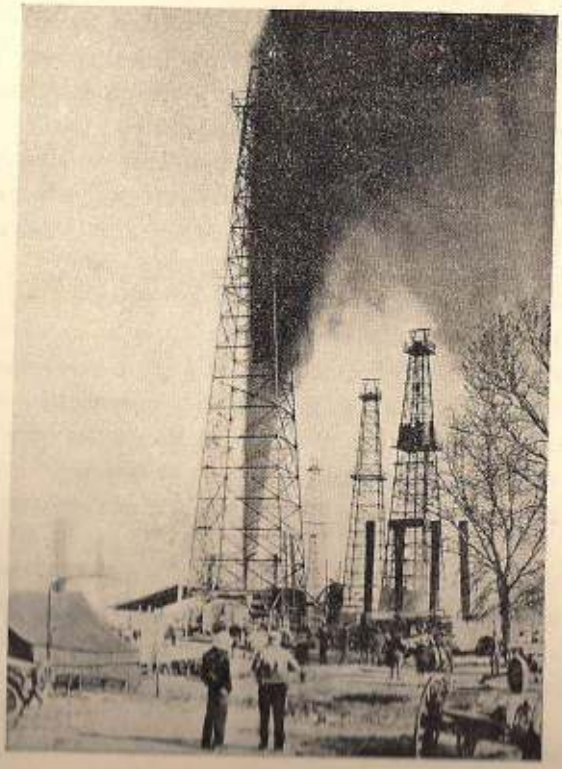
SNR
116
1952

RAMIRO FABIANI

PETROLIO E METANO

RICERCA ED ESTRAZIONE
CON CENNI SULLA PRODUZIONE MONDIALE



Estratto dal

TRATTATO DI GEOLOGIA

di

RAMIRO FABIANI

ISTITUTO GRAFICO TIBERINO
Roma - via Gaeta 14
1952

PREFAZIONE

L'interessamento per gli studi e le ricerche degli idrocarburi, rimasto a lungo ristretto a una limitata cerchia di specialisti, s'è improvvisamente destato e con grande rapidità diffuso anche fra il pubblico, in seguito ai successi delle esplorazioni effettuate in questi ultimissimi anni in Italia e allo sviluppo sorprendente che — quasi di pari passo con la produzione — hanno assunto le utilizzazioni nei più svariati campi dell'idrocarburo gassoso — il metano — che solo ora, da noi, si è scoperto in quantità veramente cospicua. Ma non per questo è rallentata la ricerca dell'idrocarburo liquido — il petrolio — che un tempo costituiva l'obiettivo unico quando il gas era anzi tenuto pressoché in dispregio.

In sostanza, i problemi e i metodi di ricerca sono gli stessi e si compenetrano intimamente. Divergono in vario grado nella coltivazione dei giacimenti e nelle attrezzature di trasporto e di distribuzione, in dipendenza anche dalle diverse possibilità di più o meno diretto impiego.

Che l'importanza del problema generale e la complessità dei problemi minori che lo compongono, nonché l'interessamento per i procedimenti delle prospezioni e delle esplorazioni meccaniche, vadano entrando nella coscienza anche dei profani è ottima cosa, ma è necessario, in un ambito più ristretto, che si diffonda la conoscenza scientifica e tecnica dei problemi e dei metodi medesimi, specialmente tra gli allievi delle scuole, sia scientifiche sia professionali.

Lo sviluppo già in atto degli studi e delle ricerche, dalla Pianura Padana alla Sicilia, rende infatti indispensabile un'adeguata preparazione nei vari rami della scienza e della tecnica per far fronte alla richiesta di personale in un campo altamente specializzato.

E poiché una parte fondamentale, soprattutto nella fase

iniziale della ricerca, spetta alle Scienze Geologiche, ho creduto utile svolgere in un'apposita Appendice, forzatamente concisa, come complemento del mio « Trattato di Geologia », ch'esce in questi giorni, quanto è basilare conoscere per orientarsi nella vasta e multiforme materia della ricerca petrolifera.

Se l'accennata Appendice è dedicata più specialmente agli allievi universitari che si laureano in « Scienze Geologiche » e come guida a quelli che seguono il mio corso di « Conferenze sulla Geologia del Petrolio », il presente opuscolo — che riproduce sostanzialmente tale Appendice — si propone lo scopo di avviare anche le persone che non hanno cultura geologica a formarsi almeno un'idea di un argomento di viva attualità e di alto interesse pel nostro Paese.

Il lettore che desiderasse approfondire le sue conoscenze avrà larga scelta di trattati recentissimi e di opere di consultazione nell'elenco bibliografico riportato alla fine.

RAMIRO FABIANI.

Roma, Università degli Studi,
Marzo 1952.

PREMESSA

La prima metà del nostro secolo, appena sorpassata, ha visto affermarsi e svilupparsi su scala superiore ad ogni previsione l'impiego in pace e in guerra dei prodotti petroliferi, tanto che si può definirla l'« èra del petrolio » o, come spesso si usa, l'« èra dell'oro nero ». Quanto ancora questa materia prima potrà tenere il campo non è dato presumere, giacché si vive in un periodo in cui il progresso ha assunto ritmo esplosivo. Comunque, per rapidi che possano essere l'avvento e la generalizzazione delle applicazioni pratiche della nuovissima ultrapotente forma d'energia offerta dalla fisica nucleare, crediamo non sia molto vicino il giorno del tramonto del petrolio, neppure nei suoi impieghi per forza motrice, ché, quanto a materia prima per l'estrazione di una serie, che sembra senza fine, dei più svariati prodotti, quel giorno è certo assai lontano. A riprova basta considerare come aspra e serrata sia sempre la lotta internazionale per l'accaparramento dei campi petroliferi noti e la ricerca di nuovi, e come scienziati e tecnici di ogni paese non si diano tregua nell'escogitare nuovi e sempre più affinati metodi e strumenti di esplorazione e apparecchiature sempre più efficienti per sondare profondamente il sottosuolo in qualsiasi formazione geologica e in qualsiasi clima e latitudine.

Come vedremo, la Geologia, e non soltanto nelle indagini preliminari, ha una parte preminente. Oggi però, il geologo è sorretto nei suoi compiti da svariati mezzi che altre scienze gli forniscono.

La materia che ci accingiamo a trattare è di tale vastità e complessità, che dovremo limitarci ai suoi aspetti essenziali, senza pretendere anche per questi di poter dare in genere molto più di un'idea.

Capitolo Primo

DEFINIZIONE E CENNI SUI CARATTERI GENERALI DEL PETROLIO [1]

Sotto il nome di petroli si possono comprendere tutti gli idrocarburi naturali — gassosi, liquidi o solidi — che si trovano entro le rocce. Nell'uso corrente però il nome *petrolio* è riservato a quelli liquidi, mentre *gas naturali* e *bitumi* s.s. o *asfalti* son detti rispettivamente quelli gassosi e quelli solidi. Gas, petroli e cere minerali, cioè ozocheriti, non hanno subìto ossidazione, a differenza degli asfalti, i quali perciò vengono pure chiamati *oxibitumi*.

I petroli allo stato naturale (detti anche « nafte » dal medo *nafata*, gocciolare, colare, gr. νάφθα [2]) presentano caratteri fisici assai vari. Hanno colore variabile: da giallo-verdastro a nero per riflessione, da giallo-ambra a rosso bruno per trasparenza; ciò dipende dalla fluorescenza, proprietà utilizzata per scoprire, in luce ultravioletta, anche minime quantità di petrolio. La densità [3] è pure assai variabile, poiché da un minimo di 0,73 può giungere e perfino lievemente superare 1 (media a 15°C, 0,86). Del pari la viscosità presenta tutta una gamma da tipi fluidissimi ad altri estremamente viscosi; il gas disciolto e la temperatura influiscono sulla viscosità, diminuendola. Il punto di ebollizione può variare da 74° a 170° e la temperatura d'infiammabilità dei vapori da 0° a 100° ecc.

Caratteristica è anche la proprietà della polarizzazione rotatoria (con deviazione del piano di vibrazione a destra), fenomeno attribuito alla presenza di derivati dalla colesterina.

Chimicamente i petroli hanno pure costituzione molto varia, risultando da una mescolanza di numerosissimi idrocarburi con tracce di solfo, azoto, fosforo, ossigeno. Il solfo può tuttavia entrare fino al 2% (es. Iraq) e anche oltre il 4% (Messico).

La forte varietà di costituzione determina, naturalmente, la grande varietà dei

[1] Per notizie complete si rimanda ai trattati di Chimica organica e tecnologica.

[2] Nomi correnti in alcune lingue: petrolio greggio o nafta; pétrole brut (fr.); crude oil o petroleum (ingl., am.); Erdöl (ted.); titei (rom.); petróleo (sp.).

[3] Spesso non si fa differenza tra densità e peso (o gravità) specifico, il che vale se la prima si riporta al peso in g. per cm^3 e il secondo al rapporto fra il peso di un dato volume e quello di un egual volume di H_2O distillata a 4°C. Negli Stati Uniti si usa per la gravità la scala A.P.I. (American Petroleum Institute). Ne daremo in seguito la definizione e il ragguaglio nell'elenco delle unità di misura usate dagli americani e raffrontate con quelle del sistema metrico decimale.

caratteri fisici. Ciononostante, se si considerano gli idrocarburi che più frequentemente entrano come parte predominante nella costituzione del maggior numero dei petroli, questi si possono per semplicità riportare ai tre gruppi fondamentali seguenti:

a) *Petroli formenici* o *metanici* o *paraffinici*. Spettano agli idrocarburi saturi della serie del metano C_nH_{2n+2}.

Dai tipi gassosi [1] a temperatura a pressione ordinaria (CH_4 ecc.), passano a tipi liquidi, dal pentano C_5H_{12} al pentadecano $C_{15}H_{32}$, e infine a pastosi o solidi (paraffine) dall'esadecano $C_{16}H_{34}$ all'eptacontano $C_{70}H_{142}$.

Vi appartengono molti petroli americani, es. Pennsylvania, Ohio, Oklahoma, Texas, ecc. e alcuni europei, es. Galizia e molti di quelli della Romania (del Meotico, Miocene superiore, di Moreni, Boldesti, ecc.). La *paraffina* solida da 1 o 2% (U.S.A.) può giungere a 6% (Russia) e perfino a 10% (Romania).

b) *Petroli naftenici*, costituiti cioè di idrocarburi ciclici saturi naftenici, ossia del gruppo C_nH_{2n}, poveri di paraffina (<1,5%). Meno volatili, distillano a temperature più elevate dei precedenti. Sono rappresentati a Bacu (penisola d'Apsceron sul Caspio), nei giacimenti a nord del Caspio, in quelli del Daciano (Miocene superiore) romeno, in California, Messico, Sud-America. Secondo D. C. Barton, avverrebbe una trasformazione da oli naftenici a oli paraffinici.

c) *Petroli aromatici*, formati da idrocarburi ciclici della serie benzenica C_nH_{2n-6}. Paraffina solida scarsissima (meno del 0,5%) Entrano con alta percentuale (fino al 40%) nei petroli delle Indie Orientali, es. di Borneo.

Genesi del Petrolio

Nel secolo scorso ha predominato l'ipotesi dell'*origine inorganica* del petrolio, dopo che M.P. Berthelot (1866) aveva ottenuto degli idrocarburi del petrolio, facendo agire l'acido carbonico su metalli alcalini ad alta temperatura e in presenza d'acqua. D.J. Mendelejeff (1877) convalidò l'ipotesi, ammettendo che il petrolio si sarebbe formato a profondità nel sottosuolo per azione del vapore acqueo sui carburi metallici. Ora questa origine viene anche detta *abissale* [2].

Poco più di mezzo secolo dopo, l'ipotesi si ripresenta, non diversa nel concetto base della inorganicità, ma del tutto nuova nel punto di partenza, che solo in parte può immaginarsi dal titolo della pubblicazione *Cosmic genesis of petroleum* di W.H. Jeffrey, che primo ha formulato l'ipotesi nel 1933. Il petrolio sarebbe dunque derivato da un'evoluzione di idrocarburi nell'interno della Terra, a lor volta derivati da composti assai semplici (es. CH), la cui presenza è rico-

[1] Nei così detti « gas naturali » predomina in genere il metano CH_4, al quale, secondo la provenienza (si vedrà in seguito), possono associarsi etano e propano e inoltre azoto, anidride carbonica, idrogeno solforato ed Elio.

[2] W. L. Russell, *Principles of Petroleum Geology*, Mc Graw-Hill, New York, 1951.

nosciuta, mediante l'analisi spettroscopica, nel Sole, nelle comete e in molte stelle, e che hanno fatto parte della massa terrestre fin dalla sua origine dal Sole. Questa ipotesi è stata oggetto d'ampio sviluppo recentemente da parte del geofisico C.E. VAN ORSTRAND nell'articolo: *Cosmic Origin of Oil and Gas* (World Oil, nov. 1948). Per quanto genialmente elaborata, con l'appoggio di dati forniti dalla Vulcanologia, dalla Geofisica e dall'Astrofisica, anche l'ipotesi dell'origine inorganica del petrolio concepita su queste nuove basi non può sottrarsi ad alcune fondamentali obiezioni. Ed invero — oltre al fatto che la complessità e varietà di costituzione chimica del petrolio difficilmente potrebbero conciliarsi coll'origine minerale — se esso provenisse dall'interno della Terra, si dovrebbe incontrarne accumuli sempre più frequenti e cospicui man mano che si scende in profondità nel sottosuolo e soprattutto in corrispondenza delle formazioni di origine andogena. In realtà è il contrario che si verifica. S'aggiunga che non si spiegherebbe la proprietà della *polarizzazione rotatoria*, che il petrolio naturale normalmente presenta, a differenza degli idrocarburi ottenuti per sintesi come nel processo BERTHELOT. Il fenomeno è attribuito alla presenza della colesterina, che non può avere se non origine organica, alla pari delle porfirine derivate dalla clorofilla e delle piridine, che pure si trovano nei petroli, mentre non potrebbero esistervi anche per un'altra circostanza, cioè che, restando distrutte a temperatura di circa 200 °C, non ve ne sarebbe certo traccia, giacché la genesi endogena del petrolio implicherebbe in ogni modo il suo passaggio per temperature certo più elevate, anche se formatosi a non eccessive profondità.

Un'ipotesi, quasi di compromesso, di origine *semi-inorganica* del petrolio, formulata da GAEDICKE e ricordata ultimamente da E. N. TIRATSOO [1], cade press'a poco sotto le stesse obiezioni.

L'opinione predominante fra i geologi è dunque quella della *genesi organica*, quali possano essere i processi che dalle sostanze organiche portano alla costituzione del petrolio. Un primo orientamento venne dal fatto che gli accumuli più diffusi e importanti si trovano in corrispondenza alle formazioni sedimentarie marine di modesta profondità.

[1] E. N. TIRATSOO (*Petroleum Geology*, London, 1951) riferisce che GAEDICKE ricorre all'azione dei raggi gamma emessi dalle sostanze radioattive, che, scomporrebbero l'acqua d'infiltrazione profonda. L'H si combinerebbe col carbonio, di origine inorganica ed organica, generando così gli idrocarburi.

LAURENT fino dal 1863 ed ENGLER dal 1888 avevano ottenuto diversi tipi di idrocarburi e anche petrolio, mediante distillazione ad *alta temperatura* di oli e grassi vari animali e vegetali e da quei fanghi di acque stagnanti, costituiti da alghe monocellulari e da spoglie di tanti altri organismi, chiamati *sapropeli*. Anche i caratteri ottici corrispondevano a quelli dei petroli naturali. Senonché oggi non si può ammettere che anche in natura il petrolio si sia formato per decomposizione di sostanze organiche in presenza di *alta temperatura*, fra l'altro per quanto osservato poco fa, cioè che in tal caso non potrebbe conservare le porfirine e le piridine in esso presenti. Vari studiosi (D.C. BARTON, W.E. PRATT, A. TREIBS, ecc.) hanno anzi provato che l'ambiente originario dei petroli non potrebbe aver superato i 100 °C. A prova che il petrolio non può essersi formato ad alte temperature, si cita pure il rinvenimento di *batteri viventi* entro petroli, pei quali era esclusa assolutamente la provenienza esterna, in U.S.A. e nell'U.R.S.S., fino dal 1926.

Oltre all'alta temperatura venne anche invocata l'*alta pressione*, come pure la presenza di catalizzatori. Ma del pari tali condizioni devono essere escluse dai fattori genetici (v. ad es. C. C. LALICKER, *Princ. of Petrol. Geol.*, 1949, pag. 70 e TIRATSOO, Op. c. pag. 32). Soprattutto il TIRATSOO esamina a fondo anche le teorie *radioattive* (ROGERS, ORSTRAND ed altri), che postulano, ad es., l'azione dei raggi X sul metano derivante dalla decomposizione delle sostanze organiche, e conseguente origine di petrolio liquido. Recentemente, in quest'ordine di ipotesi, viene data importanza anche all'azione dei raggi β e γ emessi dal K40, ma, secondo lo stesso TIRATSOO, il potassio potrebbe tutt'al più avere un effetto secondario sul petrolio già emigrato (Op. c. pag. 40).

Scartate le varie ipotesi testè accennate, almeno dalla considerazione di fattori predominanti, attualmente prevale la teoria che a generare i petroli abbiano la parte essenziale i *batteri* e precisamente i *batteri anaerobii*. Il processo avrebbe un certo parallelismo con quello della carbonificazione, anzi alcuni Autori vorrebbero quasi identificarlo, almeno in una fase iniziale, ma non vogliamo entrare su questo argomento già altra volta brevemente svolto.

Com'è indispensabile, perché avvenga la trasformazione dei vegetali in carboni, che i loro resti siano rapidamente sottratti all'azione dell'ossigeno, altrettanto lo è per le sostanze organiche — materie grasse, albuminoidi, eventualmente cellulosa — affinché in luogo della

distruzione (da parte di tanti altri organismi, fra i quali i batteri aerobii) ne avvenga quella iniziale trasformazione, donde poi in definitiva risulterà un petrolio. Secondo alcuni Autori l'azione batterica si svolgerebbe in una prima fase e darebbe origine a quello che TIRATSOO chiama « proto-petrolio ». Per altri l'intervento batterico non solo proseguirebbe fino al completamento del processo, ma avrebbe una parte assai importante anche dopo, cioè nel favorire la migrazione, l'accumulo nelle rocce porose e perfino l'erogazione del petrolio dai giacimenti raggiunti dai pozzi. Queste vedute si devono specialmente a C. E. ZOBELL [1].

L'ambiente, in cui le sostanze organiche derivate dalle spoglie di animali e di vegetali, possono trovare condizioni meglio adatte per il processo naftogenico è quello acqueo più o meno salato, preferibilmente stagnante o poco mosso e su fondi non troppo vicini alla superficie, così da render più difficile o impossibile, per scarsità o mancanza d'ossigeno, la vita agli organismi distruttivi e consentire quella dei batteri anaerobii [2]. Tale ambiente può essere offerto da certe baie tranquille e in particolare da paludi e lagune costiere, comunicanti col mare, ma protette dalle onde per la presenza di cordoni littorali, sicché le acque vi ristagnano ed è oltremodo facilitata la formazione di fanghi sapropelici. La salinità poi ha una parte importante, favorendo, tra l'altro, la saponificazione dei grassi, nei processi di trasformazione delle materie organiche. Queste però, pure accumulandosi sul fondo frammiste a sedimenti inorganici anche fini e finissimi come le argille, potrebbero egualmente venire decomposte e distrutte prima d'aver raggiunto uno stadio adeguato della trasformazione in idrocarburi, se la massa complessiva rimanesse relativamente permeabile, quale resterebbe con l'argilla - Na del deposito in acqua di salinità invariata. Senonché, l'ubicazione costiera o prossima alla costa delle lagune e delle baie, favorisce l'arrivo, sia pur discontinuo, di acque dolci dal lato di terra, il che ha la massima importanza, pel fatto che esse provocano, per idrolisi, ulteriore dispersione delle argille sodiche, trasformando il sedimento argilloso da relativamente permeabile ad impermeabile, condizione indispensabile per la costituzione definitiva e la conservazione di un qualsiasi giacimento petrolifero *primario* [1].

[1] ZOBELL C. E., *The Role of Bacteria in the formation and transformation of Petroleum hydrocarbons.* « Science » N. Ser. CII, 1945. — *Bacterial activities and the origin of oil.* « World Oil ». June 1950.

[2] Da tempo si cita come ambiente tipico, favorevole alla formazione di petrolio per le sue condizioni morfologiche, fisico-chimiche e biologiche, il Mar Nero (MACOVEI V. G., *Les Gisements de pétrole*, 1938). In questo mare infatti, ancora però a bassa salinità, la vita organica può svolgersi solo nelle zone più superficiali, perché a —200 m, al massimo, di profondità non c'è più ossigeno e a —300 è presente l'idrogeno solforato, che aumenta via via verso il fondo (—2400 m). I materiali risultanti dalle spoglie organiche accumulantisi sul fondo trovano favorevole ambiente per formare un sapropele ed essere trasformati ad opera dei batteri anaerobii in prodotti bituminosi. « Facies euxinica » (*Pontus Euxinus* = Mar Nero) venne detta da VAN DER GRACHT quella derivata da sedimenti depostisi in acque sature di H_2S (LANDES K. K., *Petroleum Geology*. New York, 1951, pag. 144).

ROCCE MADRI - ROCCE SERBATOIO - MIGRAZIONI DEGLI IDROCARBURI.

S'è detto espressamente « giacimento petrolifero *primario* », quello risultante dal processo genetico testè descritto per distinguerlo dai giacimenti *secondari*.

Il sedimento ove si costituisce l'orizzonte *primario*, che abitualmente, per quanto accennato, è di natura argillosa, si designa col nome di *roccia madre* (*roche-mère*, *source rock*). Esso generalmente, a diagenesi completata, diverrà un argilloscisto per lo più di colore scuro o anche nero. Sarà più o meno bituminoso, ma raramente fornirà direttamente petrolio liquido e in ogni caso in quantità modestissime.

I grandi accumuli di oli e di gas non si trovano infatti nelle rocce madri (assai spesso di oltremodo difficile identificazione), bensì in altre rocce di orizzonti stratigraficamente anche diversissimi per posizione ed età geologica da quelli primari. Tali rocce ove sono localizzati i petroli in giacimento *secondario*, vengono dette *rocce-serbatoio* o *rocce-magazzino* (*roches réservoir*, *reservoir rocks*). Si tratta

[1] La materia prima organica è, forse in prevalenza, fornita dalle spoglie degli organismi planctonici vegetali e animali, anche microscopici, come ad es. le Diatomee, alle quali si aggiungono piccoli crostacei, protozoi, flagellati ecc. Ma possono contribuire anche alghe macroscopiche, pesci ecc.

Se a prima vista può sembrare strano che dal plancton possano derivare masse così cospicue da dar ragione di accumuli di petroli talora ingenti, basta considerare che anche attualmente si assiste in certi periodi dell'anno al fenomeno di plaghe enormi del mare occupate da « strati » di organismi planctonici e si sa di ecatombi di pesci, specie ai limiti fra correnti marine calde e fredde. Inoltre è noto che di Diatomee e di altri microorganismi sono formate potentissime stratificazioni, ad es. in California, e, in piccola scala, anche in Sicilia (diatomiti, tripoli, spesso bituminosi), e che spoglie di pesci e di rettili sono abbondantissime negli scisti bituminosi di età assai varie.

Oltre a gas anche petrolio può trovarsi entro rocce derivate da sedimenti non marini (v. esempi in LANDES, op. c., pag. 171).

di rocce più o meno *porose*, alle quali sono pervenuti per *migrazione*, partendo dalle rocce-madri, gli idrocarburi e le hanno impregnate, perché all'uopo si prestava la loro natura porosa e perché il tragitto per giungere ad esse era favorito da condizioni di *permeabilità* delle rocce interposte.

Vedremo come gli stessi idrocarburi han potuto rimanere nell'orizzonte poroso ove han trovato ospitalità, ma prima conviene precisare il significato di *porosità* e di *permeabilità*, condizioni importantissime anche per altre ragioni, che diremo in seguito, oltre quelle che riguardano il fenomeno generale della migrazione.

Una roccia incoerente (es. sabbiosa) o consolidata (es. un'arenaria, che è sabbia cementata), si dice *porosa* in quanto nella sua massa esistono dei vuoti, dei pori, che possono avere dimensioni minime o anche assai vistose (da argille, argille sabbiose, sabbie finissime, arenarie di grana più o meno minuta, più o meno cementate, conglomerati, a rocce varie con cavernosità diffuse, in genere di modeste, talora anche di grandi dimensioni). Com'è naturale, tali vuoti possono essere occupati da aria o da acqua, le quali possono essere sostituite da gas, es. Metano, o da petrolio liquido.

Il volume corrispondente ai vuoti di una roccia porosa può variare dal 5 al 40%. Un valore frequente è il 15%. La forte differenza fra il calibro degli elementi che formano una roccia porosa, ne abbassa la porosità.

Una roccia (o un complesso di rocce) si dice *permeabile*, se, attraverso ai pori di qualsiasi origine ch'essa presenta, è possibile il *passaggio di fluidi*, in altre parole se ha proprietà *drenanti*. Una roccia può quindi essere porosa, ma non permeabile, perché è anche necessario che esistano comunicazioni tra i pori, onde i fluidi possano attraversare la roccia stessa. Ad es. certe rocce a tessitura vescicolare (alcune lave tipicamente) sono porose, ma non permeabili in funzione della loro porosità, essendo i vacuoli isolati fra loro e stagni.

Per contro una roccia assai compatta e quindi, se integra, impermeabile (come alcuni calcari e alcune rocce ignee o scistose) diviene permeabile se, per effetto di fenomeni vari (meccanici di origine tettonica, fisico-chimici per dissoluzione ecc.) presenta fessurazioni o cavernosità.

Presentano dunque permeabilità *primaria*: in genere le rocce clastiche sciolte o solo fino a un certo punto cementate (sabbie, ghiaie, brecce, arenarie, conglomerati); i calcari madreporici, quelli conchi-

gliari, tipo panchina o *coquina*, ecc.[1]. Hanno invece permeabilità *secondaria* rocce di qualunque specie milonitizzate o comunque fessurate; dolomie e calcari divenuti cavernosi in qualche caso per carsismo, ma in genere perché in origine contenevano gesso o fossili, che acque circolanti hanno disciolti e asportati, lasciando dei vuoti al loro posto ecc.

Tutte le rocce che presentano l'una o l'altra delle condizioni accennate, associando in vario grado *porosità* e *permeabilità*, oltre che *conduttrici dei fluidi* o *drenanti*, potranno essere *rocce magazzino*, il che va tenuto ben presente dal geologo del petrolio.

Migrazione degli idrocarburi. — Abbiamo accennato al fenomeno, per cui gli idrocarburi tendono a sfuggire dalle rocce madri, per trasferirsi, cioè *emigrare*, in altri orizzonti, se le condizioni di porosità e permeabilità di questi lo consentono. Possono così giungere alla superficie del suolo e disperdersi, nelle loro frazioni più volatili, nell'atmosfera, lasciando come prova del loro passaggio impregnazioni e vene o anche gemitii di oxibitumi. Questo caso è frequente, ma, per fortuna, non generale. L'emigrazione può infatti essere fermata dall'incontro con formazioni *impermeabili* (es. argille), che nelle più svariate condizioni, di cui in seguito vedremo alcuni esempi, ostacolandone l'ulteriore fuga, determinano l'arresto e l'accumulo degli idrocarburi nell'orizzonte raggiunto, che diviene pertanto, come pure s'è accennato, l'orizzonte *magazzino* o *serbatoio*. Questa migrazione vien detta anche *primaria*, mentre si denomina migrazione *secondaria* (Tiratsoo), quella che avviene entro la massa dell'orizzonte serbatoio e che determina l'assetto e la reciproca giacitura definitiva dei fluidi nel giacimento mineralizzato, i quali, nel caso generale, sono *gas*, *olio*, *acqua salata*.

[1] Nomenclatura anglo-americana per le principali rocce sedimentarie o stratificate: *sand*, arena, sabbia; *coarse sand*, sabbia grossolana; *sandstone*, arenaria; *gravel*, ghiaia: *pudding stone* o *conglomerate*, puddinga, conglomerato; *clay*, argilla: *clay stone*, argillite; *silt*, melma (argilla e sabbia finissima), *siltstone*, se consolidata; *mud*, fango; *shale*, argilloscisto; *marl*, marna; *chalk*, calcare terroso = *craie* franc.; *limestone*, calcare; *reef limestone*, calcare di scogliera corallina o madreporico; *flint*, *chert*, selce piromaca; *cherty limestone*, calcare selcifero; *chat* è il calcare selcifero, nel quale il calcare è stato sciolto ed è rimasta solo la parte silicea, quindi porosa. Numerosi altri nomi sono simili a quelli italiani (es. *dolomite*, *gypsum* ecc.).

Le sabbie petrolifere sono dette dagli americani *pay sands*, cioè « sabbie che pagano », che ricompensano la spesa della ricerca. *Pay bed*, o, più semplicemente, il « *pay* » nel gergo petrolifero, vuol dire l'orizzonte produttivo in genere.

Cenni sulle cause della migrazione. — Fattore principale della migrazione iniziale si ritiene sia il carico dei sedimenti che si accumulano sopra quello, generalmente argilloso, della roccia madre. Da questa, per la compressione, che tende a sempre più costiparne la massa, i fluidi, gradualmente e fino a un certo limite, verrebbero spremuti fuori, e ciò tanto più agevolmente quanto più elevato è il grado di porosità e permeabilità delle formazioni sovraincombenti. La stessa causa favorirebbe lo spostamento dei fluidi attraverso a queste formazioni, fino al loro eventuale arresto in quella che, soddisfacendo ai necessari requisiti, potrà divenire un serbatoio. Altri fattori devono però concorrere nel fenomeno migratorio. Fra essi la *temperatura* che nelle parti più profonde agirebbe diminuendo la viscosità del petrolio, e accrescendone così la mobilità. Anche il gioco delle *acque sotterranee* (acque di base, artesiane ecc.) potrebbe influire nello spostamento generale, come risulta riflettersi in alcuni casi nel comportamento dei giacimenti già formati. Parte notevole hanno infine i movimenti tettonici, i quali determinano nelle serie stratificate condizioni svariatissime di forma e di giacitura, dalle quali dipendono lo sviluppo e la definitiva localizzazione degli accumuli di idrocarburi, come anche la loro dispersione.

Il gas, che di regola è associato all'olio, è in origine sotto pressione per le cause stesse che determinano la fuga degli idrocarburi dalla roccia madre. Tale pressione, che può avere alti valori, ad es. oltre 250 atm., ha importanza sotto vari aspetti: contribuisce da prima alla migrazione primaria, quindi alla secondaria, cioè al movimento ed assetto definitivo dei fluidi nella formazione serbatoio e, da ultimo, se il giacimento è messo in produzione, all'uscita spontanea dell'olio dai pozzi, mantenendola, se si sa, o finché si può, regolare convenientemente il rapporto fra l'erogazione dell'uno e dell'altro fluido [1].

[1] Il declino della pressione nel giacimento costringe a pompare l'olio dai pozzi, salvo che non si possa ripristinare la pressione iniettando nel campo del gas, espediente già da anni praticato negli Stati Uniti (v. ad es. R. Fabiani, *Nel Paese del Petrolio e dello Zolfo*, Firenze, 1934). Più recentemente si è ricorso anche all'iniezione di acqua (dolce e salata miste). Particolari su tali procedimenti, che consentono il massimo ricupero possibile dell'olio (una parte non piccola resta sempre nel giacimento), si possono vedere nei trattati speciali, ad es. anche in quelli già citati di Lalicker e di Landes. Ad aumentare le possibilità di ricupero si ricorre pure ad iniezioni di aria, di acqua calda ecc. Sono perfino usati dei batteri a facilitare la resa d'olio da orizzonti sabbiosi.

Assetto dei fluidi nei giacimenti. — In un giacimento petrolifero *completo* sono presenti, come accennato, *gas* (parte libero, parte disciolto nell'olio), *olio* e *acqua salata*. Per gravità, cioè in dipendenza dal rispettivo peso specifico crescente, il loro assetto definitivo è: *gas sopra, olio in mezzo, acqua sotto* (v., ad es., la fig. 1). Diremo fra poco di codesta acqua salata presente nei giacimenti d'idrocarburi. Ma prima ricordiamo — fatto ben noto anche in Italia — che in alcuni campi non è presente l'olio, ma soltanto il gas. Può darsi che si tratti, esclusivamente o quasi, di *metano* senza traccia di idrocarburi superiori. Lo si dice anche « gas secco » (*dry*). Oppure che siano presenti, ad es., pure etano e propano, cioè che si abbia, come usa dirsi, « gas umido » (*wet*). Questo generalmente è considerato di origine petrolifera, ma non è sempre vero, come non è sempre vero che il metano, secondo l'idea dei profani, sia « la staffetta del petrolio ». In conclusione, all'olio s'acompagna, sia pure in misura minima, il gas, ma il gas può essere assolutamente solo.

Come si spiegano tali casi? Pel gas « secco » c'è chi ritiene che nella fase iniziale sia mancata — o per natura delle materie organiche o per ragioni d'ambiente — qualcuna delle condizioni indispensabili per la costituzione anche di idrocarburi liquidi. Pei gas « umidi », cioè volgarmente detti petroliferi, può essere avvenuta una separazione durante la migrazione primaria, restando la massima parte dell'olio in un orizzonte serbatoio più profondo. Ma l'olio potrebbe anche essere stato sottratto in fase di migrazione secondaria, e in dipendenza da particolari condizioni dei sedimenti, da acque rapidamente circolanti, che lo avrebbero portato in strutture vicine (C. Barber in Tiratsoo, op. cit.).

Evidentemente nel caso che l'olio sia rimasto in un orizzonte più profondo del gas, si avrebbero due giacimenti di idrocarburi lungo una stessa verticale, separati da serie sedimentarie più o meno cospicue. Ma l'esistenza di accumuli ripetuti radialmente può avere anche altra origine, ed è forse il caso più frequente, rappresenta cioè la ripetizione nel tempo in uno stesso bacino sedimentare di condizioni naftogenetiche. È un fatto parallelo a quello della ripetizione di diversi orizzonti produttivi in uno stesso bacino carbonifero e non può spiegarsi altro che col fenomeno della *subsidenza*, che ha luogo man mano che nuovi sedimenti vanno ad accumularsi in una medesima depressisone.

Le acque salate. — Nei giacimenti d'idrocarburi è normale la

presenza di acque salate, ritenute in massima parte *acque primarie* (MRAZEC), ossia originarie o *singenetiche* coll'olio e il gas nella roccia madre. MACOVEI, più che dall'ambiente, pensa che dette acque provengano dagli organismi stessi, dai quali sono derivati gli idrocarburi. Invero nella costituzione di molti organismi planctonici l'acqua entra anche con alte percentuali (es. nelle Meduse oltre il 90%).

Comunque sia, le acque di giacimento hanno caratteristiche diverse dalle acque marine normali, anzitutto per salinità, in genere di gran lunga superiore (da 6 a 20 e più % contro circa 3,7). Inoltre fra i sali prevale il cloruro di sodio ed è notevole il contenuto in carbonati, mentre sono assenti i solfati di Mg, Na, Ca, K, presenti invece nell'acqua marina. Questo fatto si attribuisce all'azione riducente dei batteri sui solfati e alla deposizione dei solfuri, già in fase iniziale, mentre la concentrazione è considerata effetto della costipazione del sedimento roccia-madre. Detti caratteri delle acque di giacimento sono anche imputati a fenomeni chimico-fisici (scambi di base ecc.) durante la diagenesi dei sedimenti argillosi (v. TIRATSOO, op. cit.).

L'esistenza delle acque, salate o meno e tanto di giacimento propriamente dette, quanto di varia altra provenienza e localizzazione nel sottosuolo, dev'essere tenuta in attenta considerazione — pel loro comportamento e per la variabilità delle loro caratteristiche — sia nella fase esplorativa sia in quella di sviluppo produttivo di un campo petrolifero [1]. Il loro studio è assai importante anche per le correlazioni locali (non regionali) fra i pozzi.

[1] Le acque esistenti nei pori di una roccia sino dalla fase di sedimentazione, cioè veramente singenetiche, sono chiamate dagli americani *connate waters*. Sonvi poi acque di provenienza meteorica derivate da infiltrazione attraverso al suolo e penetrazione nel sottosuolo, ove, secondo le condizioni litologiche e strutturali potranno dare « acque freatiche » o « acque artesiane ». Queste ultime possono avere provenienza anche assai lontana. La superficie di livello delle acque profonde (ground waters) o acque di base, è in genere parallela alla topografia superficiale e può andar soggetta a forti oscillazioni, le quali possono riflettersi talora sui giacimenti petroliferi della regione. Nei rapporti di posizione delle varie acque sotterranee con un giacimento gassifero o petrolifero, sonvi acque in zone soprastanti (*top waters*) o sottostanti (*bottom waters*) o intermedie. Le bottom waters di un orizzonte possono essere le top waters di un altro sottostante.

Le top waters spesso contengono idrogeno solforato. UREN cita al riguardo l'esempio del campo di Caolinga in California, in cui la costante presenza di acque di tal natura è utilizzata per correlazioni.

L'acqua a contatto col gas, se non c'è olio, o coll'olio in un giacimento si dice *edge water*, in quanto praticamente e almeno all'inizio della produzione segna il

Notiamo infine che la concomitanza di masse saline e di accumuli di idrocarburi, frequente in molti paesi, riflette soltanto particolari condizioni di giacitura tettonica, che vedremo in seguito. Non c'è infatti legame genetico originario e non è giustificato credere che ove esistono masse di salgemma debbano di necessità esservi anche depositi di petrolio.

RAPPORTI GENERALI TRA REGIONI PETROLIFERE ED EVOLUZIONE GEOLOGICA.

Qui dobbiamo considerare acquisiti e presenti alla mente i principali concetti e le nozioni e la terminologia spettanti alle varie parti della Geologia. Ricordiamo dunque che la storia geologica della Terra, lunga almeno due miliardi di anni, è divisa nelle 5 ère: Primitiva o Arcaica, Primaria o Paleozoica, Secondaria o Mesozoica, Terziaria o Cenozoica, Quaternaria o Neozoica e che ogni èra è suddivisa in periodi (Archeano e Algonchiano la 1ª; Cambriano, Siluriano, Devoniano, Carbonifero e Permiano, la 2ª; Triassico, Giurese, Cretaceo, la 3ª; Eocene, Oligocene, Miocene, Pliocene, la 4ª; Pleistocene ed Olocene, la 5ª).

Fin da quando dalla primitiva idrosfera emersero le prime terre — fatto che si perde nella preistoria geologica — ebbe inizio una vicenda che s'è rinnovata senza sosta: la demolizione delle parti emerse ad opera degli agenti esterni, il trasporto dei materiali risultanti e la loro sedimentazione entro le depressioni marine contigue alle terre. Queste depressioni marginali, indicate col nome di *geosinclinali*, sedi di potentissime serie sedimentarie, grazie al fenomeno della subsidenza concomitante all'accumulo dei sedimenti, divennero la culla, donde — per un lungo e complesso meccanismo di corrugamento e sollevamento — ebbero origine le prime catene montuose. Ma anche queste furono demolite e spianate, mentre si costituivano altre geosinclinali, dalle quali traevano poi origine altri corrugamenti e altre catene. La grandiosa vicenda, o *ciclo orogenetico*, si prepara, sviluppa e completa in circa 200 milioni di anni. Delle « catene » (in senso geologico, non geografico) più antiche, sono riconoscibili i resti di quella detta *Huroniana*, che si fondono e confondono con quelle precedenti. Dalla loro fusione risultarono i grandi « Scudi » canadese, baltico, brasiliano, arabico, indiano, australiano: blocchi non più su-

margine dell'area mineralizzata. Va rilevato che talvolta il livello dell'acqua del giacimento non è orizzontale, ma più o meno inclinato. Es. tipico nel campo di Salt Creek (Wyoming), formato da un'anticlinale fagliata, in cui il limite acqua-olio è più alto nella parte S che in quella N.

scettibili di corrugarsi, contro i quali, come contro moli sterminati, sono andate a battere e infrangersi le successive ondate orogenetiche. A queste corrispondono l'orogenesi *Caledonica*, l'*Ercinica* e l'*Alpina*. All'orogenesi Alpina, iniziatasi — ove prima ove dopo — nel Secondario, culminata nel Terziario e propagatasi nel Quaternario — spettano i maggiori rilievi attuali: Pirenei, Alpi, Appennini, Balcani, Carpazi, Caucaso, Tauridi, montagne dell'Iran, del Giappone, delle Filippine, della Nuova Guinea e della Nuova Zelanda, Atlante, Ande, Montagne Rocciose ecc.

In corrispondenza alle geosinclinali di tutti i tempi è certo che si sono sempre ripresentate, lungo le zone marginali di esse, condizioni d'ambiente e di sedimentazione inorganica ed organica (da quando è comparsa la vita sulla Terra), consimili a quelle più indietro descritte, che si ritengono propizie alla genesi degli idrocarburi. Senonché le formazioni più antiche, quali quelle che costituiscono gli « Scudi » su ricordati, hanno subìto così profonde azioni di metamorfismo e di demolizione da rendere impossibile la conservazione di giacimenti di petrolio di entità apprezzabile. Sono infatti eccezionali i rinvenimenti entro le formazioni precambiane più recenti, e rappresentano ancora una rarità quelli del Cambriano. Nel resto del Paleozoico si trovano giacimenti anche assai cospicui, ma i principali sono prerogativa di pochi paesi, gli Stati Uniti in prima linea, e quindi il Canada e la Russia. Negli Stati Uniti la maggiore produzione viene dal Carbonifero sup. (Pennsylvaniano). Comunque, la produzione di tutti i campi petroliferi del Paleozoico, i cui sedimenti si sono deposti in oltre 330 milioni di anni, rappresenta meno di un terzo del totale. Per contro quella del Terziario, durato circa 60 milioni di anni, sorpassa la metà della produzione generale, il resto spettando al Secondario e in prevalenza al Cretaceo.

Questo cenno statistico ha un valore così generale che non potrebbe certo utilizzarsi come direttiva preliminare per la ricerca in una regione nuova, mentre possono fornire qualche norma, magari negativa, altri elementi, pure di carattere generale, ma circoscritti a circostanze e condizioni concrete. Ad es., è controindicato il fare assegnamento su possibilità petrolifere importanti in regioni che hanno subìto intense e complicate azioni di corrugamento e per giunta anche profonda demolizione ad opera degli agenti esterni, quali sono le zone di maggiori dislocazioni, sia pure delle più giovani catene montuose. Infatti i giacimenti d'idrocarburi, anche se eventualmente vi si fossero costituiti, sono stati poi degradati e più o meno completamente dispersi. Ne abbiamo l'esempio nella dorsale appenninica.

Come può comprendersi, anche per quanto esposto più indietro sulla genesi dei petroli in funzione dell'ambiente e dei loro accumuli in corrispondenza alla natura dei sedimenti, si presentano con prospettive di possibilità e probabilità di rinvenimento di orizzonti di idrocarburi: le zone geosinclinaliche marginali (*miogeosinclinali* di Stille), le antiche fascie costiere, le piattaforme continentali, le regioni moderatamente piegate, le fosse di avanterra, i bacini con potente sedimentazione corrispondenti sia a fosse tettoniche di aree epicontinentali (assimilate in certo senso a geosinclinali del tipo *parageosinclinalico* di Stille), sia a fosse di sedimentazione comprese tra i margini di « Scudi » e quelle di rilievi di più recenti orogenesi.

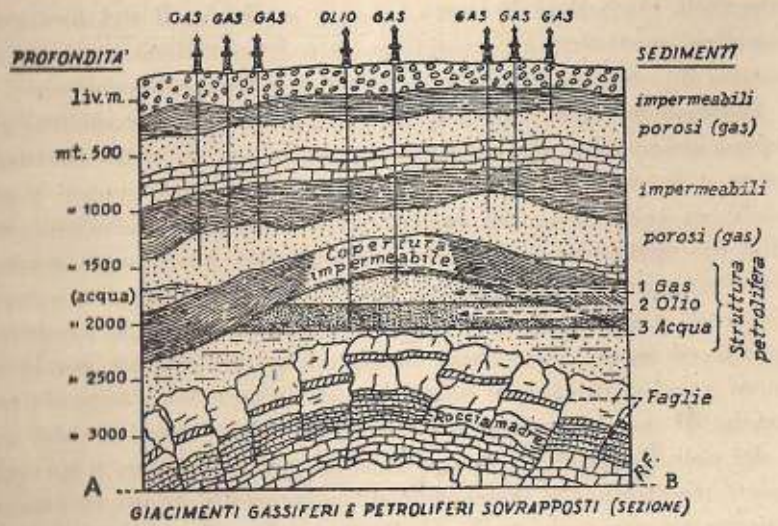
Vedremo in seguito tipici esempi per queste varie condizioni geologiche e geografiche, alle quali fanno, per lo più, riscontro alternanze ripetute e potenti (per subsidenza) di sedimenti tanto porosi e permeabili (es. sabbie), quanto impermeabili (argille), con evidente possibilità di costituzione sia di orizzonti serbatoio sia di coperture protettive (*cap rocks*). Nella massima parte delle zone accennate, soggette in genere al gioco ripetuto di regressioni e trasgressioni, si presentano frequenti ed estese *discordanze stratigrafiche*, interessanti per le migrazioni e pel costituirsi di alcuni tipi delle così dette *trappole stratigrafiche*. Il termine assai espressivo « trappola » introdotto dai geologi del petrolio americani (*trap*) si applica a ogni forma e specie di rapporti fra strati, che, arrestando gli idrocarburi in migrazione, ne provocano un accumulo qualsiasi. Pertanto oltre che *stratigrafiche*, le « trappole » possono essere *strutturali* (*tettoniche*) o anche *miste*.

I. — *Migrazione e accumulo in funzione soprattutto delle caratteristiche tettoniche.* — Le dislocazioni delle serie stratigrafiche avvengono o per *pieghe* o per fratture seguite da spostamento, cioè per *faglie*, o pel concorso combinato, benché di rado concomitante, di pieghe e di faglie.

Convesse verso l'alto sono le pieghe *anticlinali* e verso il basso le *sinclinali*. Le anticlinali possono semplicemente chiudersi alle due estremità (anticlinali chiuse, in genere) oppure far passaggio a forme paragonabili a una vôlta *ellissoidica*, e sono le *brachianticlinali*, o a una vôlta *sferoidale* e sono le forme a cupola (*dôme, dome, Kuppel* o *Dom, cûpula*). I geologi del petrolio chiamano queste forme: *strutture positive*, perché in regioni petrolifere o gassifere ad esse corrispon-

dono sovente (non sempre, bene inteso) gli accumuli di idrocarburi (v. figg. 1 e 3 A).

L'importanza per l'accumulo degli idrocarburi delle *strutture positive*, era stata compresa fin dal 1885 da Israel Charles White, che aveva al riguardo formulata la « *teoria dell'anticlinale* » in seguito allo studio dei campi gassiferi della Pennsylvania e della Virginia occidentali. Per quanto da alcuni suoi contemporanei ostacolata, tale teoria si è dimostrata sostanzialmente vera. Infatti numerosi fra i più cospicui giacimenti mondiali corrispondono a tale tipo strutturale. Ne troviamo esempi frequenti negli Appalachi, nell'Illinois, nel Kansas,



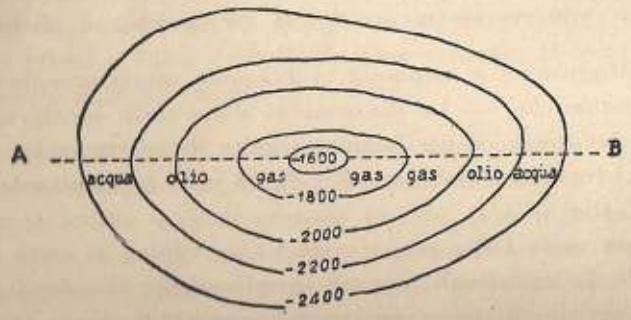


Fig. 1 - Schema di giacimenti d'idrocarburi sovrapposti, i superiori solo gassiferi, quello inferiore petrolifero corrispondente a una tipica « struttura positiva », cioè a una vôlta anticlinale ellissoidica.

nell'Oklahoma (campi di Cushing e di Oklahoma City), nel Texas e nella Luisiana, in California, nelle Montagne Rocciose, in parte del Canada (Ontario) e in numerosi campi del Messico, del Venezuela, della Colombia, del Perù, dell'Argentina. Del pari a Baku, Grosny ecc., nella Russia europea, nell'Iraq, Iran, India, Birmania, Sumatra, Giava, Borneo, Giappone. In Italia: i campi gassiferi di Caviaga, Ripalta ecc. e quello gassifero-petrolifero di Cortemaggiore.

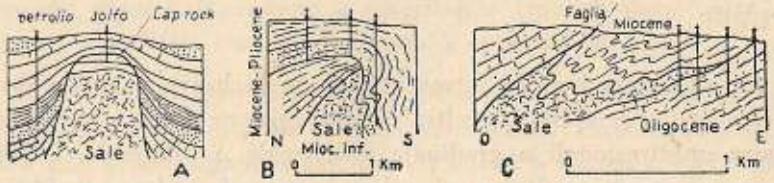


Fig. 2 - A, cupola salina tipo Texas. L'olio è di solito sui fianchi, raramente sulla sommità. - B, struttura anticlinale asimmetrica, con nucleo salino di Runcu a S di Bustenari. - C giacimento petrolifero di Solont, sottostante a zona salifera. (Romania - da Mrazec, Stefanescu, Macovei).

Strutture petrolifere sempre legate a tettonica a pieghe, ma con caratteristiche peculiari sono rappresentate dai diapiri con nucleo salino, ora *cupoliformi* (*salt domes*), come si trovano soprattutto nel Texas (fig. 2 A), nella Luisiana, nella piattaforma continentale del Golfo del Messico, in Germania, Romania, Persia ecc.; ora foggiate ad *anticlinali asimmetriche* (pure in Germania e Romania, fig. 2 B e C, nel Nord Africa ecc.).

Infine sonvi giacimenti localizzati in corrispondenza a *pieghe rovesciate* e anche *coricate*, col fianco inverso assai ridotto. Esempi tipici offre la regione di Borislaw (fig. 3 C) nei Carpazi polacchi. Tolwinsky ha chiamato *skiba* una tal specie di pieghe, dal nome che in polacco si dà alla zolla sollevata, inarcata e quindi rovesciata dal vomere. A Borislaw sono petrolifere le arenarie dell'Oligocene, a Jamna quelle del Cretaceo.

Le strutture inverse delle anticlinali, cioè le *sinclinaliche* hanno pure tipi vari a *trogolo*, a *bacino* o *conca tettonica* (*cuvette*, *basin*, *Becken*, *cuenca*). Potrebbero dirsi *strutture negative*, anche perché solo in casi oltremodo rari esse sono sede di accumuli d'idrocarburi. Trattasi in detti casi di giacimenti senz'acqua, cioè *secchi*, come si dice, o non saturati d'acqua. L'olio, soggetto alla sola gravità può quindi ridursi al fondo di sinclinali. Es., nella regione degli Appalachi entro il Devoniano della Pennsylvania e della Virginia ovest. In questa poi (di-

stretto di Cabin Creek) si è trovata una lente di sabbia secca imbevuta d'olio; si ritiene però che in origine fosse impregnata solo di gas, passato allo stato liquido per effetto del corrugamento appalachiano (WASSON T. ed J.). Il campo di Mc Kittrick in California è pure in giacitura sinclinale (fig. 3 B). Un esempio si ha anche a Borislaw. Nel campo di Cushing (Oklahoma) sono petrolifere alcune sinclinali, di debole curvatura e collegate ad anticlinali, pure petrolifere, assai piatte.

In alcune regioni le forme tettoniche esclusive o predominanti sono le *faglie*, semplici o multiple a disposizione radiale o a reticolo oppure unidirezionali a gradinata unilaterale o bilaterale. Nell'ultimo caso possono costituire un pilastro (*massif soulevé, fault ridge, Horst*) o una fossa tettonica (*fossé, trough, Graben*), forme in un certo senso paragonabili rispettivamente a un'anticlinale e ad una sinclinale.

Com'è ovvio, le faglie facilitano la migrazione verticale e talora laterale degli idrocarburi. Determinano poi frequenti e svariati casi di giacitura fra strati di comportamento differente (permeabili, impermeabili), costituendo diversi tipi di *trappole tettoniche* (fig. 3 D).

Sonvi sistemi di faglie che interessano strutture *monoclinali*. Es.: Pechelbronn nel mezzo della *Fossa* del Reno: gli orizzonti petroliferi, forse singenetici, spettano al Terziario inferiore.

Nel Texas si hanno giacimenti in rocce cretacee nella regione fagliata di Mexia e Balcones.

Faglie trasversali o longitudinali intersecano sovente anche strutture *anticlinali*. I campi dello Wyoming (es. Salt Creeck) ne offrono tipici esempi, che sono del resto frequenti in tante altre regioni, talora anche in corrispondenza a cupole salifere. Es., Texas, Luisiana, Messico, Perù, Romania, Russia ecc.

II. - *Giacimenti in altre condizioni varie* (*Trappole miste*).

A. — Se ne presentano in corrispondenza a *flessure* anche pochissimo accennate (*terrace structure*, fig. 3 E). Ma spesso sono insieme legati tali accumuli a variazioni litologiche lungo l'orizzonte serbatoio (diminuzione di porosità e permeabilità). Es., Gaines Pool in Pennsylvania; Campo di Osage nel Wyoming.

Altri giacimenti si trovano in serie *monoclinali*, ed hanno origine in vari modi. Es.: da cambiamento laterale di porosità in uno stesso orizzonte (da calcare cavernoso a calcare compatto, da arenaria poco

cementata a fortemente cementata, fig. 3 F), da riduzione di un banco poroso fino a scomparire, mentre due strati impermeabili che lo comprendevano vengono fra loro a contatto (fig. 3 G). Un deposito monoclinale può derivare anche da ostruzione ad un'estremità pel formarsi di un « tappo » di asfalto (fig. 3 H) es. campo di Sunset-Midway in California, o per troncatura dovuta all'intrusione di un dicco, fig. 3 I (es. Tampico-Tuxpam nel Messico). Anche le masse saline dei diapiri si prestano a « sigillare » (*to seal* degli amer.) gli orizzonti petroliferi che vengono loro a contatto (fig. 2 A).

B. — *In corrispondenza a discordanze*. Le discordanze di vario tipo sono in genere segnate da orizzonti clastici (brecce, puddinghe, sabbie più o meno grossolane), quindi adatti a divenire rocce serbatoio. Sono pertanto assai numerosi i giacimenti legati a tali giaciture nell'America del nord e centrale, in Europa, in Oriente. Si tratta per lo più di idrocarburi emigrati da serie inferiori mineralizzate per causa di sconnessioni di origine tettonica, evidentemente posteriori alla deposizione delle serie superiori discordanti. Talvolta però trattasi di discordanze angolari perfino con disposizione verticale della serie inferiore, dalla quale è quindi presumibile che gli idrocarburi che eventualmente conteneva siano sfuggiti prima che avvenisse la deposizione della serie superiore. La mineralizzazione dell'orizzonte discordante non potrebbe allora spiegarsi se non ammettendo una migrazione *per descensum*, anziché, come in genere avviene, *per ascensum*. Se ne hanno esempi in formazioni paleozoiche, mesozoiche e terziarie del Midcontinent (es. East Texas) e della California (es. Santa Barbara), ed anche della Germania, della Romania ecc. (fig. 4 B).

C. — *In corrispondenza a « rilievi sepolti »*. A rigore, tale varietà di giacimenti rientra nella categoria che precede, perché in sostanza si ha sempre una giacitura discordante. Sono assai diffusi nel Nord America. Il tipo più comune è quello che colà chiamano dei *Buried Hills* (colline sepolte). Si tratta di depositi di petrolio costituitisi al contatto con rilievi granitici, oppure stratificati e disposti ad anticlinale con nucleo granitico, coperti da serie di strati almeno in parte impermeabili, per lo più essi pure foggiati ad anticlinale, ma a curvatura meno forte (fig. 4 H). Esempio notevole è quello delle *Nemaha mountains*[1], imponente rilievo granitico sepolto, raggiunto dai son-

[1] Come giustamente nota J. JUNG, per tali grandi rilievi sepolti si potrebbe usare il termine di « *paleocatene* », introdotto da BARROIS per consimili forme e condizioni riscontrate nel bacino carbonifero della Francia del Nord.

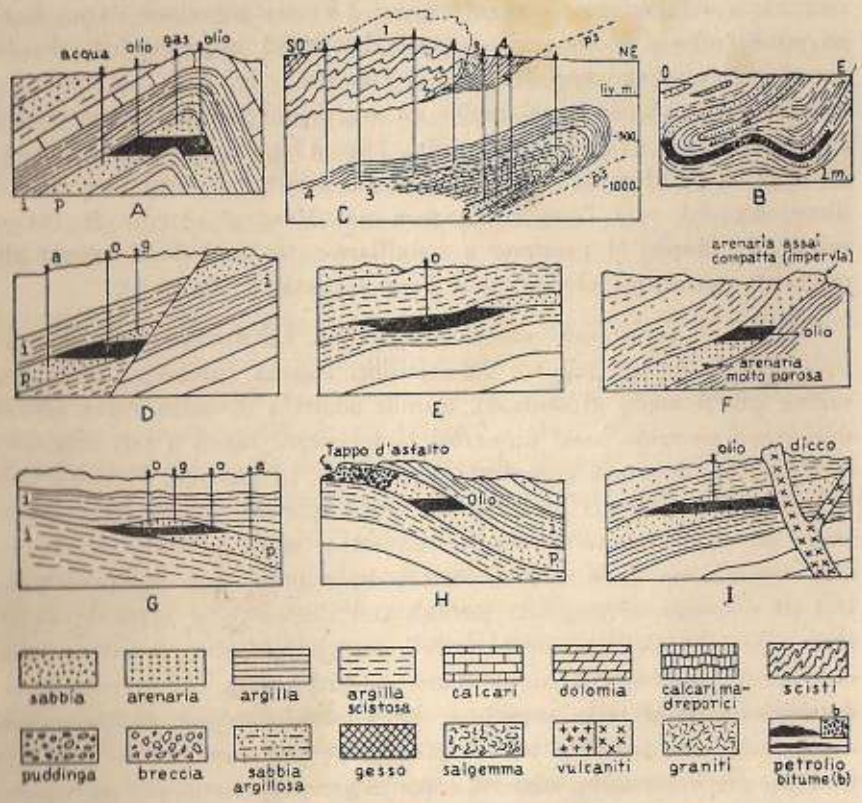


Fig. 3 - A, giacimento in struttura anticlinale asimmetrica. - B, giacimenti in sinclinali, schema di parte del campo di Mc Kittrick in California (imit. da Arnold e Johnson, U. S. Geol. Survey). - C, skiba di Boryslaw (imit. da Tolwinski): 1, 2, Cretaceo; 3, Eocene; 4, Oligocene; ps, piano di sovrascorrimento. - D, trappola per faglia. - E, giacimento in «terrazza». - F, trappola per variazione di porosità. - G, trappola per riduzione dello strato poroso e chiusura per saldatura delle due serie impermeabili che lo comprendono. - H, trappola per chiusura dello strato poroso mediante «tappo» di asfalto. - I, chiusura operata da un dicco. — In tutte le figure: p, orizzonti permeabili; i, impermeabili. *Sotto*: simboli convenzionali per le rocce più comuni.

daggi su un tragitto di varie centinaia di km nel Kansas e nel Nebraska, partendo dal confine N dell'Oklahoma, ma che continua dalla parte opposta, arrivando almeno ad Oklahoma City, perché nel campo omonimo un recente sondaggio (1947, Lalicker, op. cit.) ha incontrato una massa di granito precambriano. Anche nel Texas si riscontrano simili strutture produttive in corrispondenza a sedimenti del Siluriano e del Carbonifero (fig. 4 H).

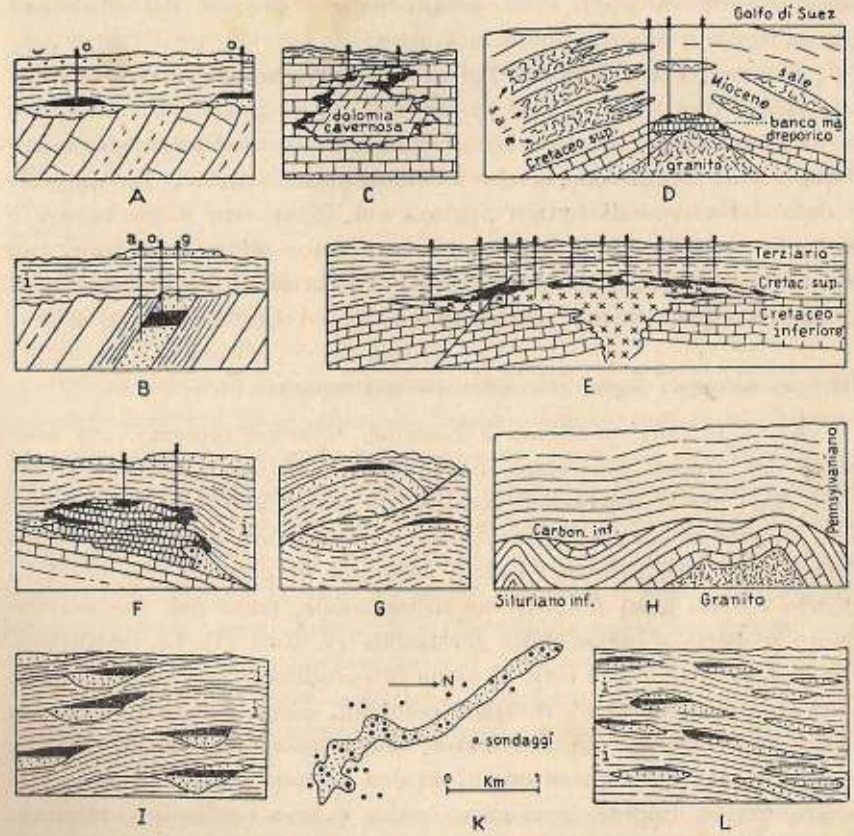


Fig. 4 - A, B, giacimenti in corrispondenza a discordanze stratigrafiche. - C, giacimento in massa permeabile per cavernosità, inclusa in calcari impervii (da LeRoy). - D, sezione del campo di Gemsah (Egitto). Il serbatoio corrisponde a un banco madreporico (imit. da Hume in Macovei). - E, campo di Lytton Springs (Texas), alla sommità di un laccolite (imit. da Collingswood e Rettger). - F, giacimento in corrispondenza a una bioerma (schema). - G, accumuli in piega fagliata e con sovrascorrimento (da LeRoy). - H, schema del campo di Elbing (Kansas), corrispondente alle paleocatene dette Nemaha Mountains. Il petrolio è a contatto col granito ecc. (imit. da Thomas). - I, accumuli entro depositi di sabbie di riempimento di «canali» compresi tra sedimenti impermeabili (i). - K, planimetria del giacimento in solco fluviale, tipo *shoestring*, di Maikop in Russia (da Tcharnotzky). - L, accumuli in «lenti» sabbiose comprese fra sedimenti impermeabili (i).

Passando ad altri paesi, il giacimento di Gemsah in Egitto è pure in corrispondenza a un dosso granitico, l'orizzonte impregnato di olio è però un banco madreporico alla sommità del granito, che è fiancheggiato da depositi del Cretaceo. Il tutto è sepolto sotto una serie

assai potente di gessi e di grandi banchi di sale del Miocene [1] (fig. 4 D).

A Sumatra il campo di Palembang sovrasta una massa eruttiva terziaria.

Possono essere impregnate di olio, così da costituire giacimenti d'importanza industriale, anche le stesse masse eruttive. Es. notevole è dato dal campo di Lytton Springs nel Texas, ove il giacimento è entro le parti marginali specialmente superiori di un'intrusione, con espandimento (laccolite), formata di una roccia che i geologi locali chiamano « serpentino », entro una serie del Cretaceo [2] (fig. 4 E).

III. - *Giacimenti legati a condizioni sedimentarie.*

A. — In corrispondenza a bioerme. Il nome *bioerma*, ora assai usato dai geologi americani, ha pressoché sostituito quello di *reef* (ted. *Riff*) per le costruzioni coralline di forma lenticolare, o a fungo ecc., incluse in serie stratificate, in corrispondenza alle quali si sono spesso trovati di recente cospicui accumuli di petrolio (fig. 4 F). La ricerca è stata assai intensificata ultimamente, tanto più che possono essere scoperte a mezzo della geosismica (v. Cap. II). Le costruzioni, che passano per lo più sotto il nome di coralline o madreporiche, non sono opera esclusiva di corallari coloniali, contribuendovi, talora in parte preponderante, alghe calcaree, spugne calcaree, briozoi, crinoidi, molluschi ecc. Tutti questi organismi non possono prosperare se non in acque marine limpide, assai mosse, calde e poco profonde [optimum: temper. 20 °C, profondità poche decine di m (massima 90 m)]. La vita delle colonie è pertanto legata soprattutto alle variazioni di livello del mare (assolute o relative), per cui possono svilupparsi di più in altezza o in estensione. Così, se il fondo marino dal quale sorgono si abbassa, continuano a crescere verso l'alto [3]. Ciò spiega l'esistenza, nota

[1] Una potente massa di sale, al di sotto di argille e marne con gessi, a lor volta sottoposti a banchi madreporici quaternari, fu incontrata nei sondaggi eseguiti dall'A.G.I.P. nella maggiore delle Isole Daalac (Mar Rosso). Probabilmente trattasi di struttura simile a quella di Gemsah.

[2] Gocce di petrolio si trovano entro le lave bollose dell'Etna. Provengono da sedimenti attigui che contengono gas e petrolio (es. a Bronte). Un'impregnazione imponente di bitume fu attraversata per oltre 500 m da un sondaggio dell'A.G.I.P. presso Pachino (estremità SE della Sicilia) entro brecce basaltiche, ma trattasi pure di migrazione da rocce sedimentarie contigue.

[3] Si presume che la tendenza delle colonie coralline a crescere verso l'alto, cioè verso le zone più illuminate, dipenda dal fatto che i tessuti delle madrepore

da gran tempo [es. per la regione Dolomitica e per la serie superiore (Malm) del Giura Svevo] di costruzioni madreporiche propagatesi attraverso a varie suddivisioni cronologiche di un certo periodo. Ne risulta un'individuazione di tali costruzioni rispetto agli strati che via via si sono deposti — in genere con ritmo assai più lento — tutto all'intorno, i quali sono inoltre più omogenei e compatti, in contrasto (eteropia) colla cavernosità caratteristica dei calcari e delle dolomie di origine madreporica. Se il tutto resta poi sepolto sotto serie stratificate successive, delle quali facciano parte sedimenti impermeabili, ha origine, o addirittura entro la massa della bioerma, o presso la sua superficie, l'accumulo petrolifero.

La scoperta di numerosi giacimenti di questo tipo ha aperto nuove promettenti prospettive. Ne vennero infatti trovati nel Siluriano, nel Carbonifero (Pennsylvaniano) e nel Permiano del Texas occidentale e altri nell'Illinois. Il celebre campo di Leduc (Alberta, Canada) rientra pure nel gruppo e vi appartiene anche quello di Norman all'estremo nord. Date le condizioni, sopra accennate, dell'ambiente marino richieste per la vita dei coralli coloniali e degli altri organismi costruttori, è significativo, agli effetti della paleoclimatologia, che essi abbiano potuto prosperare in mari così settentrionali. Per la ricerca delle bioerme sono molto utili le indagini paleogeografiche regionali come direttiva generale, mentre la scoperta è facilitata spesso dalla geofisica [1].

B. — *In altre forme e giaciture particolari.* Una delle più frequenti tra le forme speciali è quella *lenticolare*. Si tratta di lenti disseminate talora entro una struttura maggiore ad es. anticlinale o anche monoclinale, ecc. (fig. 4 L), costituite generalmente di sabbie e quindi porose, incluse in depositi meno o niente porosi, es. in prevalenza argillosi, fenomeno che si verifica nelle zone deltizie e di estuario. In vari casi è da ritenersi che gli idrocarburi raccolti in tali lenti siano singenetici.

A tali tipi lenticolari si ricollegano quelli che gli americani chiamano *shoestrings* (alla lettera: legacci da scarpe), ricordando per la forma dei tratti di fettuccia. Rappresentano resti di cordoni sabbiosi

contengono innumerevoli individui di Zooxantelle, alghe brune unicellulari microscopiche. Tale simbiosi risulta assai utile per lo sviluppo delle madrepore (v. C. M. Yonge, *Morfol. delle scogliere coralline*, « Endeavour » X, n. 39; 1951).

[1] V. ad es., Twenhofel W. H., *Charact. and geolog. distrib. of Coral and other organisms reefs*. World Oil, July, 1949.

litorali (sono spesso disposti appunto in fila), o di tronchi di distributari deltizi. Talvolta coincidono con tratti di vecchi alvei fluviali (*channel deposits*) colmati di materiali di trasporto e poi sepolti sotto depositi impermeabili (fig. 4 I). Tipico esempio è dato dal campo petrolifero di Maikop, a NE del Mar Nero nella Ciscaucasia, che corrisponde a un antico solco di fiume (fig. 4 K).

In alcuni casi queste forme derivano anche da cordoni di sabbia emersi o anche sommersi, che si formano più o meno lontano dalle coste, dando spesso origine a lagune, in modo analogo a quanto avviene per effetto delle barriere coralline con decorso subparallelo alle coste. Campi petroliferi, in corrispondenza ad una o all'altra delle varie condizioni di forma e giacitura accennati, furono scoperti, ad es., nel Texas e con maggiore frequenza nel Kansas.

Se le lenti sabbiose non contengono acqua, l'olio in esse presente si accumula presso il loro fondo (EMMONS W. H., *Geol. of petroleum*, 1931, pag. 103).

È superfluo rilevare che questa rapida rassegna di condizioni genetiche e morfologiche nelle quali possono presentarsi gli accumuli di idrocarburi è ben lungi dall'esser completa: i casi di *trappole* sono infatti così vari e numerosi che in un'esposizione di carattere riassuntivo solo una parte ne può essere segnalata (v., ad es., anche le figure 4 C e G). È pure superfluo richiamare l'attenzione sul fatto, del tutto evidente pur da questo parziale esame, che riesce assai difficile e talora impossibile una discriminazione tra accumuli di origine strutturale e di origine stratigrafica e che alcuni tipi hanno caratteristiche per le quali potrebbero trovar posto indifferentemente in una o in altra perfino delle minori suddivisioni.

CAPITOLO SECONDO

RICERCA DEI GIACIMENTI

1. — INDAGINI GEOLOGICHE PRELIMINARI.

Passato ormai da un pezzo il tempo della ricerca empirica o a casaccio, già nella fase di prima ricognizione si richiede l'opera del geologo. Egli può essere chiamato a studiare sotto l'aspetto delle possibilità petrolifere una regione geologicamente più o meno nota, almeno nei suoi caratteri fondamentali, oppure un territorio vergine.

Nel primo caso, secondo il grado delle conoscenze che si posseggono, si tratterà di più o meno svilupparle e completarle in modo adeguato e secondo le direttive e i criteri che oggi devono informare uno studio geologico rivolto a specifica finalità di prospezione petrolifera. Per dare una più generale idea del procedimento, supporremo però di trovarci nel secondo caso, cioè di dovere affrontare il lato geologico della ricerca in regione praticamente sconosciuta. Ammettiamo tuttavia che in questa esistano affioramenti discretamente diffusi delle formazioni geologiche che la costituiscono e che, ove le rocce in posto sono nascoste da terreno vegetale o da materiali di riporto, siano sufficienti piccoli scavi per raggiungerle e prenderne dei campioni.

Previe alcune ricognizioni generali al suolo e dall'aeroplano, è anzitutto necessario procedere al rilevamento geologico e allo studio strutturale, di maggiore o minore dettaglio secondo le caratteristiche del territorio, e posto che si disponga già di una base topografica di scala conveniente allo scopo. In caso diverso bisogna, naturalmente, fare eseguire in precedenza, o di conserva con quello geologico, il rilievo topografico.

Per quanto sia molto utile che il geologo abbia conoscenza di lavori topografici e sappia almeno sbrigarsi da sé per qualche rilievo spicciativo [1], le levate sono compito di operatori specializzati, compito che, rispetto ai metodi tradizionali impiegati al suolo, è ora as-

[1] Es. a mezzo della «Tavoletta pretoriana» (ideata nel 1590 da PRAETORIUS), o della «Tavoletta Monticolo» (v. G. BOAGA, *Trattato di Geodesia e Topografia con elementi di Fotogrammetria*, 2 vol. Padova, Cedam, 1948).

sai facilitato e accelerato da quelli aereofotogrammetrici [1]. Di recente poi si sono sviluppati e perfezionati anche procedimenti che consentono di ottenere rilevamenti, non solo delle strutture superficiali, ma anche della distribuzione delle formazioni geologiche di una regione mediante prese fotografiche dall'aereo (*Fotogeologia*).

Per una conoscenza adeguata, non tanto dell'assetto generale delle formazioni geologiche in superficie, quanto soprattutto dei loro caratteri paleontologici e di costituzione mineralogica e litologica, è però indispensabile il diretto esame sul terreno, col prelievo di campioni di rocce e di fossili, dal cui studio soltanto potranno trarsi gli elementi per stabilire la serie stratigrafica e fondare una rappresentazione strutturale del sottosuolo, che consentano, sia pure in linea del tutto preliminare, di giungere a una plausibile presunzione sulla possibilità o meno che la regione abbia ad essere petrolifera e che comunque convenga o no eseguirvi ricerche geofisiche ed eventualmente meccaniche (v. più avanti).

Tracce e manifestazioni d'idrocarburi.

Se nel sottosuolo esistono, purché a non eccessiva profondità, rocce contenenti idrocarburi è assai difficile che non si abbia in superficie qualche indizio della loro presenza. Talora le tracce e le manifestazioni di varia entità sono anzi assai diffuse e palesi, tal'altra solo con speciali procedimenti possono rivelarsi. Spesso la toponomastica stessa mette sull'avviso dell'esistenza, attuale o anche solo passata, di manifestazioni e del pari inducono a sospettarla i miti e le tradizioni locali [2].

Fra gli indizi si hanno: tracce d'olio portate a giorno da acque sorgenti, sulle quali formano chiazze iridescenti; acque salate e sulfuree; venute di gas infiammabili; ozocherite (cera minerale paraffinica); vulcanelli di fango con emissioni di gas; impregnazioni o stillicidi di bitume ecc.

La maggior parte di questi indizi può tuttavia non avere origine da orizzonti petroliferi. Infatti veli iridescenti sulle acque hanno origine anche da ossidi di ferro o da sostanze organiche esterne; gas infiammabili possono emanare da depositi di torba, di carbon fossile ecc. Neppure l'associazione di etano col metano è segno infallibile che si tratti di « gas petroliferi » e d'altra parte si può avere anche solo metano, pur essendo di provenienza petrolifera.

Le acque salate solfuree possono derivare da dilavamento di depositi salini del sottosuolo o, rispettivamente, esser legate a vulcanismo. Così pure le manifestazioni bituminose non hanno sempre relazione con giacimenti di petrolio o, avendola, indicano che questo, non incontrando nella sua migrazione serie protettive era giunto all'esterno attraverso a faglie o lungo strati porosi, subendo la dispersione delle sue frazioni più volatili e l'ossidazione di quanto rimasto a impregnare le rocce attraversate.

Si deve dunque saper distinguere l'origine degli indizi, tenendo presente, anche nei casi che trattisi effettivamente di origine da idrocarburi, ch'essi non devono considerarsi come prova dell'esistenza *attuale* di importanti accumuli di gas o di olio nel sottosuolo, ma che potrebbero anzi significare il contrario, cioè rappresentare solo il residuo di giacimenti che per le vicende geologiche della regione sono rimasti sconvolti e in gran parte distrutti. Ritorneremo in seguito sull'argomento, quando tratteremo dell'Italia.

2. — Prospezioni Geofisiche.

I risultati delle ricerche e degli studi geologici adeguatamente approfonditi, come sopra si è accennato, condurranno a due opposte conclusioni: *a*) la regione non può interessare allo scopo prefissato (es. se costituita totalmente di masse rocciose ignee o metamorfiche); *b*) oppure, il complesso degli elementi litologici, stratigrafici e strutturali (accertabili o presumibili) riportato nel quadro della storia geologica e della paleogeografia della regione esaminata e di altre vicine — o anche lontane, ma con caratteristiche analoghe — fa ritenere possibile l'esistenza di accumuli d'idrocarburi nel sottosuolo.

In tale caso, qualche decennio addietro non restava altro che esplorare la regione mediante sondaggi ubicati più o meno a casaccio, con risultati spesso del tutto negativi o inconcludenti e, quando po-

[1] In Italia abbiamo due sistemi di rilevamento aerofotogrammetrico: di Santoni e di Nistri.

[2] Pei nomi di località ricordiamo, ad es., Maidan-i-Naftun in Persia; Rancho la Brea (brea = pece), in California; Jung cita: Pacuresti (pacura = olio combustibile) per la Romania, Ropianska per la Polonia (ropa = petrolio), Oelheim per l'Hannover, Pechelbronn per l'Alsazia (Oel = olio; Pechel = pece); Neftiano-Chirvanskaia per la Russia (neft, petrolio). Noi possiamo ricordare: Rile dell'Olio (Voghera), Ponte dell'Olio (Emilia); Madonna dell'Olio, contrada Pece (in alcune località della Sicilia) ecc. Per le tradizioni basti citare i « fuochi eterni », oggetto di culto, dell'antica Persia, pensando ai quali W. K. D'Arcy (da non confondersi con H. D'Arcy, cui si deve la legge omonima sulla permeabilità e il nome della relativa unità di misura), aveva intrapreso le sue famose ricerche nel territorio iranico.

sitivi, raggiunti con eccessiva spesa. In anni più vicini a noi si sono via via sviluppati e affinati differenti metodi di geofisica applicata, collo scopo di rilevare soprattutto le caratteristiche strutturali del sottosuolo, per avere possibilmente gli elementi per orientare in qualche modo l'esplorazione meccanica.

Per le regioni nelle quali è possibile far precedere ad ogni altro lo studio geologico, la prospezione geofisica si pratica in un secondo tempo. Ma sonvi territori anche vastissimi, nei quali le rocce in posto sono sepolte sotto potenti mantelli alluvionali, distese desertiche, grandi foreste, paludi o anche specchi marini. Per questi territori ora si fanno precedere le esplorazioni geofisiche, alcune delle quali, come fra poco vedremo, possono eseguirsi dall'aeroplano o, per aree coperte dalle acque, anche con apparecchi sistemati in apposite imbarcazioni.

Per l'esplorazione *geofisica* vengono usati metodi *gravimetrici*, *geomagnetici*, *geoelettrici*, *geosismici*, *radioattivi*. Si impiegano anche metodi *geochimici*.

I diversi metodi geofisici hanno un fondamento comune: il fatto dell'eterogeneità costitutiva del sottosuolo, che ciascuno in vario modo ha per obiettivo di sfruttare. L'eterogeneità deriva dalla diversa natura e dal diverso comportamento delle rocce (composizione mineralogica, densità, suscettibilità magnetica, conducibilità elettrica, trasmissibilità più o meno rapida di onde sismiche ecc.) e dai reciproci rapporti di giacitura e posizione stratigrafica e tettonica.

Dei vari metodi dobbiamo limitarci a dare appena una schematica idea e in forma essenzialmente intuitiva. Pel lettore che volesse approfondire l'argomento esistono numerosi trattati anche di geofisica applicata esclusivamente alle ricerche petrolifere (v. bibliografia alla fine).

I metodi gravimetrici, geomagnetici, tellurici, radioattivi sono metodi « statici » utilizzando campi di forza o fenomeni « naturali ». Quelli elettrici con correnti artificiali e i sismici sono invece metodi « dinamici » utilizzando fenomeni provocati.

A) Metodi gravimetrici.

Le determinazioni di gravità si possono eseguire con *apparati pendolari*, colla *bilancia di torsione* e coi *gravimetri*.

I primi (a mensola, mono- e pluripendolari) sono usati per determinare i valori assoluti delle variazioni della gravità (anomalie di gravità, posit. o neg.) in terra e in mare (pioniere Vening Meinesz)

per scopi geodetici e geologici di estensione regionale e anche continentale. Assai di rado il metodo pendolare è stato impiegato per esplorazioni di carattere petrolifero (Stati Uniti).

La bilancia di torsione ha per elemento essenziale un'asta o giogo, semplice o a Z, ecc., sospeso a un sottile filo di platino all'iridio, che si torce per effetto di perturbazioni delle condizioni d'equilibrio dovute a variazioni dell'azione di gravità prodotte anche da masse minime.

Tipo classico è la bilancia ideata dall'ungherese R. von Eötvös (1880), che primo la impiegò per indagini di geologia petrolifera a Gbely (Cecoslovacchia) nel 1915-16, e poi in Ungheria. L'apparecchio subì varie modifiche e perfezionamenti (specie dallo Schweydar per la Casa Askania); ha funzionamento automatico e registrazione fotografica. Per ogni stazione occorrono circa due ore di tempo.

La bilancia di torsione dà la misura del *gradiente orizzontale*, in unità Eötvös $= 10^{-9}$ gal (Galileo) per centimetro e anche della *curvatura differenziale* (v. trattati di Geofisica applicata). Si ottengono cioè *valori relativi* della gravità (si potrebbe da essi passare ai valori assoluti sulla base di determinazioni pendolari). È tuttavia necessario procedere a riduzioni e correzioni come per le misure pendolari (in linea d'aria, di Bouguer, topografica, isostatica).

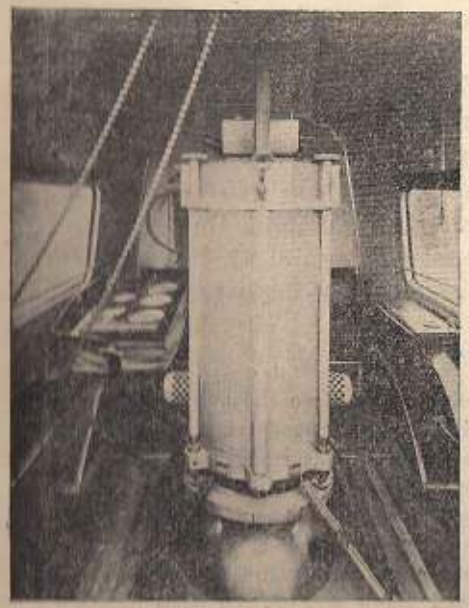
In planimetria i gradienti si indicano con frecce di lunghezza proporzionale al valore e convergenti verso l'area d'aumento della gravità. Si possono ricavare anche rappresentazioni a profilo.

Impiego con buoni risultati la bilancia di torsione ha trovato nella individuazione di *cupole salifere* (Germania, Stati Uniti, Russia, ecc.), di faglie e di particolari strutture *sepolte* o formazioni di notevole sviluppo con densità diverse da quella delle rocce incassanti [1].

[1] Esempi: per le cupole saline (es. del Texas) si ha che le rocce che circondano la cupola, presso la superficie sono incoerenti o poco consolidate e presentano $d = 1,8$, mentre in profondità raggiungono circa $d = 2,45$, essendo via via più compresse. Il sale ha densità $= 2,2$ circa, però la *cap rock* della cupola (anidrite, calcite) ha $d = 2,7$. Pertanto in profondità il sale dà valori minimi della gravità, mentre la *cap rock*, se è presso la superficie dà valori massimi. Queste circostanze poterono essere bene utilizzate per la scoperta delle cupole saline.

Per la California orizzonti produttivi sono in rapporto con le diatomiti, che vi assumono spessori anche assai rilevanti. Esse hanno $d = 1,5$, più bassa quindi degli altri sedimenti e perciò con le esplorazioni gravimetriche è stato possibile individuare strutture anticlinali, alle quali partecipano le formazioni diatomitiche, avendo ottenuto in corrispondenza anomalie negative di gravità anche di alto valore (Donald C. Barton in L. L. Nettleton, 1938-1940).

C



A

B

Fig. 5 - A, Gravimetro *Askania* su automezzo (A.G.I.P.). - B, Gravimetro *North American Geophysical Co* su elicottero. - C, Elicottero da trasporto di apparecchi geofisici (es. del gravimetro della fig. B) con possibilità di scendere su terreni paludosi (le foto B e C per cortesia della *North Amer. Geoph. Co* di Houston, per gentile interessamento del dr. I. P. Schumacher).

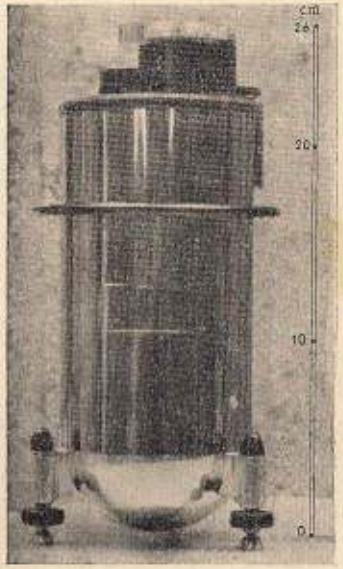
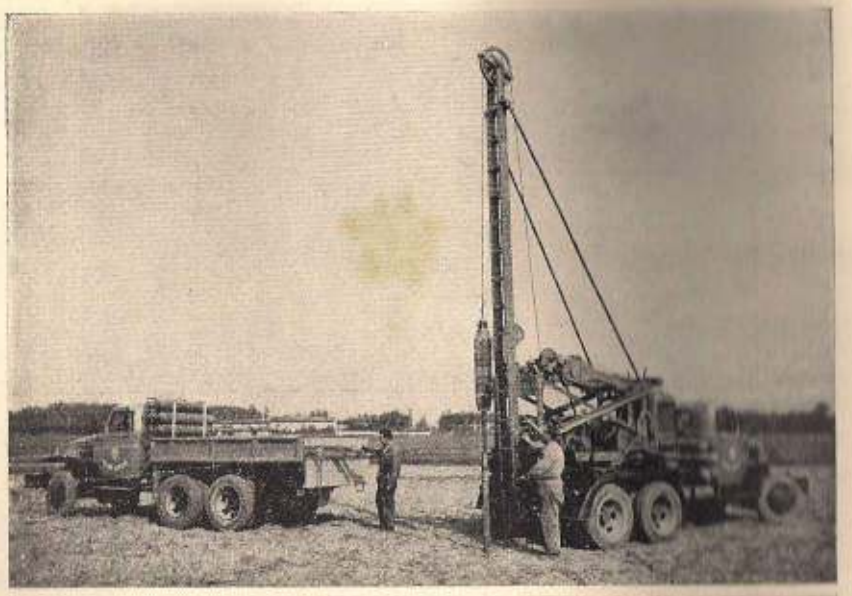


Fig. 6 - Gravimetro *Worden*. A sin. veduta esterna; a des. (in scala maggiore) sistema delle spirali ecc. che ne costituisce la caratteristica. Foto favorita dalla Sez. Tecnico-Scient. della Casa Ital. Comm. Estero, con permesso di riproduzione.

Gravimetri. La maggior parte dei tipi si fonda sull'azione che le variazioni della gravità esercitano su una massa appesa ad una *spirale* di metallo o di quarzo fuso. Le deformazioni della spirale sono messe in evidenza da dispositivi ottici, meccanici o elettrici. Alla grande precisione raggiunta (0,01 milligal), i gravimetri congiungono una rapidità di misura diretta della gravità superiore ad ogni altro metodo (pochi minuti). Ciò spiega come il loro impiego abbia assunto negli ultimi anni un enorme sviluppo, soppiantando le bilance di torsione non solo per le prospezioni petrolifere, ma anche per esplorazioni geodetiche e geologiche assai dettagliate di carattere regionale. Oltre che a spirale furono costruiti anche gravimetri a mercurio, a gas ecc.

Fra i numerosissimi tipi (statici e astatici) ricordiamo: il *gravimetro Askania* (Graf), a spirale metallica, piuttosto pesante sicché viene, in genere, sistemato su apposito automezzo (fig. 5 A); il gravimetro della *North American Geophysical Co.* di Houston (Texas), più leggero, portabile a spalla d'uomo, o su automobile, o piccola imbarcazione o su apposito elicottero (fig. 5 B, C); e, fra i più recenti, il gravimetro *Worden* dei *Technical Laboratories* pure di Houston. Pesa solo kg 2,75, è a spirale di quarzo fuso, con tutti i disposi-



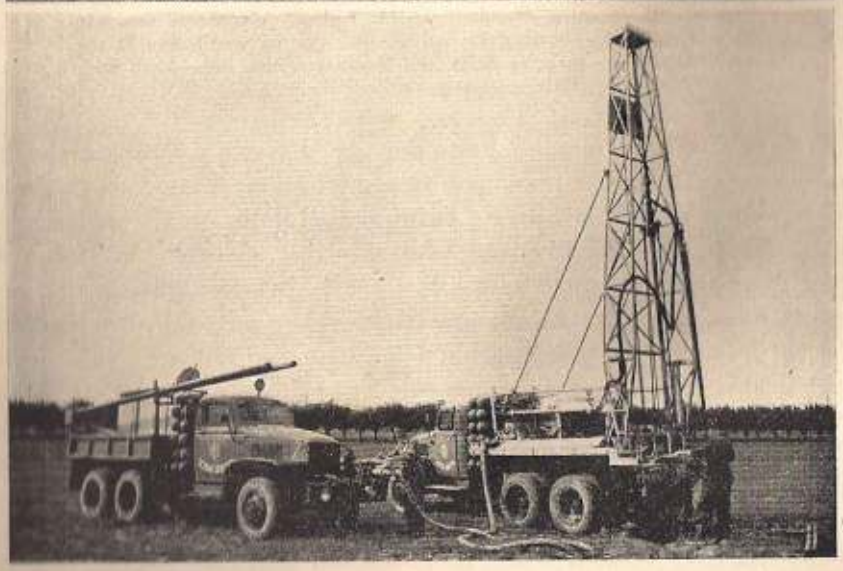


Fig. 7 - *Sopra*: perforatrice a percussione; *sotto*: perforatrice a rotazione, tipo Western, in dotazione alle squadre sismiche dell'A.G.I.P. (*Foto G. Croce*).

tivi per sottrarlo alle variazioni di temperatura (racchiuso in *thermos*), di pressione barometrica ecc. (fig. 7). Ha sensibilità 0,01 mg.

Gravimetria in mare. Collo sviluppo assunto recentemente dalle ricerche petrolifere in corrispondenza alla piattaforma continentale, si è estesa anche la prospezione gravimetrica in mare, non più col sistema di Wening Meinesz, in sottomarino, bensì con *gravimetri*, secondo tre diversi procedimenti. In acque sottili, piantando sul fondo un grande e solido treppiede, con una piccola piattaforma alla sommità emersa, per l'appoggio dello strumento e dell'osservatore; sistemazione però troppo sensibile al moto ondoso e ai forti venti. Per profondità maggiori l'osservatore viene calato col gravimetro entro una campana per palombaro, che s'appoggia al fondo, ove viene fatta la lettura, sistema ormai abbandonato pei gravi accidenti, perfino mortali, cui ha dato luogo.

Ora s'impiega invece un gravimetro collocato entro una sfera d'acciaio in sospensione cardanica, che si fa scendere da una imbarcazione fino al fondo mediante un cavo, attraverso al quale passano anche speciali collegamenti elettrici controllati dall'operatore che sta a bordo.

Le determinazioni gravimetriche, per la costruzione delle carte strutturali di significato locale, come quelle di prospezione petrolifera, devono essere depurate delle anomalie regionali della gravità, che in genere mascherano completamente i caratteri delle strutture geologiche.

B) Metodi geosismici.

Si fondano sulla diversa velocità di propagazione di onde elastiche, prodotte artificialmente, attraverso a rocce di varia natura [1]. Le onde sono provocate da cariche di dinamite o di tritolo fatte esplodere, generalmente, in fori praticati nel suolo con apparecchi di sondaggio meglio adatti alla natura del terreno cioè a *percussione* o a *rotazione* (fig. 7), e di profondità che si ritiene più conveniente se-

[1] Per le onde *longitudinali*, o di compressione, in genere le sole utilizzate in geosismica, perché più veloci e quindi le prime che giungono agli apparecchi di ricezione — si sono registrate (Reich, Barton, Siñeriz, Heiland ed altri), ad es., velocità del seguente ordine di grandezza: salgemma delle cupole o in strati da 4500 a 7700 metri al secondo, analogamente pei graniti e i gneiss; calcari e dolomie da 5000 a 5600; marne e arenarie da 915 a 4270; alluvioni (sabbie, ghiaie ecc.) da 580 a 1900. Per una stessa roccia si ha per lo più aumento di velocità in quelle più antiche o di giacitura più profonda.

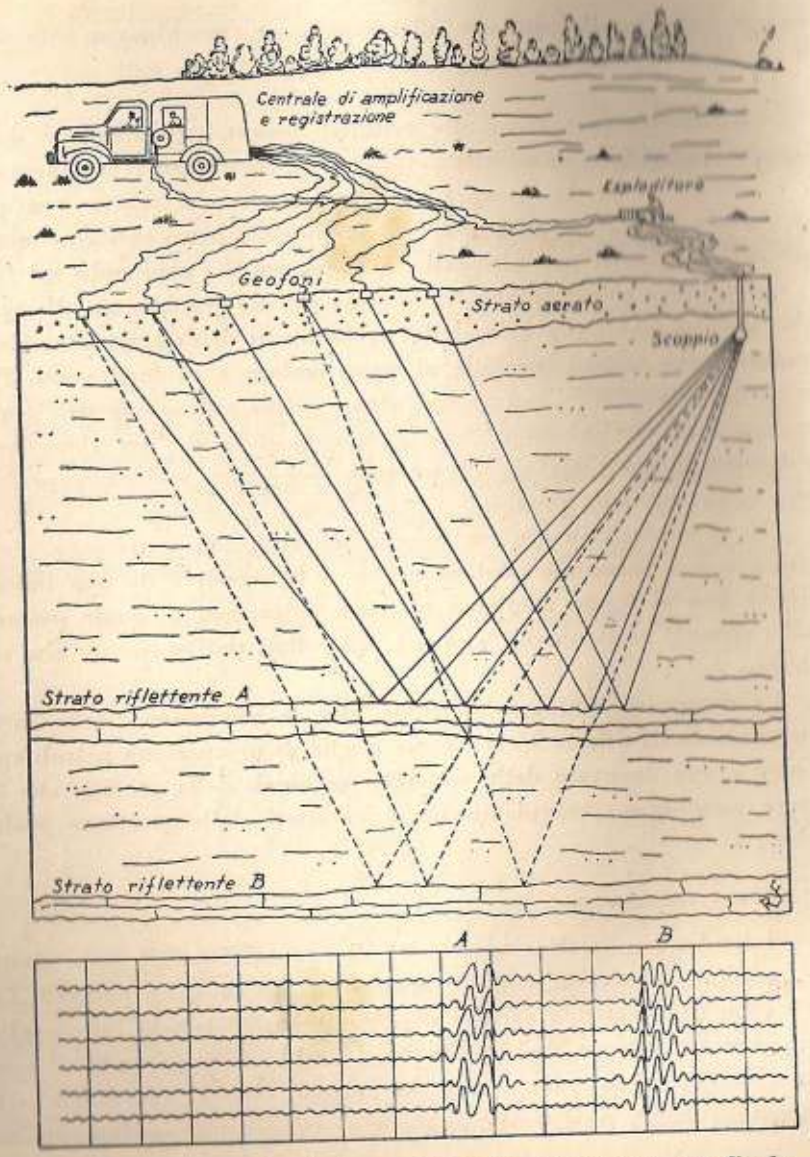


Fig. 8 - Schema della sismica a riflessione. Rappresenta solo l'andamento delle onde riflesse (omesse per semplicità le dirette e le rifratte). *Sotto*: un tratto, schematico, di un sismogramma, per mettere in evidenza il tipo della registrazione corrispondente ai due strati riflettenti principali A e B.

condo i casi (es. da 20 a 30 e più metri), in dipendenza anche dallo spessore della zona più vicina alla superficie (*strato aerato, weathered layer*).

Il comportamento delle onde così prodotte è registrato da apparecchi sismografici, disposti in ordine e a distanze che variano secondo gli obiettivi della prospezione; in *linea retta* col punto di esplosione (*profile shooting*) oppure ad *arco di cerchio* attorno al punto dell'esplosione (*fan shooting*, cioè a ventaglio).

Con adatti dispositivi si ha la registrazione dell'istante dell'esplosione e dell'istante d'arrivo della prima onda. Conoscendo la distanza x fra il punto dell'esplosione e il punto del ricevitore e l'intervallo di tempo t fra l'istante dello scoppio e quello d'arrivo dell'onda, si ottiene la velocità v di propagazione dell'onda ($v = \frac{x}{t}$).

Si impiegano due tipi di prospezione, uno per *rifrazione*, l'altro per *riflessione*. Il primo ha dato buoni risultati, soprattutto per la scoperta di cupole saline e trova buon impiego anche per rivelare la presenza di faglie, specie se esse separino formazioni aventi notevole differenza di velocità di propagazione delle onde, il che risulta nettamente dai relativi diagrammi.

Va rilevato che i fenomeni sia di rifrazione sia di riflessione delle onde sismiche si svolgono secondo le stesse leggi generali che presiedono ai corrispondenti fenomeni delle onde luminose.

Il metodo sismico per riflessione. Per darne una generica idea consideriamo il caso elementare di due strati del sottosuolo orizzontali, a contatto reciproco e nei quali la propagazione delle onde avvenga con velocità differenti. Prodotto lo scoppio, un'onda, attraversato lo strato, o serie, superiore e giunta alla superficie del sottostante, subirà una riflessione diretta all'insù (fig. 8), cioè verso la superficie del suolo, ove potrà essere registrata dagli apparecchi ricevitori, che sono chiamati con nomi vari: rivelatori, *detectors*; geofoni, *geophones* o *phones*; captatori, *pickups*. I geofoni sono costruiti in modo da convertire l'energia meccanica delle onde sismiche ricevute in energia elettrica. Gli impulsi vengono trasmessi, mediante conduttori, agli apparecchi di registrazione, sistemati in apposito automezzo, amplificati e discriminati rispetto alle frequenze. L'andamento delle onde riflesse è registrato fotograficamente in un sismogramma (fig. 9).

Nel caso considerato si tiene il sistema dell'allineamento (*correlation shooting*) del punto dello scoppio e dei punti ove sono collocati

Fig. 9 - Esempio di sismogramma. (Direz. Mineraria, Sez. Geofisica dell'AGIP).

i ricevitori, ad es., in numero di 6 o 12, posti a distanza di una trentina di metri uno dall'altro.

Le onde dirette (superficiali) giungono ai successivi ricevitori con un certo successivo ritardo, invece le onde riflesse arrivano agli stessi pressoché contemporaneamente. È possibile calcolare la profondità di uno strato riflettente [1], cosicché, estendendo le determinazioni a strati riflettenti (entro un certo limite, via via più profondi e per vari tratti dell'area da esplorare e correlandole fra loro, si può ottenere una rappresentazione della successione stratigrafica del sottosuolo e, trattandosi di strati non più orizzontali, ma variamente inclinati, anche dell'andamento strutturale. Per strati inclinati, anziché lo scoppio verticale (*vertical shooting*) si impiega quello inclinato (*dip shooting*). Dopo che sul diagramma si è riportata l'inclinazione che compete a ogni tratto, di cui s'è avuta la riflessione, si può, unendo i vari segmenti, ottenere un profilo, che dà l'andamento di uno strato convenzionale (detto: *orizzonte fantasma, phantom horizon*), cioè un profilo strutturale (virtuale). Dallo studio e dalla interpretazione di una serie di sismogrammi [1] si ottengono altrettanti profili verticali, dalla cui combinazione si può costruire una rappresentazione strutturale in piano mediante *isobate equidistanti* (fig. 10), sul tipo di quelle (*contour maps, subsurface maps*) costruite sui dati forniti dalla bilancia di torsione o dai gravimetri.

[1] Se p è la profondità, v la velocità nello strato superiore, t l'intervallo di tempo fra l'istante dello scoppio e l'arrivo dell'onda riflessa ed x la distanza fra il punto di scoppio e quello d'arrivo, la *profondità* di uno strato orizzontale riflettente è data dalla seguente formola generale (Heiland):

$$p = \frac{1}{2}\sqrt{v^2 t^2 - x^2}$$

Il valore della velocità da introdurre nel calcolo per avere la profondità, ha, com'è ovvio, importanza basilare. Sono preziosi i dati che entro un certo raggio, si possono avere da scoppi praticati a breve distanza (es. 150 m.) da qualche pozzo, registrati a mezzo geofoni calati a profondità note entro il foro di sonda.

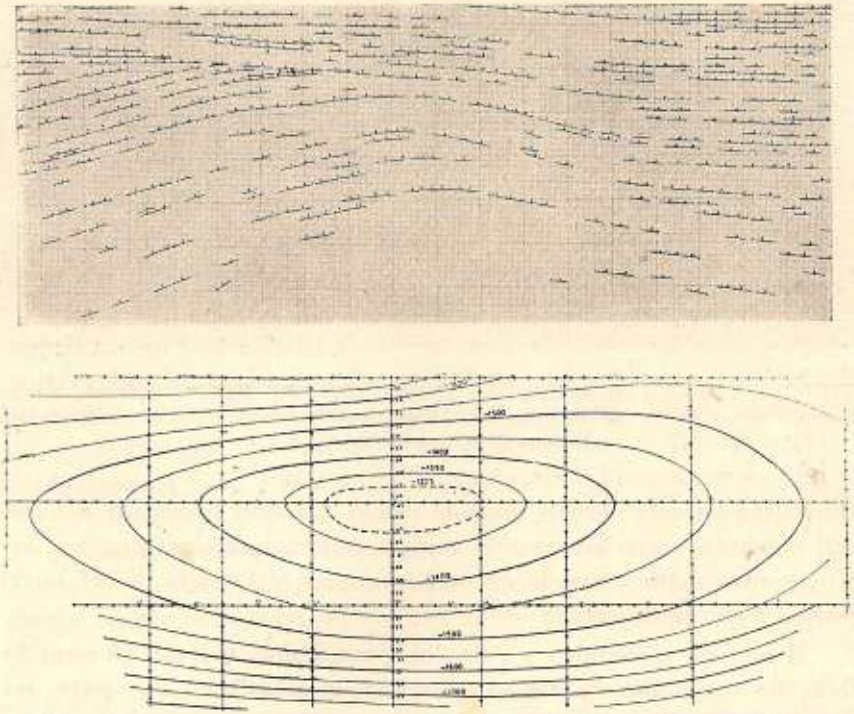


Fig. 10 - *Sopra*: esempio di profilo ottenuto con la *sismica a riflessione*. Mostra una struttura anticlinale profonda, seguita da trasgressione e discordanza più evidenti nella metà a sinistra ecc. - *Sotto*: Batimetria risultante da una rete ortogonale di profili continui (i punti corrispondono ai fori di scoppio). Dà l'idea di una struttura positiva (anticlinale chiusa). Su di essa si può orientare l'inizio dell'esplorazione meccanica. Da questa però la forma *reale* potrà poi risultare anche notevolmente diversa. (Grafici favoriti dalla Sez. Geofisica della Direzione Mineraria dell'AGIP).

La rappresentazione strutturale così ottenuta, pur cercando di interpretare i dati geofisici in rapporto alle conoscenze o alle presunzioni geologiche, ha essenzialmente valore orientativo, vale a dire è una rappresentazione *ipotetica*, che potrà più o meno avvicinarsi alle

[1] Per esplorazioni di carattere preliminare, si limitano le operazioni a tratti allineati discontinui (es. separati da qualche km), per ottenere dati più particolareggiati, si procede senza intervalli (profili continui).

Fig. 11 - Automezzi di una squadra sismica (A.G.I.P.). Nel 1°, a destra, c'è la centrale di ricezione e registrazione. (Foto favorita dalla Direzione Mineraria, Sezione Geofisica, dell'A.G.I.P.).

condizioni tettoniche reali, secondo che le variabili introdotte nei calcoli rispondono con maggiore o minore approssimazione ai valori veri e, naturalmente, secondo anche l'esperienza e l'abilità di chi interpreta i dati sperimentali.

Il metodo geosismico a riflessione, introdotto nell'uso 20 anni or sono, ha raggiunto rapidamente risultati così brillanti da essere ora per alcune regioni (es. da noi la Pianura Padana) il preferito, benché sia il più costoso. Esso consente infatti di esplorare anche strutture profondissime, fino oltre 9000 m (Billings), individuando pieghe varie, faglie, diapiri e masse intrusive. Ha però limitazioni nella morfologia, non prestandosi in genere in regioni movimentate, anche se semplicemente di collina.

Metodo a riflessione con scoppi in aria (metodo Poulter). In seguito ai buoni risultati ottenuti in esperimenti con apparecchi sismografici fatti per esplorare la discussa cappa di ghiaccio della piattaforma di Ross nell'Antartide, il dott. T. C. Poulter, vice comandante della seconda spedizione dell'Amm. R. E. Byrd, al suo ritorno pensò di applicare procedimenti analoghi alle esplorazioni sismiche in terraferma. Si trattava di far scoppiare la carica di esplosivo non più affondata nel terreno, ma ad una certa altezza da questo, cioè in aria libera. Ottime prove vennero raggiunte, disponendo cariche, di potenzialità e di forma del recipiente dimostrantisi più efficaci, alla sommità di paletti di ferro lunghi qualche metro, piantati nel terreno secondo un poligono regolare (ad es. ai 6 vertici e al centro di un esagono), e provocando lo scoppio *simultaneo* delle cariche medesime. Ma sono state provate anche altre disposizioni.

Secondo riferisce J. E. Kastrop (World Oil, January 1949, p. 53) questa nuova tecnica darebbe risultati assai più netti di quella usuale specialmente quando le condizioni di costituzione e spessore dello « *strato aerato* », cioè della parte superficiale del sottosuolo, perturbano notevolmente la trasmissione delle onde sismiche, dando sismogrammi confusi e male utilizzabili.

Se il metodo Poulter, con adatte modificazioni, potesse essere impiegato coi buoni risultati che alcuni preconizzano, rappresenterebbe una grande economia nelle prospezioni geosismiche, risparmiando tutto il lavoro richiesto per l'esecuzione, in alcuni terreni particolarmente difficoltosa, dei fori di scoppio, lavoro che si calcola gravi in media per un terzo e più sul costo totale dell'esplorazione sismica.

Geosismica in mare. Il metodo a riflessione è applicato anche per aree coperte dal mare, segnatamente in corrispondenza alla piattaforma continentale, che, specie nel Golfo del Messico, è ora oggetto di intense ricerche petrolifere.

Si è trovato che il migliore rendimento danno le cariche fatte esplodere a conveniente profondità entro l'acqua (non sul fondo, né in superficie). Gli apparecchi ricevitori (idrofoni, costruiti similmente ai geofoni, ma con adattamenti particolari per essere immersi) sono pure collocati a una certa profondità e convenientemente disposti e distanziati. Singoli cavi li collegano al complesso amplificatore e registratore sistemato a bordo di una piccola nave.

Specialmente per queste e per le altre esplorazioni in mare, trovano impiego i mezzi di segnalazione, localizzazione, ecc. ch'erano stati inventati o applicati per la guerra in terra, in mare, nell'aria: radio, radar, sofar, shoran, lorac (*radar*, da *r*adio *d*etecting *a*nd *r*anging; *sofar*, da *s*ound *f*ixing *a*nd *r*anging; *shoran*, da *s*hort *r*ange *n*avigation); *lorac*, da *l*ong *r*ange *a*ccuracy).

Per rapide esplorazioni sismiche in zone di difficile accesso o impraticabili, specialmente acquitrinose, si impiegano come per la gravimetria, elicotteri, provvisti di grandi pattini pneumatici (fig. 5 B). L'apparecchiatura occorrente, naturalmente, è studiata e costruita in modo particolare per le condizioni dell'ambiente dove il lavoro deve essere eseguito.

C) Metodi geomagnetici.

Come accennato, la litosfera è inomogenea anche riguardo alla distribuzione del magnetismo. I metodi di esplorazione magnetica hanno lo scopo di rivelare le anomalie, localmente provocate dall'esistenza nel sottosuolo di masse perturbanti il campo magnetico. Per la prospezione sul terreno si usano le bilancie o *variometri* (es. variometro Schmidt) uno per misurare l'intensità dalla componente orizzontale, l'altro di quella verticale (unità di misura il *gamma* = 1 centomillesimo di oersted). Le determinazioni di campagna devono essere controllate o corrette sulla base di apparecchi eguali posti in stazioni fisse bene isolate, al fine di depurare le determinazioni stesse dalle azioni dipendenti dalle usuali variazioni diurne e da quelle accidentali (burrasche magnetiche).

Questo metodo non ha però dato in genere risultati soddisfacenti per la prospezione di strutture interessanti dal lato petrolifero. Ciò soprattutto per la circostanza che le determinazioni sul terreno sono troppo influenzate da variazioni magnetiche, anche minime e trascurabili, che presenta talora in punti vicini una stessa roccia affiorante o prossima alla superficie del suolo.

In questi ultimi anni è stato ideato e sviluppato un altro sistema, quello dei *magnetometri aerotrasportati* (*airborne magnetometers*, durante la guerra usati per scoprire i sottomarini). In un tipo largamente impiegato (*Gulf*) il magnetometro era contenuto in un astuccio allungato di foggia aerodinamica (detto *bird*, uccello) appeso, mediante un cavo, all'aeroplano in volo, collegato con gli apparecchi di registrazione ecc. sistemati entro la carlinga o un'ala. Ora si va abbandonando tale dispositivo (in parte perché soggetto all'influenza dei movimenti dell'atmosfera) e anche il magnetometro è ospitato entro l'aereo (fig. 12) assieme al resto dell'apparecchiatura (complesso elettronico amplificatore, apparecchio registratore, apparato compensatore per annullare gli effetti prodotti dalle parti metalliche dell'aereo, ecc.). Si son dovute superare notevoli difficoltà per giungere a un tipo tanto perfezionato, usando pel magnetometro metalli speciali e tanti altri espedienti ed accorgimenti, fra gli altri per risolvere il problema di mantenere l'asse del magnetometro nella direzione del campo magnetico totale. A differenza dei variometri sopra accennati, che danno rispettivamente il valore della componente orizzontale e di quella verticale, col magnetometro aerotrasportato si misura l'intensità totale. La sensitività raggiunta è pari a quella degli apparecchi di misura al suolo, cioè si possono rilevare variazioni di un gamma.

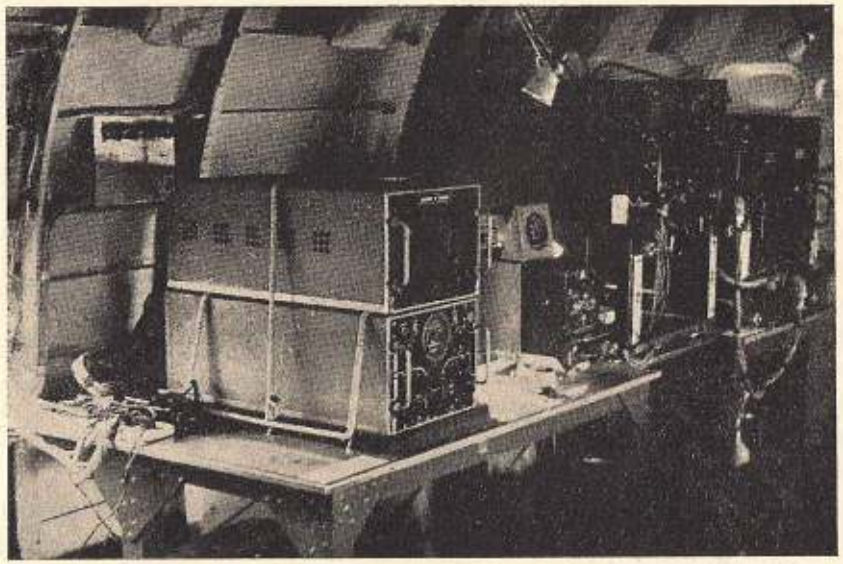


Fig. 12 - Sistemazione degli apparecchi magnetometrici nella carlinga di un « Dakota » - Foto gentilmente favorita dal geofisico Oscar Weiss.

Coi magnetometri sistemati in aereo sono possibili esplorazioni in corrispondenza a regioni non o male accessibili: mare, foreste, deserti, e con grande speditezza. Conviene eseguire le determinazioni a due o tre differenti altezze dal suolo: quelle più alte danno infatti una rappresentazione meno influenzata da variazioni di dettaglio, dovute alle rocce più superficiali.

Con questo mezzo si sono effettuate esplorazioni in grande stile, quali quella di una grande striscia fra il Texas e il Venezuela attraverso al Mare delle Antille e una di alcune decine di migliaia di kmq nell'Africa orientale portoghese (Mozambico).

Recentemente è stata eseguita con un magnetometro aerotrasportato l'esplorazione della Sicilia sud-est.

D) Metodi geoelettrici.

Si distinguono in due categorie, secondo che si basano sulle correnti *naturali* o spontanee oppure su correnti *artificiali* che vengono appositamente provocate nel suolo.

Le correnti naturali possono essere *locali*, derivate da fenomeni elettrochimici, dovuti a masse di minerali, soprattutto solfuri, sepolte nel sottosuolo, oppure *telluriche*.

Per le esplorazioni con finalità petrolifere interessano le *correnti telluriche*, le quali si ritengono legate alla rotazione terrestre (campo magnetico terrestre) e all'attività solare. Loro caratteristica è di circolare su grandi estensioni della crosta terrestre lungo zone subparallele, di modo che, se il sottosuolo fosse di costituzione omogenea, ad esse corrisponderebbe un campo elettrico pressoché uniforme su decine e anche centinaia di chilometri (L. MIGAUX). Ciò non avviene, data l'inomogeneità del sottosuolo, vale a dire le linee di corrente tellurica subiscono perturbazioni, dal cui studio si cerca di trarre una rappresentazione della costituzione e della struttura del sottosuolo.

Per le modalità del procedimento, per le sue possibilità ecc. rimandiamo alle pubblicazioni speciali più recenti, es. di MIGAUX e di POLDINI (v. bibliografia alla fine).

Ci limitiamo pertanto a rilevare che il metodo delle correnti telluriche, applicato già in varie regioni anche del nostro paese, può considerarsi come qualcosa di mezzo fra quello gravimetrico e quello sismico a riflessione sotto vari punti di vista, compreso quello del costo d'esercizio. Poiché il campo tellurico in pratica dipende dalla struttura dei complessi sedimentari, i soli conduttori, non resta influenzato dal « basamento » cristallino, che si comporta come un fondo di resistenza infinita, per modo che la sua struttura non ha influenza sul campo medesimo. Questo è un vantaggio rispetto al metodo gravimetrico, pel quale si ha sempre un elemento d'indeterminatezza dovuto alle anomalie regionali. Anche per la « tellurica » è però necessaria una sufficiente idea sulla costituzione geologica del complesso sedimentare, giacché in alcuni casi si potrebbe essere tratti in errore dalla presenza di potenti serie omogenee es. calcaree, interpretabili eventualmente come basamento. Tale incertezza può tuttavia essere eliminata, ricorrendo ai così detti *sondaggi elettrici*.

I *sondaggi elettrici* appartengono alla seconda categoria di metodi geoelettrici, quelli cioè che si valgono di correnti provocate nel *suolo artificialmente* (la parola « sondaggi » ha qui significato simbolico, giacché il suolo non viene materialmente perforato). Immettendo nel terreno, a mezzo di elettrodi in esso piantati, delle correnti *continue* o *alternate*, si può ottenere una rappresentazione della varia *resistività* delle rocce che si succedono a costituire il sottosuolo, avute presenti le caratteristiche dei vari tipi di rocce, secondo anche le condizioni in cui si trovano (es. imbevute d'acqua ecc.) rispetto alla

conducibilità elettrica (si esprime in ohms m^2m). I dispositivi sono però assai vari (es. sistema WENNER); vedansi al proposito i trattati speciali. Un procedimento elettrico di grande utilità nella fase di esplorazione meccanica della ricerca petrolifera è soprattutto quello detto *carotaggio elettrico* di cui si parlerà in seguito.

Furono ideati anche metodi *elettromagnetici* e vennero pure tentati metodi *radioattivi*, *geochimici*, *geotermici* ecc., alcuni dei quali in via di perfezionamento potranno essere utilizzati anche per la fase di prospezione, mentre in parte già lo sono in quella della esplorazione meccanica, come vedremo più avanti.

3. — ESPLORAZIONE MECCANICA.

Esaurita la prima fase degli studi e rilevamenti geologici e, in base ad essi, sviluppata la prospezione geofisica, inizialmente con uno o più dei procedimenti, che, come quelli gravimetrici, geomagnetici e tellurici, danno una rappresentazione delle condizioni del sottosuolo in genere piuttosto schematica e dal punto di vista orientativo raramente di piena fiducia, si procede a un rilevamento geofisico più approfondito, per lo più mediante i metodi sismici, ove la morfologia e la natura dei terreni superficiali meglio si prestano. Utilizzando tutto il complesso degli elementi e cercando, in stretta collaborazione fra geologi e geofisici, di giungere alla più plausibile interpretazione — viene tradotta in immagini strutturali o batimetriche del sottosuolo corrispondenti a vari orizzonti fondamentali, paragonabili alle così dette « radiografie stratigrafiche » che i radiologi forniscono ai clinici per le loro diagnosi — si passa alla *fase dell'esplorazione meccanica*. Questa sola, se sviluppata mediante un numero adeguato di trivellazioni convenientemente ubicate, può dare la *struttura reale* di un giacimento, con tutte le sue varie caratteristiche. Ed è soprattutto in questa fase decisiva che segue quella di prospezione geofisica, che il geologo riprende una parte preminente. Gli obiettivi basilari dell'esplorazione meccanica sono:

a) rivelare l'esistenza di orizzonti mineralizzati (gas, petrolio) e la rispettiva profondità;

b) determinarne i caratteri litologici, la porosità, la pressione ecc. e le condizioni di giacitura tettonica;

c) definirne la potenza e l'estensione e insieme i rapporti tra i fluidi presenti (gas, olio, acqua, o gas e acqua) ecc., così da essere

in grado di fare una stima della potenzialità; obiettivi che, com'è ovvio, si possono raggiungere solo a tappe e per lo più a prezzo di alto dispendio di tempo e di danaro, che potrebbe anche non trovare un corrispettivo nei risultati considerati dal punto di vista industriale, data l'aleatorietà di questa come di tutte le ricerche minerarie.

Cenni sui sistemi e sugli apparecchi di perforazione [1].

Fondamentalmente i sistemi di perforazione o sondaggio sono due: *a percussione* e *a rotazione* [2]. Possono essere combinati in sistema *misto*.

A. — I Cinesi pare siano stati i primi, e già da vari secoli, a scavare pozzi con un *sistema a percussione* a mano, spingendoli fino a oltre 500 m, per estrarre dal sottosuolo acque salate, dalle quali ricavavano il sale.

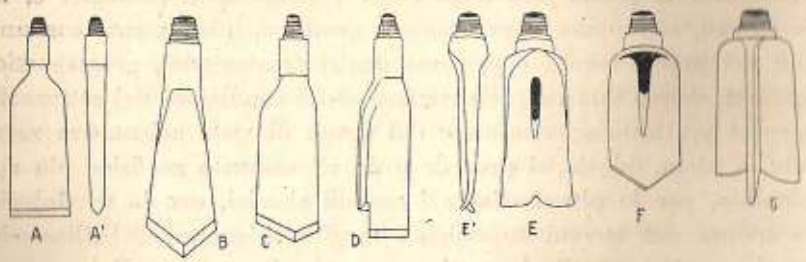


Fig. 13 - Profili di alcuni tipi più correnti di scalpelli: A-D pel sistema a *percussione*; E-G pel sistema a *rotazione*.

La perforazione si ottiene ad opera di un pesante scalpello, appeso ad una fune o ad un'asta, che viene, a mano o meccanicamente, sollevato e lasciato cadere a ripetizione. Il sistema a percussione (detto

[1] Sull'argomento esistono innumerevoli trattati speciali. Di quelli italiani ricordiamo: *Tecnologia della Perforazione*, 2ª ediz., di L. Caioli (1951) e, fra i tanti esteri, quello di L. Ch. Uren, *Petroleum Production Engineering*, 3 d ed. 1946.

[2] Sarà un giorno sorpassato anche il sistema rotary? Harold W. Danser, presidente della « Ultrasonic Corp. » preconizza la sostituzione dei trapani a rotazione con utensili messi in moto vibratorio, non rotante, a mezzo apparecchi ultrasonici ad alta frequenza. Il sondaggio non richiederebbe in tal caso il frequente cambio dei *rock-bits*, con enorme economia e con assai minore rischio d'incidenti, che tale cambio rappresenta. (The Oil and Gas Journal, Aug. 23, 1951). Si ha notizia che s'è pensato di utilizzare l'ultrasuono anche a scopo di prospezione geofisica, nel senso di produrre con apparecchi ultrasonici delle vibrazioni nel terreno e di registrarle, in sostituzione delle onde ottenute col metodo sismico degli scoppi. Non abbiamo visto ancora trattato di tale metodo ultrasonico e delle sue reali possibilità in riviste tecniche o scientifiche specializzate.

dagli Americani genericamente *cable-tool drilling* o *churn drilling method*), nei particolari ha subito varie modifiche e perfezionamenti nei diversi paesi, cosicché fu detto anche sistema *canadese, russo, galiziano, pennsilvanico*, ecc. (*percussion system, p. tool. s., Canadian pole-tool* con *iron rod*, sostituito poi da *manilla cable* e questo a sua volta da *steel cable* = *American « Standard » cable system*).

Un tipo di apparecchiatura a percussione (a « battipalo » a motivo della massa pesante che cadendo aumenta l'azione dello scalpello) per modeste profondità, è rappresentato nella fig. 7, sopra. È usato, come accennato, per scavare i pozzi ove calare l'esplosivo per l'esplorazione sismica.

Il primo pozzo petrolifero a percussione scavato negli Stati Uniti risale al 1859 ed è il pozzo Drake, nei dintorni di Titusville (Pennsylvania). Ne vennero poi perforate alcune centinaia di migliaia e lo sono tuttavia, sia per pozzi di prima esplorazione anche se lenti, sia per rocce *dure* [1] e in zone scarse d'acqua ecc. Recentemente circa 3/5 dei pozzi produttivi degli Stati Uniti sono di questo tipo, nonostante l'enorme sviluppo raggiunto dalle trivellazioni col metodo a rotazione.

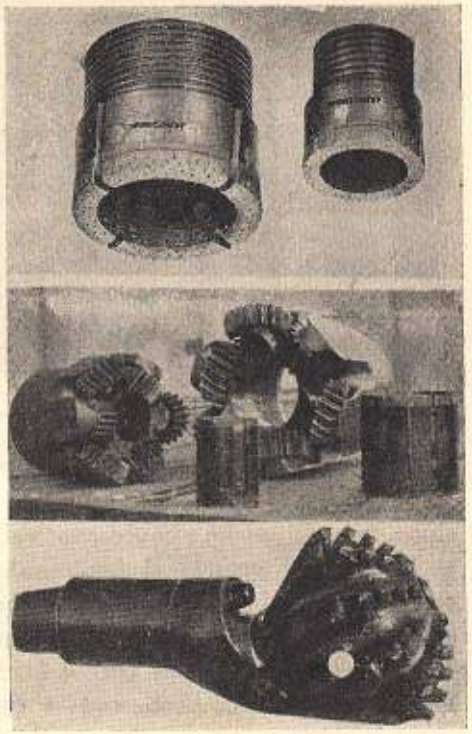


Fig. 14 - *Sopra*: « scarpe » di carotieri a corona di diamanti (tipo J. R. Smit & Sons). *In mezzo*: « scarpe » di carotieri a rulli dentati. *Sotto*: trapano « Zublin ».

La perforazione a percus-

[1] La parola *dure* è nel senso attribuitole dai sondatori (*drillers*), pei quali *roccia dura* (*hard rock*) è una roccia entro la quale lo scalpello o sonda *avanza lentamente*. Ed è anche una definizione « relativa », almeno fino a un certo punto, in dipendenza dal sistema impiegato: es. con quello a percussione chiamano « duro » il gesso, perché « elastico » e stenta quindi ad essere frantumato dai colpi dello scalpello, mentre lo è facilmente il calcare, che è detto perciò « morbido », cedevole (*soft*). Il contrario si ha per la sonda a rotazione.

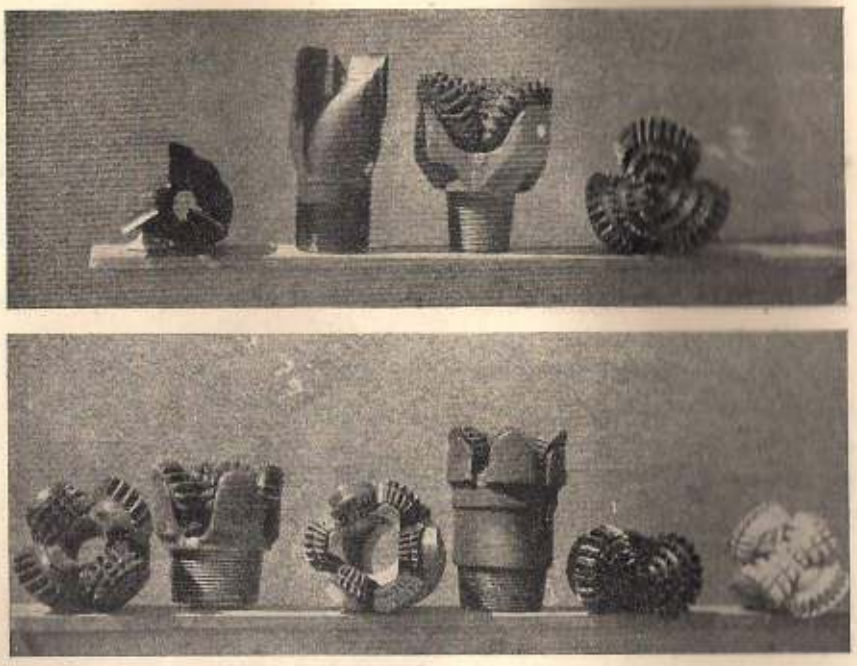


Fig. 15 - Diversi tipi di scalpelli a trapano. *A des.*: biconi, triconi, quadriconi. *A sin.*: « scarpe » di carotieri vari. (In dotazione alle sonde dell'AGIP). - *Foto* R. Fabiani.

sione, per la quale s'impiegano vari tipi di scalpelli (fig. 13 A-D), si fa a *secco*, tenendo al fondo solo un piccolo strato d'acqua, che serve ad impedire l'eccessiva frantumazione dei detriti e il loro ristagno alla base del foro in avanzamento. Tratto tratto i detriti vengono levati mediante una *cucchiaia*. Si è introdotto in America anche lo scavo senz'acqua, asportando i detriti a *mezzo di aria compressa*.

B. — *Sistema a rotazione* (*Rotary system of drilling*). Il sistema a rotazione oggi più generalmente impiegato è una derivazione di quello di perforazione *a corona di diamanti* (fig. 14), nel quale l'utensile perforante è di forma cilindrica con l'estremità operante (scarpa) arrotondata e armata di frammenti, in essa incastonati, di *bort*, di *carbonado* o di *ballas* (neri), cioè di residui della lavorazione del diamante ordinario o di sue varietà, che sono anche alquanto più dure. Ora al posto del diamante si usa anche il carborundum (SiC).

Con questi utensili a corona ruotanti si possono perforare anche le rocce più dure. Per rocce tenere si usano invece corone a denti e

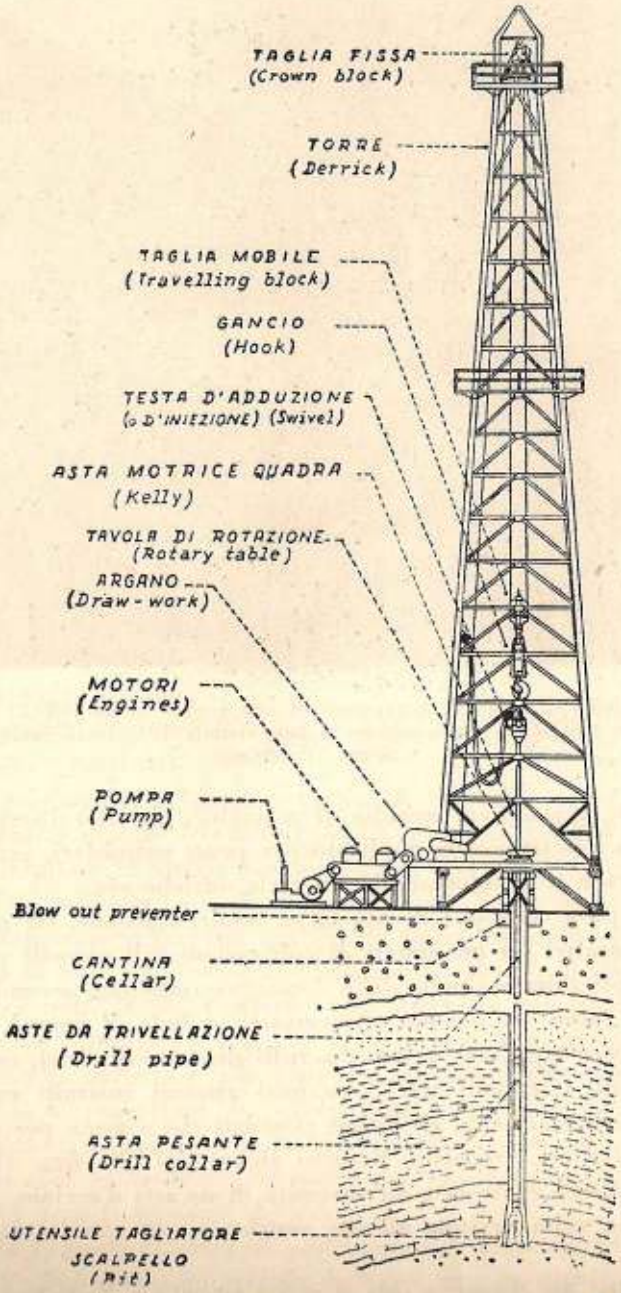


Fig. 16 - Schema d'impianto a rotazione per grandi profondità.

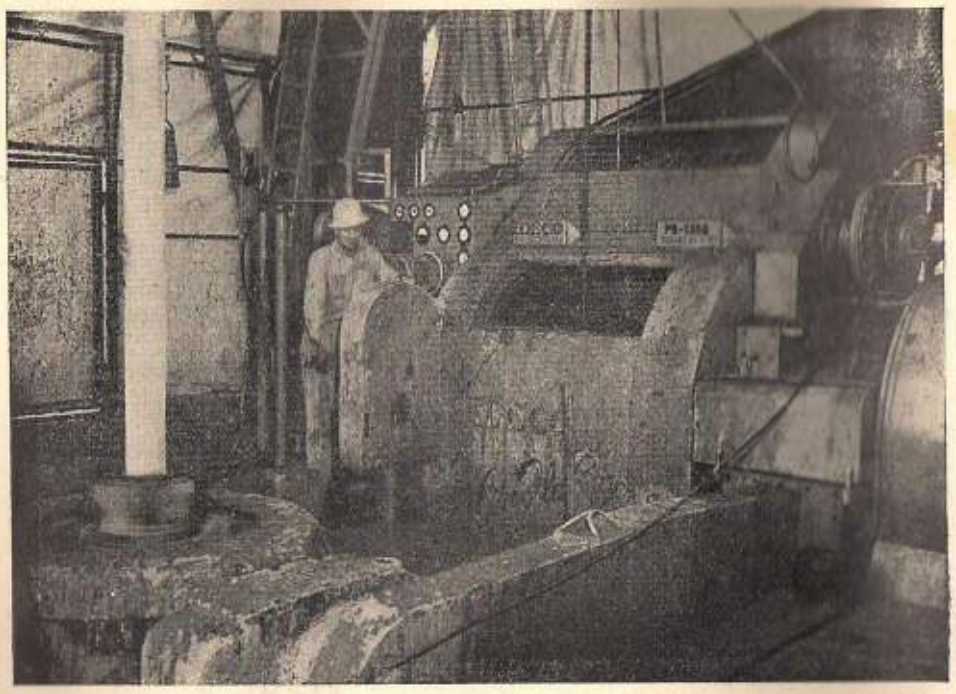


Fig. 17 - Ponte di comando e manovra di una grande sonda IDECO da 5000 m in dotazione dell'AGIP. Sulla sinistra è ben visibile la « tavola rotary » in movimento (*Publifoto*)

corone che agiscono col sussidio di graniglia (sferette) d'acciaio. Questo sistema è scarsamente applicato per pozzi petroliferi, generalmente lo è invece per esplorazioni minerarie, idriche ecc.

Nel tipo a rotazione di più largo impiego attuale, sia per i sondaggi esplorativi sia per quelli di coltivazione, gli utensili perforanti o trapananti sono scalpelli dalle forme svariatissime secondo la natura delle rocce che devono attraversare: a coda di pesce [1], a lancia (es. per rocce argillose), a lame, a rulli dentati cilindrici, conici (biconi, triconi, tetraconi) ecc. Sono tutti attrezzi costruiti con acciai speciali, particolarmente gli ultimi ricordati che s'usano per rocce dure e abrasive (es. arenarie). Vedansi alcuni tipi alle figg. 14-15).

Lo scalpello è avvitato all'estremità di un'asta d'acciaio, l'*asta pesante*, a sua volta avvitata all'*asta motrice* o *asta quadra* (in genere

[1] Scalpello: *bit, Meissel*; a coda di pesce: *fish-tail bit, Fischschwanz-Meissel*; a rulli: *roller bit, Vollrollenmeissel*; biconi, triconi: *twocône rock bit, tricone bit, 2 Konus, 3 Konus Vollrollenmeissel.*

a sezione quadrata, ma talora invece esagona) la quale, infilata nella *tavola di rotazione* (*rotary table, Drehtische*, figg. 16 e 17) è solidale col movimento di questa, che, a mezzo di ingranaggi e trasmissioni, è prodotto da motori, che possono essere azionati a vapore, a nafta, a gas o elettricamente. Man mano che procede la perforazione si aggiungono, tra l'asta motrice e quella pesante che porta lo scalpello, delle aste (cave), allungando così la « *batteria* » quanto è necessario per arrivare alla profondità in programma.

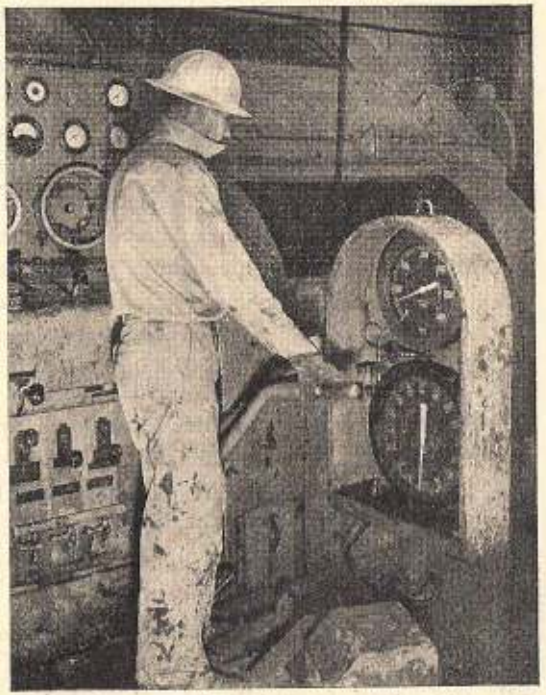


Fig. 18 - Drillometro e manometro pompe di una IDECO da 5000 m dell'AGIP. (*Publifoto*)

Come mostra la schematica figura 16, la « batteria » è assicurata ad una *taglia mobile* (*travelling block, Flaschenzugblock*), che può essere sollevata o abbassata per mezzo dei cavi d'acciaio (*steel ropes*) scorrenti tra essa e la *taglia fissa* (*crown block, Turmrolleneinrichtung*) e manovrati tramite l'argano ecc. Fra la taglia mobile e l'asta motrice è inserita la *testa d'iniezione o d'adduzione*, (*swivel, Spülkopf*), sostenuta dal *gancio* (*hook, Forderhaken*), attraverso alla quale passa il *fango* (*mud*) addotto da apposita vasca a mezzo di pompe, ch'entra attraverso alla batteria e allo scalpello, riempie costantemente il pozzo durante le operazioni di perforazione ecc., risalendo ed uscendo da uno sbocco sottostante alla tavola di rotazione, in modo da circolare (si ha cioè perforazione *idraulica con circolazione di fango*). Vedremo tra poco le funzioni del fango.

Tutta l'apparecchiatura di perforazione è sistemata entro la *torre* o *derrick* (*Bohrturm*), in origine di legno, ora, in genere, di acciaio. L'insieme si dice anche semplicemente « sonda » (*rig, drilling rig, Bohrkran*). A parte i motori, le pompe, gli scalpelli, le tubazioni d'o-

gni genere ed uso ecc., il corredo di attrezzi e di utensili per le manovre correnti e per le complicate e talora estremamente difficili operazioni di *istrumentazione o pescaggio*, in caso di accidenti di vario genere (scalpelli rimasti al fondo, batterie intoppate, rotte ecc., che si cerca di ricuperare mediante gli attrezzi da pescaggio o *pescatori, fishing jobs, fishing tools, Fangwerkzeuge*) costituisce una serie innumerevole dei più vari e ingegnosi ordigni, il cui insieme anche alla semplice vista, dà un'idea della grande complessità e difficoltà della tecnica di sondaggio.

Funzioni del fango di circolazione.

Il fango è costituito normalmente di argilla comune oppure bentonitica, stemperata in acqua [1], ed ha nella pratica ordinaria densità media 1.32 (= 57.1 A.P.I.), che in casi speciali può essere portata ad es. a 2.34 (101.3 A.P.I.). Esso ha funzioni di prim'ordine sia per le operazioni correnti di sondaggio, sia in circostanze particolari più o meno eccezionali. Ecco le più notevoli:

a) impedisce che in corrispondenza a rocce incoerenti o spappolabili il foro frani o si ostruisca, formando un rivestimento o intonaco alle sue pareti (pannello, *sheath, cake*);

b) asporta e fa risalire, via via che son prodotti dallo scalpello, i detriti (*cuttings*) delle rocce scavate;

c) ostacola l'uscita di gas, olio, acque da orizzonti incontrati che ne contengono. Nel caso di fluidi in pressione, soprattutto gas, col peso della colonna da esso formata e con la sua densità, che può essere convenientemente regolata, controbilancia tale pressione ed impedisce, di regola, le eruzioni. Può essere all'uopo appesantito con sostanze di notevole densità, ed es. con polvere di barite (solfato di bario o spato pesante, d = 4,3 a 4,7). In casi speciali anche con ematite, pirite ecc.;

d) il fango concorre anche a raffreddare gli scalpelli, facilitando la loro opera e contribuendo a diminuirne l'usura, ecc.

[1] L'acqua dev'essere scevra di sali, ad es. NaCl, poiché fanno floculare l'argilla, annullando la proprietà colloidale indispensabile alle funzioni del fango. Si prepara pure un fluido per circolazione con bentonite sottoposta a processo speciale (*Aquagel*) e, per giacimenti a bassa pressione, con emulsione d'olio (*oil-base mud*). Secondo necessità e circostanze varie (incontro di acque molto salate, perdite per cavernosità ecc.) al fango si aggiungono sostanze chimiche varie e materiali adatti a tamponare (semi di cotone, trucioli di cellophan ecc.).

Onde possa servire alle accennate sue molteplici funzioni e ad altre che omettiamo, il fango deve rispondere ad alcune proprietà che devono esser tenute in costante controllo ed adeguatamente modificate ogni volta che sia necessario [1]. È dunque un elemento assai delicato, che esige la sorveglianza di personale scientifico e tecnico sperimentato, sempre pronto e all'altezza degli interventi che si presentassero necessari, dai quali può dipendere talvolta la sorte di un pozzo in perforazione e perfino di un giacimento.

Devonsi dunque adattare, sia alle ordinarie funzioni, sia a quelle straordinarie o anche del tutto eccezionali: la densità, la viscosità, la tissotropia, le proprietà colloidali, il pH, ecc.

Confronto tra i due sistemi di sondaggio.

Col sistema a percussione si son potute raggiungere in via eccezionale anche profondità prossime ai 3000 m. Esso presenta però difficoltà e rischi (ad es. per la rottura del cavo), che aumentano eccessivamente con l'approfondimento, sicché, normalmente, non conviene (data anche la lentezza di scavo) servirsi di questo sistema per profondità sopra i 1300 m. Esso è tuttavia preferibile in particolari condizioni logistiche (difficoltà di fornitura d'acqua, di carburante, ecc.) e specie per i sondaggi esplorativi in aree nuove (i *wild cats* o « gatti selvatici » del gergo dei ricercatori americani). Oltre a ciò, per esplorazioni preliminari soprattutto, il sistema a percussione consente la scoperta di orizzonti di gas o di olio con deboli pressioni, il che non può avvenire col sistema rotary, causa la colonna di fango.

Per contro il sistema a rotazione si presta a raggiungere le maggiori profondità possibili (massima, giugno 1949, m. 6254, pozzo Pacific Creek n. 1, Rock Springs, Wyoming), consente, in genere, forti velocità di perforazione e l'attraversamento di rocce (sia troppo plastiche, sia dure), per le quali l'altro sistema male si presterebbe o non si presterebbe affatto, sia per la loro natura, sia pei casi di eccessiva inclinazione degli strati, che più facilmente nel sistema a percussione sono causa di eccessive deviazioni dei pozzi dalla verticale.

A queste prerogative del metodo rotary — che, unite a qualche altra, compensano gli accennati svantaggi, nonché la complessità dell'attrezzatura e l'alto costo d'impianto e d'esercizio — s'aggiunge la possibilità di ottenere, anziché soltanto frammenti di roccia, come

[1] Conservare, ad es. la proprietà di evitare la decantazione dei frammenti che lo inquinano, di mantenere in sospensione le sostanze in esso disperse, tipicamente l'argilla ecc.

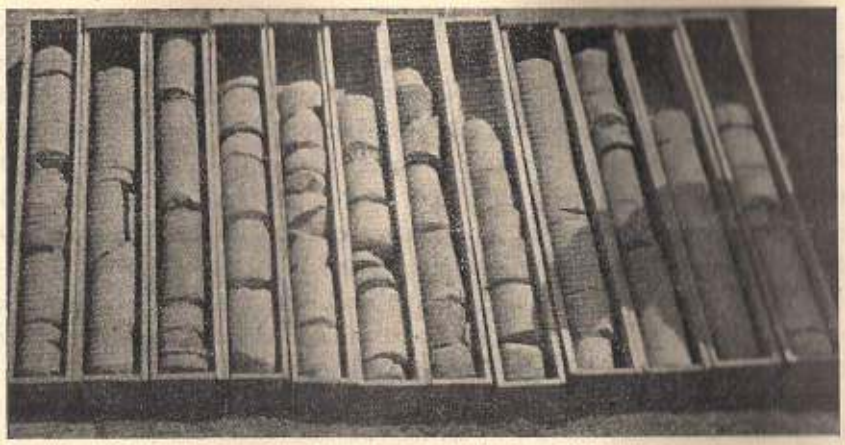


Fig. 19 - Serie di carote, ordinate secondo la profondità donde vennero estratte, sicché con esse si può costruire la serie o colonna stratigrafica.

avviene con la percussione (che mescola anche quelli di orizzonti contigui) dei campioni (*samples*) cilindrici interi di diametro e lunghezza sufficienti per un esauriente riconoscimento della natura delle rocce incontrate e dei loro eventuali fossili, in modo da poter costruire la « colonna » stratigrafica corrispondente al pozzo.

Questi campioni della serie stratigrafica (per la forma, che può ricordare la parte superiore cilindroide di un fittone di carota, fig. 19), sono chiamati *carote* (fr. *carottes*), oppure *cores* (= torsoli) dagli americani e *Bohrkerne* dai tedeschi: da ciò il nome di *carotaggio* all'operazione necessaria per ottenerli, della quale daremo subito una idea.

Come accennato, esistono anche apparecchi *misti*, nei quali cioè può alternarsi la percussione con la rotazione.

Carotaggi [1].

Il *carotaggio*, or ricordato, deve essere definito, perché il termine recentemente è stato esteso a varie altre operazioni. Lo si dice dunque *carotaggio meccanico* o anche *geologico*, per distinguerlo dai *carotaggi geofisici*, i quali al confronto di esso sono, per così dire, simbolici, come vedremo fra poco.

[1] La rappresentazione dell'andamento (curva) di un fenomeno fisico o chimico o di un'operazione qualsiasi, di pari passo colla profondità di un sondaggio, è indicata dagli americani colla parola *log* (dal termine usato dai naviganti: libro di bordo per la velocità della nave ecc.). Si hanno dunque: *electric log*, *radioactivity log*, *drilling-time log* (diagramma della velocità di perforazione), *temperature log* ecc. I metodi relativi son detti *logging methods*, es. *electric logging* (= carotaggio elettrico).

Per isolare durante la perforazione dei tratti cilindrici delle rocce attraversate, si prestano bene anzitutto i dispositivi già ricordati del metodo rotatorio *a corona* (fig. 14), col quale si può fare senz'altro un *carotaggio continuo*.

Col sistema *rotary* propriamente detto è invece necessario sostituire agli scalpelli di perforazione ordinaria i *carotieri* (v. figg. 14, 15 e 20), i quali hanno duplice funzione: di trapanare le rocce e nello stesso tempo di isolarne e afferrarne le carote. Anche qui, volendo, si potrebbe eseguire un carotaggio continuo (si fa anche con *circolazione inversa*), che però si pratica solo di rado e per particolari obiettivi di esplorazione. Di norma si fa saltuario e si cerca di limitarlo al minimo. Ciò per varie ragioni: il tempo necessario a sollevare la « batteria », a sostituire lo scalpello ordinario con quello a carotiere e calarla al fondo per poi risollevarla e tornare a cambiare scalpello, incide sulla rapidità di avanzamento del sondaggio e quindi sul suo costo, ed aumenta il rischio di vari incidenti di sondaggio.

Per tali ragioni ora, non solo si cerca di ridurre il numero di queste operazioni, ma anche di sostituire il procedimento, che diremo classico, con altri più semplici e più razionali nel senso di eseguirli proprio nei punti meglio indicati, come si vedrà fra poco, servendosi invece correntemente per la stratigrafia generale del sondaggio dei detriti di roccia, che il fango di circolazione convoglia dal fondo alla superficie, scaricandosi anzitutto in un *vibrovaglio* selettore, per rientrare, liberato dai detriti stessi e dalla sabbia (elemento che altera le proprietà del fango e corrode gli scalpelli), nella vasca, donde, previa rettifica delle sue caratteristiche, se necessaria, viene ripompato e rimesso in circolazione.

Lo studio petrografico e paleontologico dei detriti, man mano che arrivano a giorno, ha la massima importanza, perché sui dati da esso forniti si basa essenzialmente la costruzione della colonna stratigrafica ed è possibile eseguire le correlazioni tra i pozzi.

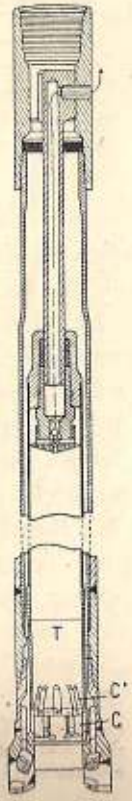


Fig. 20 - Sezione di carotiere con scarpa a rulli dentati. - T portacarota; C, C' strappo-carota inferiore e superiore. (Da H. L. Landua, in *Subsurf. geol. meth.*, fig. 314. Per cortesia dell'Editore prof. LeRoy).

Le indicazioni per stabilire razionalmente i punti ove praticare i carotaggi meccanici, indispensabili per alcune determinazioni che i detriti non possono fornire (es. porosità, permeabilità, grado di mineralizzazione ecc.), sono tratte da uno o più dei « carotaggi geofisici », dei quali daremo subito un'idea. Prima ricordiamo che ora, sulle direttive di questo, si praticano, in genere, delle prese di *carote di parete* (*side-wall cores*), servendosi di apparecchi vari, che, o a mezzo di una carica fatta esplodere elettricamente o con dispositivi meccanici o idraulici (pressione del fango), proiettano e infiggono un piccolo tubo carotiere nella roccia delle pareti del pozzo, ottenendo carote piccole, ma sufficienti agli scopi voluti.

Carotaggi geofisici.

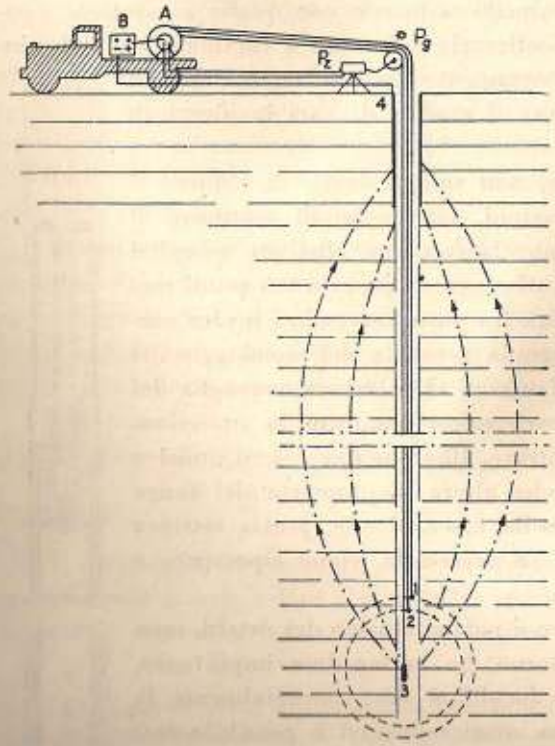


Fig. 21 - Schema del dispositivo del *carotaggio elettrico*. - 1, 2 elettrodi impolarizzabili; 3, 4 gli altri due elettrodi - Pg puleggia; Pz potenziometro - A, argano - B, batteria elettrica. (Da C. ed M. Schlumberger ed E. G. Leonardon).

Finora ha più diffuso impiego il *carotaggio elettrico*, ideato e applicato per primo (1929) dal geofisico francesce Conrad Schlumberger. Grazie a questo procedimento è stato possibile annullare il principale inconveniente tecnico del sistema *rotary* dovuto al fatto che la colonna di fango, mentre serve a sostenere le pareti scoperte del pozzo durante la perforazione e nel periodo che precede il tubaggio (v. più avanti), non consente però di localizzare gli orizzonti con gas, olio od acque, anche se i fluidi sono ad una certa pressione. Perciò, pri-

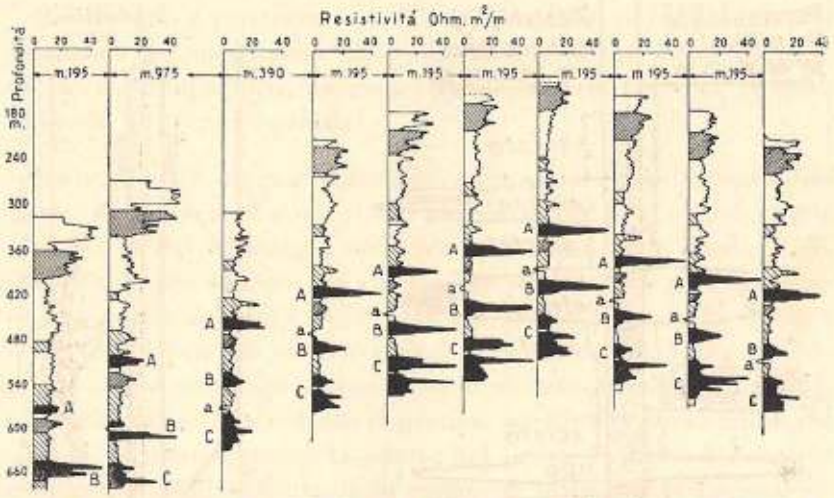


Fig. 22 - Correlazione fra una serie di pozzi a mezzo del carotaggio elettrico. - A, sabbie petrolifere - B e C, 1° e 2° livello produttivo - a, venuta d'acqua. (Da C. ed M. Schlumberger ed E. G. Leonardon).

ma dell'introduzione del carotaggio elettrico, alcuni pozzi che pure avevano incontrato livelli mineralizzati sono invece apparsi sterili oppure parte dei loro eventuali orizzonti, che potevano essere sfruttati, è rimasta ignota e sigillata dalle tubazioni.

Il *carotaggio elettrico* si deve praticare *prima* che il pozzo venga tubato. Secondo il procedimento originario, l'operazione avviene nel modo e col dispositivo che seguono: nel foro del sondaggio, pieno di fango, si calano tre elettrodi appesi a tre conduttori isolati (v. fig. 21), due degli elettrodi (impolarizzabili) sono tenuti assai vicini tra loro e a minore profondità del terzo, il cui conduttore dal capo opposto è immerso nel terreno alla superficie del suolo. Esso è collegato con una sorgente d'energia elettrica (corrente continua o alternata), sicché attorno all'estremo immerso nel pozzo si crea un campo elettrico (all'incirca sferico); la differenza di potenziale tra i due elettrodi più alti è indicata alla superficie da un potenziometro collegato ai conduttori che li sostengono: essa dà la misura della resistività media delle rocce del pozzo circostante ai due elettrodi. Le variazioni che hanno luogo via via che si fa scendere il complesso degli elettrodi, tradotte in *diagramma* a mezzo di registrazione fotografica, danno la rappresentazione dell'andamento della *resistività* e quindi della natura degli strati che si succedono lungo il sondaggio e delle condizioni in cui essi si trovano (cioè se impregnati di gas, di olio o di acque).

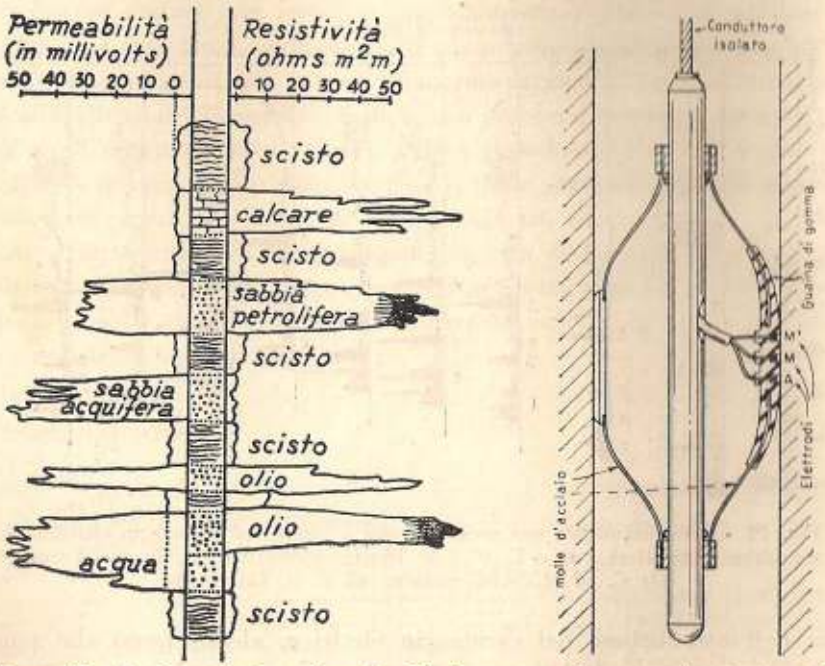


Figura 23 - A sin., esempio schematico di diagramma di carotaggio elettrico (da POLDINI). - A des., apparecchio pel « microlog » (da H. G. DOLL in *Subsurface geol. methods*, col permesso di LEROY).

Poiché la minima variazione di facies litologica e di condizioni dà luogo ad una evidente variazione di resistività, mentre la corrispondenza si riflette in eguali caratteri della curva sul diagramma, è anche possibile istituire correlazioni fra orizzonti corrispondenti di pozzi diversi (fig. 22).

Il sistema in oggetto è ideato in modo da poter rendere (qualitativamente) anche diagrammi dei potenziali *spontanei* o *naturali* esistenti all'interno dei sondaggi. Tali diagrammi sono l'espressione delle forze elettromotrici generate dalla filtrazione delle acque attraverso ad alcuni strati e si dicono pertanto *diagrammi* di *porosità* e di *permeabilità*.

Questi diagrammi possono essere ottimamente utilizzati per riconoscere la presenza del petrolio in uno strato, ad es., un orizzonte di sabbia petrolifera presenta alta resistività e forte porosità. Una sabbia acquifera si distinguerà invece per minima resistività ed alta porosità. Un'argilla o uno scisto: minima o nulla porosità (impermeabile) e debole resistività. Un calcare compatto o un banco di carbone o di gesso: alta resistività, nulla porosità (v. schema fig. 23 sin.).

Modificando e variamente combinando le distanze fra gli elettrodi si ottengono nel diagramma della resistività vari tipi di curve (normale, normale ingrandita, normale laterale, inversa ecc.) per le quali si rimanda ai trattati speciali [1].

Microlog. — È un carotaggio elettrico applicato a un microvolume di parete di un pozzo, il quale risolve in minuto dettaglio qualche tratto di una curva del carotaggio ordinario che definisce in modo inefficiente alcune zone di rocce (es. calcari) con resistività di gran lunga superiore a quella del fango di circolazione, o non consente di stabilire nettamente i limiti fra strati arenacei e argilloscistosi. L'apparecchio (fig. 23 des.) è costituito essenzialmente di tre elettrodi vicinissimi, racchiusi in una guaina isolante di gomma, assicurata ad una molla che comprime il sistema contro la parete del pozzo. Particolari sul sistema, sulle sue possibilità attuali ed esempi di utilizzazione possono vedersi in pubblicazioni di H. G. DOLL [2].

Le apparecchiature elettriche SCHLUMBERGER si prestano anche: a misure *geotermiche* (grado geotermico, calore specifico delle rocce del pozzo ecc.), consentendo di scoprire i punti d'*uscita di gas* (abbassamento della temperatura) o *di acque* (aumento della temperatura); a controllare le operazioni di *cementazione* delle tubazioni (v. più avanti); a misurare la *direzione* e la *pendenza* degli strati attraversati; a determinare l'eventuale *deviazione* (drift) dalla verticale dei sondaggi [3], che si verifica di frequente e che, se eccessiva, può avere dannose conseguenze o costringere a rettificare il pozzo (diremo fra poco dei sondaggi che vengono invece volutamente deviati).

Carotaggi radioattivi.

Sostanze radioattive sono presenti, sia pure in minima quantità, nelle diverse rocce. Scarsissimi ne sono il sale, il calcare, le sabbie,

[1] Per una esauriente trattazione del metodo di carotaggio elettrico, vedansi le pubblicazioni di C. ed M. SCHLUMBERGER e di LEONARDON, elencate nella bibliografia. Per i vari tipi di curve e relative interpretazioni in molti esempi concreti, si consulti: *Electric logging* di E. F. STRATTON and R. D. FORD, nel simposio *Subsurface Geologic Methods*, 2 d ed. a cura di L. W. LEROY (1950).

[2] Ad es. nell'articolo « *The Microlog* », inserito del simposio già citato edito da LEROY, *Subsurface geologic methods*, pag. 399-419.

[3] Per determinare la *deviazione* dalla verticale e la sua *direzione*, sono stati ideati vari tipi di apparecchi, meccanici, fotografici, elettro-chimici e azionati da fluidi. La registrazione avviene, di regola, su un disco (v. in *Subsurf. geol. meth.*, l'articolo *Oil-well surveying* di J. B. MURDOCH Jun.). Il così detto « Totco » è uno di tali apparecchi della Technical Oil Tool Corp. di Los Angeles.

un po' meno i calcari argillosi, mentre hanno notevole radioattività le argille (più le scure che le chiare, in dipendenza dal maggior contenuto di sostanze d'origine organica), la bentonite, ecc.

Le radiazioni provenienti dalle rocce attraversate da un sondaggio possono essere rivelate e misurate con adatti apparecchi, dei quali il più importante consiste in una camera di ionizzazione che si cala nel pozzo. Essa è riempita di un gas inerte, che, attraversato dai raggi gamma, determina un flusso di corrente fra due elettrodi isolati, racchiusi nel suo interno. La corrente, amplificata a mezzo di un conduttore contenuto nel cavo che sostiene la camera, giunge all'esterno, dove è sistemato, in apposito automezzo, il complesso amplificatore-registratore. Si ha così una *curva dei raggi gamma* (fig. 24).

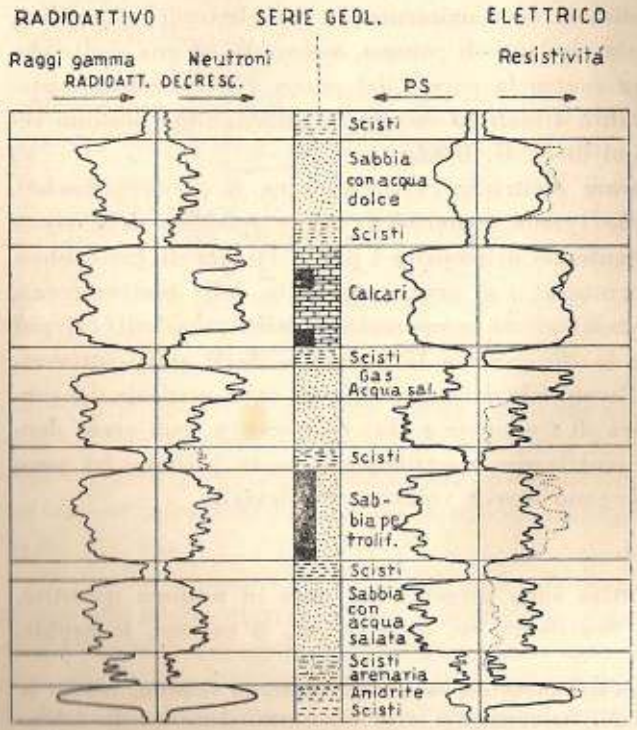


Figura 24 - Curve di carotaggio *radioattivo* ed *elettrico* raffrontate fra loro e con la corrispondente colonna stratigrafica. In nero gli orizzonti petroliferi. (Da V. J. Mercier in *Subs. geol. meth.*, col permesso di L. W. LeRoy).

Si può abbinarne un'altra, quella dei *neutroni*, la quale si ottiene bombardando le rocce del pozzo a mezzo di una sorgente di neutroni di adatta energia. È questa, in altre parole, la curva dell'idrogeno, dalla quale sembra tuttavia che non si abbiano sempre elementi soddisfacenti.

Il carotaggio radioattivo, che si è notevolmente diffuso negli Stati Uniti, si impiega o solo o associato a quello elettrico per reciproco controllo. Esso è poi usato a preferenza di altri (es. lo *Strata-Graph*,

v. L. Ch. Uren, *Petrol. Product. Engineer.*) per pozzi già tubati, pei quali il carotaggio elettrico ordinario non è applicabile.

Gli *isotopi radioattivi*, secondo alcuni scienziati americani (W. F. Libby, Th. R. Hogness), potranno un giorno essere utilizzati anche per scoprire direttamente i giacimenti di petrolio. Oggi è interessante il metodo di Libby e suoi collaboratori, che consente di stabilire con notevole precisione l'*età* del metano, sulla base del contenuto in esso dell'isotopo del carbonio C_{14}.

Il metodo finora non si presta per età superiori ai 30 mila anni. Comunque, se l'età è, ad es., di 10 mila anni, si ha motivo di ritenere che il gas non sia di origine petrolifera, se di età superiore è presumibile che sia invece derivato da un giacimento petrolifero.

Fra i numerosi espedienti ed apparecchi escogitati e applicati per lo studio di un sondaggio, può ricordarsi l'esame dell'aspetto delle rocce delle pareti sulla base dell'immagine *fotografica*, presa direttamente, alle profondità voluta, con un ingegnosissimo apparecchio (v. descrizione e saggi nell'articolo: *Deep-well Camera* di O. E. Barstow e C. M. Bryant in « *Subsurface geologic methods* », op. cit.).

Carotaggio geochimico.

S'è accennato che oltre ai metodi geofisici di prospezione ne vennero provati altri, es. i metodi *geochimici*. Questi si basano soprattutto sulla possibilità di svelare anche piccole tracce di idrocarburi alla superficie del suolo corrispondente a raccolte di gas o di olio esistenti in profondità. Si sono al proposito raggiunti risultati interessanti. La chimica e la chimico-fisica offrono tuttavia attualmente un più notevole ausilio nella fase dell'esplorazione meccanica e in quella della produzione. Prescindendo dalla parte assai importante di queste scienze, in quanto riguarda la preparazione dei fanghi e la costante conservazione dei loro indispensabili caratteri nel corso della perforazione, nonché la loro tempestiva modificazione per far fronte a circostanze anche eccezionali, è prezioso il contributo che le due scienze medesime apportano per la individuazione di eventuali mineralizzazioni che s'incontrano in un sondaggio e per le correlazioni tra pozzi diversi. Questi scopi vengono raggiunti grazie all'analisi metodica dei detriti di perforazione e del fango di circolazione, col sussidio di apparecchi vari (es. un dispositivo elettrico, il *detector* pei gas; la lampada di Wood che emette raggi ultravioletti, i quali provocano fluorescenza in campioni che contengono anche solo tracce di petrolio). I dati raccolti

man mano che procede il sondaggio servono a costruire un profilo o *log* geochimico del pozzo.

Tubaggio dei pozzi - Cementazioni.

Secondo la natura delle rocce, in relazione alla quale le pareti del pozzo danno affidamento di non franare (es. calcari, arenarie ecc.) oppure presentano il pericolo di frana (materiali incoerenti) o di chiudersi (argille) e secondo anche la profondità, in cui si sa o si presume esistano orizzonti con gas, olio, acque, o alla quale si ritiene di dover spingere la perforazione, il pozzo viene sistemato calandovi una *colonna* di tubi (*casing*). L'ideale sarebbe anche per pozzi profondi di fare l'operazione in una sola volta con una colonna di diametro unico. Di solito però il pozzo viene tubato a tratti, impiegando, naturalmente (in genere, al massimo cinque) colonne di diametro [1]

[1] Come per tutta l'attrezzatura, pei diametri e le lunghezze dei tubi si impiegano le serie tipo (standard) americane. Devonsi pertanto conoscere — oltre alla terminologia per comprendere trattati, riviste, cataloghi tecnici — le:

I. — Misure usate specialmente dagli Americani nella tecnica e nell'industria petrolifere, ragguagliate a quelle del sistema decimale

a) Lineari (*Linear measures*):

1 pollice (*inch. in.* o ")	= 2.54000 cm	— 1 cm	= 0.39370 in.
1 piede (*foot. ft.* o ') = 12 in.	= 30.48000 cm	— 1 cm	= 0,0328 ft.
1 iarda (*yard. yd.* o ×) = 3 ft.	= 0.91440 m	— 1 m	= 1,0936 yd.
1 braccio (*fathom. fm*) = 2 yds = 6 ft.	= 1.8288 m	— 1 m	= 0.5468 fm
1 miglio (*mile*)	= 1.6935 km	— 1 km	= 0.62137 mile

b) Di area (*square measures*):

1 pollice quadrato (*square in.*)	= 6.452 cm²	— 1 cm²	= 0.15500 in.²
1 piede quadrato (*sq. ft.*) = 144 sq. in.	= 9.2903 dm²	— 1 dm²	= 0.10764 ft²
1 iarda quadrata (*sq. yd.*) = 9 sq. ft.	= 0.8361 m²	— 1 m²	= 1.1960 yd²
1 acro (*acre*) = 4840 sq. yds	0.4047 ha	— 1 ha	= 2.4711 acres
1 miglio quad. (sq. *mile*) = 640 acres	= 2.58995 km²	— 1 km²	= 0.3861 sq. m.

c) Di volume o capacità (*cubic* o *capacity measures*):

1 pollice cubico (*cub in.*)	= 16.387 cm³	— 1000 cm³	= 61.024 ins.³
1 piede cubico (*cub. ft.*)	= 28.317 dm³	— 1 dm³	= 0.03531 ft³

1 gallone (*gallon*) amer. = 3.78553 l. — 1 barile (*barrel*) *americano per petrolio* = *158.984 litri*. — 1 mc = *6.2898 barili* (bbl). (Il barile inglese = 163.65 litri).

d) Di peso (*weight*):

Le *pressioni* (*pressures*) sono espresse in *libbre per pollice quadrato*. 1 libbra (*pound* o *lb*) = 0.4536 kg — 1 lb per pollice quadrato = 0.068046 atm. — 1 atm. = 1.0332 kg per cm² = 14.7 lb per sq. inch = pressione di 760 mm Hg. — La sigla *psi* = pressure square inch.

via via decrescente, cosicché in definitiva si ha un sistema a cannocchiale (ogni colonna di un dato diametro risulta di più o meno numerosi tubi avvitati l'uno all'altro).

Calata la colonna (coll'estremità inferiore, « scarpa », rinforzata) entro il pozzo (le cui pareti sono state in precedenza convenientemente regolate), si procede ad una operazione, la cui riuscita ha il massimo interesse, cioè alla *cementazione*, che deve garantire, non solo l'aderenza della colonna alle pareti, ma anche la perfetta tenuta del sistema cioè dell'intercapedine roccia-tubo, onde evitare canalizzazioni

II. — Misure per proprietà fisiche varie

Temperature: Gradi Centigradi C° = 5/9 di Gradi Fahrenheit F° — 32.
Es.: 0°C = 32° F ; 100°C = 212° F.

Densità. — La densità si identifica col peso specifico o gravità specifica (*specific gravity*) se è misurata in grammi per cm³ e la gravità specifica è espressa in peso di egual volume di H_2O distillata a + 4°C. Pei petroli la densità è riferita alla temperatura di 15,4°C o 60°F. In America per l'industria petrolifera vige la scala ufficiale A.P.I. (American Petroleum Institute), per la quale si usa il « modulo 141,5 (per gli altri liquidi, la scala Baumé con modulo 140). La formula è:

$$\frac{141{,}5}{x} - (141{,}5 - 10) = \text{gradi A.P.I. (x densità)},$$

donde, per es., ad x = 0,96 corrisponde in scala A.P.I. il numero 15,89; ad x = 0,80 il numero 45.

Viscosità è l'attrito interno nei fluidi dipendente dalla coesione molecolare ed è inversamente proporzionale alla temperatura. Unità di misura è il *poise* (1 p = 100 centipoise), derivato dal nome del fisiologo J. L. M. Poiseuille, cui si deve la formula della viscosità. Il poise corrisponde a 1 dina-secondo per cm². In pratica si usano, secondo gli scopi, vari tipi di viscosimetri. Il grado di viscosità è assai importante per l'emigrazione del petrolio e per la sua erogazione dai giacimenti e nella tecnica del sistema rotary per le molteplici funzioni del fango di circolazione.

Permeabilità. — Si esprime in *darcys* o *millidarcys* (da H. D'Arcy, che nel 1856 ne stabilì la legge che prese il suo nome). A 1 darcy corrisponde la permeabilità di un corpo, ad es. una roccia, che alla temperatura di 20°C, e sotto la pressione di un'atmosfera, consente in un secondo il passaggio di 1 cm³ d'un fluido, di viscosità eguale a 1 centipoise, attraverso a una sezione di 1 cm², spessa 1 cm. La permeabilità, elemento assai importante per le caratteristiche degli orizzonti mineralizzati agli effetti della loro potenzialità ecc. si misura con permeametri di vario tipo.

Porosità. — Abbiamo già notato la pur grande importanza di questa proprietà delle rocce serbatoio, nei rispetti della resa ecc. È pertanto necessario determinare il suo valore per le varie deduzioni e induzioni che se ne possono ricavare. Quella che importa non è però la porosità *assoluta*, ma quella *relativa* o *effettiva*, che è la percentuale dei vuoti o pori *intercomunicanti*. Si determina a mezzo porosimetri.

e fughe di fluidi alle « *spalle* » della colonna. A tal fine, con adatte attrezzature, attraverso a una tubazione di diametro conveniente [1] sistemata nell'interno del *casing* e che giunge un po' oltre la scarpa di questo, si pompa in pressione della malta cementizia, la quale, grazie a speciali dispositivi, è costretta a risalire lungo l'intercapedine anulare fra il *casing* e la parete del pozzo, ove si lascia consolidare prima di continuare la perforazione.

Come già accennato, oltre che con determinazioni di temperatura, i risultati della cementazione possono essere controllati a mezzo di isotopi radioattivi immessi nel cemento. Pei particolari delle attrezzature e dei vari metodi seguiti nelle assai delicate e oltremodo importanti operazioni di cementazione, per i vari tipi di cemento da impiegare secondo i casi, per la chiusura delle acque, ecc. si rimanda ai trattati speciali. Lo stesso dicasi per quanto riguarda la messa in produzione di un pozzo e la sua coltivazione, che, naturalmente dev'essere coordinata con quella di tutti gli altri pozzi che attingono ad uno stesso orizzonte produttivo.

Pozzi eruttivi.

Nel corso delle molteplici e spesso difficili operazioni necessarie a portare la perforazione di un pozzo alla profondità voluta e a sistemarlo in modo da essere poi messo in regolare e regolabile produzione, può avvenire che il sondaggio arrivi a qualche orizzonte con fluidi a tale pressione da non essere controbilanciata dal fango normale e nemmeno da altro di maggiore densità e di composizione adeguatamente e tempestivamente corretta o che accada qualche altro dei vari incidenti, che insorgono di sorpresa e che sono tanto più pericolosi in regioni ove prevalgono forti pressioni negli accumuli d'idrocarburi: in tali evenienze il pozzo entrerà in *eruzione* (*blow-out*).

Esistono vari tipi di apparecchiature che, se azionate prontamente e di adeguata robustezza, possono frenare l'eruzione e consentire di

[1] La tubazione sistemata entro la colonna del *casing* vien detta correntemente *tubing* (che qualche autore chiama « sifone »), sia che serva alla cementazione o ad altre operazioni durante la perforazione (*tubo di pompaggio*) oppure all'erogazione degli idrocarburi (*tubo di produzione*). Il *casing* e il *tubing* possono venire chiusi separatamente, in guisa, fra l'altro, da poter misurare ogni qualvolta è necessario la rispettiva pressione, a mezzo di manometri, del gas o dell'olio, specie quando il pozzo viene messo in produzione. L'efflusso del fluido viene regolato in modo da ottenere le portate volute, mediante *duse* di diametro vario secondo che si ritiene necessario per tale regolazione.

rimettere in breve sotto controllo il pozzo. Dette attrezzature, che son definite di *sicurezza* o di *prevenzione delle eruzioni* (*blow-out preventers*), sono sistemate, durante tutto il periodo della perforazione, e fino al completamento ed assetto del pozzo per la produzione, alla testa del pozzo stesso (v. fig. 16), così da poter comandare la chiusura sia del casing e sia del tubing [1].

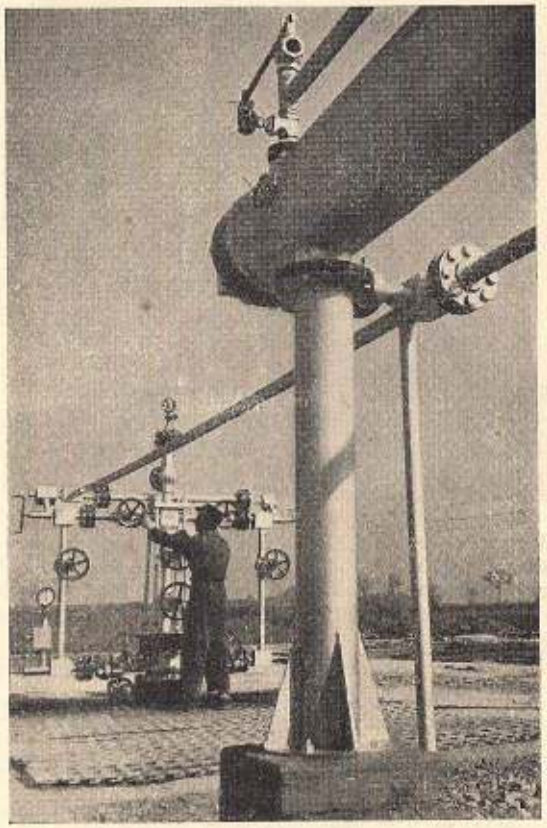


Fig. 25 - L'« Albero di Natale » al pozzo petrolifero di Cortemaggiore n. 1 (AGIP). In primo piano il *separatore*. (*Publifoto*).

Questo primo stadio eruttivo, durante il quale si ha violenta espulsione del fango, seguita da irruzione di gas, olio (se c'è) ed acqua, può dunque essere domato. Ma talvolta ciò non è invece possibile e allora il pozzo diviene indomabile (selvaggio, *wild*), il gas e l'olio per lo più si incendiano (figg. 26 e 27) e in breve si forma un *cratere* (fig. 27 sotto), che ingoia torre e macchinari...

È impresa estremamente rischiosa e difficile (anche pel rumore assordante e l'enorme calore), che richiede doti particolari di coraggio e resistenza, accoppiate a una tecnica altamente specializzata e procedimenti diversi secondo i casi, quella di giungere a soffocare l'incendio, il quale, a parte la distruzione d'ingenti quantità di gas o di petrolio, può provocare eruzioni in altri pozzi e scompigliare gli

[1] Vedansi in trattati speciali, ad es. in quello di Uren già citato, alcuni tipi di *preventers*.

Figura 26 - *A sin.*: Effetto di una delle numerose grandi esplosioni durante l'eruzione di gas e di acqua fangosa del pozzo di Caviaga n. 13 (AGIP), che ha formato cratere e ingoiato macchinario e sonda. (*Foto* R. Fabiani, 1949). - *A des.*: Incendio di un pozzo gassifero in Austria. (Da un Catalogo della Trauzlwerck).

orizzonti mineralizzati perfino di tutto un giacimento [1], senza contare i gravi danni alle proprietà circostanti, tanto più se trattasi di pozzo di petrolio.

Per domare un pozzo in eruzione sfrenata (*to kill*, uccidere il

[1] Nella storia petrolifera degli Stati Uniti i casi di eruzioni con incendio, cratere ecc. si contano a centinaia e a centinaia anche le vittime (v. ad es. *Petroleum Engineer*, ottobre 1947, pag. 194), ma se ne presentano un po' ovunque. Fra i recenti è celebre quello del pozzo Atlantic n. 3 del campo di Leduc (Alberta, Canada). Nel maggio del 1951 se n'ebbe uno anche in Persia (pozzo n. 20, Naft Safid). Nel numero del 15 novembre 1951 *The Oil and Gas Journ.* dà la fotografia dell'eruzione con incendio (gas) di un pozzo presso Darmstadt (Germania). I lavori di spegnimento e di riassetto durano talora molti mesi e perfino anni (tre anni nel campo gassifero di Richland nella Luisiana, nel quale tre pozzi finirono in cratere). Nel campo Seeligson (Texas) l'eruzione con cratere si propagò da uno ad altri tre pozzi, dei quali il quarto distava oltre 1 km dal primo. In vari casi l'eruzione incontrollabile è causata dal passaggio accidentale (rottura di colonna, canalizzazione alle «spalle» del casing per cementazione mal riuscita ecc.) di gas da un orizzonte profondo ad alta pressione ad un altro superiore: la colonna di fango è quindi di lunghezza insufficiente per farvi fronte colla sua pressione idrostatica, tanto più se non è tempestivamente appesantita quanto è necessario. A tale passaggio di gas e conseguente enorme aumento di pressione in orizzonti superiori sono imputabili, ad es., le accennate eruzioni dei campi di Richland e di Leduc e, in Italia, tipicamente quella di Basiasco (Caviaga,

pozzo, dicono gli americani) gli espedienti sono vari, secondo che si tratti di gas o di olio e se è o no sopravvenuto l'incendio.

Se il pozzo è solo gassifero in alcuni casi lo spegnimento si ottiene con poderosi getti di vapore acqueo, anidride carbonica ecc. o inondando di fango il cratere, e la rimessa sotto controllo può conseguirsi alcune volte mediante imbrigliatura o incappucciamento (*capping operation*), applicando cioè una specie di campana a valvola da assicurarsi con flange al casing (v. es. fig. 28), che consente l'uscita del gas, finché è ultimata la flangiatura, dopo di che si chiude lentamente la valvola ecc. Non di rado la violenza dell'eruzione è tale che è necessario tentare altri mezzi, ad es., raggiungere con una galleria a una certa profondità il casing e strozzarlo, ma, più spesso, pompando acqua e fango così da soffocare il getto eruttivo, oppure con l'esplosione di forti cariche di dinamite o di tritolo (talvolta con bombe gettate dall'aeroplano). Da recente, in casi assai gravi, si ricorre all'esecuzione di pozzi direzionati, piantati a debita distanza da quelli eruttivi, che vengono incontrati a conveniente profondità e soffocati, generalmente pompandovi fango in quantità. (Mediante un sondaggio direzionato è stato possibile domare il pozzo gassifero-petrolifero n. 21 di Cortemaggiore, come accennato qui sotto in nota).

Ci siamo occupati dei pozzi che nel corso della perforazione diventano eruttivi in modo da sfuggire al controllo. Alcuni autori chia-

Lodi). Anche qui all'eruzione di un pozzo è stato quasi concomitante il perturbamento di altri due, il più lontano dei quali è passato a violenta eruzione (figura 26 sin.) risoltasi con la formazione di un cratere, che ha ingoiato macchinari e gran parte della sonda, senza però, fortunatamente, prender fuoco. (v. Fabiani, *Pozzi petroliferi in eruzione*. Scienza e Lavoro, n. 6, 1949. Vi sono descritte anche alcune recenti eruzioni del Nord America).

Dall'incendio non s'è invece salvato un pozzo (n. 21) del campo di Cortemaggiore (Piacenza), potuto soffocare solo a mezzo di un pozzo direzionato (v. nel testo, sopra), dopo che aveva formato un cratere del diametro d'un cinquantina di m (v. figura 27).

Sull'argomento dei pozzi eruttivi di varia specie (*blow-outs*, *wild wells* e *craters*), è interessante lo studio di Ch. B. Carpentier, *Some causes of blow-outs during drilling and means of prevention* ecc. U. S. Bureau of Mines March 1937 (con bibliog.). Un efficace capitolo trovasi poi nell'Uren (op. c.). Negli Stati Uniti per domare e spegnere i numerosi pozzi eruttivi, si sono costituite apposite organizzazioni. Il titolare di una di queste compagnie, che ha sede a Houston nel Texas, è Myron M. Kinley, l'intrepido espertissimo specialista, che nel 1950 ha domato i due pozzi incendiati (18 e 21) di Cortemaggiore. Nello stesso anno ne ha ridotti all'impotenza altri 18, dei quali 10 del Texas. Nel maggio del 1951 ha spento anche quello persiano prima ricordato.

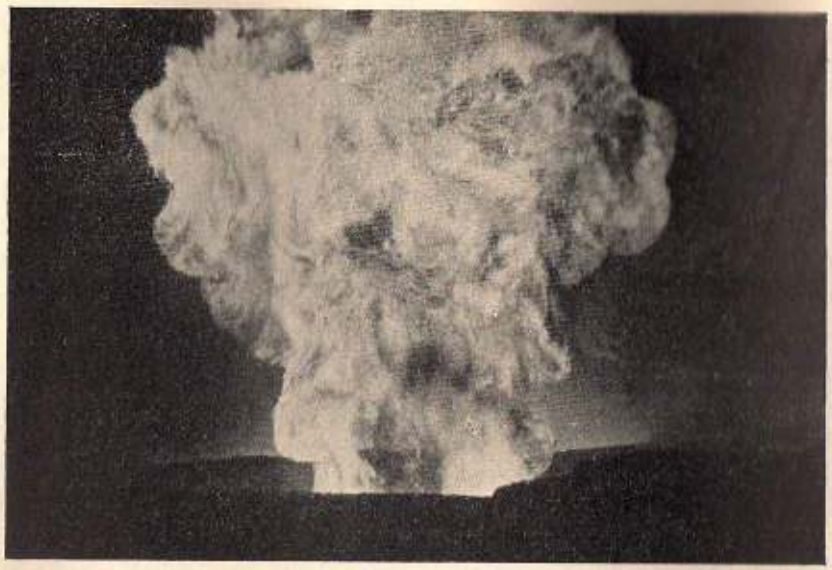


Fig. 27 - *Sopra*: un aspetto del grandioso incendio del pozzo di Cortemaggiore n. 21 (AGIP) - *Sotto*: il grande cratere prodotto dall'eruzione fotografata dalla torre del sondaggio deviato, a mezzo del quale l'eruzione era stata soffocata. (*Foto* G. Fattorossi).

mano eruttivi anche tutti i pozzi ultimati, dai quali l'efflusso del gas o dell'olio avviene spontaneamente e tale può durare anche a lungo, finché il declino della pressione non raggiunga un limite troppo basso.

In molti campi, nei quali ciò è avvenuto, si è ripristinata la pressione con iniezioni di gas o con altri espedienti, come accennato più indietro. Ove ciò non sia possibile o se anche originariamente il petrolio non è spinto dal gas a giungere almeno in superficie, si impiegano speciali impianti di pompamento.

Fig. 28 - Il pozzo a gas n. 18 di Cortemaggiore (AGIP) eruttivo con cratere, domato a mezzo campana (*capped*) aperta superiormente e inflangiata al casing. (*Foto* Fattorossi).

La pressione in alcuni campi può invece essere elevatissima, tanto da esser necessario anche in fase di produzione di tenere i pozzi sotto stretto controllo. In tali casi, tolto il preventer, si completa la sistemazione dei singoli pozzi applicando alla loro testa (*casing* e *tubing* di produzione) il così detto *Christmas tree* o *Albero di Natale* (fig. 25), il quale consente di regolare, secondo che nell'economia del campo si ritiene conveniente, l'erogazione sia del gas, sia dell'olio. I fluidi erogati vengono riversati nei *separatori*, allo scopo di avviare poi i gassosi in serbatoi distinti da quelli destinati ai liquidi. I gas « umidi » che contengono cioè idrocarburi superiori, come etano (gazolina), vengono liberati da questi, cioè *degazolinati*. Il gas « secco » o « residuo » è essenzialmente *metano*.

A proposito di *produzione eruttiva*, alcuni campi ad es. dell'Oklahoma, del Messico e del Medio Oriente, sono famosi per la quantità

enorme prodotta da singoli pozzi, soprattutto nella fase iniziale (il *first enthusiasm* degli americani). Ad es. un pozzo del Messico ha dato perfino 30 mila metri cubi di petrolio al giorno. E in ciò sta una delle ragioni del declino della produzione di questo paese, giacché, naturalmente, i pozzi con efflusso violento hanno in genere più breve durata.

Sondaggi deviati.

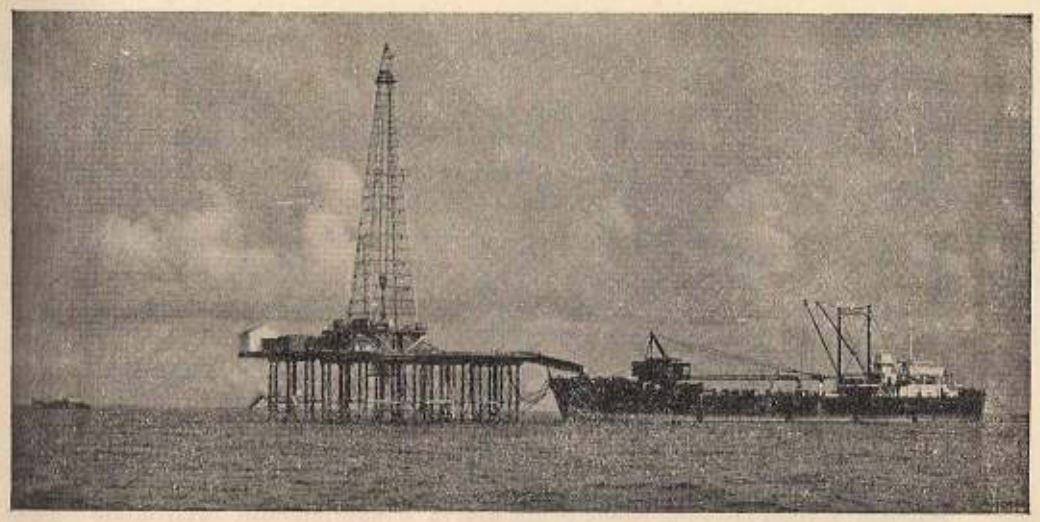
Solo il sistema *rotary*, com'è evidente, si presta ad eseguire sondaggi espressamente deviati (*controlled directional wells*) detti anche « direzionati », oppure di soccorso o salvataggio (*relief wells*) quando praticati per domare i pozzi in eruzione sfrenata. La schematica fig. 29 mostra vari casi, nei quali si ricorre alla deviazione per raggiungere

Fig. 29 - Schema dimostrativo di vari casi, nei quali si ricorre a sondaggi deviati. Quello al margine destro riusciva troppo inclinato (a des.), nel tentativo di rettifica si è avuto un incidente che non si poté risolvere: allora si è fatta una deviazione onde evitare l'ostacolo, continuando poi verticalmente fino a raggiungere l'orizzonte produttivo. Gli altri non hanno bisogno di spiegazione.

orizzonti produttivi con apparecchi che non potrebbero essere piantati sulla rispettiva verticale (presenza di un fiume, di una città, ecc.), oppure negli impianti in mare, che vanno diffondendosi in corrispondenza alla piattaforma continentale (es. in California e nel Golfo del Messico, fig. 30) e il cui costo è elevatissimo [1], cosicché da una stessa postazione si cerca di raggiungere il giacimento in più punti distan-

[1] Il costo di un impianto in mare su palafitte d'acciaio è valutato circa 800 milioni di L. Solo nella parte meno profonda della piattaforma continentale (18-20 m) possono costruirsi impianti del tipo usuale (figura 30). Si usa anche abbinare due sonde su una stessa piattaforma, sempre per ridurre il costo generale. La resistenza a violenti uragani come quelli del Golfo del Messico è però assai relativa (il 3 ottobre 1949, due impianti vennero completamente ruinati).

Gli ingegneri I. R. Pemberton e H. A. Hansen hanno perciò ideato e proposto un tipo del tutto nuovo di impianto (v. pei dettagli: The Oil and Gas Journal del 18 maggio 1950, pag. 122), il cui costo è dello stesso ordine di grandezza di quello a piattaforma fissa. Sarebbe questo un impianto mobile su pontone, che può sommergersi e adagiarsi su fondali anche di oltre 100 m. Tutto



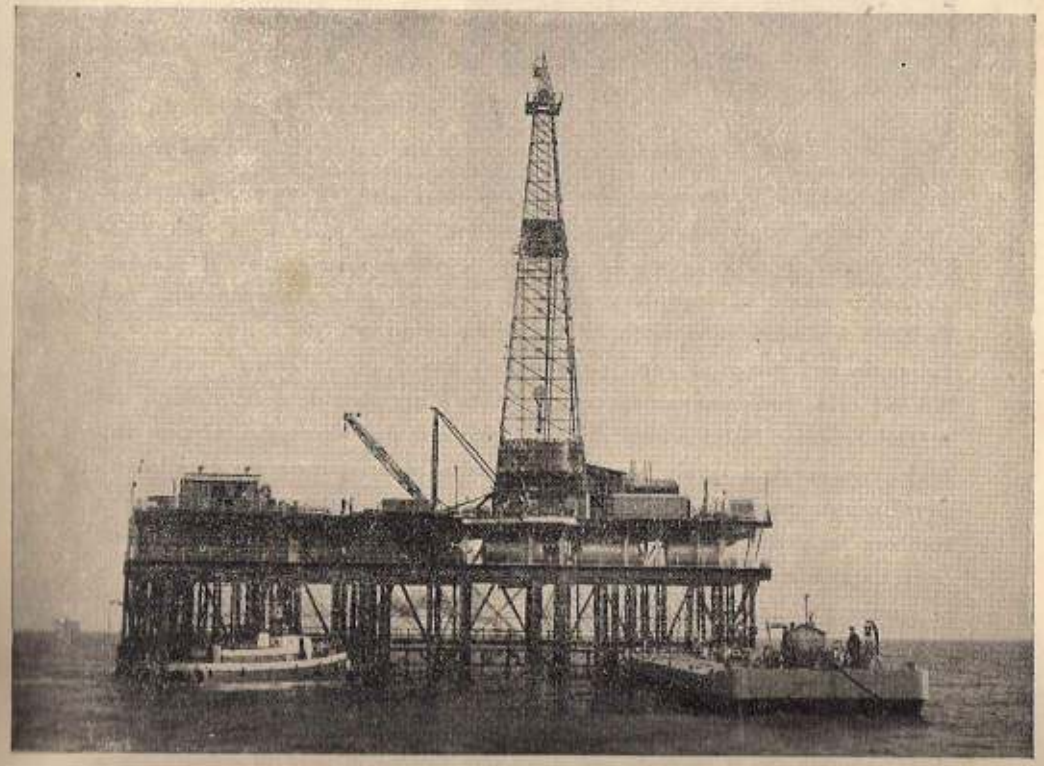


Fig. 30 - Impianti in mare nelle acque della Luisiana (Golfo del Messico), con sistemazioni diverse. (*Foto* Mel Coston, per cortesia della Humble Oil and Refining Co di Houston nel Texas).

ziati, così da emungerlo al massimo. Questo stesso metodo (*slant drilling*) si è introdotto anche in sondaggi in terraferma in zone morfologicamente assai accidentate, per cui conviene ubicare le sonde nei fondovalle, cioè nei tratti più adatti, risparmiando strade e postazioni.

I *relief wells*, oltre che per domare le eruzioni, si eseguiscono in prossimità dei pozzi soffocati e perduti o ripristinati e rimessi sotto controllo, per *scaricare* orizzonti invasi, per circostanze varie (v. nota 1, pag. 70), da gas di livelli inferiori ad alta pressione e rendere così più sicura la successiva esplorazione o coltivazione, secondo la fase raggiunta, della zona produttiva.

La tecnica dei sondaggi a deviazione intenzionale è tanto progredita in America che si è, ad es., riusciti a far deviare (drift) un sondaggio di ben 80°, sicché il suo fondo ha raggiunto un punto spostato di 2750 m rispetto alla sua testa, e un altro, fatto dalla costa del Pacifico sotto l'oceano, con 70° di deriva e spostamento orizzontale di 3012 m. Per queste notizie, come pure per tutta la speciale attrezzatura e il procedimento seguito, vedasi l'esauriente articolo di J. B. Murdoch jun. nel Simposio più volte citato *Subsurface geologic methods*, pag. 504-548.

Completamento e sistemazione di un pozzo per metterlo in produzione.

In base agli elementi forniti dai vari tipi di carotaggio, individuati e saggiati gli eventuali orizzonti mineralizzati e raggiunta la profondità alla quale si ritiene di dovere arrestare il sondaggio, si procede al completamento del casing, alla cementazione dell'ultima colonna di questo, a chiusure eventuali di acque ecc. Col tubaggio del pozzo si sono però chiusi anche gli orizzonti contenenti gas od olio, conseguenza questa, come s'è accennato, dell'impiego del metodo *rotary*. Sulla scorta dei dati ricavati dai carotaggi, si può tuttavia conoscere a quale precisa profondità corrisponde un livello mineralizzato, qual'è il suo spessore presunto produttivo (*pay*) ecc. Per mettere in produzione detto livello è stato ideato dall'organizzazione Schlumberger un apparecchio (detto *fucile Schlumberger*, fig. 31), il quale può *sparare*, alla profondità voluta, un certo numero di

l'insieme degli apparecchi della sonda, le abitazioni, i magazzini sono distribuiti in tre ponti, il cui complesso può sollevarsi e abbassarsi secondo la profondità del fondo marino, in modo che anche il ponte più basso resti sempre al di sopra delle onde più alte. L'impianto può sopportare l'azione di venti di velocità fino a 200 km ora. Una volta eseguito il sondaggio, il pontone può sollevarsi (vuotandolo dell'acqua) e il tutto può essere rimorchiato in altro punto.

proiettili d'acciaio speciale, che perforano la tubazione (*casing*) e il rivestimento cementizio e, penetrando entro lo strato mineralizzato, aprono la via all'efflusso del gas o dell'olio. Si comincia dalla parte più bassa dello strato o della serie produttiva e si regola il numero dei fori in rapporto ai risultati della prima serie, alle condizioni di pressione ecc.

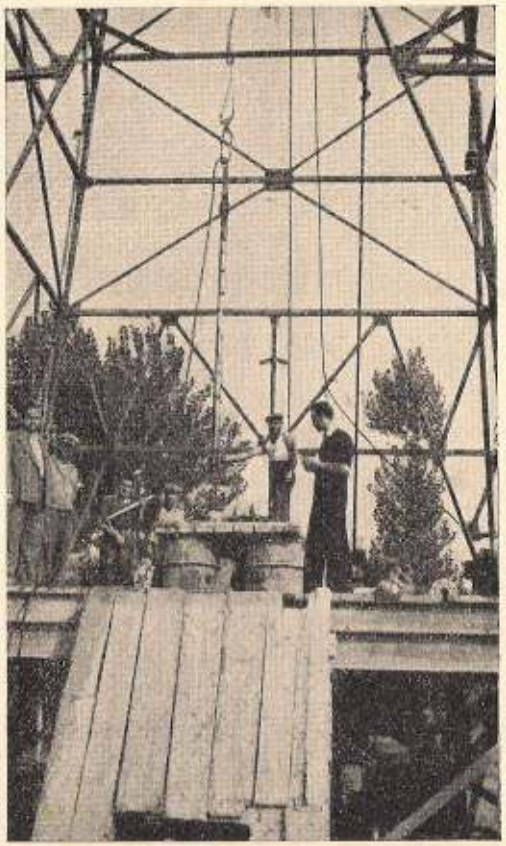


Fig. 31 - Il « fucile Schlumberger » viene calato in un pozzo dell'AGIP a Caviaga. A ognuno dei cerchietti neri lungo il « fucile », corrisponde una cartuccia. Lo sparo è a comando elettrico. (*Foto* R. Fabiani).

Tipi di torri di sondaggio.

La schematica fig. 16 e le fotografie riprodotte alle figg. 30 e 32 mostrano i tipi ora generalmente in uso di torri o *dericks* in acciaio per profondità anche massime fra quelle raggiunte. Le differenze sono sostanzialmente nelle dimensioni (altezza complessiva circa 60 m) e nella robustezza dell'intelaiatura richiesta per resistere a carichi anche di oltre 400 ton. In relazione si hanno le attrezzature varie di proporzioni gigantesche (taglie, ganci, teste d'iniezione ecc., fig. 34) e altrettanto dicasi per la potenza dei motori, delle pompe e così via.

Diverso è il tipo ad albero girevole e abbassabile (*Jackknife cantilever mast*, degli americani). Il movimento per abbassare l'albero (*mast*) avviene a cerniera, in corrispondenza all'attacco dei due pilastri a traliccio rigidamente collegati coll'albero e articolati colla piattaforma fig. 33 a destra). Gli altri due pilastri sono invece articolati coll'albero e liberabili dalla piattaforma quando si abbassa l'albero stesso. Questo tipo di sonda si distingue per la rapidità di erezione

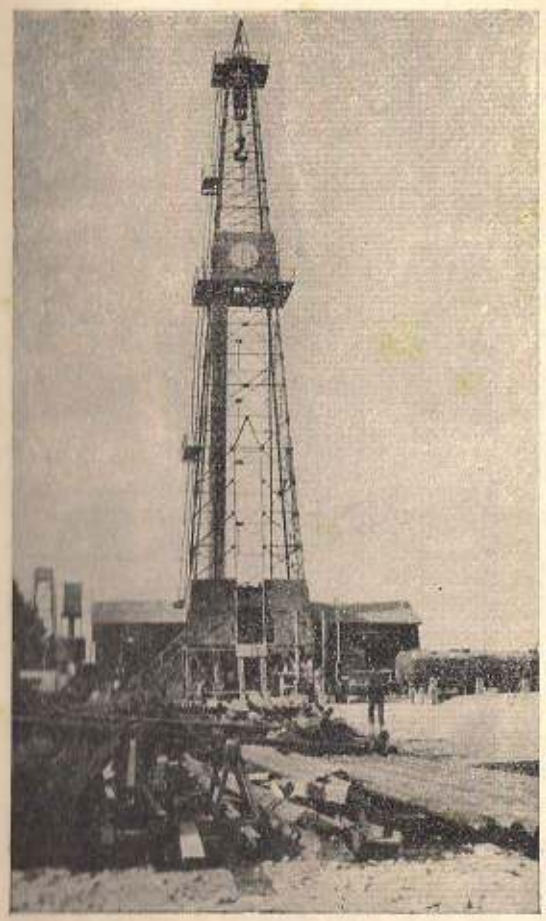


Fig. 32 - Sonda « Wirth » da 3500 m, la prima impiegata nella struttura di Cortemaggiore (AGIP), ove ha scoperto il petrolio. Ultimata la perforazione è stata trasferita in altro punto. Il pozzo (n. 1) è stato sistemato come mostra la figura 25. (*Foto* R. Fabiani).

e, per gli apparecchi minori, per la possibilità di essere autotrasportabili (com'è, in scala ridottissima, quello di tipo simile della figura 7 sotto). I maggiori, il cui albero può esser lungo ad es. m 38,70, come quello della fig. 252, consentono di eseguire pozzi fino a 2500 m e anche un po' oltre.

Conclusione della fase esplorativa di un giacimento. Messa in produzione e coltivazione.

Come s'è accennato, qualora in superficie manchino elementi geologici per presumere che nel sottosuolo possano esistere strutture adatte, almeno morfologicamente, a racchiudere idrocarburi, l'orientamento delle esplorazioni profonde preliminari deve basarsi essenzialmente sulla prospezione geofisica.

Alcune volte già dal primo sondaggio possono risultare dati risolutivi del problema di partenza: se la serie stratigrafica comprende o no qualche orizzonte mineralizzato. Spesso però il primo assaggio può essere negativo, ma questo non deve indurre a rinunziare senz'altro ad ulteriori ricerche, se le condizioni litologiche e stratigrafiche non sono tali da escludere qualsiasi possibilità e se in zone non lontane esistono anche soltanto indizi d'idrocarburi d'origine petrolifera.

Qualora la prima o le prime trivellazioni diano risultati positivi,

Fig. 33 - Montaggio di una sonda IDECO ad albero girevole e abbassabile, in dotazione dell'AGIP. In primo piano montaggio delle parti della testa d'iniezione. (*Publifoto*).

l'esplorazione meccanica dev'essere proseguita in modo da poter fornire tutti gli elementi necessari a: 1) delimitare l'area dell'orizzonte mineralizzato (o degli orizzonti, se ve n'ha più d'uno sovrapposti), il che si determina mediante i pozzi marginali che entrano direttamente nelle acque di giacimento; 2) stabilire la potenza dei livelli produttivi (*pay*) e la rispettiva potenzialità di resa, in dipendenza dalla porosità e permeabilità e dalle caratteristiche del fluido contenuto ecc. Sulla base di tutti questi e di altri dati, si può giungere ad una valutazione

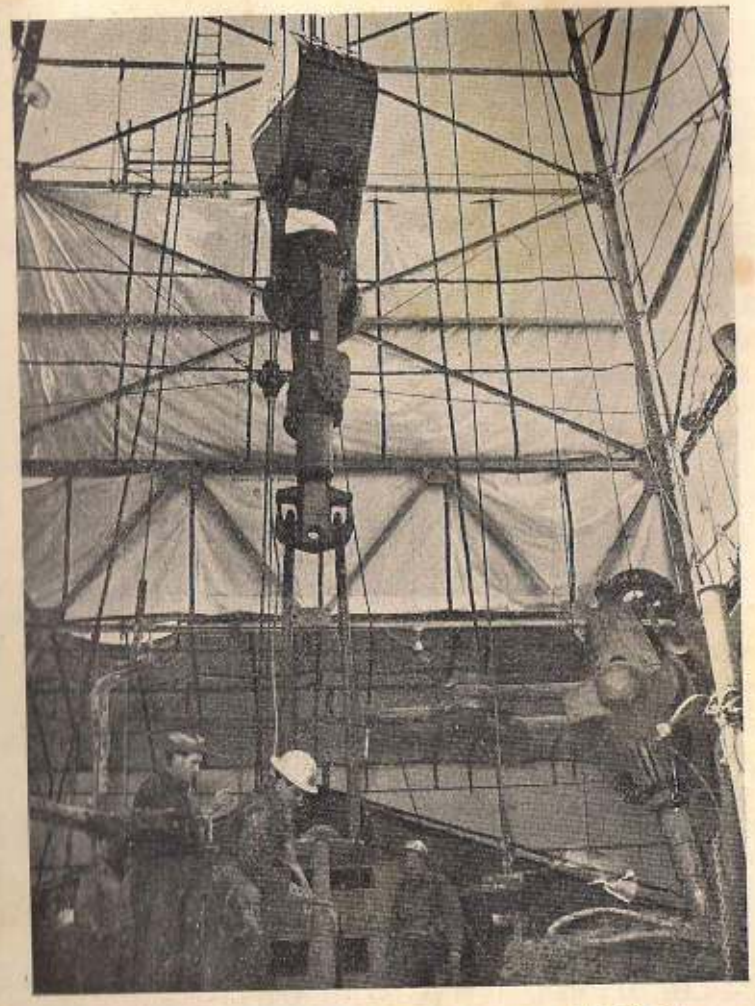


Fig. 34 - Sulla piattaforma della IDECO da 5000 m (AGIP). Manovre per aggiungere un'asta di perforazione. Si notino le grandi dimensioni della « taglia mobile » e relativo « gancio » e della « testa d'iniezione » (staccata e appoggiata sul lato destro). Sulla sinistra, all'altezza della spalla dei due operai in primo piano, « chiave » pesante (*casing tong*) per avvitare e svitare i tubi (*Publifoto*).

quantitativa del prodotto estraibile da un campo, elemento, com'è ovvio, della massima importanza sotto l'aspetto industriale nei suoi più svariati riflessi.

Predisposto quindi il piano di coltivazione, si sistemano a produzione i pozzi già eseguiti e quelli che via via si riterrà necessario

perforare, convenientemente spaziati e regolati nella misura della rispettiva erogazione, in armonia con le norme richieste da un razionale governo della coltivazione, che deve garantire il massimo ricupero del prodotto assieme alla più lunga vita possibile del giacimento.

L'entrare in particolari su questa materia esorbiterebbe però dai limiti, non soltanto di spazio, che abbiamo imposto alla nostra trattazione. Dal punto di vista dell'economia generale vogliamo solo ricordare che nei paesi, come gli Stati Uniti, ove le ricerche e la produzione hanno assunto un enorme sviluppo, ma s'è, naturalmente, di pari passo esaltata la concorrenza, lo sfruttamento ha spesso mirato essenzialmente ad ottenere la massima quantità di prodotto il più rapidamente possibile [1], senza preoccuparsi delle conseguenze che ciò avrebbe avuto a breve scadenza, non solo per le zone sottoposte a tale sforzo irrazionale, ma anche per quelle vicine (declino pressioni, invasioni delle acque ecc.). Per porvi rimedio nell'interesse comune, venne imposta la duplice disciplina dell'*unitisation* e della *proration*. La prima prescrive lo sviluppo di un campo come un'unità (*unit-operated oil pool*), cioè che il concessionario o i vari concessionari regolino il numero, la distribuzione e la produzione dei pozzi in modo razionale, così da non esaurire anzi tempo il campo e da distribuire equamente il profitto tra i vari interessati. La *proration of oil* ha lo scopo di evitare l'eventuale sovraproduzione, riducendo, quando necessario, la produzione dei singoli pozzi in modo adeguato ed equo (*proratably*) [2].

[1] Valendosi della grande rapidità di perforazione che in alcuni terreni è possibile raggiungere col sistema *rotary*, la gara fra concessionari di una nuova area diveniva talora frenetica. F. H. LAHEE ancora nel 1933 ricordava alcuni casi pel campo dell'East Texas: per raggiungere al più presto gli orizzonti produttivi (specialmente la *Woodbine sand* del Cretaceo medio) una squadra riuscì a perforare m 1067 in 10 giorni, un'altra 762 m in 3 giorni e una terza 294 m in 12 ore!

[2] Tali disposizioni risalgono a vari anni addietro. Erano già esposte nel manualetto « *Oil* » pubblicato dall'« American Petroleum Institute » nel 1933.

CAPITOLO TERZO

RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE CORRELAZIONI - FOTOGEOLOGIA

1. — RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE E CORRELAZIONI.

Rappresentazioni della superficie.

Le brevi e semplici nozioni che seguono potevano trovar sede nell'introduzione del Capitolo precedente. Ora però riesciranno più perspicue, in quanto fanno riferimento a problemi concreti, dei quali si è potuto comprendere l'importanza e il nesso reciproco.

La *geologia di superficie*, se si vuole associarla ai caratteri morfologici, si rappresenta *in piano* riportata sulla *base topografica*, in scala adatta agli scopi che ci si prefigge.

Le scale delle carte topografiche variano da paese a paese [1]. In Italia per scopi geologici si usano di regola quelle rilevate dall'Istituto Geografico Militare (Firenze), il quale impiega sia i metodi classici al suolo sia quelli aerofotogrammetrici. Le carte correnti sono: il *foglio* (scala 1 : 100 mila), il *quadrante* (1 : 50 mila), la *tavoletta* (1 : 25 mila). L'I.G.M. fornisce anche rilievi al 5 mila. Per casi speciali, nel rilievo sul terreno e anche a scopo illustrativo, i geologi si servono di carte a maggiore ingrandimento.

Pel rilevamento geologico esteso a tutto il territorio nazionale e per la redazione e pubblicazione della « Carta Geologica d'Italia », venne istituito nel 1873 l'« Ufficio Geologico », come servizio allora dipendente dal Ministero per l'Agricoltura, Industria e Commercio e sotto l'alta direzione scientifica di un Comitato Geologico. La Carta, così detta « ufficiale » è pubblicata in fogli al 100.000. Il rilevamento sistematico ebbe inizio nel 1877 in Sicilia (la cui Carta, in 28 fogli, fu poi stampata nel triennio 1884-86), ma non è ancora ultimato.

[1] Esempi delle scale limitatamente alle Carte geologiche statali: Austria, 1:75 mila; Francia, 1:80 mila; Belgio, 1:20 mila; Granbretagna, 1:253.440, 1:63.360; 1:10.560, ecc.; Olanda, 1:50 mila; Svezia, 1:50 mila; Svizzera, 1:25 mila, 1:50.000, 1:100 mila; Stati Uniti, 1:532.642, 1:62.500, 1:24.000 ecc. L'U. S. Geological Survey è stato istituito nel 1879.

La rappresentazione in piano delle forme del terreno si rende con maggiore esattezza mediante curve di livello o *isoipse* ad equidistanza variabile secondo la scala della carta topografica (es. 25 m, 5 m ecc.). Non è qui il caso di dire in particolare quale preparazione deve avere il geologo rilevatore ed esporre la tecnica del rilevamento, sia per l'uso dei pochi strumenti che in genere occorrono (es. tavoletta per rilievo topografico speditivo, bussola-clinometro, barometro-altimetro, oltre al martello da geologo e a una lente tascabile), sia in quanto riguarda la pratica di rappresentare sulla base topografica il decorso dei limiti fra le varie formazioni [1] in modo rispondente esattamente all'andamento degli strati e insieme alle caratteristiche della morfologia [2].

Per la geologia con finalità petrolifere, il rilevatore, oltre alla conoscenza ed esperienza richieste per eseguire un rilevamento generico, deve saper orientare il suo lavoro di campagna essenzialmente al suo specifico obiettivo, che è duplice: stratigrafico e strutturale. E dovrà uniformarsi ai compiti che per una data regione gli vengono assegnati, i quali potranno oscillare fra un lavoro di grande dettaglio e una semplice ricognizione, per la quale potrà avere già qualche elemento generale dall'osservazione o da fotografie dall'aeroplano.

In ogni caso, punto di partenza dev'essere la conoscenza stratigrafica. La stratigrafia, come nota LEROY, è infatti la base della correlazione e le correlazioni rappresentano gli elementi fondamentali per la cartografia di superficie e del sottosuolo e per la valutazione delle caratteristiche strutturali e sedimentarie. Ma pure importanti

[1] La rappresentazione più evidente si ottiene mediante colori. Entro i limiti del possibile e specialmente per carte di non eccessivo dettaglio, è buona regola attenersi alla gamma dei colori convenzionali. Nelle carte italiane ad es. il giallo di varie gradazioni (da citrino ad ocra) si usa pei sedimenti del Terziario, il verde per quelli del Cretaceo, l'azzurro pel Giurese, il violetto pel Trias ecc. Per la maggior parte delle formazioni eruttive (graniti, porfidi, basalti) si impiegano toni vari del rosso. Si usano del pari segni convenzionali per indicare sulle carte ad es. la direzione e l'immersione degli strati, gli assi delle anticlinali e delle sinclinali, le faglie, i sovrascorrimenti ecc.

[2] Casi semplici tipici si presentano ad es. con idrografie che incidano profondamente una regione, supponiamo morfologicamente a piano inclinato, trasversalmente alla direzione degli strati. Il contorno in proiezione di un dato strato, o di una serie di strati, avrà in corrispondenza ai solchi vallivi un andamento conforme alle isoipse, se gli strati sono disposti a reggipoggio e il contrario se a franapoggio. E a proposito di direzione e inclinazione-immersione degli strati, bisogna distinguere ad es. il caso di apparente inclinazione e saper determinare quella vera o massima (V. Bibliografia: BROWN e DEBENHAM, BILLINGS, CANAVARI, ELLES).

sono i motivi strutturali di una regione, per modo che non sarà mai abbastanza ricordata l'interdipendenza e la reciproca indispensabilità fra stratigrafia e tettonica.

La geologia stratigrafica può dividersi, con LeRoy, in *macrostratigrafia* e *microstratigrafia*. Al macrostratigrafo o geologo del terreno spettano i compiti del rilevamento di superficie, dell'interpretazione dei fenomeni strutturali, della scelta e definizione delle sezioni tipiche, della raccolta dei campioni stratigraficamente significativi, della individuazione delle variazioni di facies più importanti e delle unità stratigrafiche.

Il microstratigrafo o geologo di laboratorio ha non meno importanti e numerosi compiti da assolvere, in parte a sussidio del rilevatore, in parte dipendenti dalle complesse ricerche, moltiplicatesi nei metodi e negli scopi specialmente negli ultimi lustri, sia per lo studio e le determinazioni delle più svariate caratteristiche dei materiali litologici e paleontologici raccolti in campagna, sia per quelli che risultano dai sondaggi tanto nel corso delle preliminari esplorazioni quanto durante la delimitazione e il successivo sviluppo di un campo produttivo.

È superfluo notare che tutto codesto formidabile complesso di compiti e di ricerche richiede il concorso coordinato di numerosi specialisti e la selezione e valutazione sintetica dei risultati da parte di pochi geologi di più vasta cultura ed esperienza. Ma non solo fra ricercatori petrografi, paleontologi, geochimici ecc. è indispensabile una stretta e armonica collaborazione per risolvere i multiformi problemi, bensì anche fra geologi e geofisici, il che richiede un'adeguata sufficiente conoscenza e pratica da parte degli uni dei metodi d'indagine degli altri.

Rappresentazioni del sottosuolo.

Alla rappresentazione cartografica usuale della geologia di superficie fanno riscontro consimili rappresentazioni del sottosuolo, per le quali è però necessario riferirsi a determinati orizzonti stratigrafici o a morfologie sepolte, che potremo dire fossili. La rappresentazione topografica si esprime pure con curve di livello, che si conviene chiamare *isobate*, come s'è già visto, in contrapposto alle isoipse della topografia esterna.

Più correntemente si rappresentano così le strutture sepolte, siano esse risultanti dalle determinazioni geofisiche e quindi più o meno ipotetiche, o dalle costruzioni basate sulle colonne stratigrafiche corrispondenti a una serie di sondaggi, costruzioni che, com'è ovvio, saranno tanto più vicine alla realtà quanto maggiore sarà il numero dei sondaggi bene studiati e rigorosamente fra loro correlati. Ma la cartografia del sottosuolo non si esaurisce qui, come non si esauriscono gli espedienti rappresentativi sedimentario-strutturali, giacché all'iconografia in proiezione sul piano orizzontale si aggiunge quella che si vale di sezioni verticali, di cui diremo più avanti.

Infatti — a mezzo degli elementi rilevabili in tutto o in parte in superficie, oppure risultanti esclusivamente dalle determinazioni varie che si eseguono specialmente durante i sondaggi e che si riportano nel quadro interessante tutto un campo produttivo e talora un'intera regione — si costruiscono carte *paleogeologiche*, *paleotettoniche*, *paleogeografiche*, *paleoclimatologiche*, *palinspastiche*, delle *isopache*, delle *litofacies*, dell'*isosalinità* (*isochloride maps*), delle *pressioni* al fondo dei pozzi (*bottom-hole* o *reservoir pressures*), ecc., combinandone talora una con un'altra (es. isopache e struttura).

Sarebbe troppo lungo definire con esempi e illustrazioni tutti questi tipi di rappresentazioni cartografiche, alcune delle quali hanno valore solo per la definizione, a vari scopi, delle caratteristiche di un giacimento in esplorazione e preparazione per venire sfruttato, altre possono servire di orientamento alla ricerca in regioni vicine e talora anche lontane, di costituzione geologica consimile o supposta tale (es. le carte paleogeografiche e paleoclimatologiche in relazione alla presumibile esistenza di bioerme).

A. J. Levorsen, che è stato uno dei primi se non il primo a mettere in evidenza l'importanza delle *carte paleogeologiche* e a costruirne per alcune regioni degli Stati Uniti, per darne un'idea sintetica dice che la carta paleogeologica sta alla carta geologica come la paleogeografica sta alla geografica. Essa infatti rappresenta la distribuzione delle formazioni geologiche in corrispondenza alla superficie esistente in un dato periodo del passato (J. W. Low). Si costruisce sulla base delle stratigrafie risultanti dai sondaggi.

Le carte delle *isopache* (παχύς, spesso) si ottengono a mezzo delle linee che uniscono i punti in corrispondenza ai quali uno strato (o un orizzonte determinato) ha spessori eguali. Risultano così le eventuali variazioni, che possono spingersi fino ad estrema riduzione dello spessore e anche alla scomparsa dell'orizzonte considerato in alcune direzioni, ragion per cui si dicono anche « carte di convergenza ». Se ne comprende subito l'importanza agli effetti della messa in produzione, ad es. di uno strato o serie di sabbie petrolifere (*pay sands*), nonché della valutazione della potenzialità di un giacimento.

Mediante le isopache si può ricostruire anche lo spessore che avevano alcune formazioni prima di essere state più o meno demolite dall'erosione in tempi passati, il che ha talora molto interesse in rapporto alla storia geologica di una regione. Una carta, in cui si rappresenti lo spessore ricostruito delle rocce che hanno subito tale erosione, vien detta carta *palinspastica* (πάλιν di nuovo; σπάω, estrarre, ricavare).

Correlazioni - Rappresentazioni mediante spaccati e stereogrammi.

Per stabilire le correlazioni, cioè determinare la corrispondenza essenzialmente di posizione stratigrafica (cronologica) e insieme anche (per gli scopi petroliferi) di condizioni litologiche ecc., si mette a profitto tutta una serie di determinazioni di petrografia [1], sedimentologia, macro- e micropaleontologia (es. a mezzo dei foraminiferi e degli Ostracodi), fisiche e geofisiche (v. ad es. fig. 22), geochimiche ecc., per le quali, in genere, si applicano i *metodi statistici* sintetizzandone i risultati con vari tipi di grafici. È mediante le correlazioni che si possono mettere in evidenza le variazioni di litofacies, paleobiologiche, ambientali; ricostruire trasgressioni (*onlaps*) e regressioni (*offlaps*), scoprire le lacune e le discordanze, gli effetti dei movimenti tettonici, determinare le forme strutturali, i cicli sedimentarii..., vale a dire ottenere un complesso di fatti e di elementi, che, singolarmente o fra loro collegati, sono di fondamentale importanza pel geologo del petrolio nelle varie fasi in cui è richiesta la sua opera.

[1] Per sabbie poligeniche ci si vale dello studio mineralogico, servendosi specialmente del metodo dei liquidi pesanti per la separazione degli elementi costitutivi, completandone poi la determinazione coi metodi ottici.

Per rocce di composizione fondamentale uniforme, come tipicamente le dolomie, è stato applicato il metodo dei *residui insolubili*, che si sono prestati assai bene per le correlazioni in regioni, come alcune degli Stati Uniti (es. del Missouri), ove i sondaggi di ricerca petrolifera interessano potenti serie di dolomie paleozoiche, a un esame superficiale fra loro non distinguibili. Il metodo, la cui prima attuazione e il successivo perfezionamento si devono ad H. S. Mc Queen (1931), consiste nello sciogliere le dolomie in acido cloridrico diluito e nell'esaminare quindi i materiali insolubili residuati, che possono essere frammentini di selce, di limonite, ooliti silicee, grani di quarzo, di glauconite, laminette di mica, cristallini di pirite, ematite, sfalerite ecc. I residui vengono esaminati con un microscopio binoculare a piccoli ingrandimenti (da 10 a 20 diametri) e la loro identificazione stratigrafica si fa rapidamente a mezzo del raffronto diretto con campioni tipo, provenienti da orizzonti di sicura cronologia (v. Fabiani R., *Sulle correlazioni stratigrafiche mediante il metodo dei residui insolubili*, Boll. Assoc. Miner. Siciliana, Palermo 1934).

Le carte geologiche di superficie e fino ad un certo punto anche quelle paleogeologiche, rappresentano soltanto la distribuzione areale delle formazioni. Per indicare i rapporti di giacitura fra i vari termini di una serie geologica e insieme dare un'immagine delle deformazioni e dislocazioni, per pieghe o per faglie, subite dagli strati che la costituiscono, si ricorre a sezioni o spaccati convenientemente scelti (es. trasversalmente alle pieghe). Nella geologia di superficie è raro il caso che si possa disegnare uno spaccato sulla base esclusiva di una sezione naturale, cioè prodotta da un'incisione valliva trasversale. In genere lo *spaccato* è la risultante di elementi direttamente osservabili e di altri (spesso in prevalenza) estrapolati, nell'interno dei rilievi e a profondità, coll'immaginazione e rispondenti quindi ad un'interpretazione essenzialmente soggettiva del geologo. È, perciò, questo il punto delicato della costruzione di uno spaccato, specie se è in eccessiva misura « ideale ».

In parte all'interpretazione personale sono del pari legati i profili, totalmente invece di sottosuolo, ricavati dalle esplorazioni geofisiche. Non così avviene per gli spaccati del sottosuolo costruiti sui dati forniti da un adeguato numero di sondaggi meccanici, debitamente studiati nella rispettiva stratigrafia, così da poterne stabilire una rigorosa correlazione.

Un tempo si usavano esclusivamente le rappresentazioni in un solo piano, salvo a costruirne una serie fra loro parallele (sezioni o spaccati *seriali*). Si sono poi introdotte le rappresentazioni a tre dimensioni, cioè gli *stereogrammi*, detti anche *blocco-diagrammi*, che danno un'immagine strutturale più completa e di più immediata evidenza ed eliminano dubbi giustificati, che potrebbero sorgere davanti a una sola sezione a due dimensioni [1].

[1] Nella costruzione degli stereogrammi si può seguire il metodo isometrico o della prospettiva col *punto di fuga* (*vanishing point*) all'infinito, cioè parallela, quale s'usa in cristallografia, oppure quello della prospettiva artistica.

Nel primo caso, ad es., le facce di un cubo o di un parallelopipedo sono rappresentate nel piano del « quadro » (parallelo cioè alla fronte dell'osservatore) con un quadrato o, rispettivamente, con un rettangolo e negli altri piani con parallelogrammi. Nella seconda invece, al posto dei parallelogrammi risultano dei trapezi coi lati verticali paralleli e gli altri due convergenti verso il punto di fuga all'orizzonte (fig. 35 A, B).

Normalmente in geologia si usano gli stereogrammi costruiti col metodo isometrico, che è il più semplice e in molti casi evita erronee interpretazioni (cfr. in fig. 35, B con A e con C).

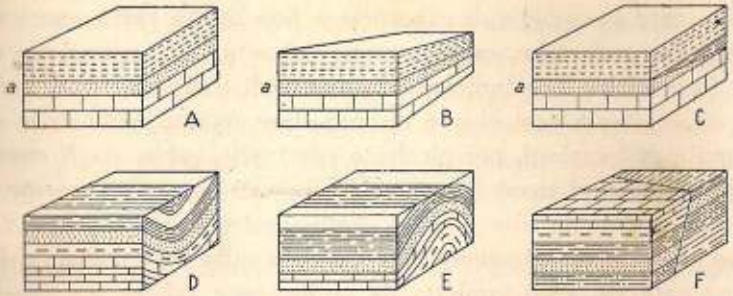


Figura 35 - A stereogramma costruito col metodo isometrico, B in prospettiva. Da notare che in questo lo strato *a* che in realtà ha spessore costante, sembra ridursi, come avviene invece realmente in C. - D, E, F, mostrano che, a giudicare dalla sola sezione verticale parallela alla fronte dell'osservatore, si avrebbe un'idea non solo inadeguata ma del tutto falsa delle condizioni tettoniche reali. (In tutte le figure è omessa per semplicità la morfologia di superficie).

Per avere una perspicua idea della stratigrafia e tettonica, specie nel corso dello sviluppo delle esplorazioni di un campo, si usano anche altri metodi di rappresentazione [1]. Ad es. quello a mezzo di bastoncini, su ciascuno dei quali è segnata a colori la colonna stratigrafica di un pozzo, piantati su una tavola, dov'è riportata la distribuzione

[1] Pure le compagnie petrolifere si servono di schemi e modelli differenti per rappresentare e registrare le operazioni e le particolarità riguardanti i sondaggi, benché si tratti in sostanza sempre delle medesime cose.

Ogni pozzo ha, per così dire, la sua cartella caratteristica o storica (*well logs*) — dov'è indicato tutto quanto interessa conoscere e registrare — costituita di una lunga striscia di carta di convenienti misure, intestata al nome della compagnia. Sotto questo vengono riportati il nome e il numero del pozzo, la località d'ubicazione, la quota del piano di campagna, il tipo e la potenzialità della sonda. Si fanno poi seguire i quadrelli coi segni e i colori convenzionali delle principali rocce, i simboli adottati per indicare le manifestazioni di gas (di solito una freccia verticale), d'olio (un cerchietto nero pieno o bianco nella metà sup., secondo che trattasi di netta manifestazione o solo di tracce e odore), di acque (cerchietto o semicerchio azzurro) ecc. Si annotano infine le date d'inizio e di completamento o sospensione del sondaggio e, se è produttivo, quando ha cominciato a produrre gas od olio.

Subito sotto a tutte queste indicazioni la striscia porta una serie di suddivisioni longitudinali. Una di esse (o più, ripetute in corrispondenza ad altre indicazioni) è riservata alla profondità, altre lo sono alla colonna litologica, ai caratteri paleontolgici, ai riferimenti cronologici, alle manifestazioni, alle pressioni; altre ai diametri delle successive tubazioni, alle cementazioni, al ritmo della perforazione (*drilling-time*), agli scalpelli via via usati; altre ai carotaggi geofisici e meccanici, alle zone perforate col fucile Schlumberger, alle eventuali deviazioni, ai fenomeni vari della circolazione, alle prove coi saggiatori, all'eventuale invasione di acque ecc.

topografica dei sondaggi, in corrispondenza alla rispettiva postazione. La loro lunghezza è proporzionale, com'è ovvio, alla profondità rispettiva e la loro estremità superiore risponde alla quota del suolo dove ciascuno è stato ubicato. Si può unire a coppie i bastoncini o con fili che segnano i confini fra gli strati o gruppi di strati, oppure con fogli di cartoncino, sui quali è indicata con segni o con colori la stratigrafia. Come pei segni (v. fig. 3 a pag. 26), anche pei colori dei principali tipi litologici conviene attenersi a quelli più generalmente usati, ad es. giallo per le sabbie, azzurro pei calcari, grigio per le rocce argillose. Lo stesso conviene fare per i simboli che si riferiscono alla presenza di gas, di olio, di acque salate. Sarebbe utile che tutti si servissero degli stessi segni, simboli, colori una volta stabiliti per convenzione, perché, esaminando una carta, uno spaccato, una colonna stratigrafica, chi è famigliare con la rappresentazione convenzionale avrebbe una più pronta idea delle cose, con evidente risparmio di tempo e maggiore chiarezza. Ma questa razionale disciplina non è osservata neppure dai geologi di uno stesso paese e le conseguenze sono paragonabili al parlar lingue diverse per dire le stesse cose.

2. — Fotogeologia.

Premessa

L'idea di utilizzare pel rilevamento topografico la fotografia era sorta assai presto dopo l'invenzione di questa, ma, pure avendo cominciato a concretarsi con la costruzione di qualche primitivo strumento quasi 100 anni or sono, solo negli ultimi lustri del secolo scorso si è rivelata feconda di risultati che dovevano rivoluzionare i metodi della Topografia classica ed aprire la via alle più impensate applicazioni. L'impulso decisivo è venuto dal connubio macchina fotografica-teodolite, realizzato col *fototeodolite*, il cui primo tipo veramente pratico si deve a Pio Paganini (1884). Nasceva così la *Fotogrammetria*, che nel volgere di pochi anni, specie dopo l'applicazione della stereoscopia (C. Pulfrich, 1901), raggiungeva uno straordinario sviluppo, grazie al-

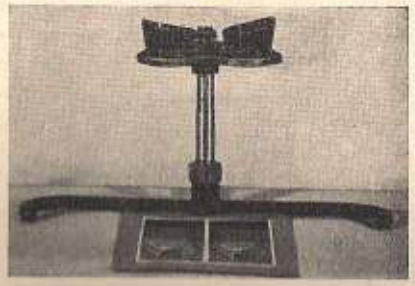


Fig. 36 - *Stereoscopio semplice a lenti* (O.M.I.-Nistri).

l'assidua opera che scienziati e tecnici d'ogni paese davano per la soluzione dei più svariati problemi, riguardanti i metodi di presa, raddrizzamento, restituzione, esecuzione cartografica, ecc. collo scopo di ottenere un rendimento sempre più perfetto con strumenti ed apparati il più possibile automatici. In questa nobile gara gli italiani si sono conquistato un posto eminente, dimostrandosi ben degni dei pionieri loro compatrioti IGNAZIO PORRO e PIO PAGANINI, a merito di numerosi scienziati e, per la realizzazione dei più importanti strumenti e apparecchi più moderni, soprattutto della genialità inventiva di UMBERTO NISTRI e di ERMENEGILDO SANTONI, esponenti di due sistemi alquanto diversi, ma entrambi assai pregevoli [1].

[1] La possibilità che la fotografia dovesse applicarsi alla topografia veniva chiaramente preconizzata dall'astronomo e fisico J. F. D. ARAGO, in un suo discorso al parlamento francese, nel 1839.

I primi tentativi d'impiego si attribuiscono ad A. LAUSSEDAT (1854), che giungeva a risultati concreti nel 1859, realizzando saggi ben riusciti di *Fototopografia*. All'incirca contemporanee erano le ricerche e le prime costruzioni di IGNAZIO PORRO, al quale risale il principio del *fotogoniometro* e insieme della *restituzione* fotogrammetrica per intersezione nello spazio. Attraverso a vari modelli, il PORRO giungeva, fra il 1865 e il 1871, alla costruzione di un fotogoniometro a cannocchiale fisso. Quello a cannocchiale mobile era invece ideato e costruito da C. KOPPE.

In Italia rilievi sul terreno erano fatti fino dal 1875 da M. MANZI, che si serviva di fotografie pel disegno topografico a mezzo della tavoletta pretoriana. Ma la Fototopografia — in seguito chiamata più comunemente Fotogrammetria — si affermava veramente ad opera dell'Ing. PIO PAGANINI dell'Istituto Geografico Militare Italiano, poiché a lui, come accennato, si deve il primo *fototeodolite*. Con questo strumento basilare, fra il 1878 e il 1894, vennero eseguiti i rilievi di alcune parti delle Alpi Marittime e delle Graie ecc., che fecero epoca.

Studi, ricerche, applicazioni erano nel frattempo sviluppati anche da scienziati e tecnici francesi, tedeschi, austriaci ecc., rivolti ad estendere le possibilità del metodo, ch'entrava in una nuova fase col principio del secolo, segnata dall'introduzione della *stereografia*, collo *stereocomparatore* di C. PULFRICH (1901). Da questo, E. von OBEL derivava il suo *stereoautografo*, ch'è il primo apparecchio *automatico* di *restituzione*, col quale nasceva la *Stereofotogrammetria*.

Nel 1907 gli ufficiali del Genio RANZA e TARDIVO inauguravano l'*Aerofotogrammetria* con prese da pallone frenato, dalle quali venivano tratte planimetrie topografiche a mezzo *raddrizzamento*.

La fotografia aerea a scopo militare (impiegata per la prima volta nella guerra italo-turca, 1911) riceveva massimo impulso nella prima guerra mondiale, promovendo studi e ricerche, dalle quali derivava l'enorme progresso oggidì raggiunto di conserva dalla Fotogrammetria terrestre e da quella aerea.

Gli inventori e costruttori orientarono gli apparati di *restituzione* (traduzione automatica dei fotogrammi in carte topografiche, ossia restituzione delle immagini)

Quando la Fotogrammetria terrestre era ormai giunta ad uno stadio assai progredito, nasceva, e si evolveva con ritmo ancor più rapido, l'*Aerofotogrammetria*, la quale aveva il vantaggio di utilizzare in partenza una parte notevole dei progressi già conseguiti dalla prima. Era facile del resto preconizzare l'avvento della Fotogrammetria aerea, considerando i servizi che già in uno stadio iniziale dell'aeronautica aveva resi il mezzo aerofotografico. Appena divenuta possibile la ricognizione dall'alto, da prima con l'osservatore in pallone frenato, è apparso infatti evidente quale sussidio avrebbe potuto dare la fotografia, non solo fissando l'immagine e permettendo quindi di esa-

secondo tre direttive: a proiezione (diretta e indiretta) *ottica, meccanica* ed *ottico-meccanica*.

Degli apparecchi d'ideazione e costruzione italiana, che hanno raggiunto un alto grado di perfezione, la proiezione ottica informa essenzialmente gli apparecchi

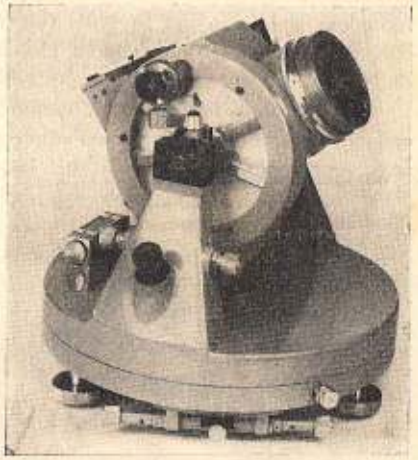


Fig. 37 - Sopra: *Fototeodolite* « Nistri » — Cortesia O.M.I.-NISTRI.

(O. M. I. = Ottico Meccanica Italiana - Roma).

Sotto: *Camera aerofotogrammetrica* a pellicola « FOMA » Mod. 93-A per foto 18×18 — Per cortesia O.M.I.-NISTRI.

È sostenuta da una base *oscillante* nel senso longitudinale della striscia. L'oscillazione ha luogo per 6° avanti e indietro alternativamente, per modo che si ha ricoprimento totale delle coppie successive. Funzionamento automatico a comando elettrico, con scatti regolati da un autocronometro « Nistri ». Orientamento e inclinazione regolabili. Focale 210 mm, apertura 1:4,5 ecc.

minarla poi con tutto l'agio, ma prestandosi alla individuazione di particolarità, che spesso sfuggono persino all'ispezione più attenta eseguita al suolo o che alla superficie del terreno sono del tutto invisibili. Ed invero la fotografia aerea consente di « vedere » — al di sotto della superficie del suolo o di uno specchio d'acqua o attraverso alla foschia — forme e oggetti che il nostro occhio non riesce a percepire, mentre « impressionano » l'emulsione della lastra sia a luce ordinaria, sia filtrata con schermi di vario colore, che le conferiscono sensibilità per raggi di lunghezza d'onda differente con effetti utilizzabili per

Nistri (*Stereografometro* [fig. 38], *Fotocartografo, Fotostereografo* [fig. 39], *Fotomultiplo*), quella meccanica gli apparecchi Santoni (*Stereocartografo, Stereosimplex ecc.*). I due insigni inventori risolvono anche diversamente il problema della triangolazione aerea.

L'Istituto Geografico Militare ha introdotto pei suoi rilievi topografici l'aerofotogrammetria, col sistema Santoni, almeno dal 1927 (zona asfaltifera di Ragusa), facendone poi largo uso in Italia (tavolette al 25 mila), in Africa, in Albania. Al rilievo aereo dell'I. di Stromboli l'I.G.M. ha associato quello geologico, ad opera di Mario Magnani, primo saggio di *Aerofotogeologia* in Italia (1938).

La Direzione Generale del Catasto fino dal 1933 ha fatto eseguire le levate catastali (introducendovi pure l'altimetria) con l'Aerofotogrammetria sia dal Santoni sia dal Nistri. Numerosi altri lavori sono stati fatti dall'uno e dall'altro per scopi vari; il secondo ne ha compiuti di notevole entità anche in paesi esteri d'Europa e d'America.

Va ricordato che negli apparecchi testé accennati, come pure in alcuni di

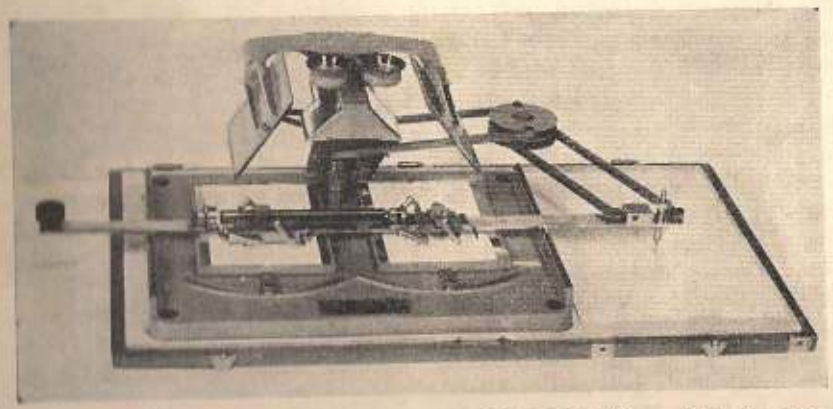


Fig. 38 - *Stereografometro* Nistri (13×18, Mod. SGP 89) — Cortesia della O.M.I.-Nistri. Scala circa 1:8.

È uno *Stereocomparatore* semplificato, costituito di uno stereoscopio a specchi fornito di « marche » per la collimazione stereoscopica e per la misura delle parallassi lineari. Consente di ricavare dalla coppia di fotogrammi la carta in scala determinata in proiezione ortogonale, con le isoipse.

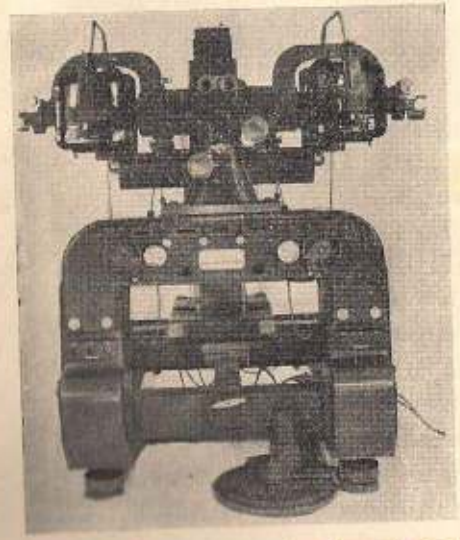
scopi differenti. S'aggiunga che il « risalto » di alcuni particolari può ottenersi, secondo i casi, con la presa verticale oppure obliqua ad angoli convenienti ed anche valendosi dei vari effetti risultanti da diversa illuminazione (luce dall'alto, inclinata, radente).

Per alcuni scopi, ad es., per avere un'idea dei caratteri morfologici più salienti di una certa area, può bastare ed esser fine a se stessa

ideazione e costruzione straniera (es. l'aerocartografo Hugershoff e l'autografo Wild), hanno trovato realizzazione anche i principi acutamente posti da Ignazio Porro tanti decenni prima.

Si è voluto sottolineare il grande contributo che all'evoluzione dei metodi e degli apparecchi fotogrammetrici terrestri ed aerei hanno portato, in stretta collaborazione, gli scienziati e i tecnici italiani e inoltre la perfezione raggiunta dalle loro più recenti realizzazioni, per concludere che pure per qualsiasi tipo di lavoro *fotogeologico* terrestre ed aereo si può disporre anche nel nostro paese di tutta la gamma di strumenti all'uopo necessari.

Notiamo infine che anche nella ormai ricchissima letteratura che in tutti i campi della Fotogrammetria s'è andata ovunque accumulando con intenso ritmo, gli studiosi italiani tengono un posto degno di segnalazione. Fra essi, per limitarci ai più recenti, annoveriamo trattati e pubblicazioni varie ad opera specialmente di G. Cassinis, P. Dore, U. Nistri, E. Santoni, L. Solaini ed altri (v. Bibliografia alla fine).



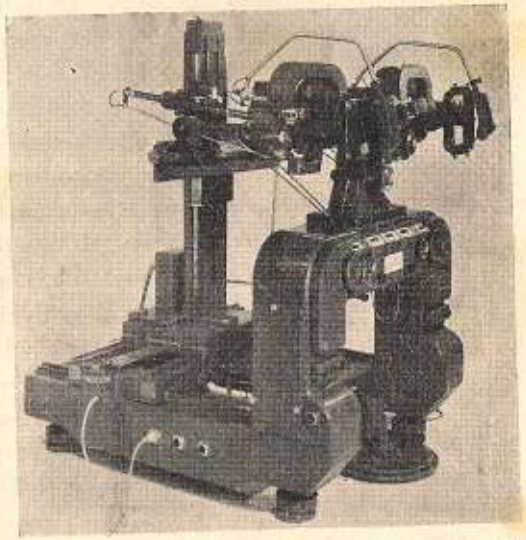


Fig. 39 - *Fotostereografo* « Nistri » Mod. 51 - O.M.I.-Nistri, visto di fronte e di scorcio (alt. m 1.80; larg. m 1; prof. m 1.30). (Riproduzione da fotografia, col gentile permesso dell'Ing. U. Nistri).

È un restitutore fotogrammetrico universale di tipo stereoscopico (Brev. Nistri, 1950), con proiezione *ottica* indiretta. Realizza il principio strumentale nuovo (Nistri) del *cardano fotogonioscopico universale*, serve cioè a restituire prese di qualsiasi inclinazione (da prese nadirali o aeree, a oblique qualunque ad orizzontali o terrestri).

la veduta fotografica, ma per molti altri le fotografie si prestano in quanto prese e utilizzate per avere risultati simili o identici a quelli della Fotogrammetria terrestre, ottenuti spesso in condizioni nelle quali quest'ultima non potrebbe impiegarsi.

L'Aerofotogrammetria ha raggiunto negli ultimi anni uno sviluppo incredibile, dovuto alle innumeri sue applicazioni scientifiche, tecniche e industriali, che abbracciano i campi più disparati: topografia, archeologia, geomorfologia, geografia, geologia, geomineraria, agricoltura, silvicoltura, urbanistica, balistica, progettazione di opere portuali, stradali, ferroviarie, idroelettriche, di bonifica ecc. È ancora preziosa per seguire e studiare, con prese fotografiche a convenienti intervalli di tempo, fenomeni in corso di svolgimento, quali il moto dei ghiacciai, di correnti laviche, di frane, il progresso dell'interrimento di serbatoi artificiali, l'evoluzione di un apparato deltizio, ecc.

Applicazioni della fotografia alla Geologia.

L'ispezione da qualche punto eminente, magari da un campanile, faceva parte dei consigli che i vecchi maestri impartivano all'allievo che s'accingeva per la prima volta a studiare la geologia di una regione. Tale ispezione ora si fa dall'aeroplano, che agli altri vantaggi aggiunge quello di poter fotografare l'area che interessa, e di utilizzare quindi tutte le possibilità che tale mezzo consente.

Le fotografie riprodotte nelle figg. 40-42, danno qualche esempio di queste possibilità, che vanno dalla morfotettonica (andamento degli strati, strutture per piegamento, faglie, presenza di diapiri salini ecc.) alla distinzione tra formazioni di natura diversa (calcaree, argillose in genere, eruttive, di trasporto ecc.).

Da queste ed altre possibilità, che la fotografia, e non solo quella aerea, come vedremo, offre ai geologi, s'è venuta costituendo la *Fotogeologia*, che, specie dalle particolari esigenze della Geologia del petrolio, ha tratto forte impulso e varietà di orientamenti.

Parte con riferimento ai mezzi impiegati e parte secondo gli scopi che si vogliono conseguire, la Fotogeologia può essere *terrestre* o *aerea*. In ogni caso le fotografie sono prese in modo da prestarsi all'esame stereoscopico e con vario grado di ricoprimento reciproco (es. 60% e anche totale) dei successivi fotogrammi.

1. — L'*Aerofotogeologia* può limitarsi alla funzione *esplorativa* generale, cioè di prima ricognizione di un'area, della quale si voglia avere un'idea preliminare riguardo alla costituzione geologica e alla

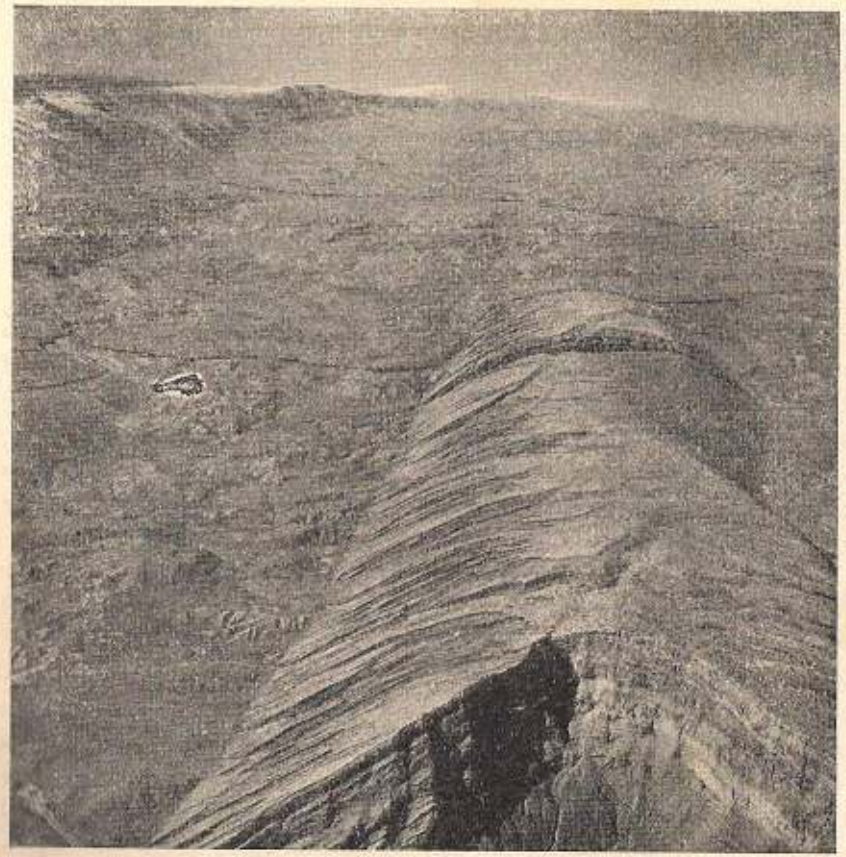


Fig. 40 - Anticlinale del calcare Asmari, che s'immerge sotto ai Fars inferiori. Nel nucleo, Eocene e sotto Cretaceo. Più o meno lontano a sinistra e a destra, altre anticlinali. Esempio di foto aerea obliqua, che tuttavia dà un'esatta idea dello stile tettonico della regione. Luristan (Persia).

morfotettonica. È uno stadio che può dirsi embrionale della Fotogeologia, di utilizzazione assai scarsa, al quale in genere ora non si usa più fermarsi, salvo obiettivi particolari di carattere collaterale alla Geologia strettamente intesa (alcuni Autori considerano nell'ambito della Fotogeologia, lato sensu, anche la Geomorfologia, la Glaciologia, la Pedologia, l'Idrologia ecc.).

2. — La Fotogeologia si è quindi ben presto orientata e attrezzata per più concrete e utili realizzazioni, che sono:

a) fornire una documentazione sulle condizioni geologico-strutturali di una regione, sufficiente a valutarne, in linea di massima, le

presumibili possibilità in relazione a un determinato problema, ad es., quello petrolifero;

b) ottenere, essenzialmente a mezzo della fotografia, il rilevamento geologico e strutturale di una regione. Questo scopo può raggiungersi secondo tre procedimenti: *b'*) combinando la Geologia con la Fotogrammetria terrestre, *b''*) o con l'Aerofotogrammetria, integrata almeno da elementi geologici fondamentali ricavati sul terreno, *b'''*) o utilizzando quasi esclusivamente le fotografie aeree.

b') Il primo procedimento trova applicazione soprattutto proficua in regioni d'alta montagna, nelle quali il rilevamento geologico sul terreno, servendosi al solito della carta topografica, è spesso reso assai arduo anche a provetti alpinisti o è addirittura impossibile. D'altra parte ove i pendii sono eccessivamente forti o esistono pareti a picco o a strapiombo, nemmeno la presa fotografica aerea potrebbe prestarsi, talora anche se obliqua.

Strumento di campagna è il *fototeodolite*, come nella Fotogrammetria terrestre, ma vi si associa fino da una fase iniziale l'opera del geologo, che deve delimitare e segnare sulle fotografie, a mezzo colori adatti, le differenti formazioni geologiche. Queste, naturalmente, devono essere identificate litologicamente e stratigraficamente sul terreno in punti all'uopo scelti per consentire in definitiva la costruzione della carta geologica vera e propria. Devono del pari essere bene studiate e scelte le stazioni di presa fotografica, i punti di riferimento ecc. ed osservate tante altre norme, ad es., legate alla scala prefissata pel rilievo, e che in parte sono suggerite al fotogeologo dalla sua abilità ed esperienza personali.

Per passare poi dalle fotografie alle carte topo-geologiche definitive, servono gli stessi apparecchi stereoautografici di vario tipo della Fotogrammetria.

Lo stesso procedimento, di cui s'è brevemente parlato, si presta pure ad ottenere *proiezioni verticali* (proiezioni ortogonali su piani verticali), le quali in corrispondenza a forti pendii e scarpate e con orientamento conveniente delle prese fotografiche, sono identificabili a *sezioni stratigrafiche* verticali. E siccome rappresentano le serie con tutta esattezza anche negli spessori degli strati, costituiscono un utilissimo complemento delle carte geologiche, col vantaggio di potersi ricavare dalle stesse coppie di fotogrammi. S'aggiunga che è anche possibile costruire stereogrammi, o blocco-diagrammi, a mezzo sempre dello stesso procedimento di levata geo-fotogrammetrica terrestre.

Fig. 41 - Rilievi a strati orizzontali, intensamente fagliati. Area della Yates Pool nel Texas. (Copyright, Edgar Tobin, Aerial Surveys, San Antonio, Texas; col gentile permesso di questa riproduzione).

Non è possibile scendere a particolari; chi, avendo un'adeguata conoscenza della Fotogrammetria, volesse rendersi conto in modo esauriente delle modalità delle operazioni sul terreno e poi in laboratorio, degli strumenti che rispettivamente si impiegano e dei risultati che si possono raggiungere nella Fotogeologia col procedimento sommariamente descritto, potrà consultare l'opera fondamentale del Dott. Robert Helbling: *Photogeologische Studien*, 1948 (ristampata in inglese: *Studies in Photogeology* 1949). Le sue carte geologiche al 25.000 e relative sezioni della parte orientale della Catena del Tödi, in

Fig. 42 - Foto aerea verticale della cupola salina di Weeks Island nella Luisiana, rivelata essenzialmente dalla vegetazione [1] (Copyright, Edgar Tobin Aerial Survey, San Antonio, Texas; col gentile permesso di questa riproduzione).

Svizzera, rappresentano un magnifico saggio di quanto può ottenersi col procedimento fotogeologico da terra. Non meno probatorio, come esempio di rilevamento fotogeologico a grande scala (1:5000 per la carta e da 1:4000 fino a 1:1500 per le prospettive e le sezioni) è quello del Monte Dolin presso Arolla, eseguito dall'Ing. Toni Hagen della Scuola politecnica di Zurigo.

[1] La distribuzione della vegetazione può fornire elementi preziosi e deve pertanto essere esaminata colla massima attenzione. Oltre all'esempio offerto dalla fig. 42, possono aversi indizi anche della presenza di faglie talora dal fatto di constatare vegetazione lungo allineamenti ai lati dei quali ad es. il terreno è nudo e arido; oppure si possono riscontrare a contatto lineare piante di tipo diverso, che indicano differenza della natura delle rocce, es. calcarea (piante calcicole) e arenacea (piante silicicole), dovuta a una faglia.

Pure da terra in certe regioni è possibile talora trarre elementi per la cartografia geologica in base alle specie arboree predominanti. Anche la botanica serve dunque al geologo. L'Autore — che ne aveva già larga esperienza fatta nei suoi rilevamenti geologici — ebbe occasione di vederne esempi tipici e in grande scala, mostratigli dai Colleghi americani in alcune parti nel Mid Continent.

b'') Il secondo procedimento combina, come accennato, la Geologia coll'Aerofotogrammetria, portando le operazioni fino ad ottenere la carta geologica e strutturale, per quanto possibile definitiva, mettendo perciò a profitto anche gli elementi indispensabili forniti dallo studio geologico sul terreno.

Per le fotografie dall'aereo si sono ideati e costruiti numerosi tipi di camere fotografiche sia a lastre sia a pellicole, (13×18; 10×15; 13 × 13 ecc.), semplici (fig. 37, sotto) o multiple, adatte per prese verticali od oblique, con obiettivi diversi per lunghezza focale ed apertura, secondo le scale, le altezze del volo ecc. Come già notato, le fotografie devono prendersi sempre in modo da avere coppie stereografiche con ricoprimento parziale o anche totale. Per scopi della massima precisione si usano le lastre, normalmente però le pellicole, per evidenti ragioni di minor peso e quindi maggior numero di « pose » per carica, adottando vari artifici per evitare deformazioni (es. per compressione o depressione d'aria); emulsioni pancromatiche e a grana fine; filtri varicolori ecc.

Nell'opera di Helbling, testé citata, si tratta anche di questo procedimento fotogeologico e in particolare, in un capitolo redatto dal dott. J. Krebs, è data notizia dei risultati della sua applicazione in grande stile fattane dalla « Nederlandsche Nieuw Guinee Petroleum Maatschappij » in un settore della Nuova Guinea occidentale di 100 mila kmq (un terzo dell'Italia), interamente occupato da densa foresta tropicale e nella fascia costiera da terre paludose.

È questo infatti il metodo di rilevamento per regioni impervie, per le quali, anche potendo, non conviene affrontare le difficoltà e le spese d'organizzazione logistica, prima di sapere se le condizioni geologico-strutturali offrano possibilità per eventuali ricerche, come in questo caso, con finalità petrolifere.

La gigantesca impresa è stata ultimata in soli tre anni (1935-38) a tal punto che « le linee tettoniche, la maggior parte delle pieghe che potevano considerarsi come possibili orizzonti petroliferi e del pari gli affioramenti di serie stratificate, furono riconosciuti tanto accuratamente da consentire la scelta e la discriminazione, dalle restanti, delle parti più promettenti ».

b''') Del terzo procedimento aerofotogeologico può aversi una concreta idea dall'articolo *Techniques in Photogeology* di Louis Desjardins (Bull. of the Amer. Ass. of Petr. Geol. 34, Dec. 1950), il quale, in base ad espedienti e tecnica originali, mostra, anche con

esempi concreti, la possibilità di ottenere dalle *sole fotografie aeree*, senza alcun lavoro al suolo, col sussidio soprattutto dello stereoscopio, la rappresentazione delle condizioni stratigrafiche (serie delle rocce, colonne stratigrafiche, misure degli spessori) e strutturali (pieghe, faglie, carta strutturale).

Naturalmente, questo procedimento può rendere utili servigi, ma fino ad un certo punto, oltre il quale la concreta conoscenza della natura delle formazioni geologiche e della loro attribuzione cronologica rende indispensabili le ricerche al suolo, per le quali l'opera del martello geologico resta sempre basilare.

È superfluo avvertire che in ogni caso chi vuol trarre dalle fotografie aeree il massimo rendimento, deve avere attitudini e pratica a « leggere » e interpretare anche i minimi particolari morfologici e di variazione di tonalità.

Conclusioni.

La fotografia, della quale i geologi hanno sempre fatto il più largo uso per documentazione e illustrazione dei loro studi, solo da quando è stato facile eseguirla dall'aereo ha rivelato le sue possibilità, che nel campo geologico si sono concretate e via via approfondite ed estese, così da dare vita e corpo a un nuovo ramo ancor giovane, ma ormai robusto: la Fotogeologia. Associandosi alla Fotogrammetria e utilizzandone i progressi, i metodi e gli apparecchi, la Fotogeologia si è affermata, non solo come sussidio allo studio geologico tradizionale, ma per alcuni scopi si è sostituita ad esso, superandolo in rapidità, precisione e risparmio di spesa.

Anche per la Fotogeologia, come per tanti altri rami di scienza e di tecnica, si può affermare che lo sviluppo e il progresso sono effetto e merito della competizione mondiale per la conquista del petrolio. Era tuttavia sufficiente pure un semplice sguardo retrospettivo alla nostra rapida trattazione dei metodi di esplorazione, di ricerca e di sfruttamento dell'oro nero per trovare una ricca esemplificazione di questo asserto.

Ma, se è in prevalenza debitrice al petrolio — e del resto ricambia il beneficio col dare sempre maggiori risultati — la Fotogeologia trae pure alimento ed impulso da altre fonti, grazie alle sue vaste e proficue attitudini di essere utilizzata per tante altre ricerche di carattere scientifico e industriale.

Delle sue possibilità fuori del campo più strettamente petrolifero

merita attenta considerazione quella di prestarsi a fornire col solo concorso della Fotogrammetria terrestre, in uno con quella topografica, *la carta* geologica ben più esatta di quanto normalmente è possibile col metodo usuale di rilevamento, il quale dovrebbe ormai cedere il passo a quello fotogeologico.

Chiudiamo dunque coll'augurio che non resti unico da noi il già ricordato (pag. 92 in nota) primo bel saggio di Fotogeologia eseguito per l'isola di Stromboli (M. Magnani) e che l'esempio della Svizzera sia largamente seguito — soprattutto pel completamento e la revisione, ove sia necessaria, della carta geologica ufficiale — anche nel nostro paese [1], che ha il vantaggio di disporre già di ottimi apparecchi fotogrammetrici, d'ideazione e costruzione di scienziati e tecnici nostri, e di personale esperto d'ogni grado.

[1] L'Aerofotogeologia è ora in corso d'impiego a scopo di prospezione petrolifera in Sicilia, specialmente in quella sud-est, da parte della American International Fuel and Petroleum Company, che è un ramo della Gulf Oil Corporation di Pittsburg (Pennsilvania). Come già accennato, la stessa compagnia ha eseguito nella medesima area della Sicilia — prima per l'Italia — l'esplorazione geomagnetica dall'aeroplano.

Nel 1936 l'A.G.I.P., anche per suggerimento dello scrivente, ha fatto eseguire, dalla S.A.R.A. (sistema Nistri) di Roma, la levata aerea della maggiore delle isole Daalac (Mar Rosso), a sussidio dell'interpretazione della struttura tettonica — troppo difficile ad ottenersi da terra — onde basarsi per la scelta delle postazione dei sondaggi, iniziati ma dovuti poi sospendere causa la guerra.

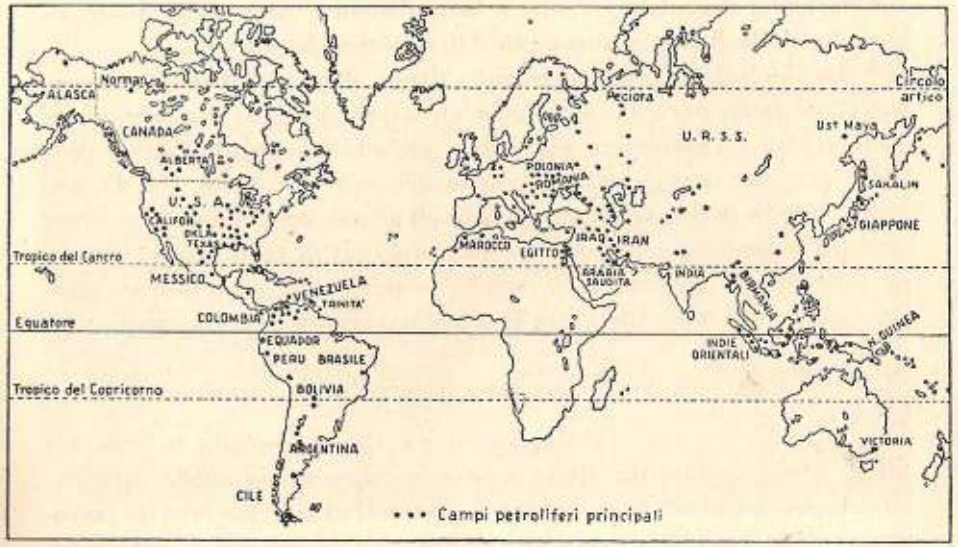
Capitolo Quarto

DISTRIBUZIONE MONDIALE DEI GIACIMENTI PETROLIFERI

Generalità.

Abbiamo accennato che le condizioni d'ambiente più favorevoli alla genesi del petrolio e alla costituzione dei suoi accumuli corrispondono a quelle delle zone marginali delle fosse sedimentarie geosinclinaliche, le quali rappresentano le aree marine del maggiore accumulo di sedimenti accompagnato dal fenomeno della subsidenza. Ma in corrispondenza alle geosinclinali si sono preparati e sviluppati i successivi grandi cicli orogenetici, dai quali hanno avuto origine le « catene » che sono via via comparse a seguito dei corrugamenti e demolite, restando i loro resti grandiosi a costituire gli *scudi* o *moli* ossia i *cratoni*, aree della crosta terrestre non più suscettibili di corrugamenti. Tali gli scudi scandinavo, canadese, brasiliano, africano, indiano, siberiano, australiano (v. fig. 43, sotto) formati di masse rocciose ignee e cristalline o metamorfiche, nelle quali, per le profonde azioni di metamorfismo che hanno subito, i giacimenti di petrolio eventualmente racchiusi sono andati completamente distrutti. Che ne fossero esistiti si ritiene provato dalla presenza di grafite e di tracce bituminose entro le rocce cristalline. Il più antico petrolio finora conosciuto si ritiene sia quello trovato in formazioni dell'Arcaico superiore (Algonchiano) del Kansas. Giacimenti importanti si hanno invece alla base del Paleozoico, cioè nel Cambriano del Mid Continent (Kansas, Oklahoma, Texas), e ancor più nel Siluriano, in corrispondenza dunque al primo grande ciclo orogenetico paleozoico (Caledonico). Produzione assai maggiore, nell'America del Nord, forniscono le formazioni di corrugamento ercinico e specialmente quelle del Carbonifero superiore (Pennsilvaniano). Non soltanto in detta regione, ma in tutte le altre del mondo, la quantità maggiore di petrolio è però data dalle formazioni spettanti al ciclo alpino. Il contributo più elevato viene dal Cretaceo e dal Terziario medio e superiore. Aggiungendovi quello assai più modesto degli altri periodi, si giunge al 70% della produzione totale.

Gli Stati Uniti tengono il primato anche nella produzione dalle



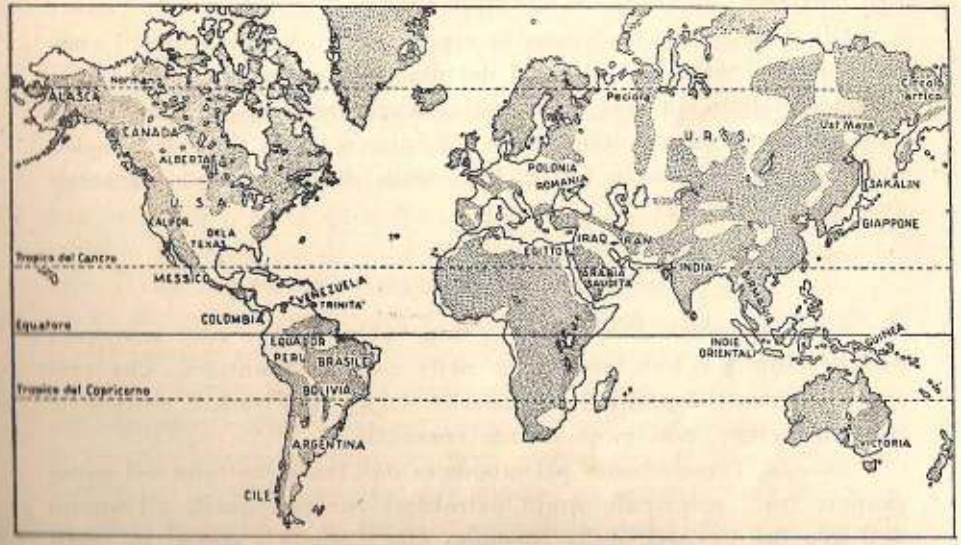


Fig. 43 - Sopra: distribuzione mondiale dei campi petroliferi. - Sotto: punteggiato, aree cratoniche e di più antiche orogenesi; bianco, aree orogenetiche e sedimentarie più recenti (petrolifere o con possibilità di esserlo).

formazioni paleozoiche, seguiti a forte distanza, pure sotto questo riguardo, dalla Russia e ancor più dall'America del Sud.

La Geologia e la Paleogeografia danno dunque l'orientamento generale al ricercatore, facendo escludere a priori alcune vastissime aree della Terra e considerare possibili e probabili tante altre, corrispondenti cioè alle aree di sedimentazione dei cicli più recenti (fig. 43, sotto). In modo analogo alle zone marginali geosinclinaliche, si sono avute potenti sedimentazioni, nel corso dei fenomeni di corrugamento, entro le fosse di sprofondamento di *avanterra*, nelle quali pure esistono dunque giacimenti petroliferi, anche assai importanti (es. Europa).

Classificazione geologica generale dei giacimenti.

I giacimenti legati al corrugamento *alpino*, secondo la classifica di A. Moos, seguita da Stille e Schlueter, vengono anche detti di *tipo alpino* e distinti in *perialpini* — spettanti al margine esterno (avanterra) delle zone di piegamento alpino — e *intraalpini* — corrispondenti alle depressioni interne a dette zone e riempite di sedimenti del Terziario.

Gli stessi Autori designano invece col nome di *extra-alpini* i campi petroliferi situati al di fuori del dominio orogenetico alpino propriamente detto, in aree pertinenti a cicli precedenti e che furono poco ripiegate, mentre sono per lo più interessate da sistemi di faglie, prodottisi soprattutto in fasi di subsidenza di regioni epicontinentali (es. valle del Reno).

1. — Giacimenti delle regioni « alpine ».

A. - *Giacimenti Perialpini.* — Sono ubicati nelle zone marginali *esterne* delle pieghe alpine (cioè nelle zone di avanterra), che presentano potenti depositi del Terziario (facies di Flysch e molasse) e sono, in genere, non intensamente corrugate.

Europa. Prescindendo pel momento dall'Italia, entrano nel sottogruppo, fra i principali campi petroliferi europei, quelli all'esterno dell'arco dei Carpazi, dalla *Romania* alla *Polonia* [1], spesso in corrispondenza a strutture diapire (fig. 2 A, B, C), a *skibe* (fig. 3 C)

[1] La Romania teneva un tempo il primato europeo della produzione, ma è ora superata dall'U.R.S.S. Nel 1950 ha prodotto 5 milioni di mc. La Polonia, che fra il 1907 e il 1911 l'aveva superata, è poi andata perdendo terreno e oggi, passati in gran parte i suoi campi alla Russia, ha una produzione minima.

Fig. 44 - Aspetto invernale del campo di Runcu in Romania (foto Ing. M. Amico).

e sovrascorrimenti, interessanti terreni del Terziario, specialmente medio e superiore, ma anche il Flysch paleogenico può essere produttivo (Romania N).

Al sottotipo perialpino appartengono i campi petroliferi *caucasici*, sia quelli a nord (Maicop, fig. 4 K, Grozny) sia quelli a sud della catena (*Bacu*, fig. 45). I primi sono in strutture monoclinali o anticlinali con vergenza a nord entro formazioni oligoceniche e mioceniche. I secondi, rinomati per la loro ricchezza, sono specialmente lungo un arco anticlinale che si sviluppa attorno alla città di Bacu nella penisola di *Apsceron*, costituito di depositi miopliocenici (fig. 46 F). È tradizione che anche qui, come in Persia, si scorgessero nell'antichità grandiose fiamme levarsi dal suolo pregno d'idrocarburi. Esistono anche strutture a cupola isolate. Come si vedrà più avanti, in Russia si trovano pure giacimenti in aree extraalpine di tipo germanico. Comunque i centri produttivi, sia europei sia asiatici, dell'U.R.S.S. sono assai numerosi e in svariate condizioni geologiche e strutturali. Prevalgono i giacimenti del Terziario, ma, specie nel settore Urali-Volga, se ne annoverano anche del Devoniano, del Carbonifero e del Permiano (Ishimbaevo, Perm, Ukhta), in prevalenza corrispondenti a bioerme. Notevole per la sua ubicazione, che è la più nordica del continente eurasiatico, è il centro della Peciora (64° lat. N). Nella Russia asiatica sono importanti i campi dell'Usbekistan (Fergana), nel-

Fig. 45 - I campi petroliferi del Medio Oriente e dei paesi più vicini. Gli oleodotti Kirkuk-Tripoli e Kirkuk-Haifa sono, in realtà, doppi.

l'alto bacino del Sir Daria, in formazioni del Cretaceo e del Terziario inferiore. Di recente fu scoperto un campo ad Ust Maya in Siberia, verso il Mar d'Okhotsk al 60° lat .N. Ora appartengono all'U.R.S.S. anche tutti i giacimenti dell'isola di Sakhalin e, in Europa, gran parte di quelli della Polonia.

La produzione russa pel 1950 è valutata oltre 41 milioni di mc [1].

Al margine nord delle *Alpi*, e così pure in corrispondenza alle depressioni di avanterra nord e sud dei *Pirenei* (omologhe a quelle del Caucaso), son noti finora solo indizi di petrolio e di gas.

Asia. — Oltre ai citati giacimenti transcaucasici, i *campi petroliferi* dell'*Iraq* (Mesopotamia) e dell'*Iran* (Persia), situati all'esterno, cioè a sud e sud-est del prolungamento dell'Arco taurico, formato dalle catene del Curdistan e dei Zagros, sono fra i più importanti del mondo, sia per la loro ricchezza, in atto o potenziale, sia per il riflesso geo-

[1] Questa cifra e le altre che saranno in seguito riportate, sono per la massima parte prese dal « World Oil » del 15 luglio 1951.

politico, a tutti noto, che deriva dalla loro particolare ubicazione (figura 45). Per queste ragioni converrà non limitarci per essi a un semplice cenno.

I *campi petroliferi irano-iraqueni*, finora esplorati e messi in produzione, si trovano dunque tra la zona orogenetica « alpina » iraniana (geosinclinale) e quella cratonica tabulare dello scudo arabico, che ne costituisce l'avanterra, in corrispondenza a una fossa che venne colmata da sedimenti mesozoici, terziari e quaternari (massimamente tra l'Eufrate e il Tigri — Mesopotamia — e alla sinistra del secondo fino al Golfo Persico), su un percorso di circa 1800 km e una larghezza di 200 a 300 km, con orientamento generale da SE a NO nei suoi due terzi meridionali e curvatura verso ovest nel tratto settentrionale (fig. 45).

Durante le successive fasi di subsidenza si è deposto un complesso assai potente di formazioni, le più antiche in massima parte marine, che subì un corrugamento piuttosto debole, con disarmonie nelle parti superiori, donde è derivata una serie di pieghe, a disposizione scaglionata e ad assi che corrispondono all'orientamento generale testé accennato. Fra esse sono numerose le anticlinali, o strutture positive, chiuse, isolate o a catena (fig. 46 B). Nell'area spettante all'Iran la tettonica è di frequente caratterizzata da diapiri salini (spesso affiorano formando i « ghiacciai di sale »). Col sale in qualche caso vengono alla luce frammenti di rocce perfino del Cambriano. Sull'età del sale gli Autori non concordano, pare tuttavia sicuro che sia paleozoica. Altro sale, alla cui presenza soprattutto si attribuiscono le disarmonie accennate, è invece certamente miocenico e associato ad anidrite e a gesso: indica una fase lagunare dei Fars (fig. 46 A).

Le serie più importanti, specialmente in riferimento alla geologia dei petroli, vennero indicate con termini particolari derivati da nomi di montagne della Persia (Asmari, Bakhtiari) e da un vocabolo che dovrebbe significare « persiano » (Fars).

La *serie dell'Asmari* consta soprattutto di calcari in parte cavernosi, talora dolomitici, che nella zona persiana possono raggiungere 1400 m di potenza e costituiscono la formazione petrolifera più produttiva. Sono attribuiti in prevalenza all'Oligocene superiore ed al Miocene inferiore. Petroli si trovano pure nei calcari della soprastante *serie*, pure miocenica, dei *Fars*, potente perfino 3 km, in prevalenza molassica (fig. 47), marnosa, gessifera, salifera. Costituisce, con alcuni suoi livelli impermeabili, anche una buona copertura protettiva. La *serie Bakhtiari*, riferita al Miocene più alto, al Pliocene e superiormente al Quaternario inferiore, consta di sabbie, ghiaie e conglomerati, di trasporto fluviale o fluvio-lacustri.

Con spessori diversi le stesse formazioni continuano nell'Iraq, sia sulla sinistra che sulla destra del Tigri, precedute da sedimenti calcarei anche dell'Eocene-Oligocene, talora nummulitici, formanti un unico complesso calcareo (*Main limestone*) petrolifero coll'Asmari (fig. 46 B).

Nei campi iraqueni sulla destra del Tigri fu scoperto un orizzonte petrolifero anche nel Cretaceo, ciò ch'era prevedibile, dato che in varie località (ad es. nei monti di Aqra e di Ruvandiz a 100 e 200 km rispettivamente a NE e ENE di Mossul) i calcari con Rudiste e altri col caratteristico foraminifero *Loftusia* sono intensamente bituminizzati. Nella struttura di Qalian a S di Mossul si è trovato petrolio anche nel Permiano fra 2000 e 2700 m di profondità.

Il primo sondaggio che dimostrò subito la grande importanza dei giacimenti

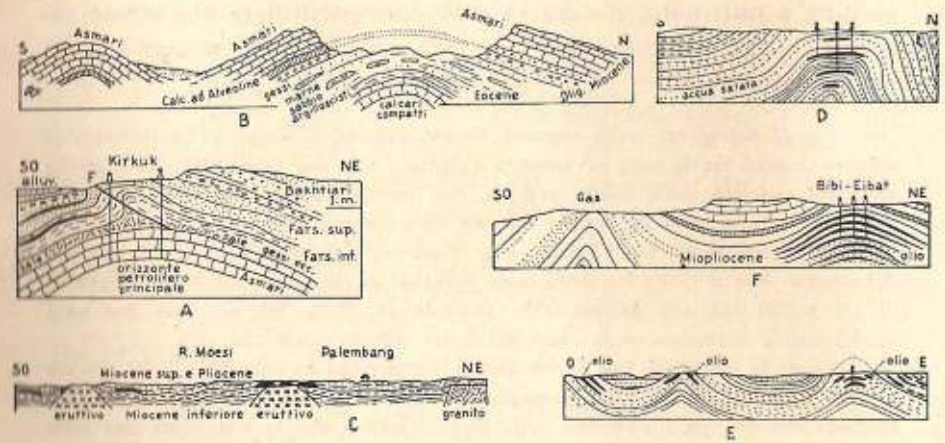


Fig. 46 - A, Schema della struttura di Kirkuk (Iraq). In parte da uno schizzo di A. Bentz. Pieghe disarmoniche della serie plastica dei Fars rispetto a quelle dell'Asmari, come in Persia. - B, Profilo schematizzato tra Amadia e Dohuc, nel Curdistan a N di Mossul. Mostra lo stile tettonico della bassa montagna iraquena (R. Fabiani). - C, Campo di Palembang nell'Isola di Sumatra (da Schmidt). - D, Struttura petrolifera di Kampong Minjak, Sumatra (da Tobler). - E, Strutture petrolifere (stile *eiettivo*) di Borneo (da Jezler). - F, Campo di Bibi-Eibat presso Bacu (da Golubjatnikoff).

della *Persia* risale al 1908 e fu eseguito in quello che divenne il campo di *Meidan-i-Naftun* (letteralmente significa: « il luogo del petrolio »), presso Shushtar, 200 km a nord del Golfo Persico. Altre località vicine divennero celebri con essa per l'eccezionale produttività (es. 1 milione di tonn. annue da un solo pozzo), quale *Masjid-i-Sulaiman*. Altri campi furono scoperti più a NO presso Kermanshah es. quello di *Naftkhaneh*, presso il confine coll'Iraq. La produzione più notevole è data dall'*Asmari*. Nel 1950 essa ha superato 38 milioni di mc.

L'Iraq è entrato nell'agone dei paesi petroliferi nel 1927, affermandosi subito col sondaggio di Baba-Gurgur, piantato nell'anticlinale di Kirkuk, 150 km a SE di Mossul, sulla sinistra del Tigri, sondaggio che s'è allineato fra i più produttivi del mondo, avendo dato nei primi giorni fino a 12.000 tonn. A tal proposito abbiamo già ricordato che per le altissime produzioni iniziali il primato è tenuto dal Messico (ad es. una sonda del campo Cerro Azul con circa 30.000 tonn al giorno nel periodo iniziale e altra del vicino campo Potrero del Llano con 15.000 al giorno per 3 mesi).

A Kirkuk l'orizzonte più ricco coincide coll'Asmari. L'anticlinale, orientata da NO a SE, è pressoché regolare nelle serie inferiori, deformata invece e fagliata in corrispondenza ai Fars (fig. 46 A), cioè ad una massa risultante di anidrite, gesso, sale. Pel suo grande sviluppo — è lunga 100 km, larga 5 — viene considerata come uno dei più cospicui depositi di petrolio del mondo.

Meno abbondantemente produttive, ma nell'insieme assai importanti, sono anche le strutture alla destra del Tigri (campi petroliferi a N e a S di Mossul). Le esplorazioni fondamentali e praticamente risolutive per la dimostrazione del reale valore industriale di questi campi sulla destra del Tigri si devono soprattutto all'opera scientifico-tecnica e al contributo, anche finanziario, degli italiani. La

produzione iraquena del 1950 ha un po' superato i 7 milioni di mc. Ma le possibilità sarebbero certo superiori, tanto più che altre zone un tempo tenute in ben poco conto, si sono già rivelate (Ain Zalah a NO di Mossul) o si presume siano ricche di petrolio (es. fra Hit ed Ana lungo l'Eufrate).

Quasi in prolungamento di quelli dell'Iraq (fig. 45) si hanno i giacimenti di *Kuwait* al margine NO del Golfo Persico e dell'isola *Bahrein*, alla metà circa del Golfo, pure sul lato ovest. Il campo *Burgan* di Kuwait, che risulta oggi forse il più importante di tutti i paesi, è interessante anche perché gli orizzonti produttivi non corrispondono ai soliti calcari, bensì ad un complesso sabbioso, alternato a sottili strati di calcari con *Orbulina* del Cretaceo (Cenomaniano). Va anche notato che la copertura protettiva o *cap rock* è costituita da argilloscisti, che sul colmo della struttura non hanno nemmeno 30 m di spessore (G. M. Lees, *Some struct. and stratigraph. aspects of the oilfields of the Middle East*, 1948).

Il campo di Bahrein corrisponde ad una brachianticlinale eocenica; il petrolio è localizzato nel Cretaceo superiore.

Non occorre aggiungere altro per mettere in evidenza le ragioni dell'enorme interessamento internazionale pei campi petroliferi del Medio Oriente, che si ritengono i più ricchi del mondo.

Prima di proseguire verso est, ricordiamo che anche la *Turchia* ha cominciato a trovare del petrolio a Ramandag (Asia Minore), nell'alto bacino del Tigri a SO del lago Van.

Fig. 47 - Morfologia dei Fars superiori (molasse, marne, gessi), Miocene medio e superiore. Curdistan iraqueno, circa a mezza via tra Mossul ed Aqra. (*Foto* R. Fabiani).

Sempre nel gruppo dei giacimenti *perialpini*, in Asia sono ancora da ricordare quelli dell'*India* NO e NE (Pangiab, Pakistan, Assam) e della *Birmania*, entro formazioni terziarie, dall'Eocene medio al Miocene inferiore, per lo più in strutture anticlinali, talora a cupola nel Pangiab e non di rado fagliate.

Maggiore importanza hanno finora i giacimenti della Birmania, localizzati nell'imponente massa di depositi (dall'Eocene al Quaternario), che colmano la grande fossa (lunga oltre 1000 km, larga 200) nell'Iravadi, compresa tra il rilievo « alpino » dell'Arakan a O e il massiccio cristallino antico di Shan a E, che era già emerso nel Terziario. Detta fossa è divisa in due da una stretta geoanticlinale, che si continua più sviluppata a Sumatra, Giava, Bali, Sumbava, Flores ed è contrassegnata da vulcanismo terziario e recente (v. UMBGROVE J.H.F., *Symphony of the Earth*, 1950, tav. VI).

L'omologia fra la Birmania e l'*Indonesia* o *Insulindia* si estende anche ad altri elementi geotettonici, sicché i campi petroliferi che si trovano verso l'interno dell'arcipelago, cioè nell'avanterra, possono considerarsi la continuazione di quelli birmani.

A *Sumatra* gli orizzonti produttivi più antichi sono oligocenici: seguono quelli del Miocene e del Pliocene. La tettonica è poco movimentata, le strutture in prevalenza sono anticlinali (fig. 46 C, D), con livelli mineralizzati sovrastanti talora a masse eruttive terziarie.

A *Giava* i giacimenti più notevoli sono quasi esclusivamente nella parte est e in prevalenza nel Miocene inferiore. Vi sono molto più diffuse le formazioni vulcaniche.

Come importanza produttiva, di tutto l'Arcipelago a Sumatra segue l'Isola di *Borneo*, le cui direttrici tettoniche spettano alla parte interna orientale degli archi tettonici dell'Insulindia, direttrici che si collegano in parte con quelle delle Filippine e si prolungano al N fino al Giappone e all'isola di Sakhalin.

I giacimenti noti di Borneo (zona britannica) sono parte all'esterno (verso N) della direttrice tettonica settentrionale (SSO-NNE), es. campo di Brunei, e parte all'esterno (SE) della direttrice tettonica meridionale (SE-NO) (il più importante è il campo petrolifero di *Balikpapan*). Il petrolio trovasi in orizzonti distribuiti dall'Oligocene al Miocene, con maggiori accumuli nel Miocene superiore. La tettonica è alquanto più movimentata che a Sumatra, a strette anticlinali petrolifere, separate da ampie sinclinali (stile *espulsivo, ejetif*, del quale

si hanno esempi tipici pure nell'Africa del Nord), specie nella regione di Samarinda a nord di Balikpapan (fig. 46 E).

In *Giappone* i giacimenti più notevoli sono lungo una stretta zona al margine esterno (ovest) della direttrice tettonica principale, sia nell'Isola Hondo, la maggiore, sia in quella di Hokkaido, in corrispondenza specialmente alle formazioni miocceniche, con intercalazioni di tufi vulcanici.

Nell'isola di *Sakhalin* si ripetono condizioni analoghe per la parte sud, mentre in quella nord la zona petrolifera è al margine est in formazioni plioceniche.

La produzione totale del 1950 dell'Estremo Oriente è stata di 15 milioni di mc, dei quali 4,7 di Borneo e quasi 8 dal resto dell'Indonesia. Il totale dell'*Asia* ha di poco superato i 116 milioni di mc, di cui oltre 101 del Medio Oriente.

Senza precisare le rispettive condizioni geotettoniche, allo stato attuale forse impossibile, citiamo ancora qualche regione.

Per la *Cina* le conoscenze sulle possibilità petrolifere sono ancora, si può dire, preliminari. Petrolio fu rinvenuto nello Sciansi e nel settore sud dello Sz'-ciuan, ove mediante sondaggi (eseguiti, a quanto si sa, prima che in ogni altro paese) da gran tempo si estraggono dal sottosuolo acque salate miste a petrolio, dalle quali si ricavano sale per alimentazione e olio per illuminazione.

Petroli sono presenti nella *Nuova Guinea* e nella *Nuova Zelanda*, ma finora in modestissime quantità, specie nel secondo dei due paesi.

L'*Australia* risulta poco meno che priva di petrolio, essendo praticamente trascurabili le minime quantità scoperte nel Queensland e quelle trovate, a prezzo di numerosi sondaggi, nello stato di Victoria ad est di Melbourne, essendo state, dal punto di vista industriale, troppo meschine, per modo che le ricerche furono abbandonate. Qualche speranza si ripone tuttavia sui bacini costieri ovest (F. REEVES, Bull. A.A.P.G. Dec. 1951).

L'*Africa*, data la sua vastità, ha finora minima importanza nella produzione mondiale, benché i campi dell'*Egitto* (figg. 4 D e 45) diano una quantità non del tutto trascurabile (2,6 milioni di mc nel 1950).

Negli ultimi anni sono state riprese e assai intensificate le esplorazioni in *Tunisia* ed *Algeria*, ma soprattutto nel *Marocco*, ove i risultati sono assai promettenti. In questo paese il petrolio venne scoperto finora soprattutto in formazioni del Paleozoico e poi in quelle del Giurese inferiore e del Miocene.

Sono poi indiziate alcune *isole del Mar Rosso*, es. le Daalac, in seguito a esplorazioni fattevi dagli italiani (A.G.I.P.), in condizioni probabilmente simili a quelle dell'Egitto, e certe plaghe della Somalia (studiate a fondo dai geologi dell'A.G.I.P.), del Madagascar, dell'Africa sud-est e occidentale equatoriale.

B. — *Giacimenti in aree intraalpine.*

Europa. — Per ragioni che vedremo, non ci occupiamo pel momento dell'America e torniamo all'*Europa* per un cenno sui principali suoi giacimenti di tipo *intraalpino*. Ad esso appartengono anzitutto i giacimenti interni all'arco carpatico, vale a dire quelli del bacino di *Vienna* (es. Zisterdorf in *Austria*, Gbeli in *Cecoslovacchia*) e del bacino *transilvanico*, ricco specialmente in gas secchi (98 a 99% di CH_4), al centro del quale esistono anche diapiri salini.

Nella *depressione pannonica* (*Ungheria* e parte della *Jugoslavia*) — che ha per basamento un grande massiccio cristallino — furono scoperti da prima notevoli adunamenti di gas e quindi anche di petrolio.

Le formazioni petrolifere sono specialmente mioceniche e plioceniche (nel bacino di Vienna è pure mineralizzato il Flysch paleogenico).

2. — Giacimenti delle Regioni extraalpine.

Secondo i due Autori citati, possono considerarsi tre tipi: *Sassone* o *Germanico*, della *Fossa Renana*, degli *Appalachi*.

A. — *Tipo Sassone.*

Corrisponde al « *bacino germanico* » (Germania NO - Olanda - estremo SE della Granbretagna), che presenta petroli già nel Permiano e poi nel Trias superiore e nel Cretaceo superiore, ed ebbe origine da una geosinclinale risalente alla fine del Paleozoico.

La tettonica generale è caratteristica (detta di tipo « germanico » o « sassone »): pieghe fagliate di corrugamento antico, successive pieghe poco marcate con zolle infossate e sollevate per effetto di intensa fagliatura. Faglie anche inverse e piccoli accavallamenti; diapiri salini (tipo Texas e Luisiana) assai frequenti. Si ha cioè una tettonica ben diversa da quella con intenso piegamento di stile alpino.

Le cupole saline provengono da depositi di età permiana e contengono giacimenti talora cospicui anche di sali potassici (celebre quello di Stassfurt). Dal punto di vista petrolifero il campo tipico è

quello di Wietze (Hannover). La produzione della Germania nel 1950 è stata poco più di 1 milione di mc.

Russia. — A questo tipo strutturale spettano i campi petroliferi dell'Emba, subito a N del Caspio (Dossor e Macat), in corrispondenza a cupole saline (Permiano) e ad orizzonti del Giurese e raramente del Cretaceo inferiore.

Spagna. — Nel territorio di Escudo (Monti Cantabrici) fu trovato petrolio in formazioni del Secondario a breve distanza da estrusioni (diapiri) di masse argillose del Trias. Il giacimento sembra assimilabile al tipo strutturale germanico. Più a N esistono anche diapiri salini, che forse meriterebbero d'essere esplorati, alla pari di varie altre zone della Penisola.

B. — Il tipo della « *Fossa tettonica del Reno* », della cui struttura si è già altrove accennato, è rappresentato essenzialmente dal bacino petrolifero di *Pechelbronn*, il più importante della Francia [1], produttivo in minima parte nei sedimenti del Trias e del Giurese, in prevalenza in quelli sabbiosi dell'Oligocene, periodo nel quale la sedimentazione, parte marina (epicontinentale) parte salmastra e continentale, ha raggiunto il massimo di intensità (potenza 1800 m), accompagnata da subsidenza e protrattasi fino al Quaternario.

C. — Il terzo gruppo è costituito da giacimenti in strutture, in genere debolmente corrugate, spettanti soprattutto al *ciclo ercinico*. L'esempio tipico, veramente classico, è come vedremo, negli Appalachi. In *Europa* vi si possono riportare: *a*) il campo di *Volkenroda* in Turingia, in strutture anticlinali che interessano i sedimenti dello Zechstein (Permiano), con produzione di olio e di gas; *b*) un piccolo giacimento presso *Hardstoft* (Granbretagna) in calcari del Carbonifero; *c*) centri di *Ukhta* e *Chussovaya* ad occidente degli Urali, con petrolio nel Permiano e nel Devoniano; *d*) le manifestazioni d'olio

[1] Negli ultimi anni in *Francia* si sono sviluppate le ricerche d'idrocarburi soprattutto nel bacino dell'Aquitania. Finora i risultati più importanti come produzione di gas vennero ottenuti nel territorio di St-Marcet e pel petrolio più ad ovest nel campo di Lacq a N di Pau (v. *L'Industrie Française du Pétrole*. Union d. Chambres Syndac. de l'Ind. du Pétr. Paris 1950; e « World Oil » July 15-1951). Nella prima decade di febbraio (1952), il pozzo Lacq n. 3, andato in eruzione, venne incendiato, si dice, per evitare inquinamento venefico dell'aria della zona.

Per la Germania v. il simposio pubblicato da A. Bentz, *Erdöl und Tektonik in Nordwestdeutschland*. Hannover, 1949.

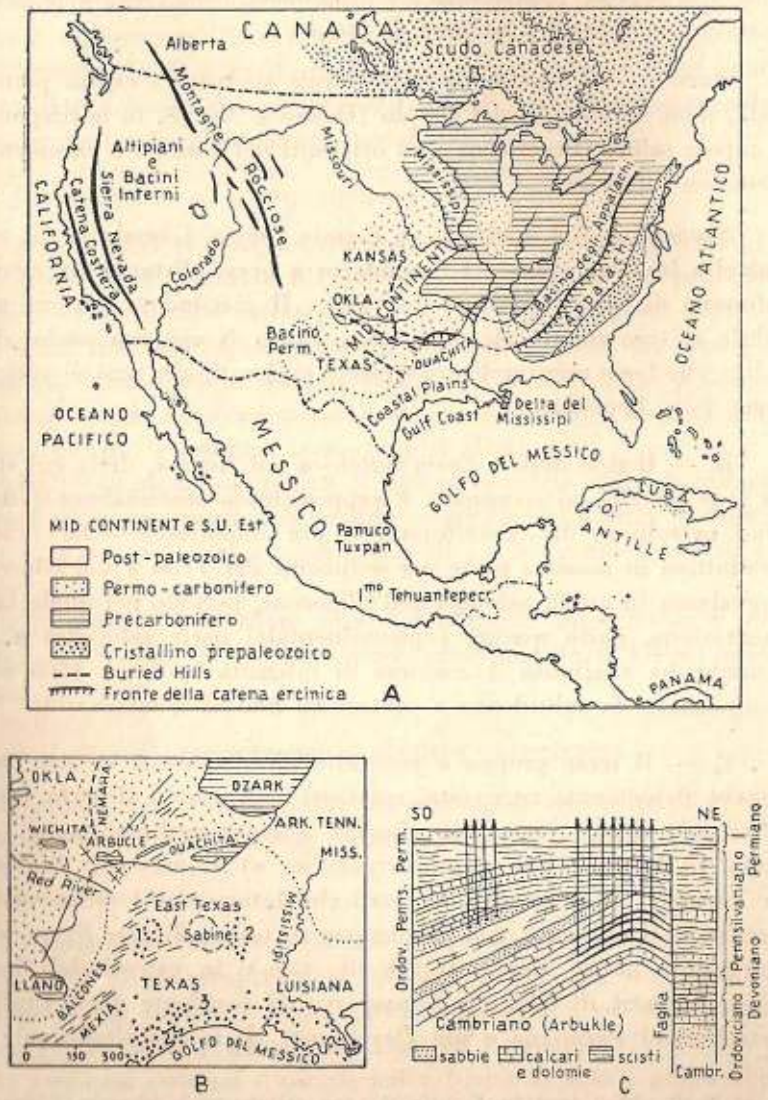


Fig. 48 - A, Nordamerica con speciale riguardo al Mid Continent e alla regione degli Appalachi (imit. da JUNG). - B, Particolari del Mid Continent (imit. da MISER). Linee orizzontali: Precarbonifero; punteggiato: Permocarbonifero; rette sparse: faglie; incrociate: anticlinali; cerchietti: cupole salifere; 1, 2 gruppi interni, 3 gruppo esterno del Golfo. - C. Schema tettonico del Campo di Oklahoma City.

e gas di *Gabian* (Francia S) entro dolomie del Trias medio; *e*) probabilmente il centro gassifero nei pressi di *Vaux* (margine esterno del Giura Svizzero), ove il gas sembra provenga dal Trias.

AMERICA

Un esame, anche dei più riassuntivi, delle strutture e dei campi petroliferi del Nuovo Continente richiederebbe assai lunga esposizione. Ci limiteremo quindi a un semplice saggio.

A. - *America del Nord.*

Generalità. — Come s'è visto, nelle regioni eurasiatiche i campi petroliferi del gruppo extraalpino hanno importanza minima. Non così è nel Nordamerica, ove il gruppo è largamente rappresentato dal *tipo Appalachiano*, che nelle linee fondamentali si distingue per lo stile a pieghe, in genere regolari e a dolce curvatura.

La regione petrolifera appalachiana propriamente detta — la prima ad essere sfruttata in grande stile ed attualmente in via di esaurimento — corrisponde all'avanterra della geosinclinale degli *Appalachi* (fig. 48 A), dalla quale, per effetto del corrugamento ercinico, sorse l'edificio della catena omonima, che decorre da NE a SO dalla Pennsylvania all'Alabama. Al margine ovest della catena si sviluppa il bacino appalachiano, che a sua volta resta delimitato dalla geoanticlinale precarbonifera Nashville-Cincinnati.

Fatto del massimo interesse è che catena e bacino, al loro estremo SE, inarcandosi in direzione ovest e affondandosi, restano coperti dai depositi terziari e quaternari della bassa vallata del Mississipi, per riapparire nel Mid Continent (Kansas, Oklahoma, Texas). Nella parte est di questo la continuazione del bacino (avanterra) degli Appalachi resta delimitata a sud dai monti Ouachita — altro frammento della catena ercinica — e a nord dalla geoanticlinale precarbonifera della regione degli Ozark (fig. 48 B).

Nella più vasta area del *Mid Continent*, l'ossatura strutturale di base viene a giorno nelle *Arbuckle Mountains* (« montagne » più che tutto nel significato geologico, la quota massima essendo a m 408 s.l.m.), nel quale rilievo le formazioni del Paleozoico presentano uno spessore di 9000 m, con grande ricchezza di fossili. La catena appalachiana o ercinica affiora pure nel rilievo *Criner Hills*, ancora nell'Oklahoma sud, e nelle *Wichita Mountains* nel SO del medesimo stato.

Invece più a nord fino, e molto addentro, nel Kansas e dall'altro lato, cioè più a sud, nel Texas (distretto di Amarillo e in quello del « Red River Uplift », cioè del sollevamento tettonico del Red River), le « catene di fondo » sono state scoperte coi sondaggi: sono esse le « *paleocatene* » o *Buried Hills* (il grande ramo che va dall'Oklahoma al Kansas con asse SN, costituisce le così dette *Nemaha Mountains*, già ricordate a pag. 25). Nelle parti più profonde sono formate di rocce granitiche o di resti di corrugamenti precarboniferi in prevalenza (fig. 14 H). Su questi ruderi di antichi edifici strutturali si sono depositati, in ripetute e variamente estese trasgressioni, i sedimenti successivi dal Carbonifero via via fino al Quaternario.

La straordinaria importanza sotto l'aspetto petrolifero sta in ciò che queste fortunate regioni dispongono di giacimenti che si susseguono, spesso anche lungo una stessa verticale, dal Cambriano superiore (es. nell'*Arbuckle limestone*, fig. 48 C) e dal Siluriano inferiore od Ordoviciano (es. *Simpson* e *Wilcox sand*) fino al Quaternario compreso. E alla frequenza fa riscontro la grande produttività, come prova il fatto che dal Mid Continent proviene circa il 60% del petrolio degli Stati Uniti. Il 44% spetta al solo *Texas*.

Nel settore ovest di questo stato sono specialmente fertili i giacimenti del Permiano, in corrispondenza a depositi di disfacimento di graniti (arcose) e a calcari dolomitici assai porosi, sottostanti a una serie anidritico-salifera, sulla quale seguono in discordanza depositi del Trias, coperti a lor volta, pure in discordanza, da sedimenti calcarei e sabbiosi del Cretaceo inferiore (Comanchiano).

I campi di *Yates* e di *Hendricks*, in strutture brachianticlinali asimmetriche, tengono un posto preminente per produttività, congiunta a minima profondità (poche centinaia di metri). Nella sua parte centrale nord il Texas condivide poi coll'Oklahoma (fig. 48 A) i giacimenti localizzati in corrispondenza ai già accennati rilievi sepolti (Buried Hills). Notevole il campo *Electra* con ripetuti orizzonti in lenti sabbiose.

Il Texas orientale presenta un grande bacino, a sud dei monti Ouachita, attraversato da sistemi di faglie di notevole sviluppo in lunghezza (*Balcones fault zone, Mexia - Powel fault zone, Austin*, ecc., fig. 48 B e fig. 51 G), con direzione predominante SSO-NNE nella parte nord e SO-NE in quella sud, le quali influiscono anche sui caratteri morfologici della regione, là dove hanno più forte rigetto. Esse intersecano strutture piegate, frazionandole in blocchi foggiati a piccole anticlinali e a cupole.

Si hanno inoltre esempi di giacimenti in corrispondenza a espandimenti di « serpentino » nel Cretaceo superiore (es. Litton Springs, v. fig. 4 E a pag. 27) interpretati come sommità di intrusioni o come colate sottomarine (Ph. B. King, 1951).

Tra questa regione fagliata e il campo petrolifero *East Texas*, che è attraversato dal Sabine River, si sviluppa, entro una grande area sinclinalica, il « *gruppo interno* » delle cupole saline del Texas (figura 48 B): *Grand Saline, Van, Tyler, Palestine* (la sommità di questa è occupata da un lago salato: il Dugeys lake), nelle quali il diapirismo salino ha portato ad affiorare il Cretaceo medio (con uno spostamento stratigrafico di oltre 1800 m) in un'area costituita in superficie da Eocene.

A cominciare dalla parte S di questa regione, la serie Cretaceo-Terziaria-Quaternaria ha un andamento d'insieme monoclinale, con pendenza generale verso SE, cioè verso il Golfo del Messico (che viene considerato area geosinclinalica attuale).

Altro gruppo interno di cupole è più ad est di quelle del Texas, nella *Luisiana* nord-ovest, fra il Red River e l'Ouachita.

La grande fascia costiera del Golfo (*Gulf Coast*), larga da 100 a 150 km e stendentesi dai confini del Messico al corso inferiore del Mississipi, con uno sviluppo di quasi 1000 km, è il territorio ove hanno maggior frequenza le cupole salifere (fig. 48 B), alcune delle quali presso alla sommità (cap-rock) presentano, com'è noto e si è già ricordato, grandi depositi solfiferi.

Molti dei giacimenti petroliferi sono nello stesso tempo riccamente gassiferi e non solo nell'Oklahoma e nel Texas, ma in tanti altri campi [es. nel Monroe gas field (Arkansas) un solo pozzo aveva dato in un anno (1925) ben 18 miliardi di mc. di gas]. Il gas (a parte l'estrazione della gasolina) ha dato luogo a svariate industrie e per la sua abbondanza ha permesso la costruzione di un vastissimo sistema di gasdotti che lo trasportano fino alle più lontane città del NE.

Montagne Rocciose. — La struttura fondamentale è costituita da grandi pieghe di fondo con direzione prevalente SSE-NNO, frazionate in vari tronchi con andamento alquanto diverso da quello generale nella parte mediana. Fra questi tronchi si sono stabiliti dei bacini di subsidenza, nei quali il Cretaceo, trasgressivo sul Paleozoico, è più specialmente sede di adunamenti petroliferi (es. *Salt Creek*), presenti pure in corrispondenza ai sottostanti ruderi del corrugamento ercinico. Prevalgono le strutture a brachianticlinali spesso fagliate.

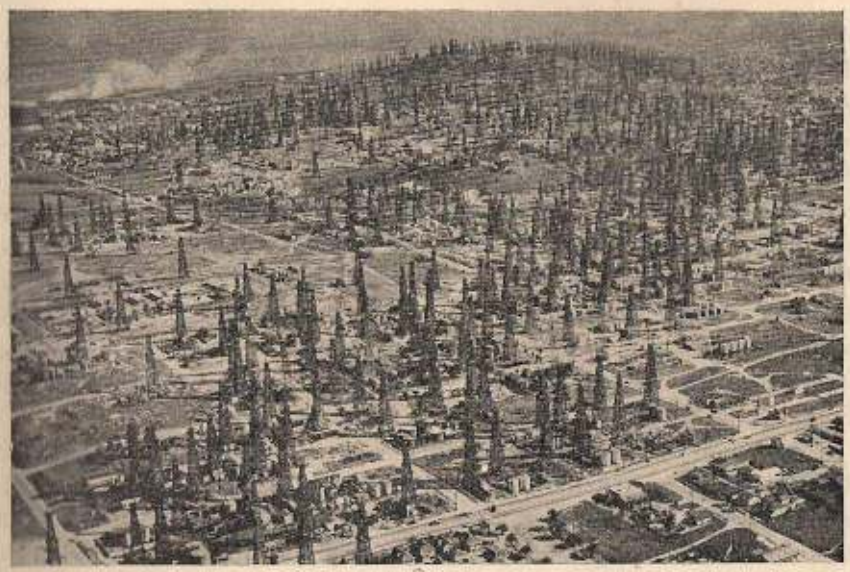


Fig. 49 - Sopra: Signal Hill Field, California. - Sotto: Huntington Beach Field, Calif. (Cortesia della « Spence Air Photos » di Los Angeles, per interessamento della Santa Fe Drilling Co. di Santa Fe Springs, Cal.).

I giacimenti occidentali del *Canada* (Alberta) si trovano in prevalenza al margine est del prolungamento nord delle Rocciose (v. fig. 48 A), in corrispondenza al relativo avanterra (es. campo della Turner-Valley).

California. — Ad occidente delle Rocciose si stende la vasta regione degli Altipiani e dei Bacini Interni (fig. 48 A) con larghe plaghe desertiche (Wyoming, Idaho, Utah, Colorado, Arizona, ecc.), rinomata per i suoi meravigliosi « Parchi Nazionali » da quello dello Yellowstone allo Yosemite, al Grand Canyon, ecc., regione che durante il Terziario era occupata da un immenso bacino lacustre, che si stendeva dal Canada al Messico per una lunghezza di oltre 3000 km e massima larghezza di 2000 km.

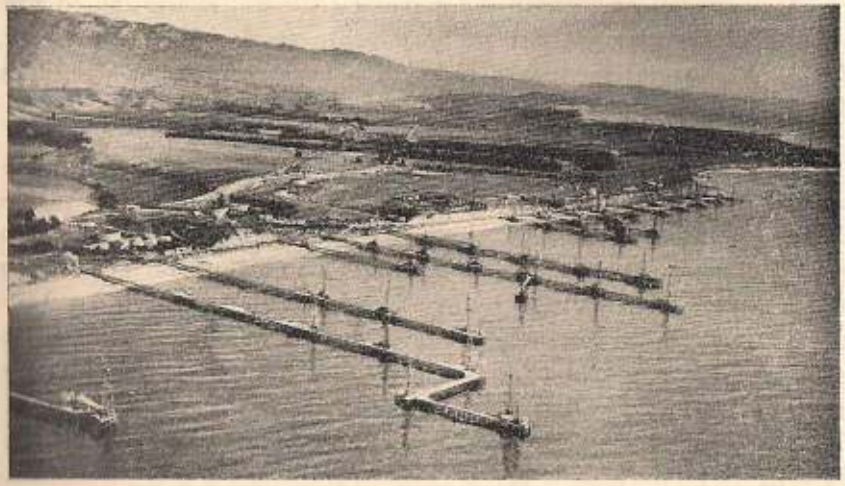
Il confine morfologico ovest di detta regione è segnato dalla lunga catena « alpina » della Sierra Nevada, fra la quale e il rilievo della successiva Catena Costiera, si sviluppa per 400 km, l'avanfossa terziaria californiana, a cui corrisponde la Valle di San Joaquin. In questa fossa, riempita di potenti depositi, ha sede la maggior parte dei numerosi giacimenti della California (figg. 49, 50), pei quali tale regione prima della scoperta e coltivazione dei campi petroliferi del Mid Continent era alla testa della produzione degli Stati Uniti.

Adunamenti di petrolio si trovano anche all'esterno della Catena Costiera, al margine e anche dentro l'oceano, dove furono raggiunti da sondaggi piantati sul mare (fig. 50 sopra). I giacimenti californiani sono localizzati in numerosi livelli, a cominciare dal Cretaceo superiore e fino al Pleistocene; i più fertili corrispondono ai depositi miocenici e pliocenici. Le formazioni del Miocene, alla cui base hanno grande sviluppo le diatomiti (talora anche le radiolariti), raggiungono perfino qualche migliaio di metri di potenza.

I depositi più cospicui sono entro lenti sabbiose, in genere di notevole spessore e numerose volte ripetute in sovrapposizione, in corrispondenza ad anticlinali, spesso fagliate e talora rovesciate, a monoclinali con orizzonti per lo più tamponati (o sigillati, *sealed*) da asfalto [1] o da faglie (v. figg. 3 D, H schematiche a pag. 26).

Esiste anche qualche campo petrolifero isolato con caratteri particolari es. quello di *Los Angeles*, in terreni miocenici e pliocenici,

[1] L'asfaltizzazione (*tarification*) del petrolio non è sempre dovuta a degradazione di un giacimento, bensì anche ad aggiunta di solfo ad opera di acque superficiali selenitose. Tale processo ha talora originato depositi di solfo (Emmons).



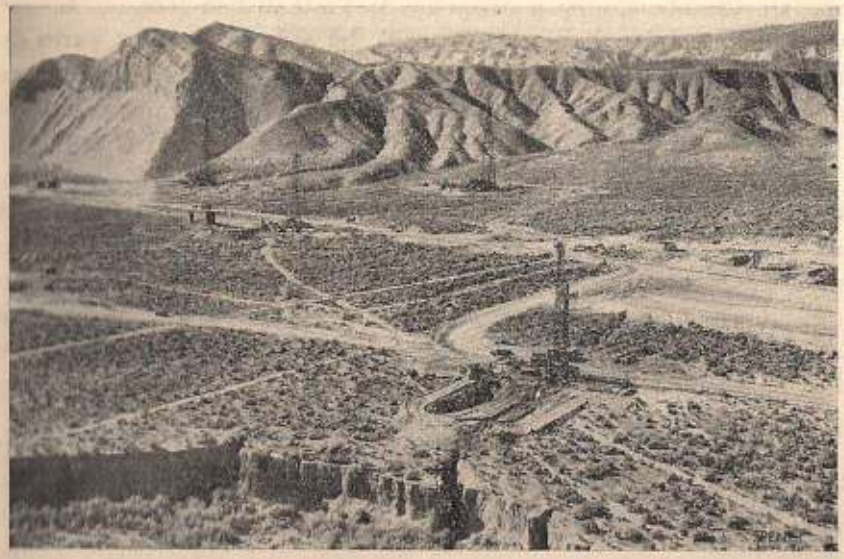


Fig. 50 - Sopra: Elwood Field presso Santa Barbara, Cal. - Sotto: Valle Coyama nell'area del Rich Field, Cal. Morfotettonica assai evidente. (Cortesia della SPENCE Air Photos di Los Angeles, per interessamento della Santa Fe Drilling Co. di Santa Fe Springs Calif.).

attraversati da basalti. Va notato che i giacimenti della California hanno maggiore somiglianza con quelli eurasiatici (es. di Bacu, figura 46 F), anziché con gli altri nord-americani.

Alasca. — Da alcuni anni si svolgono ricerche anche in questa regione, finora però, a quanto si sa, con rinvenimento di assai modeste quantità di gas e di olio.

La produzione totale degli Stati Uniti nel 1950 ha superato tutte le precedenti con 313 milioni di mc in cifra tonda (la relativa al confronto di quella mondiale è invece diminuita al 52%).

Canada. — Solo negli ultimi anni questo paese si è dimostrato ricco di petrolio, finora soprattutto nella prov. di *Alberta* (campi di Leduc, Redwater, Turner Valley ecc.). Nel Canada NO trovasi il campo di *Norman* presso al circolo artico, dopo quelli dell'Alasca, il più settentrionale dell'emisfero N. Nel Canada est si ha una ben più modesta produzione di olio e di gas nella provincia dell'Ontario, localizzata nei terreni del Paleozoico (Siluriano e Devoniano). I campi dell'occidente canadese producono soprattutto da orizzonti del Devoniano e del Cretaceo. I primi corrispondono spesso a *bioerme*.

Il Canada, la cui produzione nel 1950 è stata di 4,5 milioni di mc, possiede anche depositi asfaltici grandiosi come quello di Athabasta, dai quali si potrebbero estrarre quantità enormi di olio.

Messico. — I giacimenti più importanti del *Messico* sono raccolti in tre gruppi lungo l'arco meridionale del Golfo omonimo nella zona costiera (fig. 48 A). Questa è il prolungamento della Gulf Coast degli Stati Uniti, non solo geografico-morfologico, ma anche geologico, poiché detta zona è appunto formata di depositi del Cretaceo e del Terziario diretta continuazione di quelli texani, interessati da varie trasgressioni e con piegamenti disarmonici tra la serie cretacea e quella cenozoica.

a) Il primo gruppo, detto di *Panuco* dal fiume di questo nome, o anche di *Tampico* dalla città sulla vicina costa del Golfo, trovasi in corrispondenza all'ala est della grande anticlinale dei Monti Tamaulipas, cioè in zona nell'insieme monoclinale, ma localmente con inflessioni secondarie (anticlinale di Panuco, con faglie, sembra, sui due lati ovest ed est parallele alla direttrice tettonica dei monti in parola). La serie stratificata è attraversata da rocce eruttive e gli orizzonti produttivi principali sono nei calcari più o meno porosi e dolomitici del Cretaceo inferiore e superiore.

Il petrolio è fra i più densi conosciuti (da 0,96 a 1 e anche più) e ricchi di solfo. Il gas è accompagnato da CO_2, spesso in così alta percentuale (da 50 a 98) da non essere combustibile. Si ritiene che ciò sia dovuto alle manifestazioni eruttive.

b) Il secondo gruppo si sviluppa più a sud, tra *Dos Bocas* e *Alamo* (Tuxpan). La struttura generale è ad anticlinali asimmetriche, con l'ala ovest assai più inclinata dell'opposta, e con faglie che interessano più specialmente le serie Eocene-Cretaceo. L'orizzonte più fertile è nel calcare detto di *El Abra*, di potenza variabile, che può giungere a un migliaio di m, e riferibile al Cretaceo più basso (che riposa talora sul Giurese). Il petrolio è ancora assai denso (0,92 circa) ma meno di quello del gruppo di Panuco, ed è in alcuni punti assai abbondante con la caratteristica di produzioni iniziali fra le più alte conosciute, come già accennato a pagina 74 (specie dai campi di Cerro Azul, fig. 51 A e Potrero del Llano), in dipendenza dalle alte pressioni. Ma questa, come già notato, è anche una delle varie cause della forte caduta di produzione del Messico, che dal 2° posto mondiale, tenuto durante vari anni (massima produzione nel periodo 1920-'25) è sceso al 7° (nel 1950 con quasi 11,5 milioni di mc).

c) Terzo gruppo è quello detto anche dell'*Istmo*, perché situato in corrispondenza dell'Istmo di *Teuantepec*, entro l'arco del Golfo presso il Porto di Messico. I giacimenti di tale gruppo occupano l'avanterra del rilievo « alpino », orientato ovest-est, che attraversa l'istmo e ha la sua continuazione nei rilievi delle Grandi Antille.

Il petrolio è più leggero di quelli dei gruppi precedenti (da 0,86 a 0,88) ed è localizzato sui fianchi di cupole e lame salifere (simili a quelle romene) in corrispondenza a sedimenti del Miocene (discordante sul Cretaceo) e del Pliocene (a sua volta trasgressivo sul Miocene). Adunamenti esistono però anche alla sommità delle cupole in dolomie porose. La provenienza si ritiene per migrazione da orizzonti del Cretaceo.

B. - *America Centrale e Antille.*

Negli stati dell'America Centrale vennero segnalati indizi di olii nel *Guatemala*, nell'*Honduras* e nel *Panama*, ma non si sono scoperti giacimenti di una qualche importanza.

Asfalti, olio e gas furono rinvenuti nelle Antille, a *Cuba* e nell'Isola *Barbados*, ma in quantità modestissime. Non così nell'Isola *Trinità*, che è presso la costa del Venezuela (fig. 51 B, C). Quest'Isola è so-

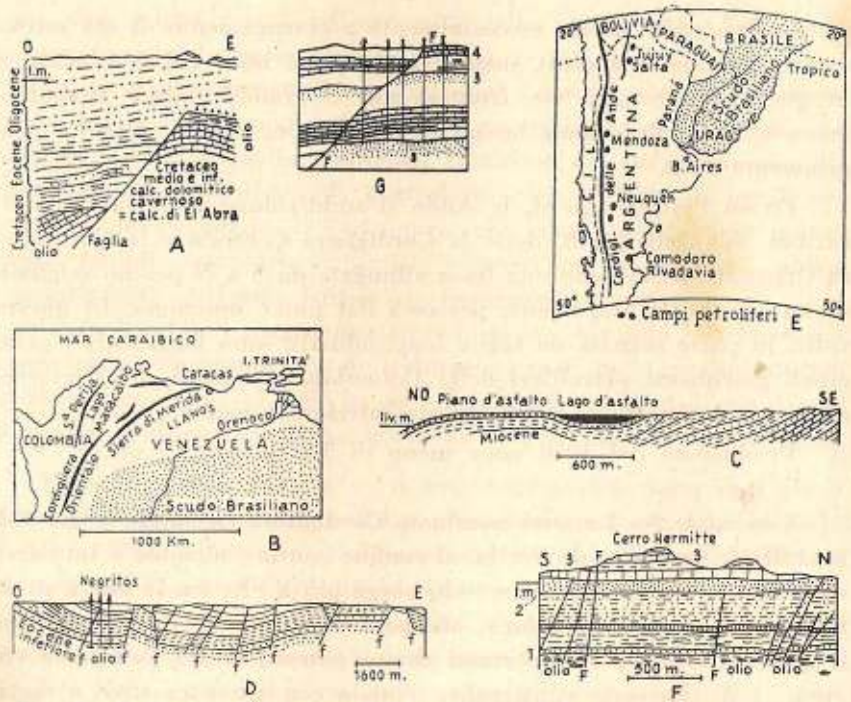


Fig. 51 - A, Sezione del Campo di Cerro Azul nel Messico (imit. da Small). B, Colombia, Venezuela, I. della Trinità. Direttrici orografiche. - C, Il lago d'Asfalto della Trinità (imit. da Wall e Sawkins). - D, Sezione del Campo di Negritos in Perù (da Iddings ed Altri in Macovei). - E, I campi petroliferi dell'Argentina. - F, Stile strutturale del campo di Comodoro Rivadavia in Argentina (da Feruglio). 1, Cretaceo sup.; 2, Eocene contin.; 3, Patagoniano (Oligomiocene marino). - F, faglie. - G, Campo di Mexia nel Texas (da Pratt e Lahee). - F, faglia.

prattutto nota pel suo lago d'asfalto, scoperto da Colombo nel 1496, che dà la maggiore produzione annua mondiale, come s'è accennato in precedenza. Vi si trovano però anche notevoli giacimenti di petrolio, specie nella sua metà meridionale, in corrispondenza ad anticlinali e in formazioni prevalentemente del Terziario inferiore e medio, continuazione di quelle del Venezuela orientale, sicché l'Isola va più propriamente considerata parte dell'America del Sud. La sua produzione nel 1950 è stata di oltre 3 milioni di mc.

C. - *America del Sud.*

L'elemento orografico-strutturale fondamentale del Sud America è rappresentato dalla Cordigliera delle Ande, la cui genesi nella fascia

marginale pacifica risale essenzialmente a corrugamento di età secondaria (movimenti andini), mentre nella parte nord del continente e in quella più interna est, fronteggianti il grande cratone prepalcozoico, o Scudo Brasiliano, hanno sviluppo i piegamenti « alpini » propriamente detti.

Presso l'estremo nord, le Ande si suddividono in alcune ramificazioni, due delle quali, dette la Cordigliera Centrale e la Cordigliera Orientale, delimitano una fossa allungata da S a N per un migliaio di km: la Valle Magdalena, percorsa dal fiume omonimo. In questa valle, in parte segnata da faglie longitudinali, sono localizzati i principali giacimenti petroliferi della *Colombia*, in calcari del Cretaceo, arenarie ed altre rocce del Terziario inferiore e medio.

Produzione del 1950 poco meno di 5,5 milioni di mc.

Venezuela. — La testè nominata Cordigliera Orientale a sua volta si divide in Sierra de Perija, al confine con la Colombia e in Sierra de Merida (Ande venezuelane) che sorge più a SE: fra le due è situato il « *bacino di Maracaibo* », occupato al centro dal lago omonimo, il quale ricetta i più importanti campi petroliferi del Venezuela (figura 51 B). La serie stratigrafica s'inizia con rocce eruttive e metamorfiche di età incerta (Giurese?) e continua con un complesso assai potente (fino a 3 mila m) di arenarie, calcari, marne, ecc. del Cretaceo, con orizzonti mineralizzati. Seguono in discordanza calcari, arenarie grossolane, ecc. dell'Eocene e poi altri depositi marnosi e arenacei dell'Oligocene, del Miocene e del Quaternario, con ripetute trasgressioni e vari livelli petroliferi, dei quali i più produttivi sono localizzati nel Miocene.

Il bacino di Maracaibo è un'area di subsidenza di un blocco antico compreso fra due rami geosinclinalici, colmato di sedimenti recenti. Predominano le strutture anticlinali più o meno asimmetriche con vergenza varia nei rilievi delle due Sierre e decisamente verso l'interno del bacino in prossimità di esso. Sondaggi produttivi sono stati praticati anche nel fondo del lago.

I campi più importanti sono ad est del bacino lacustre, es. quello di *La Rosa* e specialmente di *Lagunillas*, considerato il più fertile di tutto il Sud America e la cui produzione è oltre il 50% di quella del Venezuela.

Questo paese possiede un altro notevole gruppo di giacimenti nella sua parte nord-est sul lato sinistro del grande delta dell'Orenoco, cioè subito a sud dell'estremità della Cordigliera Caribica, il cui prolungamento passa nell'isola della Trinità (fig. 51 B).

In detta zona venezuelana, detta dei *Llanos* e dove si sviluppa già lo Scudo Brasiliano, si trova pure un grande lago di asfalto (a *Guanaco*) simile a quello trinitense. Qualcuno dei suoi campi ha dimostrato una produttività da gareggiare coi più ricchi di quelli occidentali, ad es. quello di *Quiriquire*, che corrisponde a una monoclinale fagliata, costituita di argille plioceniche, racchiudenti sabbie e conglomerati in forma lenticolare impregnati di petrolio.

Come mostra il diagramma riprodotto nel capitolo conclusivo, il Venezuela ha raggiunto uno dei primissimi posti nella produzione petrolifera mondiale. Nel 1950 ha dato infatti 86,5 milioni di mc. Grandi riserve si ritiene esistano, ancora da scoprire, nei campi orientali.

Equador, Perù, Bolivia. — A sud dell'equatore sono noti giacimenti petroliferi anzitutto nell'*Equador*, limitatamente alla penisola di *Santa Elena* al margine del paese, sul Pacifico, in corrispondenza ad arenarie e marne oligoceniche attraversate da intrusioni eruttive e molto fagliate. Il petrolio è raccolto soprattutto a mezzo di pozzi a mano, prossimi, in genere, a dette intrusioni.

Nel *Perù* i principali giacimenti sono sul versante pacifico, pressoché contigui a quelli dell'Equador, cioè al confine NO del Perù, in corrispondenza a una serie del Terziario inferiore, che presenta ripetute discordanze ed è poco piegata e invece molto fagliata. I campi principali sono a *Zorritos* al N e a *Negritos* al S (fig. 51 D). Questo è costituito da arenarie e marne eocceniche assai fossilifere.

La produzione è in leggera ripresa (2,3 milioni di mc nel 1950) e supera di oltre 5 volte quella dell'Equador. Modeste quantità di petrolio si sono trovate anche negli altipiani del Perù (Huancana) e della *Bolivia* presso il lago Titicaca, entro formazioni paleozoiche assai corrugate, coperte talora dal Cretaceo.

In *Bolivia*, anche nella regione delle Cordigliere subandine si estrae del petrolio in prossimità di *Santa Cruz*, da strati marnoso-sabbiosi riferiti al Devoniano, a *Saipuru* e, al confine coll'Argentina, a *Bermejo*.

Quest'ultima località è in atto la più interessante; il petrolio sarebbe localizzato in sedimenti del Carbonifero coperti da altri, spettanti, pare, al Trias e al Giurese, in struttura anticlinale. I petroli di provenienza più profonda (strati di Sarrarenda, probabilmente devoniani) sono assai leggeri (perfino d = 0,79), quelli superiori mesozoici e terziarii più pesanti (fino a 0,94).

Argentina. — Si possono considerare tre grandi gruppi di campi petroliferi, due nelle regioni occidentali, il terzo al margine orientale del paese sulla costa atlantica.

Il 1° gruppo è all'estremo N presso i confini con la Bolivia e comprende i campi di *Jujuy* e *Salta* in corrispondenza alle pieghe della zona subandina e in condizioni stratigrafiche e tettoniche simili a quelle dei campi boliviani sud. La produzione, piuttosto modesta, è data qui pure dagli orizzonti a scisti bituminosi del Devoniano (probabile roccia-madre) e da sabbie permiane. Anche i calcari dolomitici cretacei sono mineralizzati.

Il 2° gruppo trovasi molto più a sud, in due sottogruppi, quello a N nella provincia di *Mendoza*, quello a S nella provincia di *Neuquen*, entrambi al piede est della Cordigliera (fig. 51 E).

Nel territorio di Mendoza i livelli petroliferi inferiori sono in sabbie del Trias più alto, giacenti sul Devoniano. Altri sono in una serie di scisti bituminosi del Giurese (roccia madre?) e danno petroli assai pesanti (d = 0,972), asfaltici. La serie mesozoica comprende anche il Cretaceo, è seguita da Terziario e Quaternario ed è piegata ad anticlinali rovesciate ad est o a brachianticlinali con pieghe-faglie. Il tutto è attraversato talora da intrusioni andesitiche, presso le quali è rimasto solo asfalto.

Nella provincia di Neuquen il petrolio, che è più leggero (d = 0,853), trovasi più specialmente in orizzonti sabbiosi del Giurese superiore (Portlandiano).

Il 3° gruppo si trova circa 700 km a S di Neuquen, a *Comodoro Rivadavia* sulla costa dell'Atlantico, come accennato. Al presente è il più importante, fornendo circa il 60% della produzione argentina, che nel 1950 è stata di circa 3,6 milioni di mc.

L'esistenza del petrolio venne quivi scoperta per caso nel 1907, grazie a un sondaggio per ricerca d'acqua, spinto a 535 m di profondità. I principali orizzonti petroliferi corrispondono a una serie parte marina, parte continentale, che comprende argille alternate a sabbie (talora glauconitiche, marine) e a conglomerati, ed è riferibile in prevalenza al Cretaceo superiore (Rocaniano e Salamanchiano), in parte a quello inferiore. Sopra al Cretaceo vengono depositi vari continentali (es. Eocene) o marini, separati spesso da trasgressioni. La serie è chiusa localmente dal Patagoniano (sabbie, arenarie, marne oligomioceniche, marine). Tutto il complesso stratigrafico ha struttura pressoché tabulare, con qualche accenno locale di curvatura e con numerose faglie (fig. 51 F).

Il petrolio è pesante (fino a 0,927) ed associato a gas molto abbondante e ad alta pressione (fino a 200 atmosfere).

Un piccolo campo trovasi circa 100 km a S di Comodoro, meno di 20 km dalla costa (Caleta Olivia). Dal campo di Comodoro un oleodotto di circa 1500 km porta il petrolio a Buenos Aires.

Cile. — Nel territorio cileno della *Terra del Fuoco* si trovano i campi petroliferi di più alta latitudine australe (oltre il 52°), nel *Cerro Manantiales* e a *San Sebastian*, che è ancora più a sud, in corrispondenza a strutture anticlinali del Cretaceo.

MANIFESTAZIONI E GIACIMENTI D'IDROCARBURI DELL'ITALIA

Cenno storico.

È ben noto che gli indizi e le manifestazioni d'idrocarburi gassosi liquidi e solidi hanno grande diffusione nell'Italia peninsulare e in Sicilia, di gran lunga maggiore di quanto ci siamo limitati ad indicare nell'allegata cartina (fig. 52, pag. 132).

Gas infiammabili e petrolio erano conosciuti in Emilia da secoli e da antichità ancor maggiore in Sicilia (l'« olio » d'Agrigento usato come medicamento e per illuminazione). La ricerca del petrolio con discenderie e pozzi era praticata nel Modenese nel seicento e settecento (v. ad es. Vallisnieri), assai prima dunque che in America, mentre l'estrazione in quantità, allora considerata d'interesse commerciale, seguiva cronologicamente da presso quella degli altri paesi pionieri (Romania, 1857; Stati Uniti, 1859; Italia, 1860).

La nostra produzione restava però sempre, non solo modestissima in se stessa considerata (massima circa 33.000 mc. nel 1933), ma del tutto trascurabile, se confrontata con quella degli altri due paesi, il primo dei quali in pochi anni segnava cifre cospicue e manteneva così per vari decenni il primato in Europa, e il secondo, con un crescendo iperbolico, si portava ben presto alla testa nella produzione mondiale, giungendo, dai 2 mila barili del 1859, ai 2 miliardi di barili del 1950!

Il problema del petrolio è apparso in tutta la sua importanza in Italia solo dopo le esperienze della prima guerra mondiale, e lo Stato cominciò appunto a preoccuparsene nel 1918, tramite il Commissariato generale per i Combustibili nazionali, costituendo dei consorzi in

compartecipazione e anche con gestione diretta (es. Ripi, Tramutola). Nel 1921 veniva esteso agli idrocarburi il principio della demanialità del sottosuolo e il Ministero dell'Agricoltura metteva in bilancio un fondo annuo di 8 milioni per ricerche petrolifere.

Veniva intanto promossa dalla Direzione generale dei Combustibili, d'accordo col Comitato Geologico, una serie di ricognizioni e di studi geologici nelle regioni italiane ritenute più importanti dal punto di vista del problema. I risultati formarono oggetto del volume *Studi geologici per la ricerca del petrolio in Italia* (Mem. Descr. Carta geol. d'Italia, 1926), collaboratori E. Camerana, E. Cortese, C. Crema, C. De Stefani, E. Fossa-Mancini, B. Lotti, V. Novarese, C. Porro, F. Sacco ed A. Stella. Per dare un impulso maggiore e più organico agli studi e alle esplorazioni, il Governo nazionale nel 1926 istituiva un apposito ente, l'Azienda Generale Italiana Petroli (A.G.I.P.), con funzioni *industriale-commerciale* da un lato e di *ricerca* dall'altro. Detta Azienda iniziava ben presto studi geologici e indagini geofisiche in varie regioni e soprattutto nell'Alta Italia, ove esplicavano attività anche altre organizzazioni preesistenti (La Società Petrolifera Italiana e la Società Petroli d'Italia) e altre se ne aggiunsero più tardi, come vedremo.

Nel 1937 l'Accademia Nazionale dei Lincei promoveva nel suo seno un esame del problema petrolifero italiano, alla luce dei risultati degli studi e delle ricerche più recenti (*Prospezione geologica e geofisica del petrolio in Italia*), relatori, R. Fabiani per la parte geologica e il prof. E. Soler per quella geofisica. Le Relazioni, estese alle varie parti d'Italia, davano luogo a interessanti discussioni, alle quali, oltre ai relatori e al Presidente F. Millosevich, partecipavano i soci Giorgio Dal Piaz, M. Gortani, F. Sacco, A. Stella e l'ing. C. Crema.

Come conclusioni generali, veniva rilevato che — specie nell'ultimo decennio e col contributo di tanti studiosi[1], oltre quelli che avevano collaborato al simposio *Studi geologici per la ricerca del petrolio in Italia* — s'era accumulata una cospicua serie di dati di fatto e di

[1] Fino al 1937 fra i geologi, gli ingegneri minerari e i geofisici che più si occuparono del nostro problema petrolifero, vanno ricordati, oltre a quelli citati nel testo: Mario Anelli, A. Belluigi, A. Bibolini, G. Bonarelli, E. Clerici, B. Galdi, M. Grossi, P. Guareschi, L. Maddalena, C. I. Migliorini, F. Rodriguez, G. Roveretto, R. Signorini, P. Vinassa De Regny, P. Toso e fra gli stranieri M. Dalloni, M. Gignoux, D. A. Greig, W. Salomon, L. Waagen, S. Zuber. Per gli anni successivi i principali autori o saranno nominati nel corso dell'esposizione o figureranno nell'elenco bibliografico.

elementi di giudizio riguardanti il nostro problema petrolifero. Nello stesso tempo però si doveva riconoscere che le numerose esplorazioni meccaniche — eseguite soprattutto dall'A.G.I.P. e non solo in alta Italia, ma pure in altri territori — non avevano portato ad alcuna scoperta di giacimenti di petrolio d'importanza industriale. Rimaneva pertanto il grave dubbio che l'insuccesso derivasse dalla circostanza che, malgrado tanti studi, non si fosse riusciti a trovare la via per le giuste interpretazioni tettoniche fondamentali e per risolvere il problema della provenienza dei nostri idrocarburi o almeno della localizzazione degli eventuali giacimenti ancora integri.

I modesti risultati ottenuti e quelli negativi avevano tuttavia indotto a ritenere plausibile l'ipotesi (da chi scrive sempre sostenuta fino dal 1927) che tali giacimenti dovessero comunque cercarsi a rilevante profondità. Ipotesi di lavoro, che s'era dapprima concretata sui 2000 m., ma è andata rapidamente evolvendosi fino a portare alla proposta di oltrepassare largamente i 4000 metri negli ultimi anni.

Dal 1937 furono dapprima intensificati gli studi geologici, le esplorazioni geofisiche e i lavori di sondaggio, ma ben presto le conseguenze dello stato di guerra fecero segnare il passo e alla fine sospendere in gran parte l'attività di ricerca, soprattutto quella di più specifico obiettivo petrolifero.

Come vedremo, già prima che terminasse la guerra alcune indicazioni assai suggestive della prospezione geofisica avevano però indotto a tentare l'esplorazione in zone di piena pianura, il che dischiudeva la via ai recenti successi, conseguiti in Lombardia e nell'Emilia.

Rapporti delle principali manifestazioni e dei giacimenti finora scoperti colle condizioni geologiche e strutturali.

Come distribuzione geografica, le manifestazioni di idrocarburi si riscontrano largamente disseminate lungo la Penisola e in Sicilia, sia nel corpo del rilievo appenninico, sia nelle sue zone marginali, specialmente esterne. Geologicamente coincidono in maggioranza colle formazioni del Terziario.

Riportandole nel quadro dell'orogenesi « alpina », Stille e Schlueter ne ascrivevano la massima parte alla categoria *perialpina* (zona appenninica esterna) e le altre a quella *intralpina* (zona interna). Ma nel nostro paese a questa assegnazione si può attribuire tutt'al più un significato topografico piuttosto che strutturale e genetico vero e proprio.

Allo stato attuale delle nostre conoscenze, che per le regioni centromeridionali sono ancora ad uno stadio poco avanzato, distinzioni e precisazioni non potrebbero del resto essere definitive. In linea generale, possiamo tuttavia dire che le manifestazioni e i giacimenti vari sono:

1) in prevalenza nelle zone marginali-frontali e di avanfossa (sensu lato); 2) in via subordinata, in alcune zone interne e, meno ancora, in qualcuna dell'avampaese.

Il primo gruppo comprende:

a) le numerose manifestazioni montane, collinari e predemontane dell'Appennino Emiliano e Romagnolo, coi giacimenti scopertivi e in coltivazione; le manifestazioni, ben più rade e meno significative, umbro-marchigiane; quelle degli Abruzzi; quelle numerose dell'Appennino meridionale e infine gran parte delle manifestazioni della Sicilia;

b) i giacimenti della Fossa Padana; le manifestazioni della Fossa Marchigiana, quelle della così detta Fossa Bradanica e parte di quelle della Sicilia centrale-meridionale.

Al 2° gruppo si possono ascrivere: *a*) le manifestazioni e i giacimenti della Val Latina; *b*) i giacimenti asfaltiferi del Ragusano (residuo di avampaese).

Devesi però avvertire che tali accostamenti classificativi, non rispondono ad omologie vere e proprie, non soltanto perché le varie regioni ascritte ad uno stesso gruppo o sottogruppo, pure avendo consimile posizione funzionale (retropaese, fronte, fossa) hanno caratteri generali diversi per facies e stile tettonico predominanti, ma sono anche il prodotto di fasi geocronologiche e di modalità evolutive differenti.

In alcune aree infatti predominano formazioni a comportamento d'insieme *plastico* (es. Toscana e in parte Umbria e Marche), in altre invece *rigido* (es. Abruzzi e in parte Campania e Lucania), donde prevalenza di pieghe, pieghe-faglie e sovrascorrimenti nelle prime, di faglie, sia pure con accavallamenti, fosse e blocchi rialzati (*horst*) nelle seconde. Ma si ha inoltre combinazione dei due stili in una stessa regione ad es. caratteri del secondo a profondità, del primo nelle serie superiori, siano esse alloctone (es. argille ofiolitifere, tipicamente nell'Appennino settentrionale) o autoctone (macigno, tipicamente in Toscana) ecc.

Oltre che dalla diversità in senso verticale o laterale delle facies litologiche predominanti, le caratteristiche tettoniche fondamentali hanno risentito gli effetti dell'esistenza dei resti dell'infrastruttura profonda, precedente al corrugamento terziario, più o meno chiaramente rivelata soprattutto dalle direttrici tettoniche « trasversali » che incrociano quelle « appenniniche », più superficiali e, naturalmente, bene evidenti ed identificabili. L'andamento e le modalità secondo le quali queste ultime si susseguono attraverso all'Appennino, appare subito anche dalla oltremodo schematica fig. 53, nella quale le direttrici trasversali sono state omesse per ragioni di chiarezza e anche perché allo stato attuale solo in parte risultano sicuramente definite, per quanto già da anni intraviste da Sacco.

S'aggiunga che il costituirsi dei diversi sistemi tettonici è avvenuto a tappe, che si sono propagate, a guisa di onde successive, nello spazio dal Tirreno verso l'Adriatico e nel tempo dal Terziario inferiore a quello superiore (Paleoappennino e Neoappennino).

Da tutte queste circostanze, non solo è derivata la complessità e complicazione tettonica del nostro paese, ma anche il suo frazionamento in unità minori, le cui caratteristiche strutturali, agli effetti delle possibilità offerte alla ricerca petrolifera, non possono ridursi a un comune denominatore, ma devono essere investigate singolarmente. Ciò, mentre può spiegare le vicende e i risultati sfavorevoli di ricerche del passato anche recente, deve mettere bene in guardia dal generalizzare interpretazioni strutturali e vedute genetiche, giacché non esiste un problema petrolifero unitario, bensì — almeno fino ad un certo punto — ci si trova davanti a problemi più o meno diversi secondo le varie regioni aventi caratteristiche fondamentali diverse. È pertanto necessario stabilire il più esattamente possibile la stratigrafia regionale e addentrarsi poi con cautela sul difficile terreno delle ricostruzioni paleogeografiche e strutturali, utilizzando al massimo il sussidio che oggi possono dare la geofisica ed altri metodi di esplorazione, prima di sviluppare a fondo i lavori di ricerca concreta.

Sguardo alle principali Regioni.

Passeremo in rapida rassegna le regioni ritenute più interessanti, accennando alle vicende delle ricerche, ai risultati e alle presumibili prospettive ulteriori, non approfondendo, perché sarebbe eccessivamente lungo, le questioni controverse. Lasceremo per ultima la regione Nordappenninico-Padana.

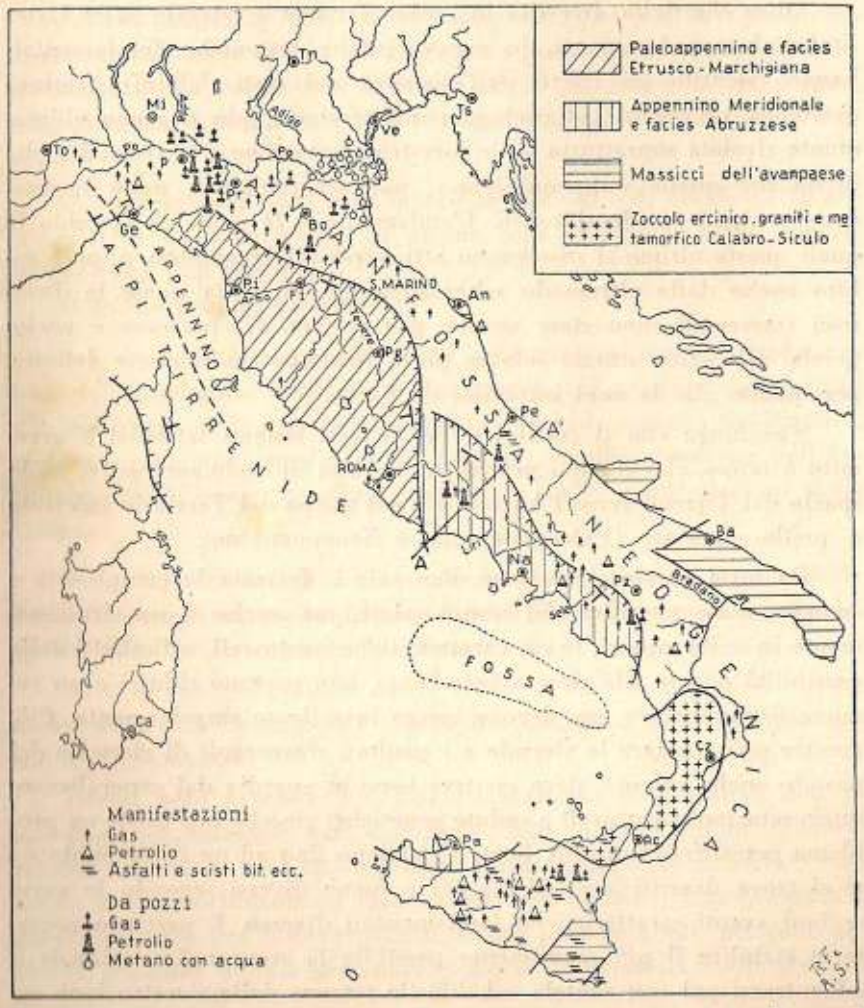


Fig. 52 - Manifestazioni e giacimenti d'idrocarburi in rapporto ai grandi settori strutturali Padano-Appenninici.

MARCHE. — Per le sue manifestazioni gassose abbastanza frequenti, per qualcuna di olio (dal fondo marino: 1500 m. dalla costa di fronte a Fontespina a N di Portocivitanova; nella Val Tennacola presso Sarnano. Entrambe in provincia di Macerata) e per le frequenti impregnazioni nelle marne e arenarie intercalate nei gessi del Miocene superiore, la regione marchigiana già da LOTTI e da PORRO (1927) era considerata importante per la ricerca petrolifera.

L'A.G.I.P. incaricò di studiarla BONARELLI, poi ZUBER e MIGLIORINI, e in seguito anche MARCHESINI e SIGNORINI. Previa qualche esplorazione geofisica (gravimetrica e sismica a rifrazione), furono eseguiti due sondaggi, uno presso Amandola

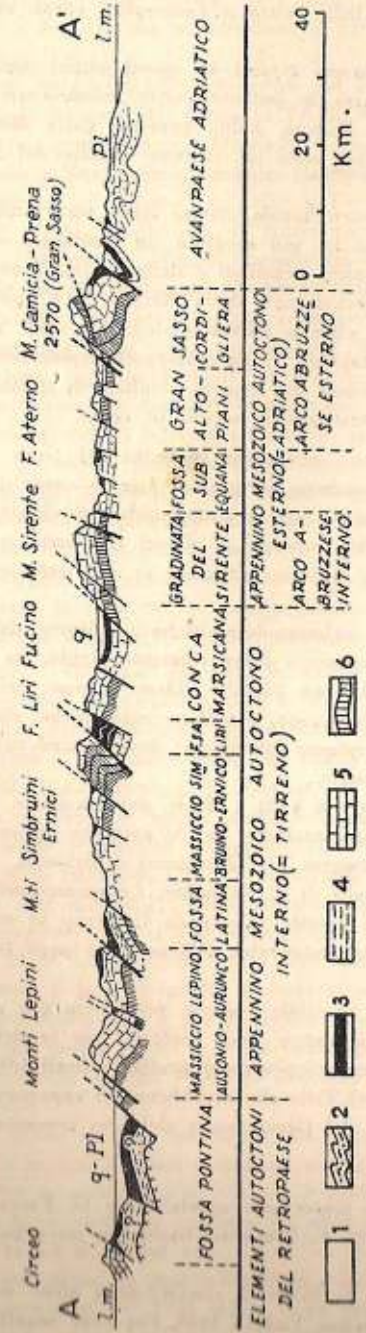


Fig. 52 bis - Profilo dell'Appennino Centrale, secondo la traccia AA' della fig. 52, attraverso all'Arcata Abruzzese (da BEHRMANN, BENEO, DEMANGEOT, SEGRE).

1, q Quaternario e Pl, Pliocene. - Miocene: 2 Molassa assai potente dell'Avanfossa Adriatica. - 3, Calcari e arenaria superiormente. - 4, Argille Scagliose e Flysch oligocenico. - 5, Cretaceo (Calcari ippuritici e coralligeni). - 6, Giurese e Trias (calcari e dolomie).

in prov. di Ascoli Piceno (prof. m 1182), l'altro a Fontespina (prof. m. 1950), con risultati praticamente negativi.

Studi ed esplorazioni geofisiche furono ripresi in questi ultimi anni, nella presunzione che nella zona di avanfossa la potente coltre sedimentare quaternaria e pliocenica, come nella fossa Padana, abbia protetto dalla distruzione orizzonti petroliferi, che dovrebbero aver sede in strutture sepolte del Miocene superiore o a partire da questo.

Alcuni tratti, specie nel settore settentrionale, risulta siano stati studiati per conto dell'Ente Nazionale Metano (che ha poi eseguito un sondaggio a Penna S. Giovanni in prov. di Macerata, con esito negativo) e della Società Montecatini.

Soprattutto delle parti centrale e meridionale delle Marche, si è nuovamente occupata a fondo l'A.G.I.P., la quale, oltre a rilievi geologici e studi micropaleontologici [1], in alcune aree assai dettagliati, vi ha sviluppato esplorazioni telluriche, geoelettriche e sismiche a riflessione. In base ai risultati di queste nuove indagini ha iniziato alcuni sondaggi stratigrafici, ancora in corso.

Abruzzi. — Il massiccio montagnoso abruzzese (culmina nel Gran Sasso a m 2974 s.l.m.), alla cui costituzione concorrono formazioni marine estese dal Trias superiore al Miocene superiore, paragonato alla regione umbro-marchigiana offre un tipico esempio di quanto accennato riguardo ai divari tra unità o sistemi regionali dipendenti dalle differenze di litofacies e quindi di stili tettonici predominanti.

Per il grande sviluppo delle serie calcareo-dolomitiche a calcaree del Secondario e del Terziario inferiore, nell'insieme a comportamento rigido, ne è risultata una tettonica in prevalenza a faglie, con blocchi rialzati e fosse, nelle quali si sono depositati sedimenti di Flysch alloctono, e molasse mioceniche, che hanno massimo sviluppo nella zona marginale esterna (avanfossa), dove restano poi coperti dalle formazioni plioceniche e quaternarie.

Idrocarburi sono presenti pressoché in tutti i livelli del massiccio. Particolare interesse offre il bacino del Pescara, anzitutto per le cospicue impregnazioni bituminose del Miocene (calcari organogeni con Litotamni e Briozoi), sfruttate industrialmente da oltre un secolo (asfalti di S. Valentino, Lettomanoppello ecc.), in secondo luogo per le manifestazioni liquide (Tocco da Casauria) in corrispondenza specialmente ai calcari organogeni miocenici. Diffuse sono pure le venute gassose [2].

L'importanza degli Abruzzi come possibile regione petrolifera era segnalata da Lotti nella ripetutamente citata miscellanea *Studi geologici per la ricerca* ecc. (1927). Egli ammetteva probabile la provenienza assai profonda degli idrocarburi « forse dalle masse fratturate calcaree del Trias che avrebbero per copertura impermeabile gli scisti argillosi e le marne del Giurassico e del Lias superiore, come

[1] Dei geologi dell'AGIP vi hanno partecipato specialmente G. Facca, D. Jaboli, A. Lazzari, C. Loddo, L. Lucchetti, E. Perconig. Inoltre in un primo tempo T. Lipparini.

[2] Per un'elencazione recente v. A. G. Segre, *I giacim. degli idroc. nel Lazio e Abruzzo* ecc. Atti VI Conv. Naz. Metano, Padova 1949. Per altre manifestazioni e anche in altre regioni v. in bibl. Behrmann, Fabiani, Ineichen, Zuber.

si osserva nel Gran Sasso ». Ci è parso strano (*Prospez. geol. del petrolio* ecc. 1937) che dopo questa affermazione il Lotti proponesse tutt'al più un sondaggio di 1000 m.

Dopo qualche studio, promosso nel 1927 dal Ministero dell'Economia Nazionale, degli Abruzzi si interessava l'A.G.I.P., incaricando da prima per le ricerche Bonarelli, coadiuvato da Signorini e da Sorrentino. In seguito vi operavano Migliorini e Zuber. Sulla base dei risultati di questi studi vennero eseguiti numerosi sondaggi ad Alanno (m 1185), a Tocco da Casauria (m 1100 esplorativo ed altri, di piccola profondità, di coltivazione), Tremonti (m 1184, sterile), Popoli (m 792), Bisenti (m 1319,50), Lavino (m 803), Abbataggio (m 1069).

Il sondaggio di Bisenti (Teramo) come quello di Alanno (sin. del Pescara) erano motivati dal concetto, già accennato, che aveva guidato nell'ubicazione di quelli eseguiti nella fossa marchigiana. I risultati non furono però favorevoli. Il problema petrolifero degli Abruzzi può dunque considerarsi ancora aperto, restando circoscritto fra due direttive una di sondaggi modesti rivolti a sfruttare gli orizzonti oleiferi miocenici (forse in parte singenetici) e di prospettive sempre modeste (a meno che non si potesse scoprire qualche accumulo cospicuo in corrispondenza a bioerme o a biostrome), l'altra di esplorazione veramente profonda, tale da raggiungere gli orizzonti forse triassici che avrebbero alimentato la poderosa migrazione, che ha attraversato tutta la serie, spingendosi anche alle più alte quote del massiccio. Ma dove si può tentare una simile esplorazione che — evitando le zone ove lo scompaginamento tettonico ha sconvolto gli orizzonti mineralizzati originari — possa pervenire a qualche giacimento ancora integro?

Lazio. — Maggiore interesse ha finora la *Val Latina*, piccola fossa tra il massiccio calcareo dei Lepini-Ausoni a SO e quello degli Ernici a NE, occupata, a prescindere dalle alluvioni, in prevalenza di sedimenti marini miocenici e subordinatamente del Terziario inferiore. Venne interpretata da alcuni geologi (S. Franchi, 1920, I. Grzybowski, M. Grossi, V. Novarese) come una finestra tettonica, legata a un supposto esteso sovrascorrimento della massa cretacea dei Lepini ed Ausoni sulle formazioni terziarie. Tale interpretazione fu in seguito esclusa o almeno assai attenuata, (R. B. Nehrmann, 1936), i fenomeni di contatti anormali venendo cioè attribuiti a faglie inverse, dalle quali sarebbe derivato uno stile a scaglie con vergenza predominante a ENE (adriatica).

Ma anche la cronologia della serie miocenica è stata variamente interpretata, per Grossi e per Novarese, essendovi rappresentati il Miocene inferiore e il medio, per Behrmann e per E. Beneo solo il medio e il superiore.

Fin dal secolo scorso si erano costituiti nella Val Latina due centri di ricerca petrolifera, uno a Ripi a SE di Frosinone, l'altro a S. Giovanni Incarico a SE di Ceprano.

Nel primo si sono succeduti vari concessionari, fra i quali anche l'A.G.I.P., che vi ha scavati 29 pozzi e detiene tuttora un permesso. Il secondo, dal principio del secolo è gestito dalla Società Petroli d'Italia. Nella zona di S. Giovanni Incarico vi è anche un cantiere di altra società (Victoria). Oltre a petrolio, in qualche pozzo si ha del gas.

Nel complesso la produzione annua di olio della Val Latina è però modestissima, aggirandosi sui 1500 mc o poco più. Ultimamente vi sono state eseguite alcune esplorazioni geofisiche (gravimetrica, sismica), ma bisognerebbe accompa-

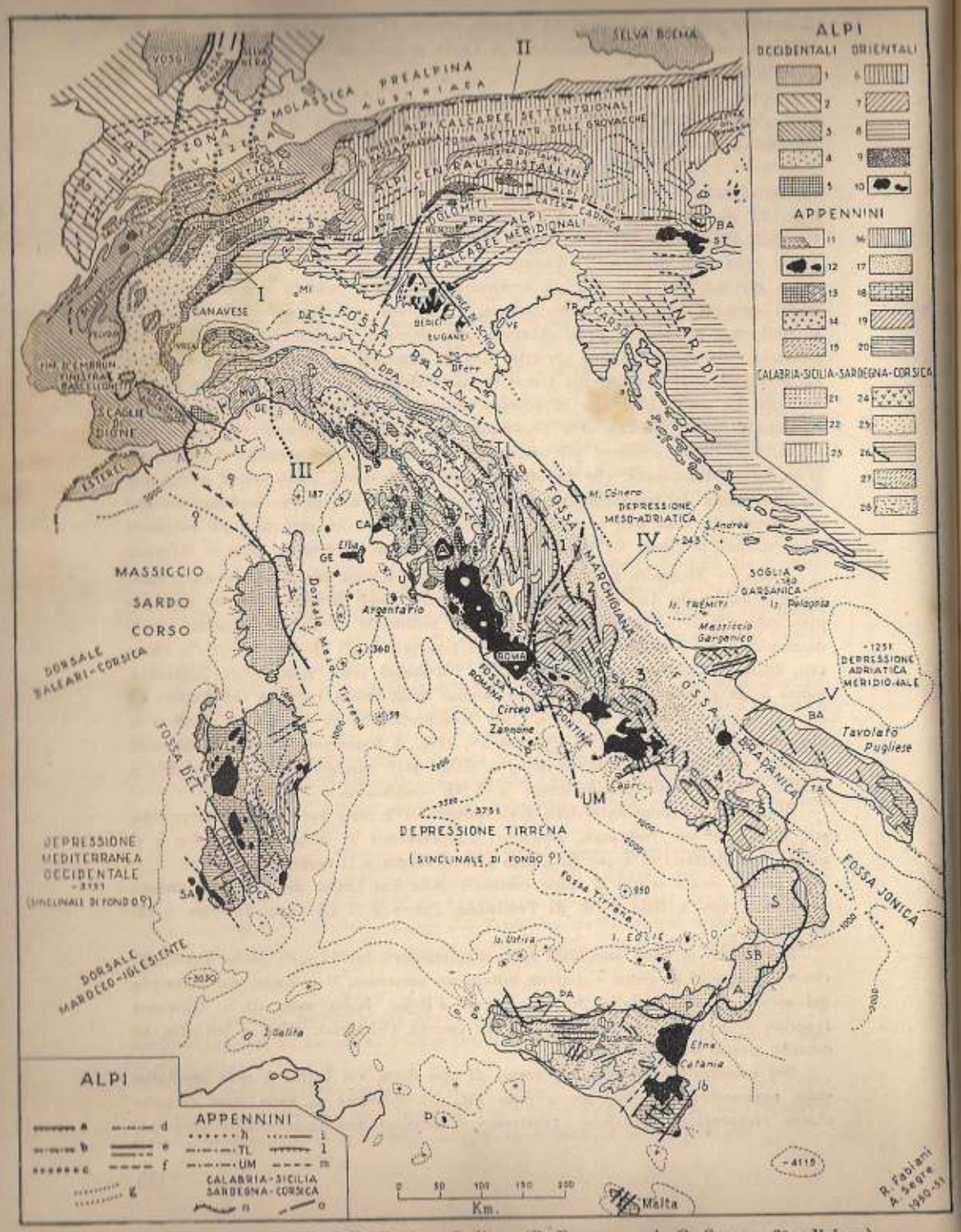


Fig. 53 - Schema strutturale della Regione Italiana (R. Fabiani e A. G. Segre - 2ª edizione).

SPIEGAZIONE DELLA FIGURA 53

I. — ALPI

A. - *Zona Alpina Esterna.*

1 - *Massicci cristallini* (Ercinici) dell'avanpaese. *Massicci Centrali* o *Elvetici.*

2 - *Giura Franco-Svizzero.*

3 - Coltre sedimentaria dei massicci centrali e dell'avanpaese: *Catene Subalpine. Falde Elvetiche* (= Elvetidi) e *Ultraelvetiche.*

a - Contatto anormale della *fronte delle Pennidi.*

B. - *Zona Alpina Interna.*

4 - *Ricoprimenti Penninici* (= Pennidi). *Zona dei calcescisti* o *schistes lustrés.*

5 - *Massicci gneissici interni* (ora ritenuti precarboniferi e forse arcaici).

b - Fronte delle Austridi.

6 - *Alpi Calcaree Settentrionali*, composte dai *ricoprimenti Austroalpini superiori.*

7 - *Ricoprimenti Alto-Penninici* e *Austroalpini inferiori.*

d - Limite delle strutture fra le Alpi Calcaree Settentrionali e Meridionali.

8 - *Alpi Calcaree Meridionali* (= Dinaridi).

e - *Linea delle Giudicarie*, che si prolunga lungo il lago di Garda e a S sotto la pianura del Po; *Linea della Valsugana.*

f - Piegamenti e direttrici tettoniche principali. - g, strutture arcaiche. - c, Prolungam. profondo della Fossa del Reno e limite dello zoccolo cristallino ritenuto comune: Vosgi - M. Bianco e Selva Nera - Aar.

9 - *Manifestazioni eruttive* legate all'orogenesi ercinica.

10 - *Apparati vulcanici marginali tardo-* e *postalpini.*

APPENNINI

Appennino peninsulare

h - Limite tra le Alpi e l'Appennino presso Genova.

11 - *Quaternario e Pliocene.* Trattini orizzontali: Pliocene marino e Pleistocene antico marino e salmastro al margine padano degli Appennini e nei bacini dell'App. Sett.

12 - *Manifestazioni intrusive ed effusive terziarie e quaternarie*: Italia Centrale e Meridionale; Elba; Sicilia e Sardegna.

13 - *Facies del Mesozoico Etrusco-Ligure*, autoctono. Reticolo: serie dolom.-calc.-selcif. retico-giur. e «Rosso ammonitico»; diaspri giur.-cret. - Tratti obliqui: facies infracret. in parte «Pietraforte» e masse serpentinose.

14 - *Facies Etrusco-Romagnola* del «Macigno»; serie arenacea oligo-miocenica.

15 - *Formaz. ofiolitifera alloctona*, con calc. detti «Alberese» e «Palombino» intercal. (= complesso delle «Argille Scagliose» [A. S.] d.Aa. in Toscana e Lucania). *Facies di Flysch* e «Galestri» dell'Appenn. romagnolo; «*red-beds* o marne varicolori nell'Appenn. Emiliano, Centrale e Meridionale, in alcuni punti con passaggi di autoctono ad alloctonia ridotta nelle fosse. Questo complesso comprende termini dal Cretaceo sup. all'Oligocene compreso - TL, limite approssimativo meridionale della facies etrusco-liguride (= A. S.].

16 - *Facies mesocenozoica Umbro-Marchigiana* di tipo dinarico: dolomia retica a Conchodon; «Ammonitico rosso» lias.; calc. selcifero «córniola»; calc. e scisti ad Aptici; «scisti a Fucoidi» grigi e rossastri dal Giur. all'Infracret.; «Calc. rosato» e «Scaglia rossa» neocretacea, «Scaglia cinerea» neocret. e paleogenica.

17 - *Facies areno-molassica* (Mioc. sup.), con puddinghe in alto (Pontico). Serie calcareo-marnosa («Cerregna» l'infer. selcifera e «Bisciaro» la facies organogena calc.-marnosa nelle Marche), del Langhiano e dell'Elveziano. Formaz. calc.-gessoso-solfifera (Marche, Sicilia ecc.).

UM - *Limite generale* approssimativo *della facies Umbro-Marchigiana* e limite tettonico dei calc. selciferi e della «Scaglia» mesozoici.

18 - *Miocene di facies Iblea* del tipo della «Pietra leccese» (Langhiano), serie elveziana d. Sardegna.

19 - *Facies mesoz.-cenozoica Abruzzese* - Dolomie e calc. dal Trias al Giurese; calc. ippuritici neocret. Nummulitico calcareo al posto del Numm. tipo Scaglia, che compare più diffuso a NO della linea UM. Calcari organogeni del Miocene (*Elveziano*).

i - Dislocazioni principali per frattura e loro probabili prosecuzioni.

l - Faglie e pieghe-faglie con prevalente vergenza adriatica degli Archi appenninici (linee dentate): 1, Arco Umbro-Marchig. (S = Virgazione Sabina); 2, Arco Abruzzese (S_2 = Virgaz. Sannitica); 3, Arco Sannitico-Campano; 4, Arco Lucano; 5, M. Pollino.

m - Anticlinali (= rughe d.Aa.) principali delle serie plastiche (Macigno, Molassa). Le direttrici della tettonica trasversale, modellate in parte sull'infrastruttura ercinica, non sono segnate, non consentendolo la scala.

20 - *Paleozoico* - Verrucano (*Permiano*): conglom. quarz., quarziti, arenarie). - AP, Alpi Apuane; P, Monte Pisano; U, Monti dell'Uccellina p. p.; montagne fra Grosseto e Siena, M. Argentario e colline della Maremma merid. (= Catena Metallifera). - *Carbonifero*: scisti con filliti del M. Pisano e di Jano a N di Volterra. In parte scisti sericitici (filladi) dell'I. d'Elba e dell'I. di Zannone (Pontine).

CALABRIA, SICILIA E MASSICCIO SARDO-CORSO

21 - *Massicci cristallini Calabro-Siculo* e *Sardo-Corso*, con tettonica premesozoica (Laramico-Variscica).

22 - *Paleozoico*: Sicilia (Lercara e Sosio); Sardegna (unità cambro-silurica dell'Iglesiente; M. Forte, Nurra e Gerrei).

23 - *Trias metamorfico* della Calabria settentr. e Mesozoico trasgress. di Rossano-Longobucco. Serie dei *Tacchi*. Giurese-Cretaceo a facies neritica nella Sardegna.

24 - *Metamorfico del Massiccio Sardo*. Linee punteggiate: tracce della struttura varisca.

25 - *Calcescisti* (= scisti lucenti della Corsica) (= *Pennidi*) e della Sardegna NO (Nurra).

26 - *Mesozoico calcareo-dolomitico con sovrascorr. dei Monti di Palermo* (PA) *e di Cefalù* (C). Nei livelli inferiori di facies dinarica; nei superiori (Cretaceo), in parte di facies abruzzese.

27 - Flysch in prevalenza paleogenico.

28 - Formazioni argillose, arenacee, marnose e calcareo-gessoso-solfifere del Miocene; marne (trubi), argille azzurre, sabbie e calcari conchigliari del Pliocene e del Calabriano.

gnarle con studi geologici assai dettagliati, per avere una più fondata idea sulle prospettive che eventualmente potrebbe presentare per ricerche meno superficiali di quelle finora praticatevi, il cui scarso rendimento è probabile dipenda dall'eccessiva dispersione e degradazione degli orizzonti meno profondi, indicata dalla frequenza delle manifestazioni, comprese quelle asfaltiche.

CAMPANIA. — Specie in corrispondenza agli alti bacini del Calore, dell'Ofanto e del Sele (province di Benevento, Avellino e Salerno), sono frequenti gli indizi e le manifestazioni d'idrocarburi, per lo più in rapporto coi sedimenti arenaceo-conglomeratici del Miocene medio e in parte del Flysch paleogenico. Ne hanno dato un ricco elenco già CORTESE e PORRO nella miscellanea *Studi geol. per la ric. del petr. in Italia*.

Nel 1933 l'A.G.I.P. fece iniziare e poi sviluppare lo studio della regione (ZUBER, ANELLI, MARCHESINI, MIGLIORINI). Fu scelta alla fine la zona di Sant'Angelo dei Lombardi (Avellino) per una serie di sondaggi (n. 11, da m 287 a 1364), che misero in evidenza impregnazioni d'olio e piccoli orizzonti gassiferi, ma non diedero i risultati sperati.

La regione si presenta invero interessante, ma per la sua tettonica assai spezzettata e tormentata[1] esige d'essere investigata a fondo con studi di grande dettaglio, che consentano di giungere a una interpretazione regionale, che rispecchi possibilmente la realtà delle cose, onde si possano avere gli elementi per un razionale orientamento di eventuali ulteriori e più approfondite ricerche. Questo, che press'a poco così scrivevo nel 1937, devo purtroppo ripetere ancora oggi.

LUCANIA, PUGLIE, CALABRIA.[2] — In *Lucania* le principali manifestazioni di gas e di petrolio si trovano nei bacini del Basento, dell'Agri e del Sinni. Al secondo appartengono quelle di *Tramutola* (45 km a S di Potenza), note più da tempo e più interessanti.

Anche per questa parte dell'Appennino GRZYBOWSKI ammetteva una struttura a grandi coltri di ricoprimento, opinione non condivisa da CREMA (1926) e da altri in seguito. BEHRMANN (1936) vi estendeva la stessa interpretazione da lui data per la Val Latina, come sopra accennato. Attualmente si ammette che i massicci calcarei mesozoici sconnessi per faglie in blocchi, disposti in parte a grandi scaglie con vergenza adriatica, siano autoctoni, ma che le masse flisciodi terziarie siano almeno parzialmente alloctone, senza però che sia possibile allo stato attuale, tutt'altro che avanzato delle conoscenze di dettaglio, una precisa discriminazione. La zona di Tramutola ha anche dato luogo a dibattiti per l'interpretazione locale e per l'attribuzione di alcune formazioni in essa presenti, ritenute da alcuni triassiche, da altri assimilate a lembi di argille scagliose.

Dopo aver promosso una serie di studi preliminari (BONARELLI, ZUBER, MIGLIORINI ed altri) l'A.G.I.P. nel 1936 iniziò l'esplorazione del bacino di Tramutola con sondaggi, alcuni dei quali diedero buoni risultati, sicché metteva poi in coltivazione il piccolo campo con 26 pozzi (altrettanti circa ne aveva eseguiti, per esplorazione. Massima profondità raggiunta m 420).

La produzione, ottenuta sia da orizzonti arenacei del Flysch, sia dai blocchi calcarei inglobati nella massa argilloscistosa, è stata però sempre modesta (sui 550 mc di olio all'anno e sui 360 mila mc di gas).

Nell'ipotesi — risultata poi non confermata — che si dovessero ripetere condizioni corrispondenti a quelle del sottosuolo della Fossa Padana, si era rivolta l'attenzione alla zona compresa tra il margine appenninico paleogenico lucano e il tavolato cretaceo delle Murge (avampaese), la quale pertanto veniva designata col nome, a rigore non proprio, ma ormai passato nell'uso, di *Fossa Bradanica*. Già nel 1934 l'A.G.I.P. vi promoveva studi geologici e due anni dopo vi eseguiva

[1] I massicci calcarei di facies abruzzese sono fagliati e rotti in grandi blocchi, i cui rapporti di posizione colle masse flisciose, considerate in parte alloctone, sono spesso complessi e poco chiari.

[2] Rispetto alla Fossa Adrio-Ionica è notevole la simmetria di posizione e di successione fra le unità geostrutturali dell'Italia meridionale e del settore SO della Penisola Balcanica. Simmetria, cui fanno riscontro le manifestazioni e i giacimenti d'idrocarburi, specialmente della Campania e Lucania da un lato e dell'*Albania* dall'altro (campo petrolifero di Devoli, depositi bituminosi di Selenitza ecc., sviluppati e sfruttati fino al 1943 da organizzazioni italiane). V. Rel. INEICHEN al III Congr. Mond. Petrolio.

determinazioni gravimetriche e geosismiche a rifrazione. Nel frattempo iniziava l'esplorazione meccanica presso Genzano. Il 1° pozzo, eseguito fra il 1937 e il '39, spinto fino a m 1072,80, s'imbatteva, entro la potente massa di Piacenziano, in una venuta di gas e più sotto, nell'Eocene medio, in traccie d'olio. Al 1° seguirono altri due sondaggi a poca distanza, i quali, benché portati a m 1441 e a m 1770, risultavano praticamente sterili.

Gli studi geologici e le esplorazioni geofisiche (telluriche, geosismiche a riflessione) vennero ripresi nel dopoguerra dall'A.G.I.P. e, nel settore sud, dalla Società Ricerche Petrolifere Meridionali. La geofisica confermerebbe l'ipotesi che sotto la potente coltre quaternaria, pliocenica e in parte paleogenica, il substrato calcareo sia interessato da sistemi di faglie, che lo suddividono in blocchi a irregolare gradinata affondantesi verso ovest. Su questa ipotesi e nella supposizione che esistano impregnazioni petrolifere in corrispondenza ai calcari, si basa la ripresa anche delle esplorazioni meccaniche (A.G.I.P.).

In *Calabria* esistono rade manifestazioni, specie nella zona costiera ionica, ad es. al piede del massiccio cristallino silano e della dorsale dell'Aspromonte. Studi geologici, qualche esplorazione geofisica ed un sondaggio, sono stati eseguiti ultimamente in territorio di Crotone dalla Società Montecatini.

Sicilia

Come accennato, il petrolio era noto in Sicilia fino dall'antichità. Indizi e manifestazioni anche solide e gassose (da fessure, vulcanelli di fango o « macalube » ecc. fig. 54) hanno grande diffusione, specialmente lungo la zona arcuata, che da Agrigento, per Cattolica, Bivona, Lercara, Caltavuturo, Le Petralie, Nicosia, Troina, Bronte, Paternò, giunge al Capo Passero da un lato e a Ragusa e Scicli dall'altro.

Impregnazioni solide nei calcari e in rocce argilloscistose sono sparse anche fuori di tale zona e del pari quelle gassose e qualcuna liquida. Gli asfalti del Ragusano (giacim. di Ragusa, Scicli, Vizzini, Licodia Eubea) scavati da oltre un secolo, alimentano un'industria oggi in declino, ma un tempo fiorentissima per la forte richiesta della materia prima dall'estero, ov'era impiegata per la pavimentazione stradale (ora sostituita da sottoprodotti della distillazione del petrolio).

La ricerca di petrolio a mezzo sondaggi venne tentata, con risultati negativi, in principio del secolo, nei dintorni di Nicosia. Modeste quantità ne vennero invece ricavate a mezzo discenderie presso Bivona e presso Lercara [1].

Degli studi geologici sul problema petrolifero vanno citati uno molto riassuntivo di P. Vinassa de Regny (1918) e un altro, assai più dettagliato e corredato di cartine e spaccati, di Cortese, inserito nel tante volte ricordato simposio *Studi*

[1] Per notizie, vedasi: Fabiani, *Sguardo sugli studi e sulle ricerche di idroc. in Sicilia dal principio del secolo al 1945*. Relaz. pres. al VII Convegno Naz. del Metano e del Petrolio. I.R.E.S. Palermo, 1952.

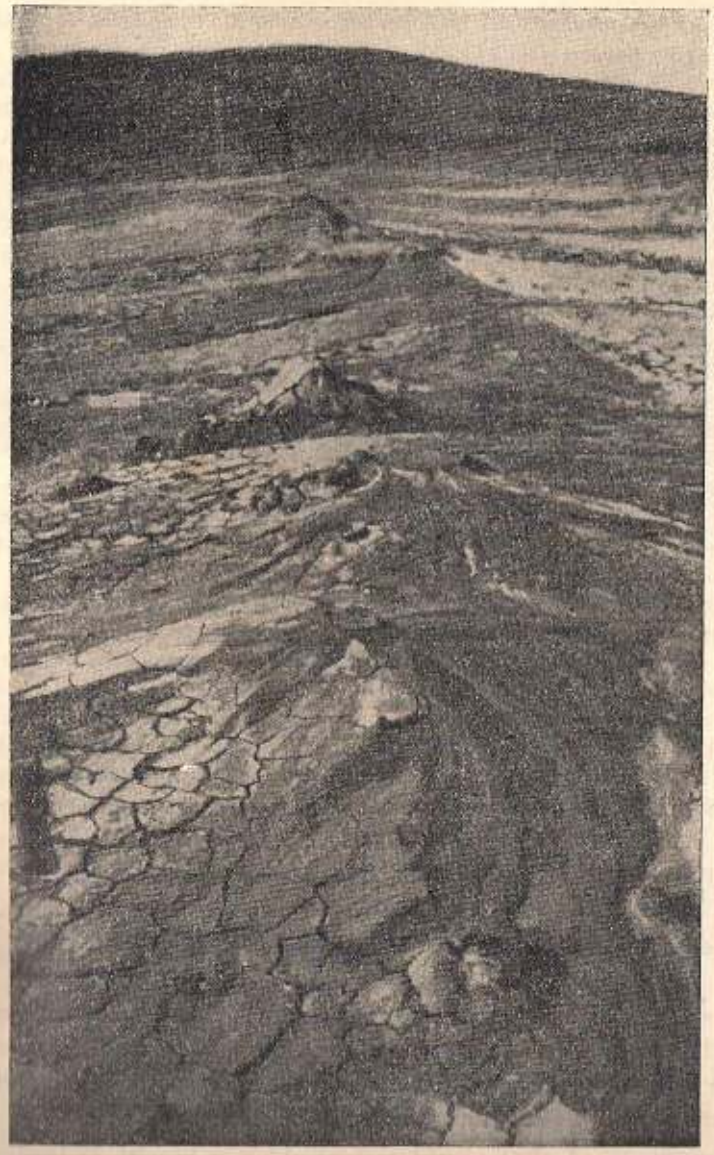


Fig. 54 - Le « macalube » di Aragona. Vulcanelli di fango che emettono CH. e sono allineati secondo una frattura, dalla quale è uscita un'enorme massa fangosa nell'eruzione del 1936. - *Foto* R. Fabiani.

geolog. per la ricerca, ecc. del 1927. Per conto dell'A.G.I.P. svolgeva alcune campagne di studio Bonarelli (1927-1929); in seguito, per qualche area, Zuber e Mario Rosazza. I risultati sono per la massima parte rimasti inediti.

Io avevo cominciato ad occuparmi dell'argomento nel 1925, per incarico del Ministero dell'Economia e continuano negli anni successivi, per conto dell'A.G.I.P. a partire dal 1934 e fino a quando gli eventi bellici tolsero ogni possibilità di ricerca di campagna (1943).

L'A.G.I.P. qualche anno prima del 1934, in base agli studi di Bonarelli, aveva eseguito un sondaggio a Bivona (prof. m 1104) e un altro presso Gangi nelle Madonie (m 1148), con risultati praticamente negativi dopo dei quali fino al '34 non s'interessava più della Sicilia.

Ricordo che nel 1928 promovevo e poi organizzavo un'esplorazione regionale gravimetrica pendolare dell'Isola e insieme anche quella geomagnetica (con variometri Schmidt), attuate nel periodo 1929-'31, grazie l'aiuto del Ministero, di Enti locali siciliani e la cooperazione di Istituti scientifici dell'Università di Palermo e soprattutto dell'Istituto Geografico Militare.

I risultati servirono di base a determinazioni dettagliate con la bilancia di Eötvös, eseguite in seguito in alcune aree particolari dall'A.G.I.P., la quale praticava poi anche esplorazioni geoelettriche (direttori, prima A. Belluigi, poi P. Dore; operatori principali M. Franchini e T. Rocco).

Dati i mezzi e i metodi d'indagine allora impiegati, codeste prospezioni geofisiche non fornirono elementi per orientare le ricerche, le quali vennero quindi iniziate in base ai dati e alle ipotesi geologiche. Lo studio della localizzazione delle principali manifestazioni, riscontrate in corrispondenza a formazioni di vari piani del Secondario e del Terziario e per lo più in coincidenza con disturbi tettonici di vario tipo, mi avevano portato fin dal 1927 ad alcune ipotesi di lavoro, che le osservazioni posteriori, anziché inficiare, confermarono, inducendomi così a fondare su di esse le proposte di due primi sondaggi di grande esplorazione.

Mi ero dunque convinto che in buona parte gli idrocarburi della Sicilia fossero di *provenienza profonda* e che almeno gli eventuali giacimenti ancora conservatisi dovessero cercarsi a profondità, dato che la tormentata tettonica superficiale faceva ritenere che gli accumuli poco profondi fossero andati sconvolti e dispersi, essendone riprova l'imponenza dei fenomeni di impregnazione del Ragusano e la grande diffusione soprattuto delle manifestazioni gassose costituite in massima parte di « gas petroliferi ».

Per queste ed altre considerazioni che per brevità tralascio, avevo indicato per una prima esplorazione profonda (almeno 2000 m) il piastrone miocenico ragusano (loc. Nicastro) e la massa di Flysch paleozoico fra Roccapalumba e Lercara (la stessa formazione dalla quale, in regione poco discosta, s'era estratto molti anni addietro, mediante discenderie, un discreto quantitativo di petrolio).

Entrambi i sondaggi furono sospesi causa incidenti tecnici molto

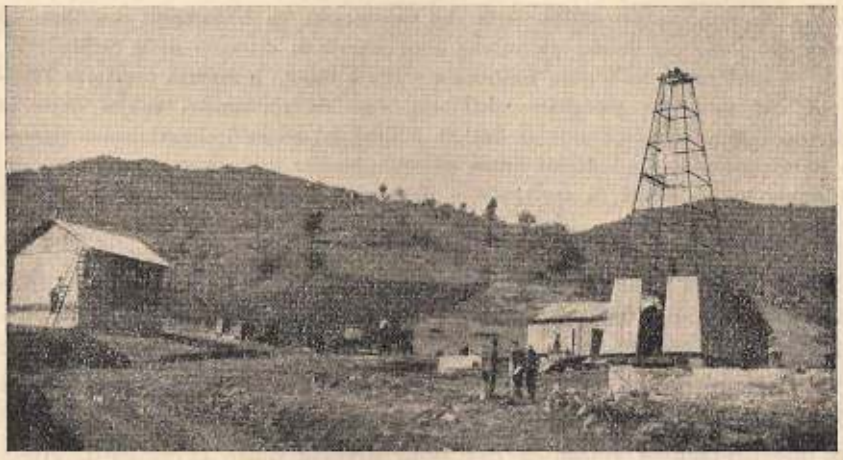


Fig. 55 - Sonda Bronte n. 1 presso C.e Serravalle sulla destra del Simeto, la prima che in Sicilia ha rinvenuto petrolio. - *Foto* R. Fabiani.

prima del preventivo (il 1° a m 1320.10, il 2° a m 1483.20) e quindi senza che avessero dato i risultati che ci si attendeva. Il 1° tuttavia ha fornito una stratigrafia precisa dall'Elveziano all'Eocene medio.

Fuori dal programma proposto per un primo tempo, vennero eseguiti alcuni sondaggi di esplorazione superficiale: 4 a Pachino (impregnazioni di bitume nelle rocce basaltiche) 11 in una zona con manifestazioni di gas, cioè presso Bronte (3 sonde) e in località Gioitto (8 sonde) verso Troina. I pozzi di tale zona dettero gas e un po' di petrolio, specie il n. 1 di Bronte (fig. 55).

Per ragioni che qui ometto, fu decisa l'esecuzione di un pozzo profondo presso Nicosia, il quale venne sospeso a 2016 metri, dimostrando una potenza insospettata della massa di Flysch che ha attraversata.

Non disponendosi allora delle apparecchiature pel carotaggio elettrico, i tre sondaggi maggiori, eseguiti col sistema *rotary*, lasciarono all'oscuro anche su orizzonti mineralizzati eventualmente attraversati, specie quello di Nicosia, poiché negli altri due si poterono tuttavia rilevare ripetute manifestazioni di gas.

Comunque, se i sondaggi hanno lasciato in sospeso i problemi alquanto diversi che con ciascuno di essi si sperava risolvere, hanno fin dall'inizio confermata la necessità di ricorrere a *trivellazioni profonde*, ragion per cui alla fine l'A.G.I.P. era addivenuta alla decisione di portare in Sicilia una sonda da 3000 m. Gli eventi bellici, che avevano resi oltremodo difficili i lavori e il rifornimento di materiali anche per i sondaggi testé ricordati (eseguiti fra il 1935 e il 1941), alla fine costrinsero a sospendere ogni attività.

I risultati pratici delle esplorazioni meccaniche furono trascurabili; è notevole per contro la serie di fatti e di acquisizioni (per la massima parte inediti), costituita da tutte le revisioni stratigrafiche e dai rilevamenti eseguiti ex novo in rela-

zione alle ricerche petrolifere, serie che rappresenta un importante contributo al progresso delle conoscenze geologiche e strutturali di dettaglio della Sicilia [1].

Da quel poco che è stato pubblicato e che è venuto a sapersi, è emerso l'interesse del problema petrolifero dell'Isola, così da richiamare, subito dopo la guerra, l'attenzione di Enti e di Società italiane ed estere [2], che vi hanno ripreso e stanno sviluppando indagini estese ed approfondite geologiche e geofisiche, applicando tutti i mezzi di esplorazione dimostratisi negli ultimi anni più efficaci a sussidio della ricerca.

Da alcuni anni la Sicilia è dunque, dopo la Val Padana, la terra più intensamente indagata per la preparazione di programmi di ricerca meccanica d'idrocarburi. Ora, poiché i risultati degli studi eseguiti per conto di una delle società nominate, la « Macmillan », da Beneo, sono noti nelle linee generali, in quanto hanno condotto ad un'interpretazione tettonica dell'isola diversa dalle precedenti, ritengo di dover accennare all'orientamento generico fondato su tale interpretazione, per rilevarne i punti di contatto e le divergenze in confronto delle direttive seguite per l'ubicazione dei sondaggi di Nicastro e di Lercara, ai quali, trattandosi di due zone con caratteristiche tanto diverse, attribuivo scopi esplorativi ben distinti, ma egualmente importanti.

Senza entrare in particolari e discussioni, qui fuori luogo, la concezione di Beneo (v. bibl. n. 14) così si può schematizzare: la Sicilia tra l'Eocene medio e il Miocene medio è stata invasa da una colata sottomarina di « Argille Scagliose » (nel senso da lui attribuito a tale formazione) proveniente da nord. « Le A.S. coprirebbero quindi l'Eocene medio a N ed il Miocene medio a S, rappresentanti della parte più alta dell'autoctono ad esse sottostante, rispettivamente al N e al S ». Egli considera la sommità dell'autoctono calcareo di età miocenica e di « facies » ragusana e petrolifero: la ricerca deve quindi farsi

[1] Per un certo periodo ha efficacemente collaborato agli studi e ai rilevamenti geologici Livio Trevisan, per qualche zona anche E. Marchesini e ultimamente pure G. B. Floridia; specie per la micropaleontologia E. Di Napoli Alliata e più tardi T. De Stefani.

Nel 1936-37 R. B. Behrmann ha studiato e rilevato la Sicilia centro-meridionale per incarico della Vacuum Oil Co, che non ha però eseguito ulteriori ricerche. La carta e le note vennero pubblicate nel 1938 (v. Bibl.).

[2] Iniziarono studi nel dopoguerra per prima la Macmillan Petroleum Corp. e la SIARP (Soc. italo-amer. ric. petrol.), alle quali si sono aggiunte o sono successe altre nord-americane. Fra le estere è presente anche la D'Arcy Exploration Co., che fa capo all'Anglo Iranian O. Co. Di italiane s'è costituita la E.S.V.A.I.S.O e un'altra di combinazione fra l'Ente Nazionale Metano e la Regione Siciliana.

dove le « Argille Scagliose » lo ricoprono e con minimi spessori, « problema la cui risoluzione è richiesta alla geofisica ed alla interpretazione geologica » (l.c. pag. 37).

Noto anzitutto che fin dal 1927 (Bibl. n. 25, 26) avevo rilevato il significato e l'importanza delle faglie, che interessano il piastrone miocenico ragusano (avampaese) emerso nel Miocene medio, quali vie di passaggio del petrolio, che ha impegnato i calcari a Scicli, Ragusa, Vizzini e Licodia Eubea. Avevo proposto egualmente di eseguirvi una grande esplorazione, ma in area discosta dai centri mineralizzati, ritenendo che in tale area le faglie, pur presenti, non avessero menomato l'efficienza protettiva della copertura, costituita di una potente serie di strati calcarei alternati a strati marnosi e argillosi, dal momento che non vi avevo riscontrate manifestazioni superficiali, pur essendo la zona stessa foggiata essenzialmente a struttura positiva e intaccata da profondi solchi vallivi.

C'era dunque nella mia scelta dell'ubicazione del wildcat di Nicastro la presunzione che a *profondità* il piastrone potesse celare qualche orizzonte petrolifero e che comunque il pozzo dovesse fornire una colonna stratigrafica di significato basilare per la Sicilia sud-est. Fino a m 1320, al quale punto il sondaggio venne abbandonato per incidente tecnico non risolto, non si è trovato alcun orizzonte petrolifero né si è oltrepassato, dopo 190 m dal suo inizio, l'Eocene. È rimasta quindi la convinzione che un eventuale livello mineralizzato debba trovarsi più giù, forse in corrispondenza al Cretaceo, qualora questo abbia ivi la facies che presenta più a sud, cioè a Pachino - Capo Passero, di calcari di scogliera ad Ippuriti, che si presterebbero come roccia-serbatoio. Probabilmente i 700 m, che secondo il preventivo restavano da attraversare, avrebbero risolto il problema, almeno per quanto può dare un solo sondaggio in un'area così estesa.

È presumibile che anche l'altro wildcat, cioè quello di Lercara, avrebbe contribuito a risolvere qualcuno dei problemi che dalla sua esecuzione ci si attendeva (v. Bibl. n. 31), tanto se la massa di Flysch, sulla quale venne piantato, sia alloctona, nel senso in cui sono considerate le Argille Scagliose da Beneo, quanto non lo sia, o al più lo sia nell'interpretazione dei sovrascorrimenti dei geologi precedenti, me compreso.

Il divario, agli effetti di orientare nella scelta delle zone presunte meglio indiziate, sta dunque essenzialmente nel cercare ove l'autoctono ritenuto petrolifero non abbia soltanto la propria copertura protettiva, rappresentata dalla serie marnosa mediomiocenica, ma sia anche

maggiormente garantito (il che non ci pare indispensabile) da un ulteriore mantello, di spessore da precisare, costituito dalla formazione definita come « Argille Scagliose ». All'aleatorietà di risultati pratici, pur sempre inevitabile, s'aggiunge anche in questo caso, e forse più, la necessità di mettere in programma sondaggi esplorativi molto profondi. E anche in ciò si ha convergenza con quanto io sostengo ormai da oltre un ventennio e non solo per la Sicilia.

Ma dopo la più recente e attuale intensa ripresa di studi e prospezioni d'ogni genere in tutta la Sicilia, siamo pienamente giustificati se attendiamo ormai con impazienza il collaudo dello scalpello pei nuovi risultati e per le nuove interpretazioni.

Regione Nordappenninica-Padana

La zona petrolifera-gassifera nordappenninica, che si stende per oltre 200 km da NO a SE, cioè secondo la « direttrice » appenninica, ricade totalmente nel versante padano. Infatti la massima parte delle manifestazioni è in corrispondenza a tutti i bacini appenninici: Tidone, Nure, Riglio, Chero, Arda, Stirone, Taro, Parma, Enza, Crostolo, Tresinaro, Dragone-Secchia, Panaro, Samoggia, Reno, Sillaro, Santerno.

In linea generale le manifestazioni si distribuiscono così:

a) gassose, lungo il settore SO (contatto Argille Scagliose-Macigno sec. Camerana);

b) liquide, lungo il settore mediano: olii leggeri nella parte SO, più densi in quella NE;

c) emissioni di gas da *salse* (vulcanelli di fango) e manifestazioni anche di olii, lungo il settore marginale della zona.

Le più notevoli concentrazioni di olio risultavano localizzate entro la massa delle Argille Scagliose.

Salvo che all'estremo NO (Vogherese) la zona si identifica colla regione Emiliana. I centri petroliferi noti da tempi più antichi e sfruttati — con mezzi primitivi fin oltre la metà del secolo scorso e quindi con intensa attività di sondaggi — sono infatti nelle provincie di Piacenza e di Parma: nella prima *Velleja* e *Montechino* (Società Petroli d'Italia), nella seconda *Vallezza* (Società Petrolifera Italiana, S.P.I.) e Salsomaggiore (Demanio, S.P.I. ecc.).

Malgrado le varie centinaia di pozzi scavati in detti centri, la produzione globale (che era in gran parte quella italiana), è stata sempre bassissima e, pel fabbisogno nazionale, anche in tempi non recentissimi, praticamente insignificante (massima, come già ricordato, 33000 mc *anno*).

Così meschina produzione e gli insuccessi di varie ricerche nella parte non solo montana, ma anche collinare, ad un certo momento convinsero che non poteva attendersi di trovare giacimenti d'interesse industriale in settori, ove i complicati rapporti di giacitura e la tormentata tettonica dovevano avere sconvolto e disperso in residui di minima entità gli accumuli primitivi d'drocarburi, convinzione che, come s'è visto, va estesa alle altre regioni della Penisola e della Sicilia, ove si presentano le stesse condizioni geostrutturali.

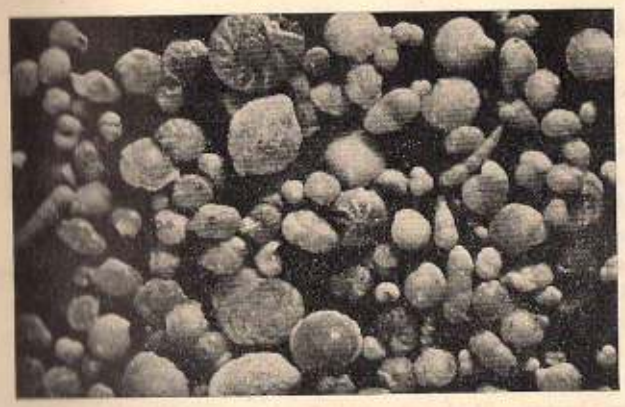
Mentre dunque permanevano le divergenze interpretative (es.: le « Argille scagliose » in giaciture diapiriche o lembi di coltri di ricoprimento o di colamento per gravità; roccia-madre o semplice veicolo, con funzione di protezione degli idrocarburi contenuti nei blocchi esotici in esse inglobati ecc.), s'era maturata un'opinione unanime [Amoretti, Camerana, Millosevich, Porro (1921), Stella fra i primi], che le ricerche dovessero spostarsi all'estremo settore « esterno » e alla pianura. Riportandosi anche ad esempi offerti da alcune ben note regioni d'Europa e d'altri continenti, era infatti giustificata la presunzione che in dette parti marginale e del piano il mantello dei depositi post-tettonici avesse preservato strutture « sepolte » in favorevoli condizioni agli effetti petroliferi.

Tale presunzione ha guidato fino dai primi tempi le ricerche dell'A.G.I.P, senonché i soli studi geologici, per quanto dettagliati (n'ebbe parte principale Mario Anelli) anche dei piccoli rilievi emergenti dalla pianura (es. S. Colombano al Lambro) non potevano bastare. Si dovette quindi ricorrere all'ausilio della Geofisica, per cercar d'orientare le esplorazioni meccaniche non alla cieca. In un primo periodo venne impiegata la gravimetria (colla bilancia) dalla quale s'ebbe l'indicazione di qualche struttura sepolta (Belluigi). Più tardi furono impiegati anche i metodi elettrici, magnetici e geosismici (da prima a rifrazione). L'esplorazione gravimetrica venne praticata anche dalla S.P.I., che le diede un grande sviluppo. Non è però qui il caso di far la storia dettagliata delle prospezioni geofisiche.

Ritornando all'A.G.I.P., della quale soltanto son noti i risultati ottenuti dalle ricerche basate sulla Geofisica, ricordiamo che fino al 1941 l'Azienda ha eseguito numerosi sondaggi anche di notevole profondità (es. Fontevivo m 2575), in corrispondenza a strutture supposte a mezzo della gravimetria. Scarsi i risultati pratici (scoperta dei piccoli giacimenti di Podenzano e di Fontevivo), dovuti in parte al metodo, dal quale si richiedevan troppo più di quello che può dare, e in parte, come giustamente osserva Jaboli (n. 47) all'avere attribuito « importanza eccessiva » alle « Argille Scagliose » sia come possibile roccia madre del « petrolio, sia come presunto nucleo diapirico dei rilievi sepolti, o come copertura alloctona di un ipotetico substrato produttivo ».

Comunque quei sondaggi servirono a dimostrare l'esistenza di condizioni strutturali favorevoli e di sedimenti mineralizzati in seno alla potente massa di formazioni prequaternarie della Fossa Padana.

Quando finalmente nel 1940 l'A.G.I.P. decise di applicare alla prospezione geofisica il metodo sismico a riflessione, che aveva condotto a risultati assai brillanti in altri paesi e soprattutto nell'America del Nord, si inaugurò quella fase che doveva aprire la strada al successo raggiunto in questi ultimi anni. Il primo esperimento favorevole della bontà del metodo, si realizzò nel 1942 con la scoperta del piccolo giacimento di S. Giorgio. Seguì quello decisivo di Caviaga, ove il primo sondaggio profondo, praticato in base alle indicazioni del rilievo sismico, rivelava l'esistenza di gas ad alta pressione (150-200 atm.), entro i depositi del Miocene superiore (1944). I pozzi successivi (dal 1946 ad oggi) dimostravano trattarsi di una struttura della massima



Pliocene inferiore

Pozzo *Cortemaggiore* n. 1.

Profond. fra m. 1446 e m 1451.

× 17

Messiniano salmastro

Pozzo *Cortemaggiore* n. 1.

Profond. tra m 1546 e m 1552.

× 25 circa

Tortoniano

Pozzo *Cortemaggiore* n. 32.

Profond. fra m 2000 e m 2005.

× 20

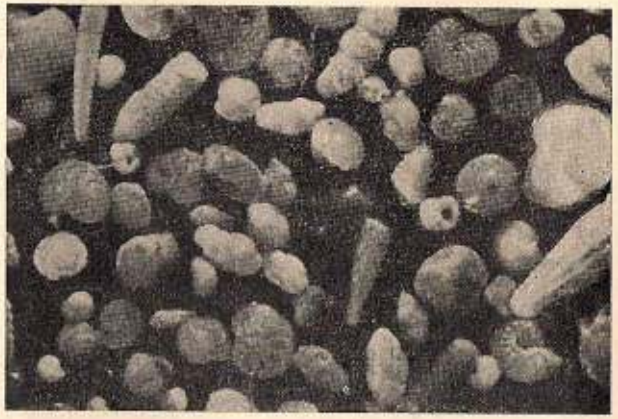
Figg. 56 e 57 - Esempio di correlazione paleontologica tra pozzi di campi diversi. (Microfotos della Sez. Geologica della Direz. Mineraria dell'A.G.I.P.).

Tortoniano - I due pozzi hanno in comune ad es. *Bolivina dilatata* Rs, *Cibicides pseudoungerianus* Cush., *Nonion pompilioides* Ficht. et Moll, *N. boueanum* d'Orb., *Orbulina universa* d'Orb., *Planulina wuellerstorfi* Schw.

Pliocene inferiore

Pozzo *Novi* n. 1.

× 15 circa



Messiniano salmastro

Pozzo *Pontenure* n. 2.

Profond. m 1953.

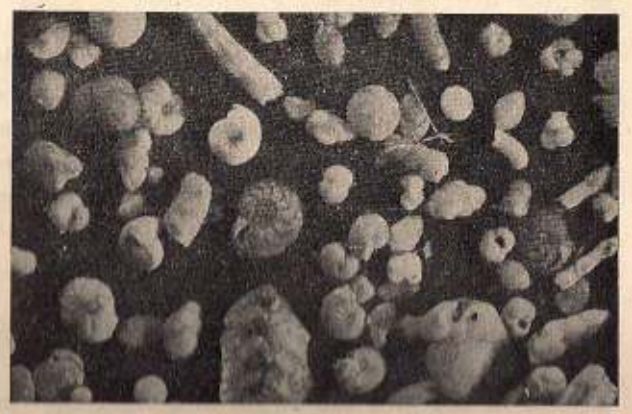
× 20

Tortoniano

Pozzo *Soresina* n. 1

Profond. m 1541-1542.

× 15



Messiniano salmastro. - Si rileva la comunanza di Ostracodi e di Molluschi salmastri per i due pozzi.

Pliocene inferiore. - I due orizzonti di Cortemaggiore e di Novi hanno in comune, ad es., *Globigerina bulloides* d'Orb. assai freq., *Planulina ariminensis* d'Orb., *Siphonina tuberculata* Silv., *Uvigerina rutila* Cush. et Todd., *U. pygmaea* d'Orb.

importanza e l'imponente quantità di metano ch'essa continua a produrre lo conferma sempre più (oggi dagli « strati di Caviaga » della struttura omonima ne vengono erogati circa 2 milioni di mc nelle 24 ore).

Delle altre strutture messe in evidenza dalla sismica furono esplorate e si sono dimostrate produttive *Ripalta* (Cremona) nel 1948, gassifera in corrispondenza agli « strati di Caviaga » e anche in altro orizzonte più recente (« strati di Ripalta »), *Cortemaggiore* (Piacenza) nel 1949, gassifera e petrolifera.

La scoperta di quest'ultima ha determinato uno straordinario acceleramento nella Padania delle esplorazioni geofisiche, soprattutto sismiche (in via subordinata gravimetriche e per qualche zona telluriche) da parte dell'A.G.I.P., sia con squadre proprie sia con gruppi esteri. Nello stesso tempo l'A.G.I.P. ha dato nuovo forte impulso ai sondaggi con apparecchi numerosi e qualcuno di grande potenzialità (un IDECO da 5000, v. figg. 17 e 34). Questo fervore di prospezione e di perforazione ha portato ad individuare numerose strutture nuove o a meglio precisare la posizione di altre più o meno intraviste e alla scoperta già di nuovi campi: nel 1950 quello di *Cornegliano*, quasi appendice di Caviaga e nel 1951 quello di *Bordolano* (Cremona) ancora in fase iniziale. E, mentre la prospezione venne estesa e sta completandosi in tutta la regione padana, le esplorazioni meccaniche vanno saggiando via via le nuove strutture (es. Correggio).

In alcune zone della pianura Padana, orientale specialmente, le prospezioni geofisiche sono state condotte anche da altre società, soprattutto dalla S.P.I. che ha trovato il giacimento gassifero di Montalbano (a SO di Ferrara).

La Società Idrocarburi Nazionale (S.I.N.) da sua parte ha scoperto il campo gassifero di Consandolo (a SE di Ferrara). E qui merita di essere segnalata l'attività ammirevole svolta da privati e da alcune società locali nel Polesine, cioè nella Bassa Padana, ove da prima per far fronte, nel periodo sanzioni-guerra, alla penuria di benzina — sostituendola col metano per l'autotrazione — e poi per sviluppare ad altri scopi la produzione, vennero perforati più di 2000 pozzi, però, in genere (anche per disposizioni superiori) di modesta profondità. Da questa attività localmente, per così dire, capillare, s'era raggiunta prima della devastatrice alluvione del novembre 1951, la produzione globale di 300 mila mc di gas al giorno, che venivano distribuiti da una cospicua rete di metanodotti (v. fig. 63). Purtroppo questo metano viene a giorno con una grande quantità d'acqua salata (in volume 1 a 1), il che ha creato un grave problema nei rapporti coll'agricoltura della regione, là dove ne è più difficile lo smaltimento.

Cenni sulle caratteristiche delle « strutture » della Val Padana [1]

L'orientamento prevalente delle « strutture » sepolte della Pianura Padana, già definite coi sondaggi o delineate colla Geofisica, corrisponde alle direttrici tettoniche nordappeniniche (fig. 58).

La grande potenza dei depositi neogenici e quaternari accumulati nella Fossa Padana, mostra l'entità rilevante del tipico fenomeno di subsidenza, giacché nemmeno pei sondaggi più profondi (finora il n. 6 di Cortemaggiore m 3686 e il n. 29 m 4083), si può affermare con tutta sicurezza che siano entrati nel Miocene basale [2], quindi per oltrepassare la base di questo ed entrare eventualmente nell'Oligocene, dato il loro notevole spessore pure nella zona marginale della fossa (es. struttura di Salsomaggiore), è presumibile si debba sondare almeno fino a 5000 m nelle strutture della Pianura Padana centrale e in parte di quella romagnola. Allo stato attuale massima importanza per produttività ha il Miocene sup. (Messiniano o Pontico), che corrisponde a una fase di regressione, durante la quale al regime nettamente marino si andavano sostituendo per plaghe quello salmastro lagunare e perfino quello continentale. Da ciò le differenze di facies del Messiniano riscontrate nelle strutture note (marina: es. Caviaga e Ripalta; salmastra: es. Podenzano - S. Giorgio, Casalpusterlengo, Cortemaggiore).

Molti anni addietro le esplorazioni gravimetriche dell'A.G.I.P. avevano rivelato l'esistenza di una grande singolare struttura sepolta designata col nome di Dorsale Ferrarese, che le è rimasto (fig. 58). Fu saggiata nella parte est col pozzo di Vicenza Nuova presso Ferrara e ad ovest coi sondaggi di Novi modenese.

[1] Per notizie più dettagliate e recenti, vedansi le Relazioni presentate dai Geologi dell'AGIP al III Congresso Mondiale del Petrolio dell'Aja - 1951 (G. Facca, D. Jaboli, G. Ineichen). I cenni qui sopra esposti, con qualche aggiunta, relativa alla geologia del Veneto e con qualche aggiornamento derivato dalle ultime ricerche dell'AGIP, sono desunti soprattutto dalla Relazione di Jaboli (v. Bibl.).

[2] La stratigrafia del pozzo n. 29 di Cortemaggiore — che è il più profondo di quelli finora eseguiti dall'AGIP e uno dei più profondi d'Europa — è stata studiata specialmente da E. Perconig, della Sezione Geologica dell'AGIP. Egli attribuisce al Langhiano-Aquitaniano la formazione, in prevalenza sabbiosa, incontrata nelle ultime centinaia di metri della perforazione (v. Bibl.).

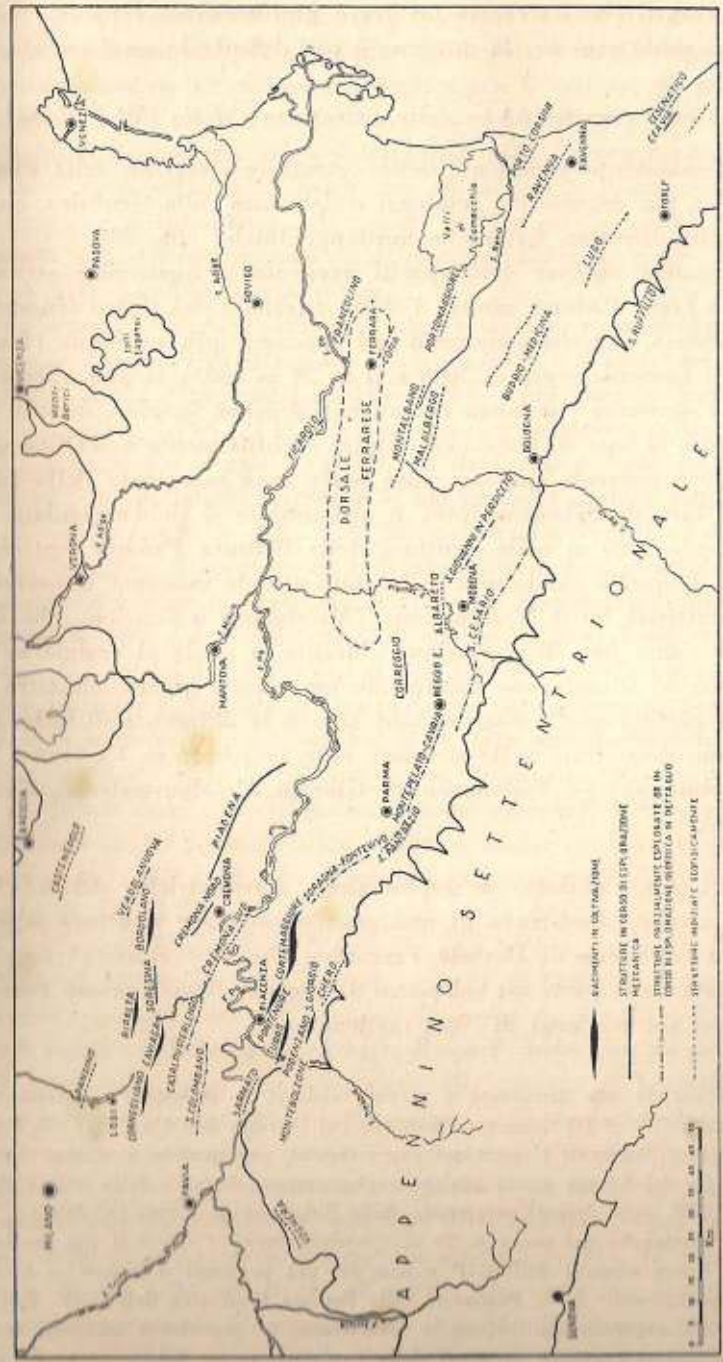


Fig. 58 - Schema delle principali strutture sepolte della Val Padana ben note ed accertate oppure finora solo presunte in base alla geofisica (Direz. Mineraria dell'AGIP).

Il 1° ha raggiunto alla profondità di m 1350 il calcare marnoso rossastro del Cretaceo più elevato, cioè la « Scaglia » — tipica del Veneto e dell'Appennino umbro-marchigiano — la quale affiora circa 50 km a N, negli Euganei e nei Berici, ed ha notevole sviluppo nei Lessini. Questo grande corpo sepolto, anche pel suo orientamento assiale, ha rapporti coi movimenti tettonici e colle direttrici del Veneto occidentale che decorrono da est ad ovest fino alla Val d'Adige e poi fra questa e il Garda s'inflettono, disponendosi circa da N a S (es. Monte Baldo). Può darsi che così avvenga anche per l'asse della « Dorsale » verso la sua estremità ovest. Data la sua ubicazione nel Golfo Padano, codesto elemento strutturale di formazioni preterziarie, durante un certo periodo dovette dividere il settore orientale della Fossa in due parti, che in seguito andarono unendosi, su più o meno larga estensione, già nel Terziario inferiore fino ad una totale fusione, da cui derivò praticamente un unico bacino sedimentare. Il fondo del bacino è però stato sempre instabile nella batimetria in dipendenza da vari fattori, tra i quali l'abbozzarsi e via via definirsi di pieghe, per riflesso dei fenomeni di movimento dovuti all'evoluzione tettonica delle Alpi e degli Appennini, pel gioco combinato della subsidenza e delle vicende di regressione e trasgressione e per la varia natura ed entità degli apporti terrigeni provenienti dai due rilievi. Dagli Appennini e dalle Alpi occidentali provenivano in prevalenza materiali argillosi e sabbiosi silicei, dalle Alpi meridionali più specialmente calcarei. Tutte queste circostanze in un modo o in un altro influirono sul determinare localmente, cioè in corrispondenza alle varie strutture, differenze sulle attitudini naftogenetiche originarie e sulle possibilità di costituzione e conservazione degli accumuli di idrocarburi.

Le prospezioni geofisiche (gravimetrica, sismica e tellurica) intensificate in corrispondenza alla Dorsale Ferrarese non hanno ancora fornito elementi sufficienti a definirne con esattezza le caratteristiche strutturali e morfologiche, le quali devono avere avuto un notevole effetto sulla disposizione degli strati, che andarono a costituirsi ai suoi margini, effetto certo importante nei riguardi petroliferi. Non è escluso che ad est la dorsale stessa possa essere in qualche modo interessata dal tragitto della famosa faglia di Schio (v. fig. 53).

In linea generale, a nord, sia della dorsale di Ferrara sia delle strutture più vicine ai piedi delle Alpi, risulterebbe che le serie stratificate del Terziario risalgano, per saldarsi, con andamento prevalente monoclinale, alle stratificazioni affioranti nella zona marginale pre-

alpina, le quali hanno netta immersione a sud, soprattutto nei Colli Berici e nei Lessini veronesi.

Ritornando alle più note strutture sepolte, in alcune di esse è stato eroso anche il Miocene superiore, sicché il Pliocene vi è discordante e può anche mancare dei suoi orizzonti più bassi, mentre altrove può invece mancare di quelli più elevati. Comunque, dov'è completo, il Pliocene ha potenza di varie centinaia di metri anche alla sommità delle anticlinali, costituendo, per lo sviluppo della facies argillosa di alcune sue parti, la copertura protettiva degli orizzonti con idrocarburi, segnatamente per quello caratteristico delle strutture finora più importanti, cioè del Messiniano (« strati di Caviaga »).

Talora anche il Pliocene presenta intercalazioni sabbiose di notevole spessore e gassifere. Al riguardo va segnalata la struttura di Ripalta, nella quale, oltre al Messiniano, che ne è assai ricco, racchiude gas in quantità industrialmente ancora non bene provata, il Pliocene (« strati di Ripalta »). Questi strati pliocenici sono in seguito risultati produttivi nelle strutture di Cornegliano e di Correggio (Reggio E.). Nei fianchi delle strutture e, com'è ovvio, nelle interposte sinclinali, il Pliocene assume potenze anche di oltre 1500 m (Jaboli).

Nella fase regressiva terminale del periodo alcune strutture erano emerse (es. Fontevivo - Bellena), ma la trasgressione quaternaria risommergeva tutta la Fossa, intensificandone la colmata con depositi marini, ai quali s'aggiungevano a completarla quelli di trasporto fluviale. Questi depositi col loro esclusivo contributo accrescono ora con tale intensità il manto alluvionale da far procedere sempre più la linea di spiaggia verso il mare, tanto che il fenomeno ha il sopravvento sopra i due altri fenomeni a ciò contrastanti: subsidenza in atto e odierno innalzamento del livello marino.

Nella Bassa Padana, cioè nel Polesine, il Quaternario presenta frequentissime alternanze di argille e di sabbie, come avviene nelle zone deltizie. Le seconde sono gassifere e alimentano la produzione ricordata più indietro.

È assai probabile, per non dire certo, che anche in corrispondenza al fondo marino della fascia costiera adriatica, come s'è visto avvenire nella piattaforma continentale d'altri paesi, esistano strutture mineralizzate o comunque accumuli d'idrocarburi.

Come si rileva dalla figura 59, che ne riproduce quasi esattamente una pubblicata da Jaboli, le strutture positive risultanti dalla Geofisica e in vari casi precisate coi sondaggi costituiscono degli elementi strutturali di secondo ordine,

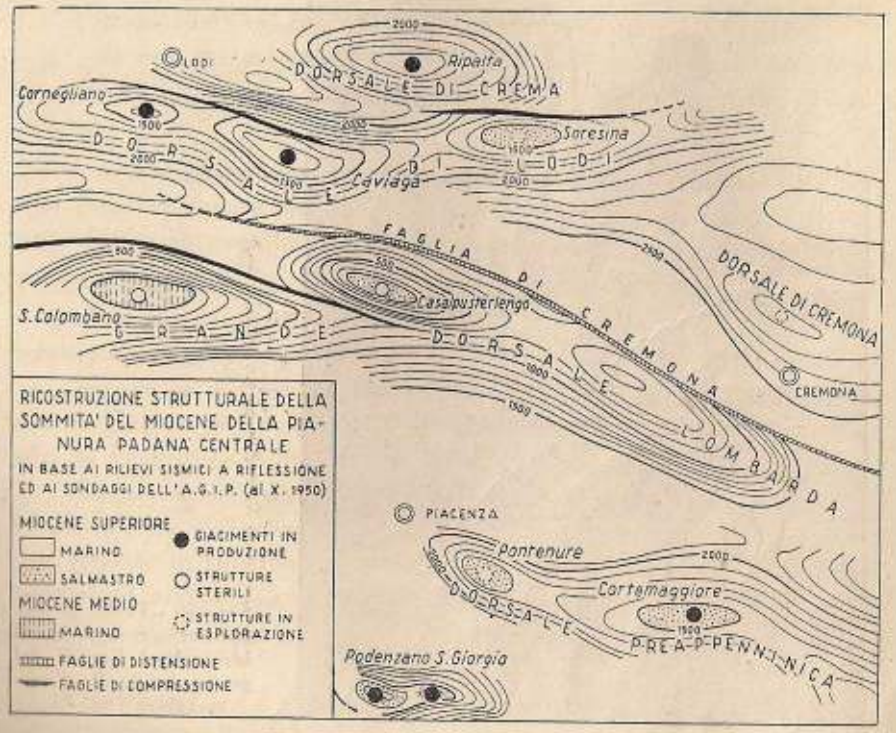


Fig. 59 - Dorsali e strutture del settore Padano Centrale (da Jaboli).

vari di numero e non sempre egualmente orientati, che fanno parte di strutture più estese, cui è appropriato il nome di « dorsali », delle quali rappresentano culminazioni, in genere a brachianticlinale, separate fra loro da depressioni selliformi.

Delle dorsali del settore padano centrale la più meridionale è quella di Salsomaggiore, in parte scoperta. Segue a N la « Dorsale Preappenninica » che si sviluppa su circa 130 km da Piacenza ai pressi di Bologna. Di essa sono parte le strutture di Cortemaggiore e di Fontevivo. Viene poi la « Dorsale Lombarda », che affiora col Miocene medio nella struttura di S. Colombano. Le più settentrionali sono le dorsali di « Lodi » e di « Crema », più profonde delle altre, entrambe assai notevoli, alla prima appartenendo la struttura di Caviaga e quella più piccola di Cornegliano, gassifere, e alla seconda la struttura, pure riccamente gassifera, di Ripalta.

La grande Dorsale Lombarda ad est diverge sempre più da quella di Lodi e nell'intervallo s'incastra la Dorsale di Cremona, fra quelle controllate da qualche sondaggio la più profonda, avendo la sommità a —2000 m. Il gruppo che è a N della Dorsale Lombarda resta in gran parte distinto da questa mediante una grande faglia di distensione (faglia di Cremona).

Nelle pieghe anticlinali della regione in oggetto è evidente una vergenza a

Fig. 60 - Prove di erogazione provvisoria di idrocarburi liquidi dal pozzo n. 1 di Cortemaggiore (fig. 32).

nord, cioè verso l'esterno dell'Appennino, indicata e segnata spesso da faglie di compressione, che per lo più interessano soltanto il Miocene, sono cioè anteriori al Pliocene. Questo, come pure talora il Quaternario, è invece raggiunto dalle faglie direzionali di distensione.

Come s'è accennato, le serie stratigrafiche a nord delle accennate strutture tendono a risalire verso i piedi delle Alpi. Dal punto di vista petrolifero vien fatto di ritenere che, se in quella direzione esistono orizzonti d'idrocarburi, essi siano in giacitura di trappole stratigrafiche, il che è probabile si ripeta, pur in condizioni alquanto diverse, dal lato opposto, cioè al margine appenninico, di alcuni tratti della fossa.

Cenni sui caratteri generali degli idrocarburi dei campi della Padania Centrale, sulla produzione e sulla distribuzione ed utilizzazione.

Caratteri. — Nelle strutture sepolte finora più o meno esplorate o già messe in regolare coltivazione, risulta massimamente produttiva la serie del Miocene superiore o Messiniano — ora francamente marina, ora salmastra — nota ormai, come accennato, sotto il nome di « strati di Caviaga ».

I campi dell'A.G.I.P. sono prevalentemente così caratterizzati:

a) con *gas secco* (*dry*), senza idrocarburi superiori, costituito da *metano* quasi puro, con $1 \div 1{,}5\%$ di N_2 (es. Cornegliano e Bordolano);

b) con *gas umido* (*wet*), con idrocarburi liquidi, trascinati sia allo stato di vapore che di nebbia, i quali si isolano nei separatori sotto forma di *gasolina* (es. Caviaga, Ripalta);

c) giacimenti *misti* cioè *con petrolio e con gas*, con orizzonti a *condensato* (gas distillato) e orizzonti con petrolio greggio (tipo Cortemaggiore, fig. 60).

Nel campo di Cortemaggiore si ha dunque produzione da *gas umido*, di *gasolina* e di *olio greggio*, secondo il significato comune che oggi si attribuisce ai tre termini nell'industria petrolifera di ricerca.

Che si tratti di autentico olio greggio è provato sia dai caratteri analitici [1], sia dalle condizioni, in cui il greggio si rinviene nelle carote portate in superficie e sottoposte all'estrazione dei fluidi residui, condizioni nettamente diverse da quelle che si riscontrano nei giacimenti « a condensato ».

Produzione. — I giacimenti coltivati nella regione in oggetto sono attualmente: Bordolano, Caviaga, Cornegliano, Cortemaggiore, Podenzano - S. Giorgio, Pontenure, Ripalta, Turro.

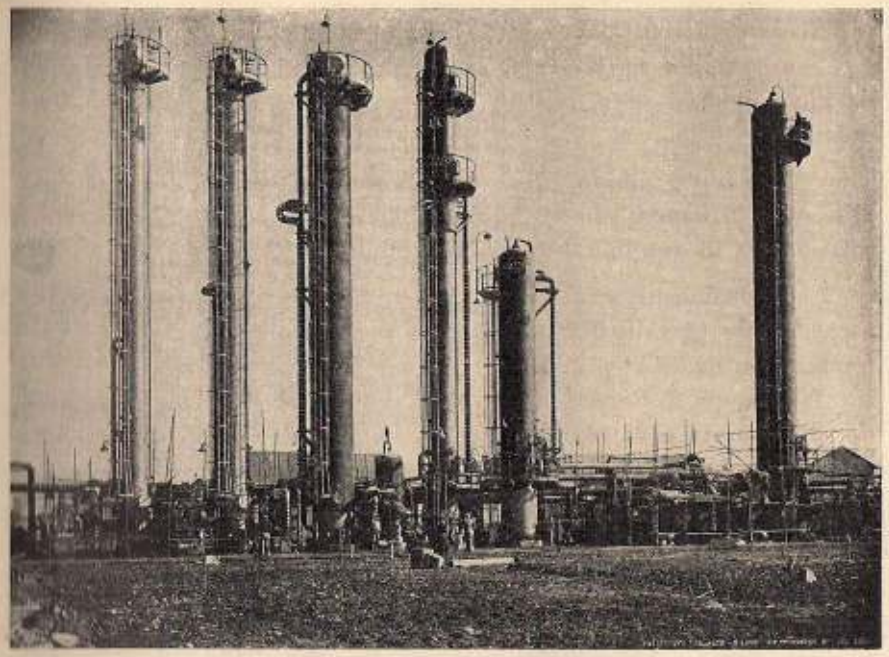
Nel 1950 si sono prodotti milioni 305.698 di mc di *metano* e 5.078 ton di *petrolio* e *gasolina*.

Nel 1951 le cifre rispettive sono salite a milioni 721.781 di mc e ton 16.913.

Nel 1952 si prevede di raddoppiare la produzione del metano e di moltiplicare per 6 o 7 quella petrolio-gasolina. L'enorme aumento della produzione appare subito, se si confrontano queste cifre con quelle medie annue del triennio 1946-48, che erano 20 milioni di mc di metano e meno di 2.700 ton di petrolio.

Pel ricavo della *gasolina* del campo di Cortemaggiore è stato ultimato un impianto di « degasolinaggio » (figg. 61, 62), che in pieno regime, trattando 3 milioni di mc al giorno, può produrre circa 400 ton

[1] Peso sp. a 15°C: *Gasolina* 0,750; *Greggio* 0,827 - Indice di rifr. a 20°C rispett. 1,4208 e 1,4647 - Punto eboll. medio: 124° e 203° - Temper. di distill. a cc 1: 41° e 57°, finale: 231° e oltre 300° - Rapporto gas/olio: 754 e 39099. (Dati del dott. G. Longo della Sez. Geologica, Rip. Chimico, della Direzione Mineraria dell'A.G.I.P.).



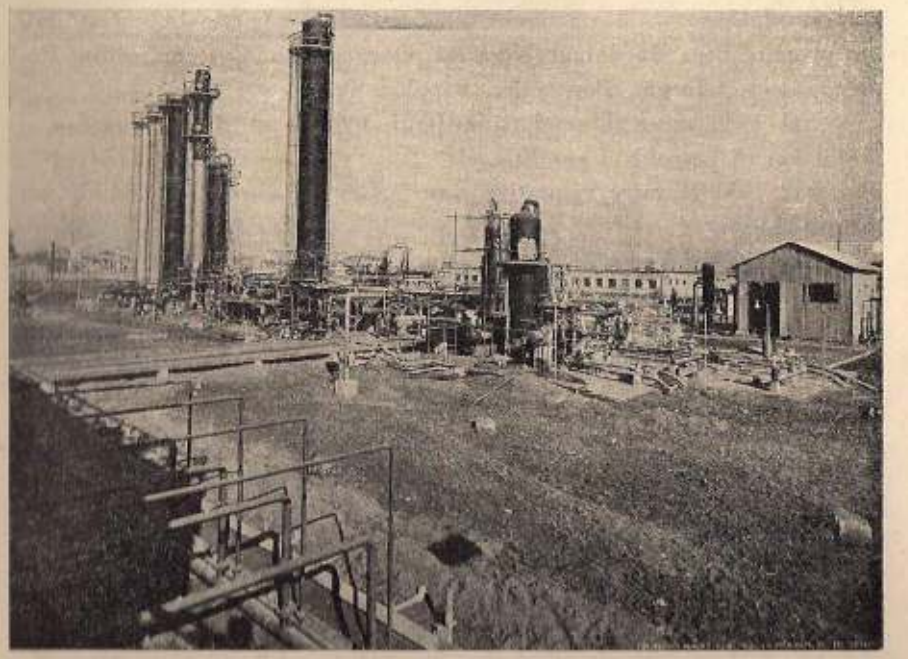


Fig. 61 - Impianto di degasolinaggio dell' AGIP a Cortemaggiore. Le «torri» viste di lato e di scorcio. (Torre di disidrat., t. di lavaggio; torri di etanizz., propaniz., debutan., rettifica, purificazione).

(*Publifoto*)

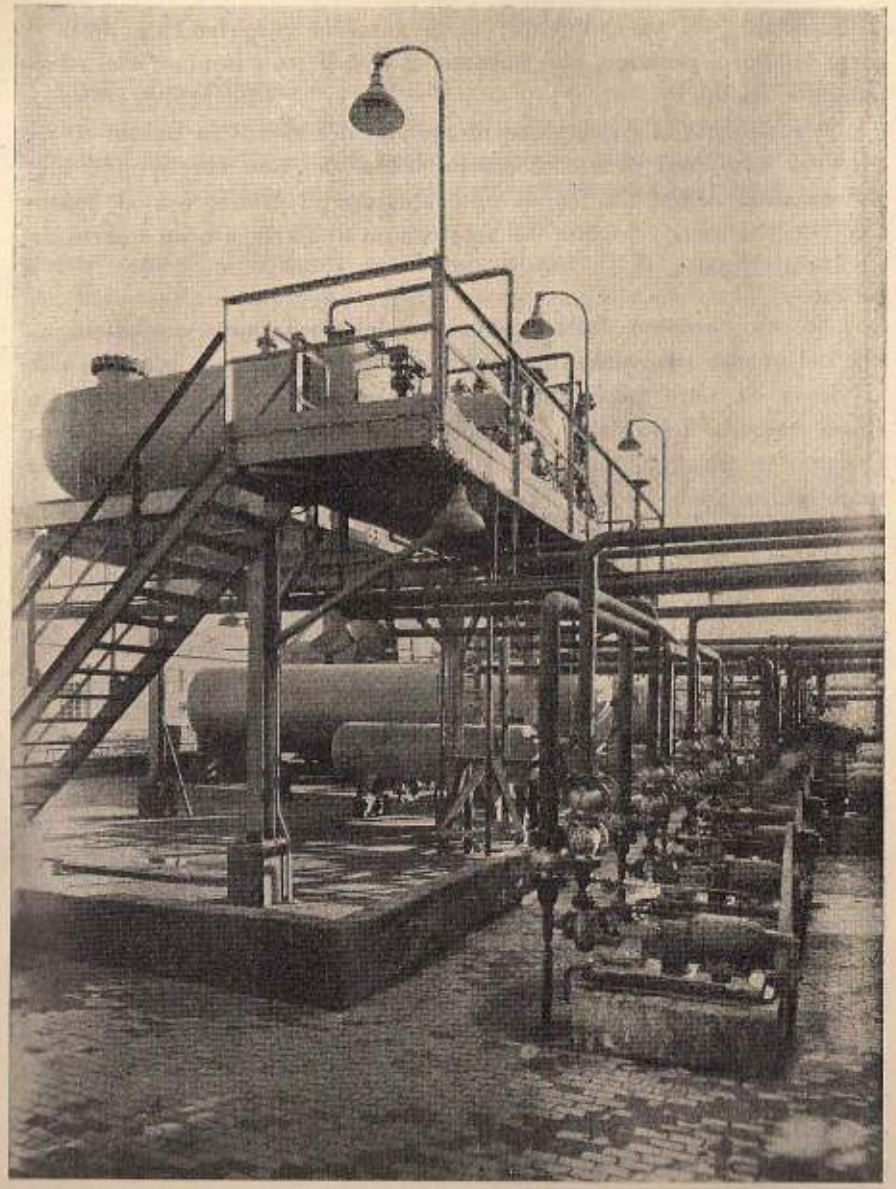


Fig. 62 - Impianto di degasolinaggio dell' AGIP a Cortemaggiore. Condensatori e scambiatori di calore.

(*Publifoto*)

di gasolina (più precisamente: metà *gasolina* propriamente detta e metà *butano* e *propano*, che formano il così detto « *liquigas* » ora largamente usato).

Attualmente la produzione di metano dei campi in parola si aggira sui 4 milioni di mc al giorno, cifra che non corrisponde alla potenzialità, ormai da tempo notevolmente superiore, ma al consumo. Oltre la metà è fornita dal solo campo di Caviaga e un quarto da quello di Ripalta.

Se ora passiamo dalla produzione della sola zona esaminata — che nel quadro nazionale tiene tuttavia il primo posto — a quella che si ricava da altre zone (anche Italia Centrale e Meridionale) della stessa Azienda dello Stato e si aggiungono le produzioni della Bassa Padana, in massima parte dell'Azienda Metanodotti Padani (nella quale entra anche lo statale Ente Nazionale Metano), la quale per l'esercizio 1950-51 figura con circa 210 milioni di mc, e quelle della Società Petrolifera Italiana, della Società Idrocarburi Nazionali (S.I.N.) di Firenze, della Petroli d'Italia e di altre assai minori, si ottengono i seguenti valori [1]:

Produzione 1°-VII-1950 — 30-VI-1951	*Petrolio* Tonn.	*Gasolina* Tonn.	*Metano* Migl. di mc.
AGIP, ed Ente Nazionale Metano solo pel gas	6.367,6	2.755,6	521.234
Medi e piccoli produttori Bassa Padana	—	—	210.291
Altri produttori	4.247,5	471,8	14.018
Totali	10.615,1	3.227,4	745.543

Come si vede, la produzione petrolifera italiana è sempre estremamente esigua e l'apporto più recente finora venuto da Cortemaggiore, se già nella seconda metà del 1951 ha avuto un notevole incremento (quasi tre volte quello del primo semestre) così da consentire favorevoli previsioni pel futuro, non presenta tuttavia ancora le caratteristiche da giustificare la convinzione che sia prossimo un balzo

[1] Li riproduco da una tabella di Alfredo Giarratana, riportata nella sua memoria *Il Metano e le sue applicazioni*, Scienza e Lavoro, Brescia, 1952. Pel gas le cifre sono della produzione « utilizzata », perché quella realmente erogata dai pozzi, secondo Giarratana, è stata 759 milioni di mc.

produttivo tale da cambiare radicalmente la nostra situazione in fatto di petrolio.

Ben diversamente è invece avvenuto pel metano, la cui produzione è salita con grande rapidità ad alte quote, sicché si è già affermata come un fattore di reale e cospicua importanza per l'economia nazionale, nello stesso tempo che, dagli elementi di fatto già acquisiti e da quelli che è giustificato presumere, si può ragionevolmente attendersi a breve scadenza risultati della massima portata per il potenziamento e il progresso tecnico ed economico di numerose nostre industrie.

Distribuzione ed utilizzazione del Metano.

Sono due aspetti la distribuzione e l'utilizzazione che si compenetrano, per modo che entrambi hanno nello stesso tempo funzioni di causa ed effetto.

Utilizzazione di carattere veramente industriale ebbe il metano da prima come carburante per l'autotrazione e ne diede l'impulso originario, come accennato, la deficienza di benzina del periodo delle « sanzioni » circa 3 lustri or sono [1]. La distribuzione avveniva, in alcune stazioni di rifornimento, a mezzo di « bombole » [2].

L'aumento della produzione e l'estensione dell'impiego del metano a tanti altri scopi ha dato sviluppo a un altro mezzo di trasporto, quello con tubazioni. Così in pochissimi anni si è costituita una rete di metanodotti, che aveva già raggiunto i 1000 km al principio del 1950, per superare i 1500 nel 1951 ed è in continuo aumento (fig. 63), soprattutto ad opera dell'AGIP e delle sue associate (SNAM, Società Nazionale Metanodotti e AMP, Azienda Metanodotti Padani).

Il sistema dei gasdotti in esercizio dell'Azienda statale misura km 1267, con una capacità complessiva di 9,5 milioni di mc al giorno.

[1] Dei pionieri va ricordato l'ing. Uco Baldini, l'entusiasta decano dei « metanieri » italiani.

[2] Le bombole per quanto ora costruite in leghe speciali (es. acciaio al cromo-nichel-molibdeno) onde diminuirne il peso rispetto alle prime, ch'erano formate solo di acciaio, rappresentano per le vetture comuni un carico eccessivo; non così per gli autocarri. Nelle bombole il gas viene compresso a 200 atm., sicché ciascuna può contenerne una decina di mc, il cui rendimento equivale a quello di circa 12 litri di benzina. Per l'uso, la pressione viene ridotta a quella normale, a mezzo di appositi « riduttori », in modo da poter ottenere la miscela gas-aria richiesta pel funzionamento del motore.

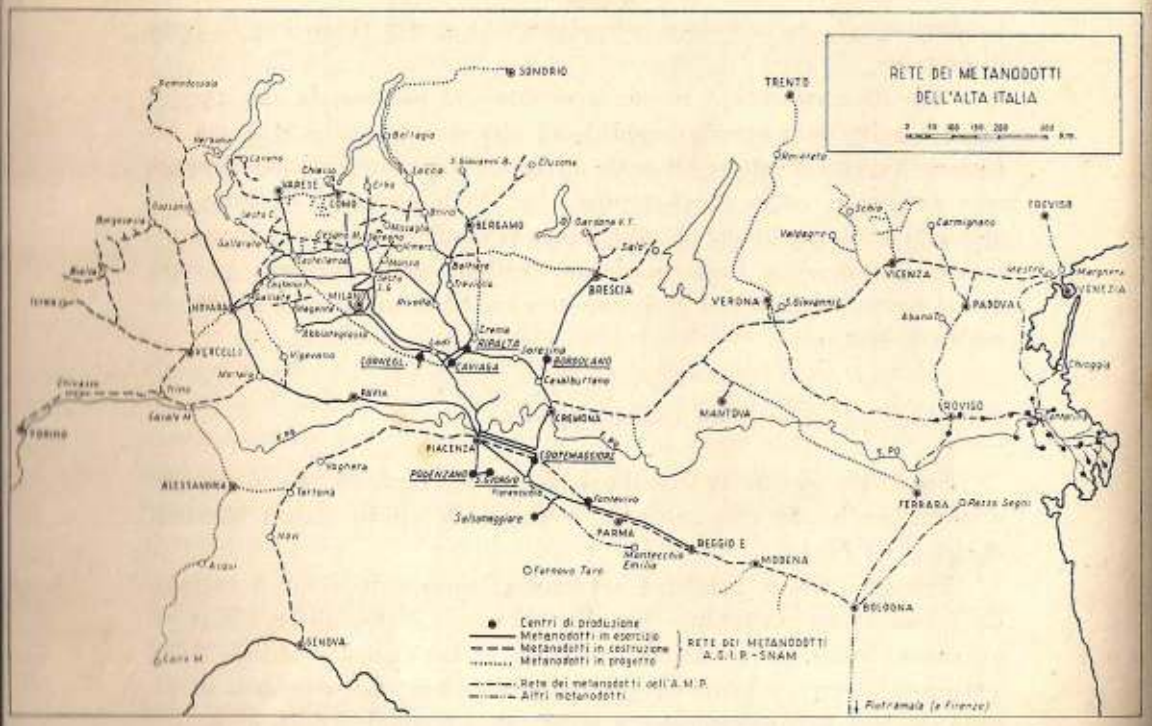


Fig. 63 - Rete dei metanodotti in esercizio, in costruzione e in progetto.

Le tubazioni d'acciaio variano da cm 48 a 27 le massime, 26 a 16 le medie e sotto i 16 cm le minime. Sono in costruzione altri 2000 km e progettati oltre 1300 km. La rete complessiva, a costruzione ultimata, verrà a totalizzare km 4655 (fig. 282) con potenzialità di portata giornaliera di 23 milioni di mc di metano.

Il gas dei giacimenti lombardi ed emiliani esce dai pozzi con pressione da 100 a 140 atm. Per essere immesso nelle condutture deve essere decompresso a 60 atm. Invece quello della Bassa Padana deve essere compresso per portarlo a tale pressione, se avviato pei metanodotti. In ogni caso il gas che viene messo nelle bombole dev'essere, com'è noto, portato a 200 atmosfere.

A parte il consumo del metano nell'autotrazione, consumo che dal tempo, in cui era questo quasi l'unico impiego, è andato fortemente salendo, si sono sviluppati, coll'enorme aumento della produzione e colla convenienza tecnica ed economica, l'uso di detto gas per riscaldamento domestico, ma soprattutto per le industrie: chimiche,

metallurgiche, termoelettriche, alimentari, tessili, della carta, del vetro, dello zucchero, dei laterizi ecc.[1]

Se si pon mente che da 1 mc di metano si ha un rendimento paragonabile a kg 1,5 di buon carbon fossile e l 1,25 di benzina, si ha subito la misura dell'importanza che per l'economia nazionale rappresenta l'impiego già in atto di quasi 4,5 milioni di mc al giorno (forniti dall'insieme dei produttori), che in un anno ci risparmiano l'importazione di oltre 2 milioni di tonnellate di carbon fossile, con la prospettiva fondata che la cifra sarà notevolmente superata in un avvenire assai vicino, nel quale si confida che debba aggiungersi un sensibile apporto anche in fatto di prodotti liquidi, gasolina ed olio greggio.

I risultati già conseguiti e quelli che è ragionevole attendersi a breve scadenza, mentre rappresentano il migliore compenso per quanti hanno dedicato durante molti anni la loro attività a un problema così interessante per la Nazione, sono ancora un esempio che anche in questo campo il successo arride solo a chi ha più fede e più tenace costanza.

Del resto i grandiosi successi delle ricerche petrolifere di alcuni paesi, tipicamente del Medio Oriente e del Venezuela, sono stati raggiunti dopo vari anni di infruttuose ricerche.

Conclusione. — Abbiamo passato in rapidissima rassegna le varie regioni italiane in quanto presentano allo stato delle nostre conoscenze e per le presunzioni che su queste si fondano un interesse più o meno rilevante. La vastità della materia ci ha consentito di fare poco più d'una presentazione e d'un abbozzo orientativo sui problemi regionali riportati nell'ambito del problema generale. Abbiamo visto che in una sola regione, quella nordappenninica-padana, studi, esplorazioni e ricerche sono ad un grado ben più avanzato che in tutte le altre e che i risultati — finora per quanto riguarda la produzione di gas — hanno già raggiunto quote veramente di primaria importanza industriale ed economica.

Anche dal punto di vista strettamente geologico i numerosi sondaggi eseguiti in detta regione hanno già fruttato una ricca messe di

[1] V. per dettagli e ulteriori dati su tutta la materia: E. Mattei, *Alcune notizie sulla produzione degli idrocarburi e sui metanodotti italiani*, 1951; AGIP, *Il metano e il suo impiego come combustibile industriale*, 1951. Inoltre la già citata monografia sul Metano di A. Giarratana.

elementi di grande interesse e di notevole significato. Non possiamo tuttavia nasconderci che vari punti sono ancora oscuri, ad es. per ciò che si riferisce ai rapporti tettogenetici e stratigrafici, soprattutto tra il rilievo appenninico e le strutture sepolte, e, subordinatamente, tra queste e il rilievo alpino, nonché per quanto concerne l'origine, i movimenti e la localizzazione degli idrocarburi di varia natura e costituzione, che caratterizzano i singoli campi o i diversi orizzonti di uno stesso campo.

L'intenso ritmo, col quale l'Azienda di Stato procede per completare le prospezioni geologiche e geofisiche e sviluppare i lavori di esplorazione e di ricerca, fa ritenere che si possa giungere presto a chiarire tutti i principali problemi, concorrendo ognor più a conseguire quegli ulteriori risultati altamente favorevoli, che già da ora ci sembra giustificato prospettarci per un vicino futuro.

Per le altre regioni d'Italia gli studi sono ad uno stadio ancora arretrato e ben poco soccorrono i dati di fatto forniti dalle esplorazioni meccaniche, troppo scarse rispetto alla vastità delle aree e per lo più, se non sempre, di inadeguata profondità. Resta quindi troppo libero il campo alle speculazioni. Comunque, con questa riserva, si rileva che generalmente si è scettici sulle *possibilità in scala industriale*, tanto per gas che per olio, della massima parte del rilievo appenninico. Le presunzioni sono per contro piuttosto ottimistiche riguardo alle « fosse d'avampaese » e a qualche tratto marginale esterno delle fosse medesime (es. Sicilia sud-est).

Come s'è visto, la tettonica dell'Appennino è infatti per lo più assai movimentata e inoltre per vaste aree ancora discussa nell'interpretazione genetica delle sue caratteristiche fondamentali. S'aggiunga che alcune regioni si differenziano profondamente dalle altre, in dipendenza dalle facies predominanti, alle quali fanno riscontro stili tettonici tipicamente diversi. Ma nette diversità di facies si presentano anche fra complessi che s'alternano a costituire l'ossatura di una stessa regione, il che complica naturalmente ancor più le condizioni strutturali. Pertanto le aree che appaiono o risultano indiziate dovrebbero essere studiate col massimo dettaglio, secondo gli svariati metodi, dei quali s'è data notizia nei primi capitoli e che ora s'impongono soprattutto al geologo del petrolio. Ma si deve poi coraggiosamente saggiare alcuni punti con *sondaggi profondi*, tali cioè da risolvere, se possibile, i dubbi che altrimenti continueranno a gravare sulle prospettive — favorevoli o meno — di alcune regioni. Questo

dicasi, ad es., degli Abruzzi, della Val Latina e di qualche area dell'Italia meridionale e della Sicilia.

Per la Sicilia sembra però che gli studi e le prospezioni siano ormai ad uno stadio assai avanzato e si attende quindi che abbia presto inizio l'esplorazione meccanica, con mezzi più efficienti di quelli di cui si poteva disporre anni addietro, come più sopra ho riferito.

Del resto anche in altre regioni, oltre alla Sicilia, si sono ripresi gli studi e le esplorazioni — e ne abbiamo accennato a suo luogo — sicché è lecito sperare che tutto questo fervore di ricerche, evitando, dopo l'esperienza del passato, dispersioni di mezzi e di lavoro, possa finalmente condurre alla tanto attesa soluzione del nostro problema petrolifero.

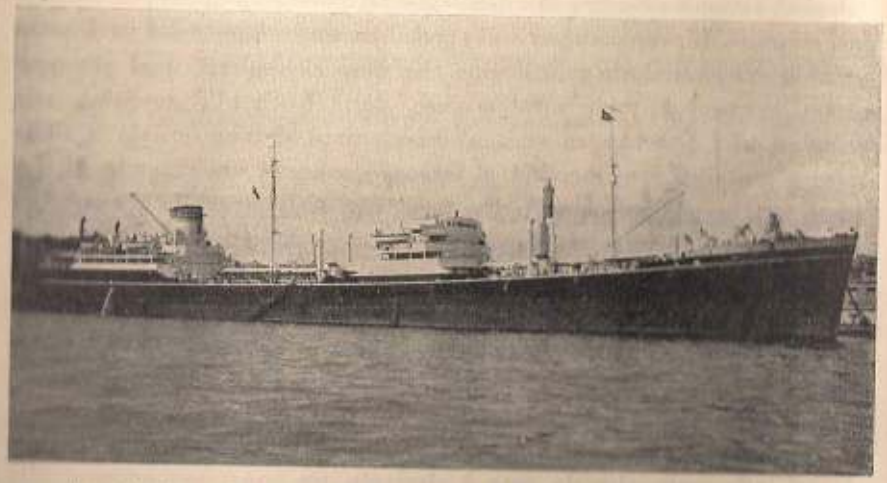


Fig. 64 - La « Sergio Laghi », petroliera da 14.582 tonnellate dell'AGIP.

FLOTTA CISTERNIERA MONDIALE

Al 1° gennaio 1952 la flotta mondiale delle navi cisterna ha raggiunto 29.491.417 tonnellate di « portata lorda ». Il primo posto è tenuto dalla bandiera degli Stati Uniti con 7.071.824 tonn., seguono: Granbretagna: 6.831.237; Norvegia: 4.406.723; Panama: 2.822.134; Francia: 1.201.111; Italia: 1.043.049 ecc. (secondo le statistiche della ditta Davies and Newman, dalle quali sono escluse le petroliere di proprietà del governo degli Stati Uniti).

Capitolo Quinto

CONCLUSIONI GENERALI

Pur dall'estremamente concisa trattazione che abbiamo svolta nei primi tre capitoli, risulta quanto sia vasta e complessa la materia che riguarda la ricerca dei giacimenti di petrolio e, una volta scoperti, il loro razionale sfruttamento. S'è visto quale parte basilare abbia nelle diverse fasi la Geologia nei suoi vari rami stratigrafico, paleontologico, tettonico e come la « Geologia del petrolio » abbia sue particolari esigenze di preparazione e di specializzazione. Ma s'è del pari avuto un'idea del contributo multiforme che deve richiedersi, qual più qual meno, a quasi tutte le altre scienze, dalla fisica alla geofisica, alla chimica, alla geochimica ecc., ai vari campi dell'ingegneria e della tecnica metallurgica, meccanica, fototopografica e via dicendo. E, accanto agli specialisti scienziati e tecnici, è indispensabile disporre di maestranze addestrate ai compiti spesso assai difficili e che richiedono sovente in tutti, capi e gregari, coraggio e alto spirito di sacrificio non solo in particolari circostanze, ma anche in condizioni normali qualora ricerche e lavori si debbano svolgere in ambienti fra i meno propizi, dalle gelide regioni artiche, ai torridi deserti allucinanti, alle insidiose e malsane jungle tropicali.

Considerata la ricerca petrolifera da un punto di vista generale, si può affermare che da essa è derivato un progresso enorme alle scienze geologiche e ad altre scienze, nonché a numerosi rami della tecnica, quale conseguenza della competizione fra stati e compagnie per assicurarsi e sfruttare le zone produttive e scoprirne di nuove.

Se ora diamo uno sguardo alla produzione petrolifera dei vari paesi e addizioniamo le cifre singolarmente per essi citate, otteniamo pel 1950 un totale nientemeno che di *seicento milioni di metri cubi*, quantità che supera di ben 58 milioni quella del 1948.

Non è facile concepire appieno la grandiosità di tale volume. Si può averne forse un'idea, immaginando di distribuire tutto questo petrolio in fusti lunghi un metro e della capacità di un barile (litri 158,98) e considerando che ne risulterebbe una così fantastica teoria da ricingere la Terra per oltre 93 volte!

A questa immane produzione si è giunti dopo aver perforato

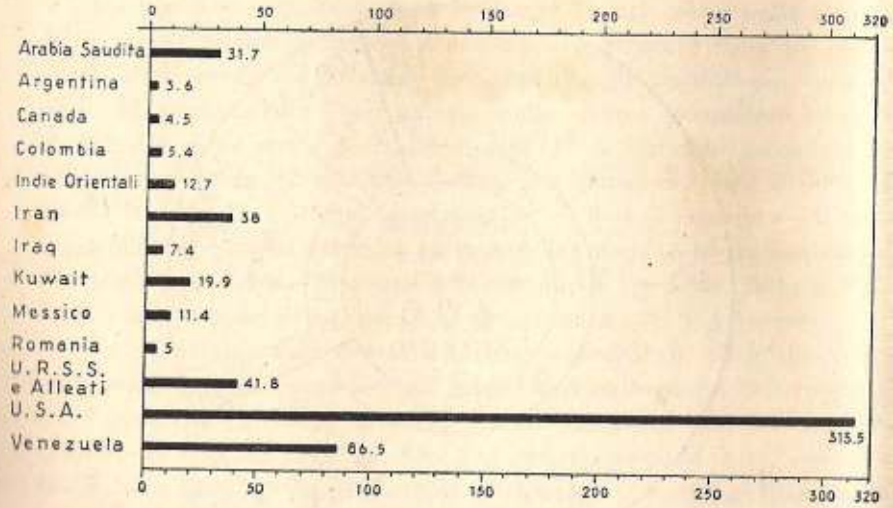


Fig. 65 - Produzione di petrolio dei principali paesi nel 1950, in milioni di metri cubi.

qualche milione di pozzi, dei quali circa mezzo milione è oggi attivo e il 90% si trova negli Stati Uniti. Questi, come indica il grafico della fig. 65, hanno la più alta produzione complessiva in valore assoluto, ma come percentuale (fig. 66) sono scesi in un paio d'anni di circa 8 punti, per l'incremento che nello stesso periodo si è verificato in altri paesi (soprattuto nel Medio Oriente e nel Venezuela). La preminente ed ingente produzione statunitense è mantenuta dal *numero* dei pozzi, poiché la produzione media di ciascuno è invece fra le più basse. Perciò se ne scavano da 30 a 40 mila all'anno. Ma negli ultimi anni gli Stati Uniti, come tanti altri paesi in condizioni di farlo, hanno dato grande impulso all'utilizzazione anche del gas che viene portato dai centri di produzione anche ad enormi distanze (es. dal Texas SE a Nuova York, cioè 3000 km) e distribuito con una rete di metanodotti che supera i 400 mila km di sviluppo.

Ora, se si tien conto dell'alto costo degli impianti di perforazione, con tutta la relativa attrezzatura (centinaia di milioni di lire) e dell'esecuzione dei sondaggi, costo aggravato dalla forte percentuale di pozzi sterili, e delle spese occorrenti per estrazione, trasporto, raffinazione dei prodotti ecc., si comprende subito che dietro all'organizzazione scientifica e tecnica, sta un'altra formidabile organizzazione finanziaria ed industriale e che sono quindi in gioco capitali che raggiungono cifre astronomiche. Lì manovrano pochi potentissimi orga-

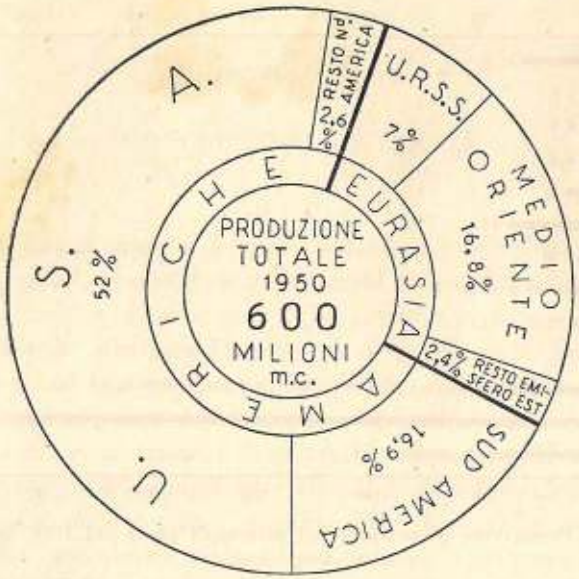


Fig. 66 - Ripartizione percentuale della produzione del petrolio nel 1950.

nismi, ai quali fan capo, a guisa di satelliti, numerosissimi altri minori. E sono i pochi grandi che preparano, sviluppano e dirigono, spesso nel segreto, le aspre battaglie per l'accaparramento e lo sfruttamento dei campi petroliferi noti e per la scoperta e il possesso di nuovi giacimenti.

Gli è che il petrolio è oggi materia prima indispensabile in pace e in guerra per la vita delle nazioni, come il sangue lo è pel nostro organismo, e il consumo cresce ogni giorno più con ritmo incredibile. Ciò è conseguenza, sia dell'aumento delle popolazioni e della diffusione delle comodità del viver civile, sia dell'incessante evoluzione e sviluppo delle utilizzazioni, non solo dei liquidi ma anche degli idrocarburi gassosi. A parte le applicazioni meccaniche e termiche, essi costituiscono infatti una sorgente inesauribile di prodotti che hanno proprietà e impieghi i più disparati, che sono ormai varie migliaia e comprendono gomme sintetiche, sostanze plastiche, tessili, medicinali, cosmetiche, fertilizzanti, chimiche d'ogni sorta... Ecco, perché, se anche un giorno il petrolio dovesse essere soppiantato come fonte d'energia, troppe materie esso offre già alla tecnica, all'industria, alle necessità e ai comodi della vita, perché ne abbia a cessare la ricerca e la produzione.

Ma fino a quando dureranno le riserve ancora celate nelle viscere della Terra? L'enorme crescente consumo ha ripetute volte in questi ultimi anni messo in allarme specialmente gli statunitensi, poiché c'era chi preconizzava l'esaurimento delle risorse petrolifere entro i confini del paese entro pochi anni. Nel '49 si facevano ascendere le riserve mondiali a 12 miliardi di mc, attribuendone oltre il 40% al Medio Oriente. Se la stima fosse esatta e — ipotesi assurda — il consumo odierno restasse costante, tutto sarebbe esaurito in un ventennio. Ma come non si sono avverate le catastrofiche previsioni fatte per gli Stati Uniti anni addietro, non si avvereranno quelle più recenti.

Devesi infatti tener conto delle riserve probabili, oltre alle riserve provate (già cresciute per gli Stati Uniti nelle stime più recenti), e del fatto che vastissime aree nei diversi continenti sono ancora inesplorate (v. cartine alla fig. 43). Le recenti scoperte nel Canada e nel Kuwait sono assai significative al riguardo. S'aggiunga che anche i ritrovamenti subacquei in corrispondenza alla piattaforma continentale (es. California e Golfo del Messico) aprono nuove prospettive, se si considera che l'area totale delle piattaforme è valutata un dodicesimo della superficie oceanica, il che ha portato a stimarne le riserve a 80 miliardi di mc (Mercer Parks della Humble Oil and Refining Company). Né può dimenticarsi che la tecnica delle perforazioni, in continuo progresso, consente di attingere ad orizzonti di petrolio o di gas di maggiore profondità rispetto a qualche anno addietro, sicché già si moltiplicano i pozzi profondi oltre 4000 m. Negli Stati Uniti il più profondo *produttivo* (nel Miocene), eseguito nel 1951 nella Luisiana Sud, ha trovato olio a m 4674 (Oil and Gas Journ. - Jan. 28, 1952). Va infine tenuto presente che si sono ideati e potenziati nuovi metodi per aumentare la resa dei pozzi in coltivazione e il ricupero dai giacimenti che si consideravano esauriti, con risultati veramente notevoli.

Si può dunque concludere che è ben lontano il giorno in cui il vasto e complesso sistema capillare dell'epidermide di nostra madre Terra sarà completamente inaridito e non soddisferà più l'insaziabile sete del prezioso liquido che oggi tormenta l'Umanità, cui ha elargito il dono di realizzare l'antichissimo sogno del volo, tramandatoci dai miti e dalle figurazioni religiose.

BIBLIOGRAFIA SUL PETROLIO

1. — Trattati e Pubblicazioni di carattere generale

Abdullah C., *Notions de photogrammetrie terrestre et aérienne.* I. Baillière, Paris, 1932.

Agout Marthe, *Bibliographie du Pétrole.* Standard franç. d. Pétroles. Gauthier-Villars, Paris, 1949.

Alexanian C. L., *Traité pratique de prospection géophysique.* Beranger, Paris 1932.

Americ. Assoc. Petrol. Geologists, *Structure of typical American Oil Fields.* (A Symposium), Chicago, 1929.

— *Problems of Petroleum Geology.* Menasha (Wisconsin). Repr., 1949.

Baeschlin und Zeller, *Lehrbuch der Stereophotogrammetrie.* Zürich, 1934.

Bentz A. (ed altri Autori), *Erdöl und Tektonik in Nordwestdeutschland.* Sammelband, Celle, 1949.

Billings M. P., *Structural Geology.* Prentice-Hall, New York, 1947.

Boaga G., *Tratt. di Geodesia e Topogr. con elementi di Fotogrammetria.* Cedam, Padova, 1948.

Brantly I. E., *Rotary drilling handbook.* 4th ed. Palmer, New York, 1948.

Brown C. B. and Debenham, *Structure and Surface. A book of field Geology.* Arnold, London, 1929.

Caioli L., *Tecnologia della perforazione.* Hoepli, Milano, 1951.

Canavari M., *Manuale di Geologia tecnica.* Nistri, Pisa, 1928.

Cassinis G., *Fotogrammetria.* Encicl. Ital., Milano, 1932.

— *Il fotostereografo Nistri.* Min. Aeron., Roma, 1934.

Cassinis G. e Solaini L., *Lezioni di Fotogrammetria* ecc. Milano, 1939.

Chenevart Ch., *Bref aperçu du probl. tecton. que posent les fractures de distension en géologie du pétrole.* Ecl. geol. Helv., XLIII, 1950.

Chombart de Lauwe P., *Photographies aériennes.* A. Colin, Paris, 1951.

De Golyer E. and Others, *Geology of Salt Dome Oil Fields.* A.A.P.G., Chicago, 1926.

De Martonne E., *Géographie aérienne.* A. Michel, Paris, 1947.

Desjardins L., *Techniques in Photogeology* (con bibl.). Bull. A.A.P.G. 34, Dec. 1950.

Dore P., *Fondamenti di Fotogrammetria.* Zanichelli, Bologna, 1938.

Dunstan, Nash, Brooks, Tizard (Edit.), *The Science of Petroleum.* Vols. 4. Oxford Univ. Press., London, 1951.

Eardley A. J., *Aerial Photographs: Their use and interpretation.* Harper, New York, 1942.

Elles Geltrude L., *The study of geological maps.* Cambridge, University Press., 1931.

Emmons W. H., *Geology of Petroleum.* 2.d ed. McGraw-Hill, New York, 1931.

Fabiani R., *Problemi e metodi della ricerca petrolifera.* « La Ricerca Scientifica », A. 20. C.N.R., Roma, 1950.

Foot P. D., *The discovery of an oil field.* Proc. Am. Phil. Soc. 92, N. 1, 1948.

Fulcheris G., *Corso di Geofisica Mineraria* (lito). Edito Univ. Torino, 1949.

Grueber O. (v.), *Traité de Photogrammetrie aérienne et terrestre.* Lausanne, 1931.

Hagen T., *The use of ground Photogrammetry for large scale geological mapping.* Mitt. Geodät. Inst. n. 2, Zürich, 1948.

Hager D., *Practical Oil Geology.* 6th ed. McGraw-Hill. New York, 1951.

Heiland C. A., *Geophysical exploration.* Prentice-Hall, New York, 1946.

Helbling R., *Studies in Photogeology.* (With contrib. by Baeschlin C. F., Haerry H., Krebs J.). Füssli, Zürich, 1949.

Hurault J., *Manuel de Photogrammetrie.* Inst. Géogr. Nat., Paris, 1949.

Jakosky J. J., *Exploration Geophysics.* Times Monor Press, Los Angeles, 1940.

Jouan R., *Le pétrole roi du monde.* Payot, Paris, 1949.

Jung J., *Principes de géologie du pétrole.* Beranger, Paris, 1935.

Lalicker C. G., *Principles of Petroleum Geology.* Appleton-Century-Crofts, New York, 1949.

Landes K. K., *Petroleum Geology.* J. Wile & Sons, New York, 1951.

Lees G. M., *Some struct. and stratigr. aspects of the oilfields of the Middle East.* XVIII, Geol. Intern. Congr., London, 1948.

LeRoy L. W., *Subsurface Geologic Methods* (A Symposium). 2.d ed. Color. School of Mines, Golden, 1950.

Macovei G., *Les gisements de pétrole.* Masson, Paris, 1933.

Marchesini E., *Osservaz. geologica dall'aereo.* (Aspetti legati alla natura degli affioram. nel basso Appennino bolognese). L'Universo, Firenze, 1940.

Mayor Y., *Combustibles liquides et gazeux natureles.* Presses docum., Paris, 1950 (con bibliogr.).

Migaux L., *Une méthode nouv. de Géoph. appliquée: la Prospection par courants telluriques.* Ann. de Géophysique II, 1946.

— *Quelques exemples d'applic. de la méthode tellurique.* XVIII, Congr. Géol. Intern., Londres, 1948.

Nettleton L. L., *Geophysical prospecting for oil.* McGraw-Hill, New York, 1940.

Nicolesco C. P., *Gisements pétrolifères de l'Irak.* Paris, 1933.

Nistri U., *La méthode de relévem. aerophotogramm. « Nistri » dans ses applications pratiques.* Roma, 1929.

— *La fotogrammetria nella sua applicazione pratica e nei suoi sviluppi futuri.* (Conferenza). Roma, 1948.

— *I problemi della restituz. fotogramm. autografica* ecc. Riv. Catasto, Roma, 1950.

Oulianoff N., *Les problèmes des tectoniques superposées et les méthodes géophysiques.* Bull. Lab. Géol. Univ., Lausanne, 1949.

— *Gravimètre et structures géologiques.* Ibid, 1951.

Pirson S. J., *Elements of oil reservoir engineering.* McGraw-Hill, New York, 1950.

Pratt W. E. and Good D., *World Geography of Petroleum.* Am. Geogr. Soc. Princeton Un. Pr., 1950.

Poldini E., *La prospection électrique du sous-sol.* Rouge, Lausanne, 1947.

Rothé E. et Rothé J. P., *Prospection Géophysique.* Paris, Gauthier-Villars, 1951 e 1952.

Russell W. L., *Principles of Petroleum Geology.* McGraw-Hill, New York, 1951.

Santoni E., *Dalla fotogrammetria terrestre alla fotogrammetria aerea.* L'Universo, XI, Firenze.
— *Fotogrammetria aerea.* Ibid. XII.
Stearns G., *Engineering Foudamentals* in *Modern Drilling.* Repr. from « Oil and Gas Journal », Tulsa, 1947.
Stille H. and Schlueter H., *European Oil and Gas occurences and their relationship to structural conditions.* A.A.P.G. XVIII, n. 6, 1934.
Tiratsoo E. N., *Petroleum Geology.* Methuen, London, 1951.
Torin E., *Aerial Maps.* Their Manifacture and Application. San Antonio, Texas, 1951.
Uren L. Ch., *Petrol. Produc. Engineering. Oil Field Development.* 3d ed. McGraw-Hill, New York, 1946.
Volla F. e Porro F., *Fotografia aerea negli usi civili e militari.* Hoepli, Milano, 1932.
Ver Wiebe W. A., *North American and Middle East Oil Fields.* Wichita (Kansas), 1950.
— *How Oil is Found.* Ibid, 1951.
Zaba J. and Doherty W. T., *Practical Petroleum Engineer's Handbook.* Gulf Publish. Co, Houston, 1949.
Zobell C. E., *The role of Bacteria in the format. and transform. of petrol. hydroc.* Science, CII, 1945.
— *Bacterial activities and the origin of oil.* « World Oil », June, 1950.

Periodici e Riviste

— *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists.* Tulsa (Oklahoma).
— *Erdöl und Kohle.* Hanburg.
— *Geophysics.* Journ. of the Soc. of Expl. Geophysicists, Houston (Texas).
— *Journal of Paleontology e Journ. of Sediment. Petrography.* Soc. of Econ. Paleontologists and Mineralogists, Tulsa.
— *Oil and Gas Journal.* Tulsa.
— *Petroleum.* L. Hill, London.
— *Revue de l'Institut Français du Pétrole.* Baillière, Paris.
— *The Petroleum Engineer.* Dallas (Texas).
— *The Petroleum Times.* London.
— *World Oil.* Houston.

Vedansi anche i volumi relativi ai *Congressi Geologici Internazionali* e al *Congresso Mondiale del Petrolio.*

2. — Pubblicazioni interessanti l'Italia

1. Anelli M., *Tettonica dell'Appennino parmense e reggiano.* B.S.G.I., XLII, 1924.
2. — *Sul comportamento tettonico delle argille scagliose nell'Appennino emiliano.* Atti Acc. Naz. Lincei, XXXII.
3. — *Contributo alle ricerche petrolifere nell'Appennino emiliano.* La Miniera Ital., IX, 1926.

4. — *Ricoprimento di terreni pliocenici nell'Appennino reggiano.* Atti Acc. Naz. Lincei, IV, 1932.
5. — *Cenni geologici sulla regione collinosa fra il F. Secchia e il T. Tiepido.* AGIP, Roma, 1933.
6. Baldacci L., *Descr. geol. dell'Isola di Sicilia.* Mem. descr. carta geol. It., I, Roma, 1886.
7. Behrmann R. B., *Die Faltenbögen d. Apenn. und ihre Palaeogeogr. Entwicklung.* Abh. Ges. Wiss. zu Göttingen., Berlin, 1936.
8. — *Appunti sulla geologia della Sicilia Centro-Meridionale.* Cuggiani, Roma, 1938.
9. — *Geologie und Erschliessung der Erdölvorkommen Italiens.* Oel und Kohle, XXXVI, Berlin, 1940.
10. Belluigi A., *Sulla ricerca geofisica del petrolio in Italia.* Ind. Miner., III, 1929.
11. — *Contributo della geofis. agli studi petroliferi dell'AGIP.* Proc. World Petr. Congr., London, 1933.
12. Beneo E., *Le zone strutt. e le possib. petrol. della Valle Latina* (Lazio). B. R. U. G. d'It., LXVII, 1942.
13. — *L'interpr. stratigr. e tettonica della serie mioc. in Valle Latina* (Lazio). B. S. G. I., LXIV, 1945.
14. — *Le possibilità petrolifere della Sicilia nel quadro di una più realistica interpret. della tettonica Ital.* B. Serv. Geol. It., LXXII, Roma, 1951.
15. Bonarelli G., *Le regioni petrolifere italiane.* La Miniera ital., XIII e XIV, 1929 e 1930.
16. Camerana E. e Galdi B., *I giacimenti petroliferi dell'Emilia.* Mem. Descr. Carta Geol. Italia, XIV, Roma, 1911.
17. Camerana E., Cortese E., Crema C., Lotti B., Porro C., Sacco F., Stella A. ed altri, *Studi per la ricerca del petrolio in Italia.* Mem. Descr. Carta Geol. It., XX, Roma, 1926.
18. Crema C., *Esistono carreggiamenti nei dintorni di Tramutola in Basilicata?* B.R.U.G., 1925.
19. Dalloni M., *Sur la géologie comparée des zones petrolifères de l'Apennin et de l'Atlas.* B.S.G.I., XLII, 1923.
20. D'Erasmo G., *Il petrolio nell'Italia merid.* Riv. Fis. Mat. e Sc. N. II, Napoli, 1928.
21. Di Napoli Alliata E., *La Micropal. applicata allo studio dei probl. geopetrol. della Pianura Padana.* « Metano » n. 12, Padova, 1948.
22. — *Contributo alla conosc. della stratigr. del Pliocene e del Calabriano nella reg. di Rovigo.* Riv. It. Paleont. V, 52, Milano, 1948.
23. — *Foraminiferi pelagici e facies in Italia.* VII Conv. Naz. Metano e Petrolio, IRES, Palermo, 1952.
24. Fabiani R., *Cenni su alcune particol. della strutt. geol. del territ. di Bivona* (Girgenti) *in rapp. alla pres. di affior. petroliferi.* Boll. Ass. Min. Sic. 7, Palermo, 1925.
25. — *Sulla geologia degli idrocarburi della Sicilia anche in rapporto colla formazione degli solfi.* La Miniera Italiana, n. 8, Roma, 1927.
26. — *I giacimenti asfaltiferi del Ragusano.* Nuovi Ann. dell'Agric., Roma, 1929.
27. — *Idee sulla proven. degli idrocarb. di Sicilia.* XV Intern. Geol. Congr. II, Pretoria, 1930.

28. — *Analogie tettoniche fra la Sicilia e la Tunisia.* Ibid.
29. — *Relaz. sull'esplor. geofisica regionale della Sicilia eseguita nel triennio* 1929-1931. Boll. Ass. Min. Sic., VIII, n. 1-2, Palermo, 1932.
30. — *Risultati delle mie ricerche geol. in Sicilia nel periodo* 1925-1932. Boll. Ass. Min. Sic., VIII, n. 9-12, Palermo, 1932.
31. — *Il problema petrolifero della Sicilia.* «Realtà», Milano, 1937.
32. — *La prospezione geologica e geofisica del Petrolio in Italia.* Parte I. *Prospez. Geologica.* R. Acc. Naz. Lincei, Roma, 1937.
33. — *Ciò che dà il sottosuolo di Sicilia.* Bellotti, Palermo, 1938.
34. — *Sulle manifestazioni d'idrocarburi gassosi della Sicilia.* II Convegno Naz. Metano, Bologna, 1939.
35. — *Gli idrocarburi gassosi naturali in Italia e loro importanza.* R. Acc. d'Italia. Ser. VII, v. II, Roma, 1941.
36. — *Sguardo sugli studi e sulle ricerche di idrocarburi in Sicilia dal principio del secolo al 1945.* VII Conv. Naz. Metano e Petrolio. I.R.E.S., Palermo, 1952.
36 bis. — *Trattato di Geologia.* Ist. Graf. Tiberino, Roma, 1952.
37. Fabiani R. e Facca G., *Le scoperte di idroc. nella pianura padana e le prospett. nella pian. veneta centrale.* VII Conv. Naz. Metano, Padova, 1949.
38. Facca G., *Three gas-bearing fields in the Po Valley (N. Italy).* Proc. 3d World Petr. Congr., 1951.
39. Faleschini L., *Problems of Italian Hydrocarb. - Product. possib., requirem. and consumpt. of nat. gas.* Proc. 3d. World Petr. Congr., 1951.
40. Fossa Mancini E., *El fenomeno de Fontevivo.* Bol. Inform. Petrol. X, Buenos Aires, 1933.
41. Giarratana A., *Il Metano e le sue applicazioni.* Scienza e Lavoro, Brescia, 1952.
42. Gignoux M., *Alcune rifless. sulle condiz. dei giacim. dei petroli emiliani e sulla tettonica dell'Appenn.* B.S.G.I., XLI, 1921.
43. Gortani M., *Problemi aperti alla ricerca del petrolio in Italia.* Ediz. AGIP, Roma, 1937.
44. Greig D. A., *Descriz. geol. e cenni sullo sviluppo della Miniera di Vallezza.* S.P.I., 1937.
45. Grossi M., *Sulla ricerca del petrolio in Italia.* B.S.G.I., LVII, 1938.
46. Ineichen G., *Petrole, gaz naturels et asphaltes du géosynclinal adriatique.* 3me Congr. Mondial du Pétrole, 1951.
47. Jaboli D., *Le gaz et le pétrole dans la plaine du Po.* 3me Congr. Mond. Pétrole, 1951.
48. Lotti B., *Intorno al problema del petrolio in Italia.* B.S.G.I., XLII, 1923.
49. Maddalena L. e Parodi E., *Il petrolio in Italia.* Boll. Fed. Min. Ital., Roma, 1919.
50. Magnani M., *Osservazioni geologiche e morfologiche sull'isola di Stromboli.* L'Universo, XX, n. 11-12, Firenze, 1939.
51. Marchesini E., *Osserv. sul Terz. dei settori ad est e nord del gruppo del Monte Iudica.* B.S.G. It., LVI, Roma, 1937.
52. Martelli A., *Le ricerche petrolifere in Italia.* B.S.G.I., LII, 1933
53. Mattei E., *Il problema degli idrocarburi* (Conferenza). Milano, 1950.
54. — *Alcune notizie sulla produz. degli idroc. e sui metanodotti italiani.* Milano, 1951.

54 bis. Merla G., *Ricerche tettoniche nell'Appennino Settentr.* XVIII Congr. Geol. Intern. 1948. Parte XIII, Londra, 1952.
55. Migliorini C. I., *Sul modo di formazione dei complessi tipo macigno.* B.S.G. It., LXII, Roma, 1944.
56. — *Rapporti tra meccan. di sediment. ed idrocarburi con spec. riguardo al sottosuolo padano.* VI Conv. Naz. Metano, Padova, 1949.
57. — *Sunto geologico del sistema appenninico e gli idrocarburi.* VII Conv. Naz. Metano e Petrolio. IRES, Palermo, 1952.
58. Millosevich F., *Questioni di Petrolio.* S.I.P.S., XVI riun., Roma, 1925.
59. Novarese V., *I terreni petroliferi della Val Latina.* B.S.G.I., XLII, 1923.
60. — *L'origine profonda dei petroli dell'Appenn. centrale.* B.R.U.G., Roma, 1941.
61. Pera Ersilia, *Italian natural gas analysis.* 3d, World Petr. Congr., 1951.
61 bis — Ponte G., *Una grande eruzione di fango delle macalube di Aragona.* Boll. Com. Geod. e Geof. C. N. R. Roma, 1937.
62. Porro C., *Sulla ricerca del petrolio in Italia.* B.S.G.I., XLII, 1921.
63. Redini R., *La strutt. di Salsomaggiore ed i suoi riflessi sulle strutt. petrol. dell'Italia settentr.* Riv. Ital. Petrolio, n. 123, Roma, 1943.
64. Scicli A., *Le manif. di idroc. gassosi nella pianura Padana.* Riv. Ital. Petr., Roma, 1937.
65. Segre A., *Manifest. metanifere negli Abruzzi e nel Lazio.* Atti VI Conv. Naz. Metano, Padova, 1949.
66. Selli R., *Le conosc. geol. sul Quat. gassifero del Polesine e del Ferrarese Sett.* VI Conv. Naz. Metano, Padova, 1949.
67. Signorini R., *Condiz. geolog. dei giacimenti di metano nell'Appenn. settentr.* Roma, 1940.
68. — *Sulla tettonica dell'Appennino Romagnolo.* Serie VII, vol. I, R. Acc. d'Italia, 1940.
69. — *Le nuove conosc. stratigr. e tettoniche e le possib. petrol. dell'Appenn. Merid.* VII Conv. Naz. Metano e Petrolio, IRES, Palermo, 1952.
70. Sorrentino St., *Le macalube di Aragona.* B.S.G.I., XLIX, Roma, 1930.
71. Vinassa de Regny P., *Sui petroli siciliani.* La Miniera Ital., II, Roma, 1918.
72. Waagen L., *Die Erdölgebiete Oberitaliens.* Bohrtechn. Zeit. LIV, Wien, 1936.
73. Wiedenmayer C., *Zur Geologie des Bologneser Apennins zwischen Reno-und Idice-Tal.* Ecl. Geol. Helv. 43, n. 2, 1950.
74. Zuber S., *Manifest. e prospettive petrolif. dell'Italia alla luce degli accertamenti dell'ultimo trentennio.* AGIP, Roma, 1940 (con ricca bibliogr.).

Riviste e Pubblicazioni Periodiche

— *Rivista Italiana del Petrolio.* Roma.
— *La Rivista Italiana del Metano.* Roma.
— *Metano.* Ricerca, Produzione, Trasporto, Utilizzazione. Padova.
— Atti del «*Convegno Nazionale del Metano*», I a VII (1938-1952). (Il VII è intitolato: Conv. Naz. del Metano e del Petrolio).

INDICE GENERALE

PREFAZIONE . . . . . Pag. 5

PREMESSA . . . . . » 7

CAP. I. — DEFINIZIONE CARATTERI GENERALI DEL PETROLIO - GENESI . . » 8
Rocce madri - Rocce serbatoio - Migrazioni . . . . . » 13
Rapporti generali tra regioni petrolifere ed evoluzione geologica . » 19
Migrazione ed accumuli in funzione dei caratteri stratigrafici e tettonici - Trappole . . . . . » 21

CAP. II. — RICERCA DEI GIACIMENTI . . . . . » 31
Indagini geologiche . . . . . » 31
Prospezioni geofisiche, gravimetriche, geosismiche, geomagnetiche, geoelettriche . . . . . » 39
Esplorazione meccanica - Sistemi e apparecchi di perforazione . » 49
Fango di circolazione . . . . . » 56
Carotaggi meccanici - C. elettrici, radioattivi, geochimici . . . » 58
Tubaggi, cementazioni . . . . . » 66
Pozzi eruttivi - Sondaggi deviati . . . . . » 68
Torri di sondaggio . . . . . » 77
Messa in produzione e coltivazione . . . . . » 78

CAP. III. — RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE - CORRELAZIONI - FOTOGEOLOGIA . » 82
Conclusioni . . . . . » 100

CAP. IV. — DISTRIBUZIONE MONDIALE DEI GIACIMENTI PETROLIFERI . . » 102
Classificazione geologica generale dei giacimenti . . . . » 104
Europa - Asia . . . . . » 106
Australia - Africa . . . . . » 111
Germania, Russia, Spagna, Granbretagna . . . . . » 112
America del Nord - Appalachi - Mid Continent (Kansas, Oklahoma, Texas) . . . . . » 115
Montagne Rocciose - California, Alasca, Canada, Messico . . » 117
America Centrale - Antille . . . . . » 122
America del Sud - Venezuela, Equador, Perù, Bolivia, Argentina, Cile . . . . . » 123

Manifestazioni e giacimenti dell'Italia . . . . . pag. 127
Rapporti colle condizioni geologiche e strutturali . . . . » 129
Marche - Abruzzi - Lazio - Campania - Lucania, Puglie, Calabria » 132
Sicilia . . . . . » 140
Regione Nordappenninica - Padana . . . . . » 146
Caratteristiche delle strutture . . . . . » 151
Caratteri degli idrocarburi, produzione distribuzione, utilizzazione » 156
Distribuzione e utilizzazione del Metano . . . . . » 161
Conclusione . . . . . » 163

Cap. V - Conclusioni Generali . . . . . » 166

Bibliografia sul Petrolio

1. — Trattati e Pubblicazioni di carattere generale . . . . » 170
2. — Pubblicazioni interessanti l'Italia . . . . . » 172