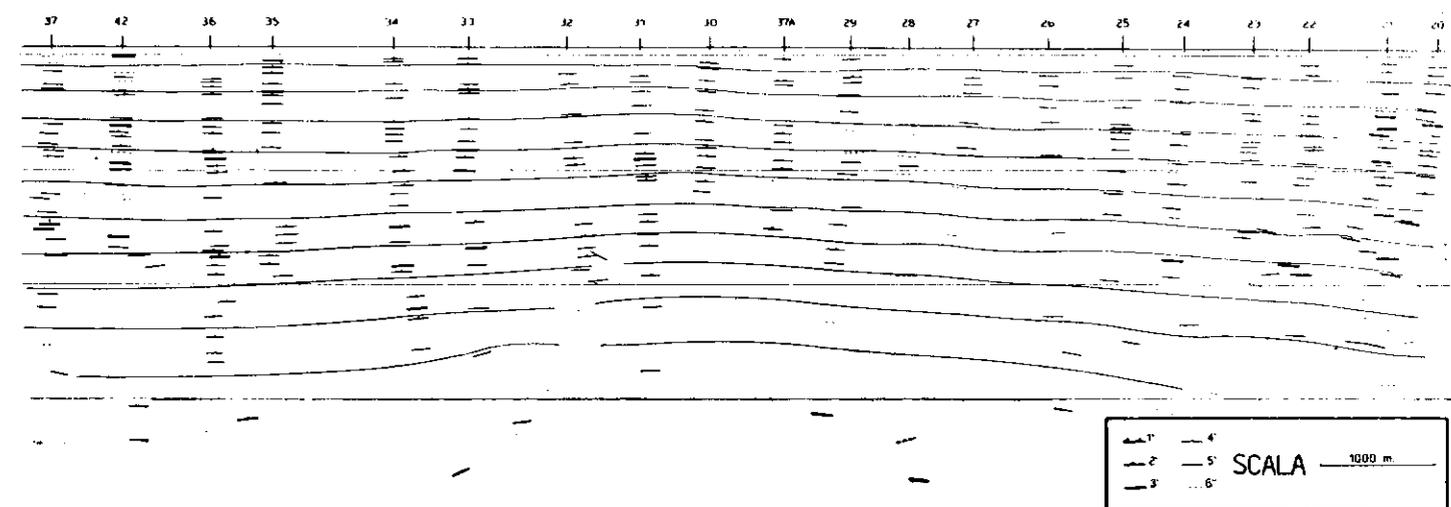


Fig. 11. — Struttura positiva estesa e regolare con lieve sollevamento.

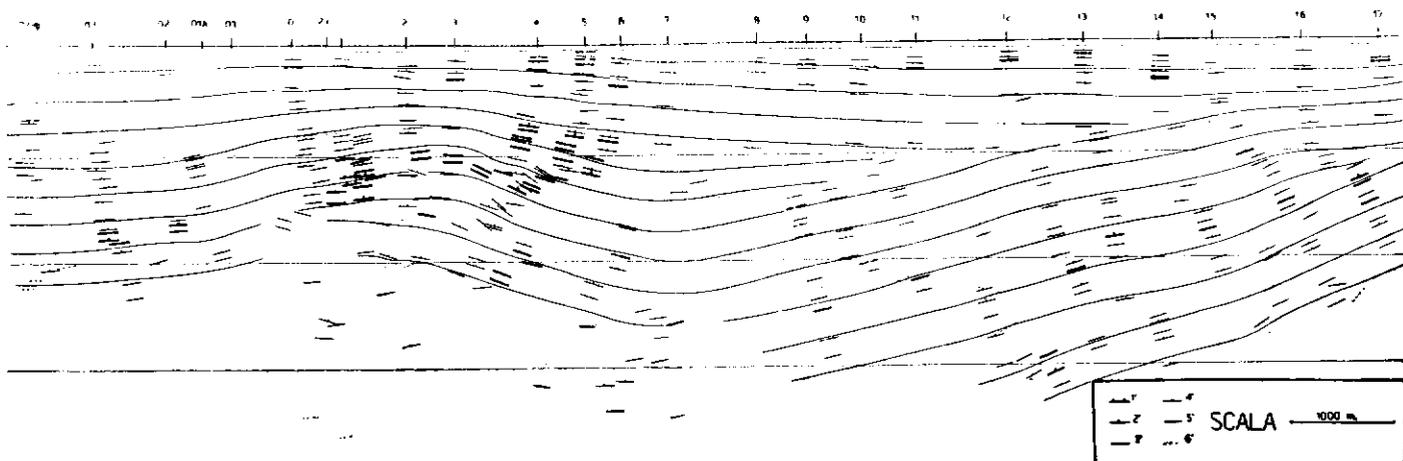


Fig. 12. - Struttura positiva complessa e, sulla destra, chiaro esempio di trasgressione.

linee di media pendenza può essere mantenuta, l'impronta soggettiva dell'interprete viene a risultare più attenuata quando i rilievi vengono condotti per profili a maglie chiuse poichè allora le eventuali differenze in profondità, risultanti per le varie linee di media pendenza ad ogni chiusura di maglia, devono venire corrette ed equamente compensate lungo il perimetro della maglia stessa.

Per ogni linea di media pendenza si può evidentemente ricavare una rappresentazione planimetrica delle strutture esistenti in profondità. Tale rappresentazione planimetrica, che servirà poi per stabilire la eventuale ubicazione dei sondaggi di ricerca, viene però condotta tenendo presente la effettiva posizione nello spazio dei piani riflettenti e per essa si fa quindi ricorso a tutti gli elementi che il rilievo sismico ha potuto offrire.

Finora, col metodo sismico a riflessione, sono stati rilevati nella pianura padana oltre 1 000 Km<sup>2</sup> di terreno mettendo in evidenza numerose strutture favorevoli all'adunamento degli idrocarburi. Di tali strutture — due sole delle quali presentano affioramenti visibili in superficie — alcune fra le più vistose e meno profonde, erano già state poste in luce dal rilievo gravimetrico eötvossiano compiuto dall'A.G.I.P., per la stessa zona ora rilevata sismicamente, fra il 1927 ed il 1935.

La maggior parte di dette strutture era però completamente sconosciuta e quindi la loro localizzazione è da attribuire interamente alla sismica riflessione. Soprattutto per lo studio delle strutture più profonde si è potuto così constatare in modo evidente, nel caso specifico del rilievo geofisico della pianura padana, le maggiori possibilità della sismica a riflessione rispetto ad altri metodi geofisici.

Riguardo al ritrovamento degli idrocarburi nelle strutture scoperte dalla sismica a riflessione la parola definitiva spetta evidentemente solo alla perforazione di ricerca (3): è quindi da augurarsi che, cessati i motivi contingenti che ne

limitano ora l'applicazione, essa possa esplicarsi, sia per numero dei pozzi che per la loro potenzialità, in maniera tale da risolvere il problema della presenza o meno del petrolio, in grandi quantità, nel nostro paese.

L'AGIP prosegue intanto nel rilievo delle strutture esistenti in profondità che possono presentare interesse per la ricerca petrolifera sia utilizzando i mezzi strumentali ora a disposizione, sia promuovendo gli studi atti a migliorare le attrezzature esistenti — interessando a tale fine anche l'industria nazionale — in modo che la ricerca geofisica applicata alla esplorazione petrolifera possa venire condotta secondo i metodi più progrediti e con le tecniche più efficienti.



ING. G. OLIVETTI E C. S. A. - FIRENZE

(3) La ricerca diretta degli idrocarburi, malgrado i risultati incoraggianti ottenuti con alcuni metodi — particolarmente col metodo della analisi chimica del suolo — non è ancora uscita dallo stato sperimentale.

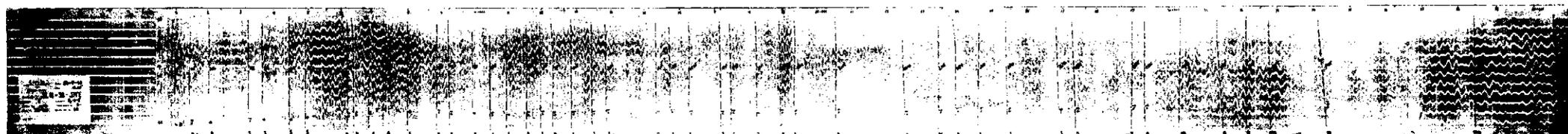
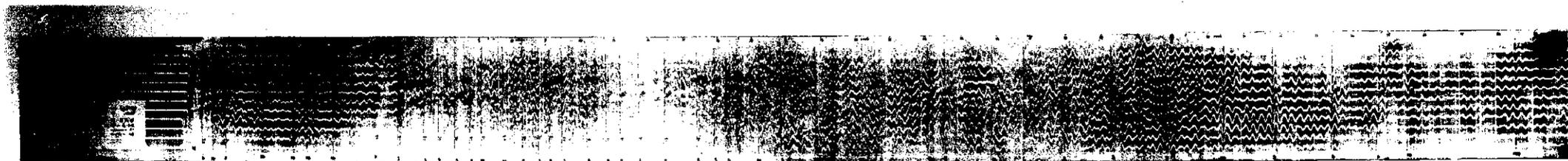


Fig. 6. Due tipici spettrogrammi ottenuti nella pianura padana.

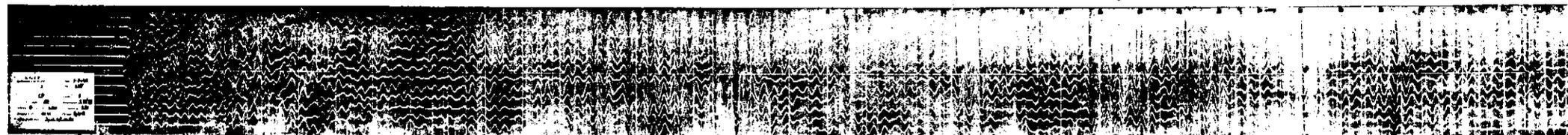
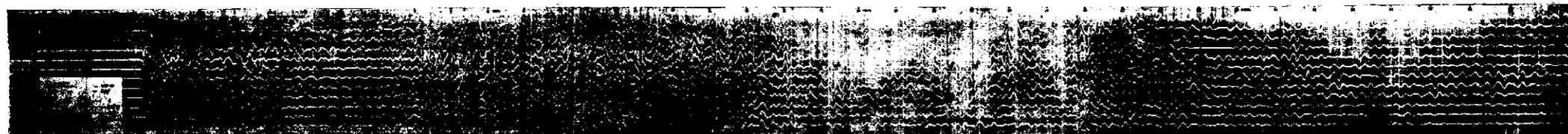


Fig. 7. Due spettrogrammi ottenuti per la stessa ubicazione dei ricevitori usando circuiti accordati su due diverse bande di frequenza.