

RECENTI PROGRESSI NELLA CONOSCENZA DEI FONDI MARINI (*)

Nessuna parte del globo terrestre è riuscita a custodire i suoi segreti più a lungo e più gelosamente degli abissi marini. Ancora al principio del secolo passato, infatti, le profondità marine erano pressoché sconosciute, quasi nulla si sapeva sulla natura dei fondi marini e nulla affatto sulla vita nelle profondità abissali.

Nell'antichità, quando la navigazione era prevalentemente costiera (per lungo tempo, anzi, essa lo fu esclusivamente), scandagli non se ne facevano che in prossimità delle coste, specialmente in vicinanza dei porticcioli che servivano a dar riparo alle piccole navi di allora, le quali raramente pescavano più di un metro. Si cominciò con lo scandagliare le profondità minime mediante aste graduate, poi si utilizzò un rudimentale scandaglio costituito da una corda alla quale era appesa una pietra. Erodoto parla degli scandagli che i marinai eseguivano in prossimità della costa egiziana, di fronte al delta del Nilo, e dice fra l'altro che a una giornata di distanza dalla riva, gettando la sonda, si tirava su fango da una profondità di 11 braccia. Negli *Atti degli Apostoli* si racconta che la nave che trasportava in Italia l'apostolo Paolo fu sorpresa da una violenta tempesta. A un certo momento i marinai « credettero d'essere vicini a qualche terra. Calato lo scandaglio, trovarono venti braccia; e più in là, scandagliando di nuovo, trovarono quindici braccia. Temendo allora di dar negli scogli, gettarono da poppa quattro ancore, e sospiravano che facesse giorno ».

Per quel che riguarda le profondità in alto mare, quanto si riferiva era frutto soltanto di speculazioni astratte, mancando qualsiasi fondamento sperimentale. Aristotele riteneva che il Mare d'Azov e il Mar Nero fossero i due mari meno profondi, ma che nel Mar Nero, peraltro, esistesse un'area di profondità incommensurabile là dove si pensava che si aprisse una comunicazione sottomarina col Mar Caspio, cioè in prossimità della costa della Colchide. E riteneva invece che profondissimi fossero il Mare Sardo e il Tirreno. Molto profondi riteneva questi mari, insieme col Ma-

(*) Testo della conferenza tenuta nella Sede della Società il 9 giugno 1956.

re Cretese, pure Eratostene; secondo lui il mare meno profondo era il Mar Nero.

Plinio e Solino parlano di zone di profondità incommensurabile situate anche nell'Oceano Indiano, presso Taprobane, l'odierna Ceylon. Ma opinione diffusa era che nella maggior parte dei mari le profondità non fossero superiori ai più elevati rilievi terrestri (15 stadi, cioè non più di 2700 m).

Tale opinione, come pure la credenza che il mare presentasse qua e là voragini di incommensurabile profondità, ebbe larga diffusione anche nel Medioevo, durante il quale si pensò che codesti abissi alternativamente assorbissero e vomitassero acqua marina, provocando il fenomeno della marea, con l'alternarsi del flusso e del riflusso.

L'origine di questa teoria va ricercata tra i popoli dell'Europa settentrionale, i quali ritenevano che una di tali voragini sottomarine fosse il *Maelström*, forte corrente di marea che, come è noto, si osserva presso la costa norvegese, tra due delle isole Lofoti, e che in tempi remoti fornì il soggetto a favole e racconti strani. Essa era tanto temuta, che i naviganti se ne tenevano distanti parecchie miglia; effettivamente, in certi periodi invernali, quando il vento di nord-ovest spira violento in direzione contraria alla caduta del riflusso, essa dà luogo a numerosi grandi vortici, che rendono la zona pericolosa per la navigazione. Del *Maelström* parla a lungo Paolo Diacono nel libro I della *Historia Langobardorum*, dove si fa cenno pure di altre « voragini di acqua profondissima ».

Nessun progresso si fece, riguardo alla conoscenza delle profondità marine, durante l'epoca delle grandi navigazioni oceaniche. Si tentò, per primo da Leon Battista Alberti, di costruire strumenti batimetrici che sostituissero lo scandaglio formato da un peso attaccato a una corda: ma essi risultarono privi di utilità pratica e il loro uso non si diffuse. Lo scandaglio ideato dall'Alberti era formato da una corda con appeso un cilindro di piombo, ripiegato a sette ad una delle estremità, cilindro al quale era agganciata una sfera di sughero; quando il cilindro di piombo toccava il fondo, la sfera di sughero si sganciava e tornava in superficie. In base a esperimenti effettuati in punti di profondità nota, e calcolando poi il tempo impiegato dallo scandaglio nella discesa e quello impiegato dalla sfera di sughero a risalire alla superficie, si ricavava, mediante una proporzione, la profondità del punto in cui era stato effettuato lo scandaglio.

Lo strumento dell'Alberti in seguito fu perfezionato, ma, ripeto, non si diffuse e non fece fare progresso alcuno alla conoscenza delle profondità marine, per misurare le quali si continuò a usare lo scandaglio a sàgola.

Per quanto sappiamo, il primo che tentò di scandagliare i grandi fondi oceanici fu Magellano. Narra infatti il Pigafetta, nella ce-

lebre *Relazione del primo viaggio intorno al mondo*, che in prossimità di due isolette disabitate del Pacifico, distanti l'una dall'altra 200 leghe (si possono forse identificare con un'isola dell'arcipelago delle Tuamotu la prima, e con un'isola del gruppo delle Māhiki la seconda), non fu trovato fondo.

Fu nel secolo XVI che nelle migliori carte nautiche e nelle carte di alcuni atlanti si cominciò a segnare i dati di profondità in prossimità delle coste. Ma per quel che riguarda l'alto mare, si continuava a non sapere assolutamente nulla di certo e a ripetere, anche da studiosi di chiara fama, quanto asserivano gli scienziati dell'antichità e del Medioevo. G. B. Botero, il celebre autore delle *Relazioni Universali* e della *Relatione del Mare*, riteneva ancora che le profondità marine corrispondessero alle altezze dei monti, e affermava che il mare « tanto si avvalla quanto la terra si inalza ». Botero non accenna agli abissi di profondità incommensurabile: ma di essi parla ancora G. B. Riccioli, autore della grande opera *Geographia et hydrographia reformatā*, il quale però dubita che ci sia corrispondenza tra profondità marine e altezze dei rilievi terrestri.

Che le massime profondità corrispondessero pressappoco alle massime altezze dei monti è invece ancora accettato da Bernardo Varenio, autore della famosa *Geographia generalis*: il quale però non ammette la presenza degli abissi di enorme profondità.

Il P. Atanasio Kircher, di cui diventò celebre l'opera *Mundus subterraneus*, sosteneva che il fondo dei mari si presenta come la superficie emersa, con pianure, monti, valli, sorgenti e fiumi; e che i rilievi subaerei si continuano nei rilievi sottomarini, formando l'ossatura del globo. Egli non ammetteva che ci fosse corrispondenza tra le massime profondità marine e le massime altezze dei monti, ma riteneva che al Polo nord si aprisse una voragine che ingoiava acqua, la quale era poi rigurgitata al Polo sud.

Le idee del Kircher sulla struttura dei fondi marini furono accettate da molti scienziati, e fra gli altri da Luigi Ferdinando Marsili, che deve essere considerato uno dei fondatori della moderna oceanografia, di cui scrisse il primo trattato, la celebre *Histoire physique de la mer*.

Il Marsili eseguì alcuni scandagli lungo le coste del Golfo del Leone fino a 200-300 m di profondità, determinando con notevole precisione il limite di ciò che noi chiamiamo la *piattaforma continentale*. Egli riferisce l'opinione dei pescatori che il Golfo del Leone non abbia fondo: ma la giudica stravagante e la ritiene basata sul fatto che non si disponeva di strumenti batimetrici adeguati.

Alla fine del secolo XVIII solo alcuni mari poco profondi erano stati scandagliati anche fuori della zona costiera: il Mare d'Azov nel 1696, il Baltico nel 1710, il Mar Bianco nel 1798. Durante le spedizioni di Cook, Bougainville, La Pérouse, d'Entrecasteaux e Dumont d'Urville furono eseguiti scandagli nel Pacifico, che però

non riuscirono a toccare i grandi fondi, come non era riuscito a Magellano nel 1521. Secondo quanto riferisce Emanuele Kant nelle sue *Lezioni di geografia fisica*, nel 1773 un certo capitano Phipps in prossimità delle isole Svalbard non trovò fondo a 1250 *m*.

I primi scandagli in mare profondo che conseguirono risultati soddisfacenti furono quelli (appena quattro) compiuti da John Ross, che nel 1818 misurò nel Mare di Baffin una profondità di 2740 *m*, mai fino allora raggiunta, e trasse alla superficie un ofiuroido (un *Astrophyton*), casualmente aggrappatosi allo scandaglio, smentendo così che le grandi profondità marine fossero prive di vita, come allora si riteneva.

Tanto nell'Atlantico, quanto nei mari antartici, eseguì vari scandagli anche James Clark Ross, nipote di John Ross, misurando profondità di 4435 e 4895 *m* a ovest del C. di Buona Speranza e traendo anche lui numerosi e svariati animali da grandi profondità.

Questo fatto meravigliò ed entusiasmò il mondo scientifico, e gli scandagli, specialmente nell'Atlantico, si vennero moltiplicando. I risultati, peraltro, erano incerti e per lo più molto esagerati, sia perché non era facile accorgersi del momento preciso in cui lo scandaglio toccava il fondo, dato che il peso della corda di canapa superava ben presto il peso metallico, dalla forma a tronco di cono, assicurato alla corda stessa, sia perché la deriva, alla quale erano inevitabilmente soggetti i velieri durante le lunghe operazioni di sondaggio, dava una inclinazione sempre più grande al cavo. Nel 1852 si riferì, per esempio, di aver misurato nell'Atlantico meridionale profondità di 14.100 e 15.180 *m* in punti dove recenti sondaggi hanno trovato soltanto 5000 *m*; e nel 1858 si riferì di aver misurato profondità tra i 7000 e i 9000 *m* nel Mare di Banda, in aree dove invece non si superano i 4400 *m*.

Nel 1854 l'americano John M. Brooke ideò e costruì uno *scandaglio a perdita di peso*, uno scandaglio, cioè, provvisto di un peso addizionale, che si stacca automaticamente appena raggiunto il fondo. Lo scandaglio di questo tipo scende con rapidità, per il peso relativamente grande, e può tornare con rapidità alla superficie; esso permise per la prima volta di fare sondaggi precisi, anche quando era necessario svolgere alcune migliaia di metri di cavo.

Va ricordato che il Brooke ebbe un precursore nell'oceanografo francese Aimé, che fin dal 1845 aveva descritto e utilizzato lungo le coste dell'Algeria uno scandaglio basato sullo stesso principio, sebbene molto meno pratico di quello del Brooke.

Lo scandaglio a perdita di peso, modificato e perfezionato in vari modi, ben presto fu adottato da tutte le marine.

Un grande impulso alle indagini batimetriche fu dato dalla posa dei cavi telegrafici sottomarini. I primi tentativi per installare tali cavi risalgono, com'è noto, al principio del secolo XIX, ma si deve giungere al 1851 per avere risultati positivi con l'en-

trata in funzione del cavo Dover-Calais. Nel 1856 e nel 1857 le due navi americane « Arctic » e « Cyclops » scandagliarono l'Atlantico tra l'Irlanda e Terranova in vista della posa di un cavo telegrafico transoceanico. Una campagna analoga fu compiuta nel 1860 dalla nave inglese « Bulldog ». Non soltanto si misurarono le profondità, ma si ottennero numerosi campioni di fondo, che risultò coperto in massima parte da fanghi a globigerine. Il primo cavo transatlantico fu posato nel 1858, ma risultò difettoso e rimase inutilizzato. L'Europa fu collegata per telegrafo all'America in modo definitivo soltanto nel 1866.

Tanto per le campagne batimetriche compiute allo scopo di preparare la posa dei cavi sottomarini, quanto per quelle fatte a scopo puramente scientifico, dopo la metà del secolo XIX la conoscenza dei mari fa progressi molto rapidi. L'americano Mathew Fontaine Maury pubblica nel 1855 una *Physical Geography of the Sea*, e nel 1869, la prima carta batimetrica dell'Atlantico, basata su tutti i dati di cui allora si disponeva.

Va ricordato che la prima carta *con le isobate* si deve al francese Philippe Buache, che nel 1737 pubblicò una carta delle profondità della Manica seguendo questo sistema di rappresentazione.

Le numerose grandi spedizioni oceanografiche, organizzate a scopo scientifico da tutte le principali nazioni civili, a cominciare da quella britannica della « Challenger », inaugurarono un nuovo periodo per l'oceanografia. Ma, per quanto riguarda i fondi marini, è da notare che gli scandagli in mare profondo furono in numero molto limitato fino a tempi recenti. Basterà ricordare che durante i tre anni e mezzo che durò la spedizione della « Challenger », soltanto 500 furono gli scandagli eseguiti in mare profondo: e che ancora quarant'anni fa, per le aree marine di profondità superiore ai 2000 *m* si disponeva complessivamente di 6 o 7 mila scandagli, cioè, in media, di 6-7 scandagli ogni 300.000 *kmq*, superficie uguale a quella dell'Italia.

Progressi enormi nella conoscenza delle profondità marine furono ottenuti da quando, subito dopo la prima guerra mondiale, si cominciò a fare uso degli scandagli acustici. Lo scandaglio mediante il suono fu suggerito fin dal 1807 da Arago, tentato senza successo intorno al 1850, e perfezionato poi negli ultimi decenni, a cominciare dal 1919, quando il francese Pierre Marti realizzò il sistema di sondaggio automatico e continuo.

Lo scandaglio acustico, com'è noto, si basa sul principio dell'eco, e nelle sue linee generali è costituito da uno strumento che emette un suono o un ultrasuono, che viene riflesso dal fondo marino e torna quindi come eco alla superficie, dove è percepito da uno strumento ricevitore. Nell'acqua marina, la velocità di propagazione del suono cresce col crescere della temperatura, della salinità e della pressione. Si può dire che, all'ingrosso, tale velocità sia di 1500 *m* al secondo, con scostamenti di una sessantina

di metri in più o in meno da questo valore medio. Scendendo in profondità, l'aumento di velocità di propagazione determinato dall'aumento di pressione è compensato dalla diminuzione di velocità determinata dalla diminuzione di temperatura. Conoscendo esattamente il tempo intercorso tra l'emissione del suono o dell'ultrasuono e il suo ritorno alla superficie, con un calcolo molto semplice si viene a conoscere lo spazio percorso dal suono o dall'ultrasuono, spazio che, diviso per due, rappresenta la profondità nel punto in cui si trova la nave. Il dato che si ottiene va corretto, poi, tenendo conto della temperatura e della salinità.

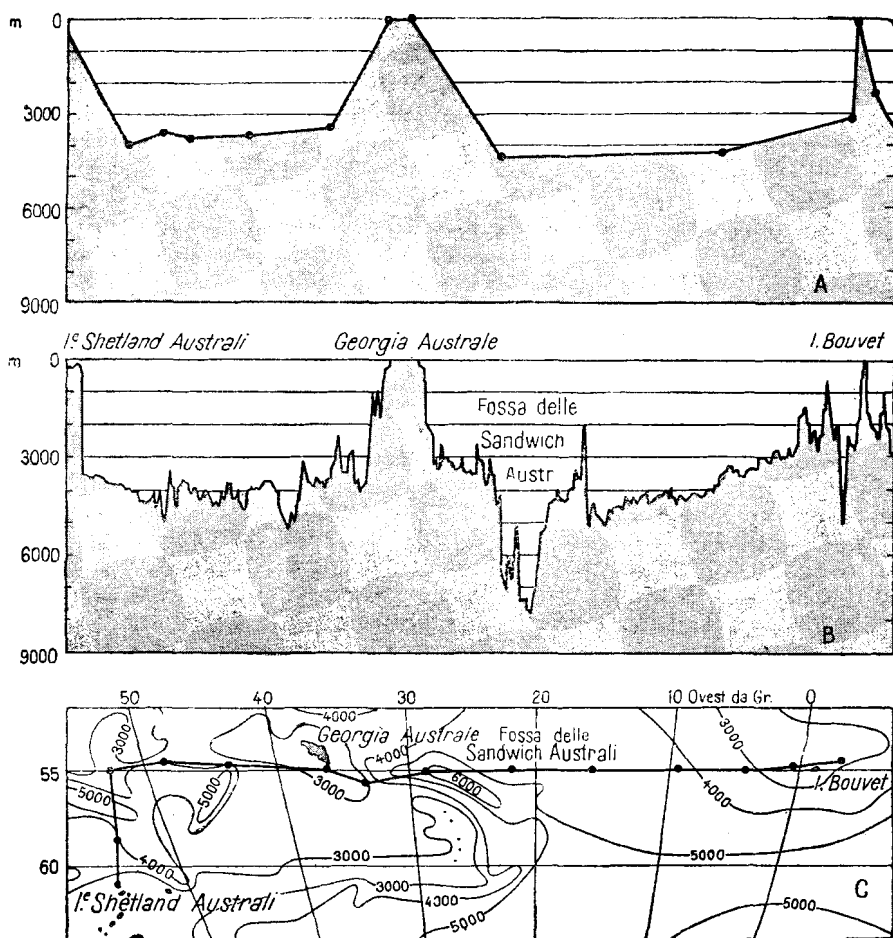
I più recenti apparecchi (Hughes, Bendix, Edo) permettono di misurare qualsiasi profondità con la massima precisione, quando siano conosciute le variazioni di temperatura e di salinità.

Gli scandagli acustici si possono eseguire molto rapidamente. La nave tedesca « Emden » (la quale nel 1927 scoprì nella Fossa delle Filippine una profondità di 10.790 *m*, che per lungo tempo fu ritenuta la massima di tutti i mari e che di recente è stata rettificata in 10.400 *m*) riuscì ad effettuarne ben 335 in sole otto ore. Con gli ecometri registratori ora in uso, è possibile fare sondaggi in continuazione, a brevissimi intervalli di tempo, mentre la nave prosegue nella sua rotta.

La prima spedizione oceanografica che fece largo uso degli scandagli acustici fu quella della nave tedesca « Meteor », che nel 1925-1927 ne eseguì nell'Atlantico ben 34.000. Precedentemente, per l'area percorsa dalla « Meteor » si possedevano soltanto 3000 scandagli di profondità superiore ai 1000 *m*.

Da quando, con l'impiego degli ecometri, è stato possibile scandagliare con grande rapidità ed avere carte batimetriche basate su un fitto complesso di scandagli, e quindi di gran lunga più dettagliate di quelle di cui si disponeva in passato, si è constatato che erronea era l'idea, prevalsa fino a tempi recenti, che nei fondi marini predominassero dappertutto le forme dolci, pochissimo acclivi; e si è visto che in particolare la piattaforma continentale (un tempo ritenuta generalmente livellata e monotona) e la ripida scarpata con la quale essa scende verso i fondi abissali, presentano forme molto varie e movimentate, soprattutto là dove si aprono dei *canyons* sottomarini, solchi profondi persino 1500 o 2000 *m*, dalle pendici ripidissime, paragonabili addirittura a quelle del Gran Canyon del Colorado, e dal profilo longitudinale molto più acclive di quello che d'ordinario si riscontra nelle valli subaeree, eccettuate alcune valli d'alta montagna.

In massima parte, codesti *canyons* sottomarini, dei quali si conoscono alcune centinaia, non si trovano in continuazione apparente di valli subaeree. Solo alcuni fronteggiano la foce di fiumi, come il Congo, lo Hudson, l'Indo. Altri si troverebbero dinanzi ad antiche foci fluviali, come, per esempio, il profondo *canyon* di Monterey, in California, situato, secondo F. P. Shepard, di fronte



PROFILO DEL FONDO MARINO
TRA LE I.e SHETLAND AUSTRALI E L'I. BOUVET:

A, come risultava in base a pochi scandagli a cavo; B, come risulta in base ai numerosissimi scandagli acustici compiuti dalla nave « Meteor »; C, tracciato del profilo. (Da H. U. Sverdrup, M. W. Johnson e R. H. Fleming, *The Oceans*).

ad un'antica foce del fiume Salinas, e come il *canyon* di Cap Breton, in Francia, situato, secondo lo stesso studioso, di fronte a una delle antiche foci dell'Adour.

Sull'origine dei *canyons* sottomarini si è molto discusso e si continua a discutere tuttora col massimo impegno, come può riscontrarsi scorrendo i resoconti del Convegno di geologia sotto-

marina tenuto a Parigi nell'aprile 1955. La spiegazione più semplice è quella che essi siano antiche valli subaeree sommerse. Ma per sostenerla occorre ammettere o un enorme abbassamento eustatico del livello marino, oppure enormi movimenti tettonici sul margine continentale. La prima ipotesi in un secondo momento, per numerose e gravi ragioni, è stata riconosciuta insostenibile anche dallo Shepard, che l'aveva prospettata: mentre ci sono buone ragioni per ammettere movimenti tettonici di ingente entità sul margine continentale, almeno in America.

Tra le numerose altre ipotesi avanzate per spiegare l'origine dei *canyons* sottomarini ha acquistato credito soprattutto quella di R. A. Daly e Ph. H. Kuenen, che attribuisce l'incisione di tali valli a dense correnti torbide defluenti verso i grandi fondi: correnti di acqua marina carica di sedimenti (scaricati dai fiumi o strappati alle coste dalle onde) e quindi molto densa, che tende a discendere, incidendo lentamente, ma incessantemente, i pendii sottomarini.

Questa ipotesi è basata non soltanto sui risultati di molteplici osservazioni, ma anche su esperimenti fatti dal Kuenen all'Istituto di Geologia dell'Università di Groninga, che hanno dimostrato, fra l'altro, come le correnti torbide possano raggiungere una ragguardevole velocità. Dopo che sia stata iniziata l'incisione della valle, si presume che nelle ripide pendici di essa si determinino frequenti franamenti, ai quali, anzi, sarebbe dovuta la massima parte del materiale solido messo in movimento.

Lo Shepard ammette che le correnti torbide possano trasportare e depositare materiali mobili: ma nega loro assolutamente il potere di scavare. Egli pure ritiene che nei *canyons* si verifichino dei franamenti, come ha potuto constatare effettuando misurazioni alla testata di alcuni *canyons* californiani: allo sbocco dei quali si troverebbero coni di deiezione di fango.

Poiché una delle più gravi obiezioni che sono state fatte alla ipotesi di Daly e Kuenen è che spesso i *canyons* sono incisi in rocce compatte e dure, nel 1953 Kuenen ha proposto di distinguerli in due gruppi: *canyons* incisi in rocce dure e originantisi in prossimità di coste montuose, che sarebbero valli già subaeree ora sommerse; e *canyons* incisi in una scarpata continentale poco consolidata, entro sedimenti relativamente giovani, e che sarebbero dovuti all'escavazione causata da correnti torbide e a franamenti.

Ho già detto che nel 1927 mediante scandagli acustici fu scoperta nella Fossa delle Filippine una profondità che per lungo tempo fu ritenuta la massima di tutti i mari. Va ricordato che pure mediante scandagli acustici nel 1951 è stata scoperta nella Fossa delle Marianne una profondità superiore a quella della Fossa delle Filippine: 10.900 m; e che profondità di oltre 10.000 m sono state scoperte, sempre nel Pacifico, anche nella Fossa del Giappone e nella Fossa delle Tonga.

E' altresì mediante scandagli acustici che le spedizioni organizzate dal *Lamont Geological Observatory* di La Jolla (California) e dall'*U.S. Navy Electronics Laboratory*, e le due spedizioni svedesi dell'« Albatross » dirette da Hans Pettersson, dell'Istituto Oceanografico di Göteborg (la prima nel Mediterraneo, durante la primavera del 1946, e la seconda nei tre oceani e poi di nuovo nel Mediterraneo, durante gli anni 1947-1948), ci hanno rivelato una topografia dell'Atlantico e del Pacifico settentrionale notevolmente diversa da quella che si riteneva un tempo.

Nell'Atlantico settentrionale sono stati scoperti, fra l'altro, con i larghe ondulazioni di origine vulcanica, che interrompono l'uniformità del piatto fondo dei bacini situati da una parte e dall'altra della Grande Dorsale, ed è stato scoperto nel bacino nordamericano un profondo canale che attraversa la soglia di Terranova mediante una stretta gola: canale che sembra risultare dalla confluenza di due altri canali, uno dei quali si assolda verso la parte mediana del braccio di mare che divide il Labrador dalla Groenlandia, e l'altro tra la Groenlandia e l'Islanda.

Nel Pacifico settentrionale il fondo si mostra accidentato da larghe ondulazioni, allungate nel senso ovest-est, in discordanza con la struttura continentale: ondulazioni sormontate da elevati coni vulcanici, che talora emergono, come quelli della dorsale hawaiana, la quale, coi suoi 11.000 *m* di altezza complessiva, costituisce la catena di montagne più elevata del mondo.

Si è accertato che dal fondo del Pacifico settentrionale s'innalzano inoltre numerosissimi coni vulcanici, spesso a sommità spianata, i cosiddetti *guyots*, la cui piattaforma terminale si trova talora a 1200-1500 *m* di profondità. Essi generalmente sono ritenuti elementi dei rilievi subaerei che, in conseguenza di movimenti generali di subsidenza del Pacifico, verificatisi durante il Terziario e il Quaternario, sarebbero stati decapitati dall'abrasione e poi portati in profondità. Tali movimenti di subsidenza sarebbero dell'ordine anche di qualche migliaio di metri, come dimostrerebbe il fatto che sono stati rinvenuti sedimenti di debole profondità, del Cretacico medio, in prevalenza madreporici, a 500, 1000 e, secondo E. L. Hamilton, persino 2000 *m* di profondità.

Gli scandagli acustici ci stanno svelando i dettagli topografici anche del fondo del Mediterraneo, per merito soprattutto di iniziative francesi, svedesi e italiane. Attivissimo è al riguardo il Laboratorio di geologia sottomarina della Scuola pratica di alti studi di Parigi, diretto da Jacques Bourcart. A lui e ai suoi collaboratori si deve specialmente lo studio dello zoccolo continentale della Francia, della Corsica e dell'Algeria, che si è rivelato inciso da un gran numero di *canyons* sottomarini.

I rilevamenti dell'« Albatross » hanno mostrato enormi differenze nella morfologia del fondo della parte occidentale e di quella orientale del Mediterraneo. Nella prima predominano i

fondi piatti, mentre nella seconda si alternano continuamente zone pianeggianti con zone a pendio ripidissimo, quasi alpino, in prossimità delle isole.

Le indagini italiane, alle quali, fra gli altri, ha attivamente partecipato Aldo G. Segre, hanno avuto come obiettivo il Tirreno e sono state compiute soprattutto dalle navi idrografiche « Azio » e « Staffetta ». Esse hanno rivelato, fra l'altro, che il bacino del Tirreno centrale, profondo oltre 3700 *m*, è accidentato da valli e rilievi orientati da ovest a est o da nord-ovest a sud-est e da rilievi isolati di forma conica che appartengono a vulcani quaternari. Sullo zoccolo continentale che limita il bacino, numerosi sono i *canyons* sottomarini, che scendono a grande profondità soprattutto a nord della Sicilia.

E', infine, scandagliando con apparecchi ultrasonori che i russi hanno rivelato una topografia del fondo del Mar Glaciale Artico affatto diversa da quella che mostrano carte anche recentissime. Infatti, invece di un solo bacino con profondità di oltre 2000 *m* nella parte centrale e un massimo di 5540 *m* fra l'isola di Wrangel e il Polo, si sa ora che il Mar Glaciale Artico è formato da due grandi bacini e da un terzo bacino situato al largo delle coste alascane nell'area del Mare di Beaufort; e che i due bacini principali sono separati da una dorsale sottomarina che s'innalza da profondità di circa 3600 *m* ed è alta tra i 1800 e i 2700 *m*. Codesta dorsale, dal nome di un talassografo russo del XVIII secolo detta di *Lomonosov*, si allunga tra l'ampia piattaforma continentale a nord delle isole della Nuova Siberia e la Terra di Ellesmere.

* * *

Lo studio dei depositi del fondo marino fu iniziato sistematicamente solo alla metà del secolo passato, quando J. Bailey studiò i fanghi raccolti dallo *U. S. Coast Survey* e i sedimenti prelevati nell'Atlantico dalla nave « Arctic », facendo notare, fra l'altro, l'importanza che hanno i foraminiferi nei depositi al largo della costa del New Jersey e insistendo sul fatto che con l'aumentare della profondità vanno aumentando, nei depositi, i resti organici.

I risultati degli studi del Bailey furono confermati da quelli della spedizione della « Cyclops ». Si ebbero poi gli studi di Wyville Thomson e quelli fondamentali di J. Murray e di A. F. Renard, ai quali si deve la fondamentale opera *Deep Sea Deposits*, pubblicata nel 1891 e basata sulle ricerche compiute sulle ricche collezioni di sedimenti di fondo raccolte durante la spedizione della « Challenger ». In tale opera si dà, fra l'altro, una classificazione dei depositi marini che nelle sue linee fondamentali è ancora generalmente adottata.

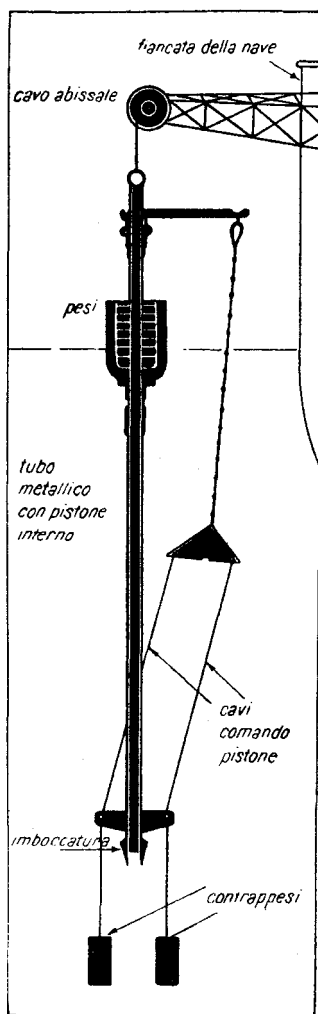
Per raccogliere saggi di fondo si usarono per lungo tempo scandagli a gotto o draghe, che potevano intaccare soltanto gli strati più superficiali del fondo stesso, e inoltre portavano in superficie materiali fortemente disturbati dal movimento di raccolta. Largamente diffusa era, per esempio, la draga Léger, formata da due pesanti valve metalliche a bordi taglienti, che si muovono intorno a una cerniera. Quando la draga discende, le valve sono mantenute aperte da una nottola; allorché l'apparecchio tocca il fondo, la nottola viene sollevata e le due valve a causa del loro peso si chiudono bruscamente, prendendo una certa quantità del materiale che forma il fondo sottomarino.

Entrarono poi in uso gli scandagli a tubo, che prelevano saggi di fondo in forma di cilindri più o meno lunghi, comunemente chiamati *carote*, senza che sia disturbata la stratificazione, ciò che rende possibile anche l'analisi strutturale. Durante la spedizione della « Challenger » furono prelevate carote di 30-60 *cm* di lunghezza, e mezzo secolo dopo la spedizione della « Meteor » ne prelevò di 90 *cm* o poco più. Nel 1935 C. S. Piggott inventò uno scandaglio a tubo col quale trasse dal fondo dell'Atlantico, tra Terranova e l'Irlanda, carote lunghe fino a tre metri.

Il carotatore di Piggott è costituito da un tubo d'acciaio di 5 *cm* di diametro, che ha nell'interno un altro tubo di ottone e che si conficca nei sedimenti del fondo marino in seguito all'esplosione di una carica contenuta in un « cannone » fissato alla sua parte superiore. L'esplosione si verifica automaticamente appena il carotatore tocca il fondo. La carota è contenuta nel tubo di ottone, che viene estratto appena l'apparecchio torna alla superficie, e sostituito con un altro.

Durante la seconda guerra mondiale lo svedese Börje Kullenberg costruì un *carotatore a pistone*, che permette di prelevare carote lunghe fino a 20 *m*, corrispondenti a vari milioni di anni della storia geologica. Tale carotatore utilizza la pressione idrostatica del mare, per conficcarsi nei sedimenti. Il tubo di acciaio che può essere lungo anche oltre 20 *m*, è sormontato da un grosso peso. All'imboccatura del tubo c'è un pistone. Sia questo, sia il tubo col peso, sono sospesi ad un meccanismo di sganciamento, indipendentemente l'uno dall'altro. Ad un braccio fissato al tubo sono attaccati dei contrappesi che scendono alcuni metri al di sotto dell'imboccatura del tubo. Quando essi toccano il fondo, entra in gioco il meccanismo di sganciamento, che abbandona il tubo, ma non il pistone. Il tubo si conficca nei sedimenti, mentre il pistone, fermatosi alla superficie del fondo marino, aspira la carota.

Il carotatore a pistone di Kullenberg (perfezionamento di un apparecchio ideato e costruito in collaborazione, alcuni anni prima, da H. Pettersson e dallo stesso Kullenberg) è stato largamente



DISEGNO SCHEMATICO DI UN CAROTATORE A PISTONE.

(Da H. Pettersson, *Con l'Albatross intorno al mondo*).

usato dalle due spedizioni oceanografiche svedesi dell'« Albatross », ed è stato impiegato di recente, nell'Atlantico e nel Pacifico, per iniziativa di vari enti scientifici statunitensi, raccogliendo un gran numero di carote sottomarine che furono poi sottoposte a minute analisi mineralogiche, micropaleontologiche e geochimiche.

Al Convegno di geologia sottomarina, cui ho già accennato, e in una pubblicazione successiva (*Shooting Stars*, Göteborg, 1955), Hans Pettersson ha riferito che all'Istituto Oceanografico di Göteborg, facendo passare attraverso un filtro elettromagnetico di alta efficienza i sedimenti di una grande carota di argilla rossa prelevata nel Pacifico occidentale, sono state estratte minutissime sferule magnetiche, del diametro da 10 a 230 micron, fino a varie migliaia per ogni chilogrammo di sedimento secco. La presenza di tali sferule nei sedimenti di grande profondità era stata segnalata fin dal 1876 da J. Murray, che ne aveva riconosciuta l'origine cosmica, ma che, procedendo con metodi e mezzi del tutto primitivi, era riuscito ad estrarne soltanto 20 o 30 per ogni litro di sedimenti.

Pettersson ha fatto notare che il numero delle sferule nella carota risultò molto vario tra una parte e l'altra di essa, andando dalle 200 alle 7400 per chilogrammo di sedimento secco. Queste differenze, che sono state verificate anche su una carota di argilla rossa prelevata a nord di Tahiti, possono essere spiegate

sia con variazioni nella velocità della sedimentazione, sia con variazioni nella frequenza delle meteoriti. Una carota prelevata nel Mediterraneo ha dato un numero di sferule per chilogrammo molto superiore a quello delle carote del Pacifico, indicando una velocità di sedimentazione alcune decine di volte più grande.

I risultati di queste ricerche, che insieme con quelli delle

analisi biologiche potranno condurre a una soddisfacente soluzione del problema della cronologia dei sedimenti marini, hanno dimostrato, fra l'altro, come sia insostenibile l'ipotesi di Robert Schwiner che le meteoriti cadute sulla Terra siano di età molto recente e provengano da una nube di polveri cosmiche che il nostro pianeta starebbe attraversando da non più di 20.000 anni.

Da qualche anno è possibile conoscere anche lo spessore della coltre sedimentaria che copre il fondo roccioso degli oceani, mediante il metodo escogitato da G. P. Ewing e basato sulla registrazione degli echi risultanti dalla esplosione di cariche di profondità: una prima eco proviene dalla superficie della coltre sedimentaria, e una seconda eco dal fondo roccioso. La determinazione dello spessore dei sedimenti, insieme con rilevamenti gravimetrici, è di fondamentale importanza per l'interpretazione geologica dei fondi marini.

Un altro ritrovato tecnico recente ha fatto fare progressi molto considerevoli alla conoscenza di tali fondi, e cioè la messa a punto da parte dell'U. S. Coast and Geodetic Survey, dei sistemi *shoran* e *lorac* per ottenere, mediante l'utilizzazione di segnali radioelettrici, l'esatta determinazione della posizione di una nave in alto mare, e quindi l'esatta determinazione dei punti scandagliati.

Come sulle terre emerse è dalla natura del suolo e dal clima che essenzialmente dipende la vita vegetale e animale, così nei mari è dalla natura dei fondi, oltre che dalle condizioni fisiche e chimiche delle acque che li ricoprono, che dipende la distribuzione degli esseri viventi. Qualcuno è giunto a parlare addirittura di *fertilità* dei suoli sottomarini. Jacques Bourcart fa notare giustamente che uno dei maggiori studiosi contemporanei dei depositi del fondo marino è stato Selman A. Waksman, che prima era un pedologo (egli ha abbandonato gli studi oceanografici dopo aver scoperto la streptomicina). E' evidente quindi la straordinaria importanza, anche pratica, di codeste indagini di oceanografia sedimentare.

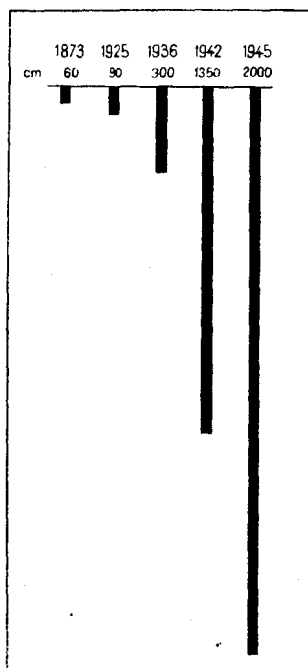


DIAGRAMMA DEL PROGRESSO NELLA LUNGHEZZA DEI SAGGI DI FONDO DAI TEMPI DELLA SPEDIZIONE DELLA « CHALLENGER ». (Da H. Pettersson, *Con l'Albatross intorno al mondo*).

* * *

Passi giganteschi, in questi ultimi anni, ha fatto pure l'esplorazione *diretta* dei fondi marini: l'esplorazione, cioè, compiuta dall'uomo *de visu* e che per molti secoli, fino a tutto il '700, dovè limitarsi alle profondità di poche decine di metri.

Possiamo pensare che l'uomo abbia cominciato a esplorare direttamente i fondi marini fin dall'epoca preistorica, perché nei *kökkenmöddinger* (« avanzi di cucina » preistorici, frequenti specialmente sulle coste della Danimarca e della Svezia meridionale) sono state trovate conchiglie di molluschi raccolte certamente in acqua profonda, come furono certo raccolte in acqua profonda le conchiglie rinvenute accanto a scheletri umani di alcune grotte della Liguria occidentale.

Sappiamo che già in tempi storici remotissimi si facevano eseguire lavori sottomarini da palombari « nudi », e già Aristotele aveva ideato una *campana pneumatica*. Ma fino a tutto il secolo XVIII l'esplorazione diretta dei fondi marini fece minimi progressi.

Prima dell'invenzione dello scafandro, pescatori di perle e di spugne si immergevano fino a 15-18 *m*, e solo eccezionalmente scendevano ad una quarantina di metri di profondità. Con le campane pneumatiche di vario tipo, i tubi e i « pozzi ambulanti », furono eseguiti numerosi lavori sottomarini nei secoli XVII e XVIII e nella prima metà del secolo XIX.

L'invenzione dello scafandro e dei battelli sottomarini apportò progressi molto considerevoli. Per il primo, una soluzione soddisfacente si ottenne solo nel 1837 con lo scafandro di A. Siebe, al quale posteriormente furono apportati notevoli miglioramenti e innovazioni e che permise di discendere fino a 85 *m*. Con scafandri di tipo diverso da quello di Siebe, e di più recente costruzione, si poterono raggiungere profondità maggiori: nel 1945 lo svedese Zetterström e nel 1948 l'americano W. Bollard giunsero a 160 *m* di profondità con uno scafandro collegato ad una pompa; con uno scafandro autonomo il francese Fargues raggiunse i 120 *m*.

Quanto ai sottomarini, il massimo di profondità al quale essi sono pervenuti è di 250-300 *m*.

Fino al 1930 nessun uomo, però, aveva potuto osservare coi propri occhi i grandi fondi, che gli scandagli acustici eseguiti in gran numero, come ho già detto, avevano rivelato come ben più vari e movimentati di quello che si riteneva un tempo. Quell'anno dà inizio a un'era nuova nella esplorazione *diretta* di tali fondi, per merito dello zoologo americano William Beebe, che concepì e fece costruire una *batisfera*, robusta sfera d'acciaio del diametro esterno di *m* 1,45, nella quale potevano prender posto due uomini e restarvi chiusi per sei ore, grazie a opportuni dispositivi per la respirazione. L'osservazione esterna era possibile attraverso portelli costituiti da cilindri di quarzo dello

spessore di 7 *cm* e mezzo. La sfera era sospesa ad un cavo di acciaio che poteva resistere alla trazione di 29 tonnellate.

L'11 agosto 1934 la batisfera, che aveva a bordo William Beebe e l'Ing. Otis Barton, costruttore dell'apparecchio, discese nell'Atlantico, al largo delle isole Bermude, fino a 906 *m* di profondità e permise osservazioni di enorme interesse sulla fauna abissale, molto più ricca di quello che si credeva un tempo e costituita in massima parte di animali luminescenti, spesso dalle forme stranissime, e osservazioni sulla penetrazione della luce solare a grande profondità.

Da allora, rapidamente, l'uomo è riuscito a discendere a profondità sempre maggiori. Nel 1949 Otis Barton col *bentoscopio* giunge a 1375 *m* al largo della costa californiana. Nel 1953, col batiscafo concepito e fatto costruire da August Piccard, il ben noto esploratore della stratosfera, due ufficiali della marina francese, il capitano di corvetta Houot e l'ingegnere del genio navale Willm, nel Mediterraneo, al largo di Tolone, discendono a 750 *m* il 6 agosto, a 1550 *m* il 12 agosto, a 2100 *m* il 14 agosto. Il batiscafo è libero, cioè non collegato a una nave mediante un cavo, come la batisfera di Beebe, e provvisto di un motore elettrico che mette in azione un'elica, mediante la quale può spostarsi, in immersione, per una ventina di chilometri.

Il 30 settembre dello stesso anno 1953, Piccard e suo figlio, con la batisfera « Trieste », costruita in Italia, raggiunsero nel Tirreno, al largo di Ponza, la profondità di 3150 *m*. Finalmente nel febbraio 1954, nell'Atlantico, al largo di Dakar, un batiscafo francese è giunto a 4050 *m*, profondità che è di poco superiore a quella media degli oceani. Siamo ancora ben lontani dai 10.900 *m* della Fossa delle Marianne. Ma tutto lascia prevedere che l'uomo riuscirà a raggiungere e ad esplorare direttamente anche le massime profondità oceaniche entro un tempo relativamente breve.

Certo, l'esplorazione mediante le batisfere e i batiscafi è pericolosa e costosissima. Per questo, specialmente in America, si suggerisce di utilizzare piuttosto delle *batisfere-sonda*, di piccolo volume e di facile maneggio, provviste di apparecchi registratori e di macchine fotografiche che automaticamente mettono in azione una lampada *flash*.

Con tutti codesti mezzi tecnici, e disponendo di uomini dal cuore saldissimo, che per amore della scienza sono disposti ad affrontare serenamente i rischi più gravi, ormai la conoscenza dei fondi marini potrà fare progressi molto rapidi, con grande vantaggio non solo della Scienza pura, ma anche dell'economia umana. L'uomo, infatti, potrà utilizzare sempre più largamente sia le inesauribili ricchezze delle acque marine, sia quelle del suolo ch'esse ricoprono: giacimenti di minerali metallici, di carbone e soprattutto di petrolio.

Secondo una teoria oggi prevalente, nella genesi dei petroli avrebbero parte essenziale i batteri anaerobi. Le sostanze organiche animali e vegetali trovano le migliori condizioni per il processo naftogeno nelle acque salate poco mosse o addirittura stagnanti, come quelle che si trovano nelle lagune costiere, in certi golfi ben riparati e nelle parti profonde di mari che comunicano molto limitatamente coi mari vicini. Tutti i grandi giacimenti petroliferi si trovano in regioni già occupate da antichi mari o nelle zone costiere dei mari attuali. Negli ultimi decenni i geologi hanno cercato il petrolio anche sotto il mare, e attualmente esso si ricava pure da pozzi perforati nella Laguna di Maracaibo, al largo delle coste della California e soprattutto di fronte a quelle del Texas e della Luisiana, nel Golfo del Messico, che sembra al riguardo una delle zone più promettenti.

E non va dimenticato che l'uomo potrà utilizzare il suolo della piattaforma continentale per la coltivazione di alghe alimentari, alcune delle quali hanno un grande potere nutritivo e sono di alto rendimento, per la loro rapidissima crescita. Le alghe sono ricche di vitamine, di sali minerali e di idrati di carbonio, e inoltre contengono proteine di elevato valore biologico. Si è calcolato, in base a esperimenti di laboratorio, che un ettaro di fondo marino coltivato ad alghe può dare annualmente una produzione di alimenti secchi molte volte superiore a quella della maggior parte delle principali piante alimentari coltivate sulla Terra: e questo con un costo di produzione certamente inferiore a quello di tutti gli altri alimenti ricchi di proteine, come la carne, le uova e il latte.

Di varie alghe si fa già largo consumo alimentare specialmente nell'Estremo Oriente e nella Polinesia. In Giappone, per esempio, le alghe sono largamente impiegate nella preparazione di minestre, dolci e gelatine e nell'alimentazione del bestiame. Come foraggio esse sono utilizzate anche in Scandinavia e in Olanda. In vari paesi dell'Europa occidentale (Bretagna, Irlanda, Scozia, ecc.) si mangiano abitualmente, condite come l'insalata, varie specie di alghe, tra le quali l'*Ulva lactuca*, o lattuga di mare. Tralascio di accennare alla utilizzazione delle alghe a scopi non alimentari.

La coltivazione in grande delle alghe potrà concorrere largamente a risolvere nel mondo il problema della fame, che per molti paesi sovrappopolati si fa ogni anno più angoscioso.

Anche per questo, dunque, è di fondamentale importanza conoscere con esattezza la conformazione e la costituzione dei fondi marini, oltre alle condizioni fisiche e chimiche delle acque. L'intensificarsi delle ricerche oceanografiche condurrà gli uomini alla scoperta di nuove ricchezze e alla migliore utilizzazione delle risorse già note: e il benessere dell'umanità in mi-

sura sempre più grande dipenderà, nei secoli venturi, dall'immenso oceano.

NOTA BIBLIOGRAFICA. — Per avere ulteriori ragguagli sugli argomenti cui si accenna brevemente in questo articolo, oltre ai noti trattati di H. U. SVERDRUP, M. W. JOHNSON e R. H. FLEMING, *The Oceans, their Physics, Chemistry, and General Biology*, New York, Prentice - Hall, Inc., 1942, e di J. ROUCH, *Traité d'Océanographie physique*, 3 voll., Parigi, Payot, 1943, 1946 e 1948, si potranno consultare: R. ALMAGIA', *Sullo sviluppo delle conoscenze delle profondità marine*, in «Boll. Soc. Geogr. Ital.», Roma, 1905, pp. 427-444 e 502-522; J. BOURCART, *Géographie du fond des mers*, Parigi, Payot, 1949; ID., *Océanographie (Introduction à la Géologie)*, Parigi, Centre de Documentation Universitaire, 1952; ID., *Les frontières de l'Océan*, Parigi, A. Michel, 1952; ID., *Contribution à la connaissance du socle sous-marin de la France le long de la côte méditerranéenne*, in «Congr. Géol. Int. - C.R. de la dix-neuvième session - Alger 1952», Algeri, 1953, pp. 25-63; ID., *Recherches sur les gorges sous-marines (Submarine Canyons) du Golfe de Lion*, in «Assoc. Océanogr. Phys. - Procès-Verbaux», N. 5, 1952, pp. 137-138; ID., *Le fond des océans*, Parigi, Presses Universitaires de France, 1954 (vol. 621 della collez. «Que sais-je?»); ID., *Recherches de géologie sous-marine profonde*, in «Bull. de la Soc. Géol. de France», 1954, pp. 557-564; J. BOURCART e L. GLANGEAUD, *Morphotectonique de la marge continentale nord-africaine*, in «Bull. de la Soc. Géol. de France», Parigi, 1954, pp. 751-772; R. L. CARSON, *Il mare intorno a noi*, Roma, Casini, 1952; J. S. COLMAN, *The Sea and its Mysteries*, Londra, G. Bell and Sons, 1953; R. A. DALY, *Origin of submarine «canyons»*, in «Amer. Journ. of Sc.», Newhaven, 1936, pp. 401-420; PH. DIOLE', *L'exploration sous-marine*, Parigi, Presses Universitaires de France, 1953 (vol. 589 della collez. «Que sais-je?»); G. P. EWING, G. P. WOOLLARD, A. C. VINE, J. L. WORZEL, *Recent results in submarine geophysics*, in «Bull. Geol. Soc. of America», Washington, 1946, pp. 909-934; R. FURON, *Les progrès de la géographie et de la géologie sous-marines*, in «La Terre et la Vie», Parigi, 1950, pp. 57-85; ID., *Importance paléogéographique des mouvements de subsidence du Pacific central*, in «Revue générale des Sciences», Parigi, 1955, pp. 307-315; A. GUILCHER, *Morphologie littorale et sous-marine*, Parigi, Presses Universitaires de France (coll. «Orbis»), 1954; D. W. JOHNSON, *The origin of submarine canyons*, New York, Columbia Univ. Press., 1939; PH. H. KUENEN, *Two Problems of marine Geology: Atolls and Canyons*, Amsterdam, Vehr. Kön. Ned. Akad. v. Wet., 1947; ID., *Turbidity currents of high density*, in «Internat. Geol. Congress, Great Britain 1948», parte VIII, pp. 44-52; ID., *Marine Geology*, New York, John Wiley and Sons, Londra, Chapman and Hall, Ltd, 1950; ID., *Origin and classification of submarine canyons*, in «Bull. Geol. Soc. of America», Washington, 1953, pp. 1311-1330; H. PETTERSSON, *The Swedish deep-sea Expedition*, in «Geogr. Journal», Londra, 1947, pp. 145-148; ID., *Resultat från den svenska djuphavsexpeditionen*, in «Ymer», Stoccolma, 1949, pp. 207-219; ID., *Con l'Albatross intorno al mondo*, Milano, Baldini e Castoldi, 1956; Z. POPOVICI e V. ANGELESCU, *La economía del mar y sus relaciones con la alimentación de la humanidad*, 2 voll., Buenos Aires, Ministerio de Educación de la Nación. Dirección General de Cultura. Instituto Nacional de Investigaciones de las Ciencias Naturales, 1954; A. G. SEGRE, *Risultati preliminari dell'esplorazione geomorfologica del Basso Tirreno*, in «La Ricerca Scientifica», 1953, pp. 1550-1556; F. P. SHEPARD, *Submarine Geology*, New York, Harper Broth., 1948; ID., *Composite origin of submarine canyons*, in «Journ. of Geol.», Chicago, 1952, pp. 84-96.

SUMMARY - After having hinted at what scientists knew about the sea-depth from the ancient ages up to the middle of the XIX century, the

A. lays stress on the great progress reached by that branch of science after the invention of the sonic depth finders, which have allowed scientists to learn that the sea-bottom is more varied in shape than they believed formerly. He hints then at sub-marine *canyons*, and at *guyots* (that is volcanic cones with flat tops, very numerous especially in the Pacific Ocean) and he gives information on the principal recent discoveries in the bottom topography of the Atlantic and Pacific Oceans, of the Mediterranean Sea and the Arctic Sea.

When dealing with the knowledge of the sea-bottom sediments, he lays stress on the remarkable progress obtained with the new powerful means of research, especially with the piston core sampler of Kullenberg.

In the last section of the article he rapidly deals with the direct exploration of the sea-bottom and hints at the interest even economic of knowing it: on account of the exploitation of the mineral layers they contain (especially oil) and of the possible cultivation of alimentary sea-weeds.