



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
99^a (1981), Vol. V, fasc. 2, pagg. 17-34.

RAIMONDO SELLI (*)

Le risorse minerarie del Mediterraneo (**)

Mineral resources of the Mediterranean

SUMMARY. — The geology of the Mediterranean sea is examined on the basis of recent research, which indicate the existence of a great amount of mineral resources and hydrocarbons. The possibility of their utilization is discussed.

Di fronte al progressivo esaurirsi delle risorse minerarie delle terre emerse, l'uomo va oggi sempre più cercando nel mare nuovi giacimenti di materie prime con mezzi tecnici sempre più sofisticati e più costosi.

In questa breve rassegna cercherò di dare un quadro che sotto questo aspetto presenta il Mediterraneo e soprattutto i mari italiani, che sono i meglio a noi noti. Si tratterà però di esprimere delle possibilità e probabilità verificabili in un futuro più o meno prossimo, piuttosto che in un'esposizione di fatti accertati e di produzioni concrete che sono ancora relativamente scarse.

Prima di ogni cosa occorre chiarire che il Mediterraneo e le risorse minerarie che stanno al disotto di esso appartengono agli Stati rivieraschi secondo criteri giuridici abbastanza precisi e secondo limiti che in vari casi sono stati definiti da accordi bilaterali. Secondo l'opinione della maggioranza degli Stati che partecipano alla Conferenza al Diritto del mare, che peraltro è ancora lungi dal trovare un accordo generale sui molti punti controversi, esistono nel mare tre zone ben distinte: 1) la zona territoriale (fino a 12 mn dalla costa) dove lo stato rivierasco ha piena sovranità; 2) la zona economica (fino a 200 mn dalla costa) dove lo stato rivierasco ha solo l'esclusiva per lo sfruttamento delle risorse minerarie e biologiche; 3) la zona internazionale che verrà amministrata dall'ONU a beneficio della comunità internazionale.

Il Mediterraneo è un piccolo mare dove nessun paese ha dinanzi a sé 200 mn,

(*) Socio Linceo, Ordinario di Geologia, Università di Bologna.

(**) Conferenza tenuta all'Accademia in occasione del ciclo di conferenze su problemi e prospettive del Mediterraneo il 20 giugno 1979.

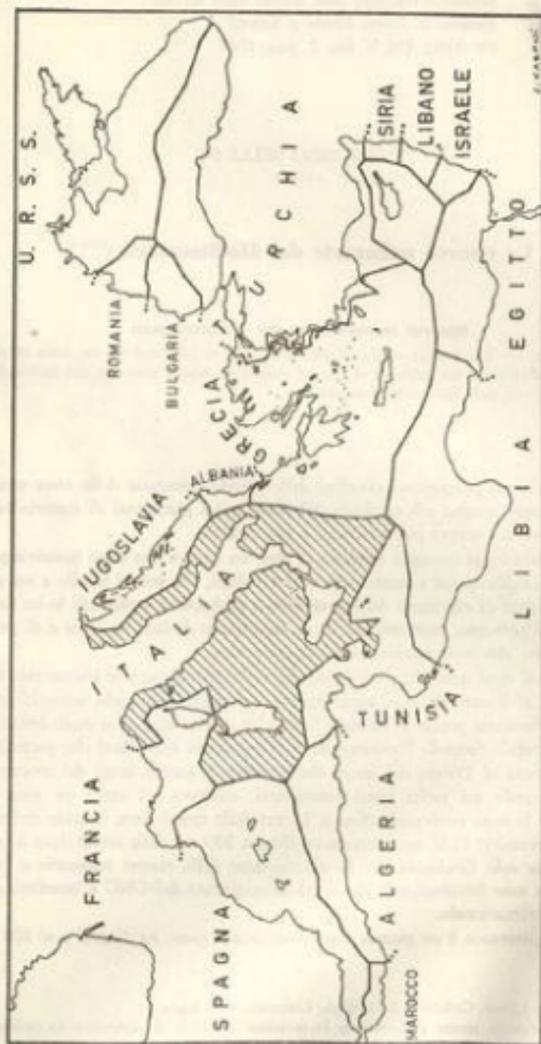


Fig. 1 — «Aree economiche» per lo sfruttamento primario dei fondi marini, spettanti ai vari Paesi mediterranei

ma al massimo solo 120 mn (fra Italia, Grecia e Libia). E' perciò necessario che le zone economiche dei singoli Stati vengano definite da precisi accordi bilaterali, come ha già fatto in gran parte l'Italia. In fig. 1 sono tracciate le linee mediane sia quelle concordate sia quelle obiettivamente prevedibili, dove non esistono ancora accordi precisi definitivi. Come si può vedere l'Italia possiede la zona economica più vasta pari a circa 570.000 Km², cioè circa il doppio della superficie del nostro Paese.

I. CENNI MORFOLOGICI E GEOLOGICI NELL'AREA MEDITERRANEA

Le grandi unità morfologiche del mare Mediterraneo sono: piattaforma e scarpata continentali, piano batiale, fossa e dorsale mediterranee: esse sono schematizzate in Fig. 2 e per la loro distribuzione areale in Fig. 3. Le prime due, che insieme costituiscono la terrazza continentale, sono presenti anche nell'oceano; le piano batiali corrispondono al declivio continentale (o « rise ») oceanico; tutte e tre insieme costituiscono il margine continentale. La fossa mediterranea invece è completamente diversa da quelle oceaniche. Il Mediterraneo perciò, salvo la fossa, è interamente occupato da margini continentali. Se da queste grandi linee essenziali si scende a maggiori particolari, la situazione morfologica si fa più complicata. Così spesso la scarpata è interrotta da terrazze e bacini periferici, che permettono di distinguere una scarpata superiore e una inferiore; monti sottomarini anche di notevole altezza (fino a 3.000-4.000 m) si elevano dalla scarpata continentale (M. Tirreno, Canale di Sicilia, M. Egeo, ecc.) e talora dalle piano batiali (M. Tirreno); spesso essi corrispondono ad apparati vulcanici.

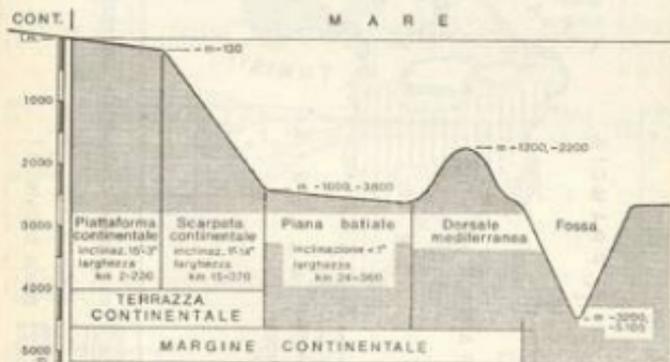


Fig. 2 — Schema delle unità morfologiche fondamentali del Mediterraneo.

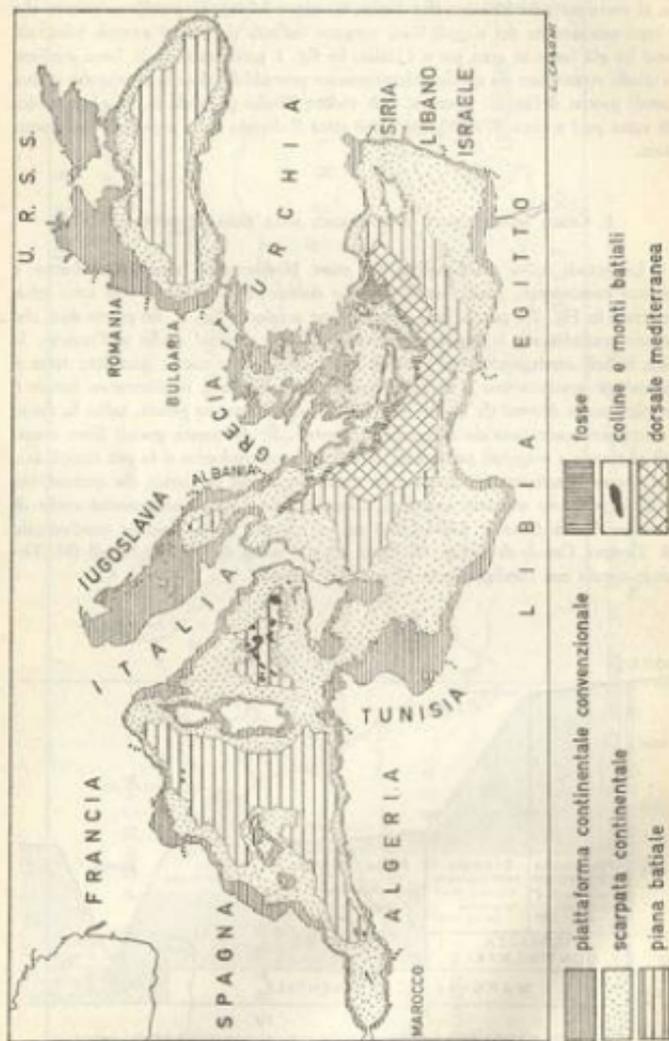


Fig. 3 — Morfologia del Mediterraneo.

Dal punto di vista geologico generale la crosta terrestre è rappresentata da tre unità o «strati» sovrapposti; la copertura sedimentaria, la crosta superiore costituita da rocce metamorfiche e granitiche o sialiche, cioè in prevalenza silico-alluminifere, e la crosta inferiore con rocce femiche e ultrafemiche, simatiche, cioè in prevalenza silico-ferro-magnesifere. Senza entrare nei particolari possiamo dire che queste tre unità sono tipicamente rappresentate nei continenti con spessori complessivi variabili da 30 a 60 Km e' oltre (i massimi in corrispondenza delle catene montuose); nelle piane abissali degli oceani invece manca l'intervallo sialico e la crosta oceanica ha uno spessore complessivo di soli 5-6 Km, 10-11 Km se si tien conto dell'acqua sovrastante). In corrispondenza del margine continentale si ha una crosta intermedia con progressiva riduzione della crosta superiore sialica verso il largo (Fig. 4). Nel Mediterraneo esistono solo croste continentali e intermedie, anche se si sospetta che nel centro del Mar Tirreno possa comparire per piccola estensione anche una crosta oceanica.

Sia dal punto di vista crostale sia da quello geologico-strutturale il mare Mediterraneo è intimamente connesso alle regioni terrestri circostanti, con le quali costituisce un'« area mediterranea » caratterizzata soprattutto dall'enorme sviluppo di grandi catene montuose. Sia queste sia le altre strutture geologiche mediterranee sono il frutto di una lunga serie di eventi geodinamici iniziatisi circa 140 Ma (milioni d'anni) fa.

Allora le due grandi masse continentali antiche (o cratoni o placche) Europa ed Africa erano distanziate, ruotate fra loro e separate da un grande mare: la Tetide, a forma all'incirca triangolare con apice in corrispondenza dell'attuale

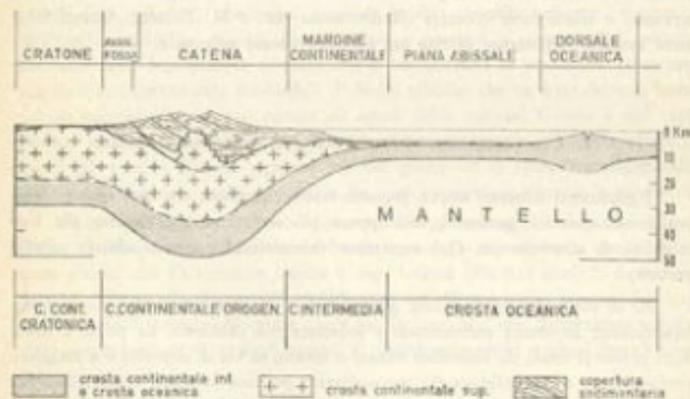


Fig. 4 — Schema delle unità morfologiche e crostali fondamentali dei continenti e degli oceani.

Gibilterra e ampiamente aperta verso oriente, cioè verso l'oceano Indopacifico. Entro questo mare si trovavano profondi solchi a crosta oceanica, tratti a crosta intermedia e zolle e promontori (microcratoni o microplacche) a crosta continentale cratonica.

Successivamente, circa 100 Ma fa, i due continenti Europa ed Africa cominciarono ad avvicinarsi fra loro, come i due bracci di un'enorme morsa; i grandi spessori di sedimenti che si erano accumulati nella Tetide e che si continuavano ad accumulare (fino talora ad oltre 11 Km) furono compressi, progressivamente deformati e insieme alla crosta superiore si accavallarono fra loro secondo piani di scorrimento suborizzontali fino a dare origine alle grandi catene attuali. In seguito a questa riduzione di spazio anche la crosta, soprattutto quella inferiore, non coinvolta nei sovrascorrimenti superficiali fu progressivamente inghiottita nel mantello. Questi fenomeni di compressione orizzontale non si svolsero però con continuità, ma secondo fasi parossistiche separate da intervalli di quiete o di distensione, l'ultimo dei quali perdura tuttora da circa 3,5 Ma.

L'evoluzione dell'area Mediterranea negli ultimi 100 Ma è stata molto complessa e non è certo qui possibile neppure farne uno schema, tanto più che al riguardo esistono numerose interpretazioni. Si può solo ricordare che, sia in mare che in terra, si ebbero anche numerose manifestazioni vulcaniche soprattutto negli ultimi 10 Ma e particolarmente negli ultimi 3,5 Ma (Mediterraneo occ., M. Tirreno, Italia, Sicilia, Canale di Sicilia, M. Egeo, Grecia, Turchia) e negli ultimi 30 Ma intrusioni di magmi granitici nelle catene. Si verificarono inoltre assottigliamenti crostali in corrispondenza delle microplacche che separano oggi le grandi catene mediterranee, dove la primitiva crosta continentale è passata a crosta intermedia e talora forse oceanica (Mediterraneo occ. e M. Tirreno). Questi fenomeni avranno importanza diretta nel generare risorse minerarie.

2. CLASSIFICAZIONE DEI GIACIMENTI MINERARI MARINI

I giacimenti minerari marini possono essere classificati con vari criteri: composizionali, genetici, geologici, ecc. oppure più semplicemente rispetto alle loro modalità di sfruttamento. Qui seguiremo essenzialmente questo ultimo criterio pratico.

Al di sotto dei fondi marini possiamo fare in senso verticale una semplice bipartizione: copertura sedimentaria e substrato più profondo. La prima è costituita presso il fondo da sedimenti recenti e tuttora in via di deposito e a maggiore profondità da rocce sedimentarie compatte per uno spessore complessivo che può variare da pochi m a parecchi Km. Il substrato è costituito da rocce metamorfiche, granitiche, femiche e ultrafemiche, cioè dai normali ingredienti della

crosta superiore e inferiore. A seconda della loro posizione possiamo perciò classificare i giacimenti di materie minerali ed energetiche in (Fig. 5):

- A. Giacimenti superficiali all'apice della copertura sedimentaria;
- B. Giacimenti entro la copertura sedimentaria;
- C. Giacimenti entro il substrato.

In Fig. 6 sono elencate le principali materie prime ricavabili dai fondi marini, la loro distribuzione rispetto alle grandi unità morfologiche e i mezzi di estrazione.

3. GIACIMENTI SUPERFICIALI

Sono quelli direttamente affioranti sul fondo marino e quasi sempre costituiti da materiali sciolti con granuli di diametro variabile da frazioni di mm ad alcuni dm, cioè delle dimensioni delle sabbie e delle ghiaie. I metodi di estrazione sono sostanzialmente due: dragaggio del fondo marino e sollevamento con catene a tazze (o norie) oppure aspirazione e sollevamento mediante un tubo nel quale a una certa profondità, al massimo qualche centinaio di m è iniettata aria compressa (air-lift).

3.1. Minerali pesanti

Si tratta di sabbie metallifere di origine alluvionale o di spiaggia entro le quali sono stati concentrati granuli di minerali pesanti con $p > 4$ e chimicamente stabili (oro, platino, cassiterite, cromite, rutilo, ilmenite, zirconio, magnetite, wolframite, monazite, granati, diamante, pietre preziose o gemme). Tali minerali derivano dalla degradazione di rocce che li contenevano in bassissime percentuali e quindi economicamente inestraiibili. I detriti sabbiosi che ne sono derivati hanno subito successivamente una cernita ad opera delle correnti fluviali e del moto ondoso marino con allontanamento dei granuli più leggeri e concentrazione di quelli più pesanti. Si sono generati così dei giacimenti di sabbie metallifere alluvionali o litorali detti anche « placers » che sono attivamente sfruttati in terraferma.

Placers marini simili si sono formati sulla piattaforma continentale durante le fasi di abbassamento eustatico del livello marino, in concomitanza con le espansioni glaciali del Quaternario medio e sup. (ultimi 800.000 anni) e soprattutto durante l'ultima glaciazione (25-15.000 anni fa). Il successivo ritorno del mare negli intervalli interglaciali (come oggi) può in certi casi aver determinato un'ulteriore concentrazione di minerali pesanti in corrispondenza dei cordoni litorali o una loro ridistribuzione.

Tali sabbie residuali metallifere si rinvengono sulla piattaforma fino a 130-150 m in media di profondità presso lo sbocco di corsi d'acqua che incidavano

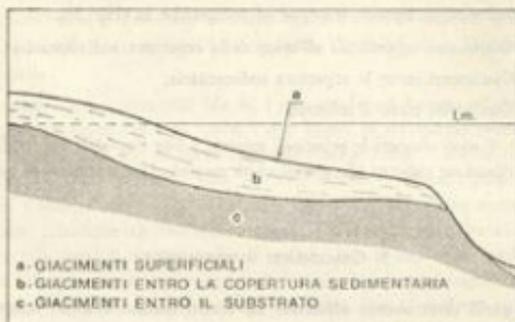


Fig. 5 — Classificazione generale dei giacimenti minerali marini.

TIPI GIACIMENTI	MINERALI RECUPERABILI	DISTRIBUZIONE PREVALENTE				METODI ESTRAZIONE	POSSIBILITÀ SFRUTTAMENTO
		INDIA	EUROPA	USA	ALTRA		
A SUPERFICIALI	1. MINERALI PRECIPITATI SOL. PLACER, GRANULATI SUSPENSIVI, CRISTALLI, FLUSSATI SOL. GASTRATI SUSPENSIVI, GRANULATI, SOLI PLACER SOL. ...					RACCOLTA DAL FONDO E SOLLEVAMENTO	IN ATTO IN VIA DI REALIZZAZIONE
	2. MATERIALI DI COERUZIONE SOL. ... SOL. ... SOL. ...						
	3. TORRE ...						
	4. NICOLI E CRISTE Fe-Mn ...	-----					
	5. FOSFORITI ...						
	6. FANGHI METALLIFERI ...						
	7. FANGHI BAROPLETICI ...						
	8. GLAUCONITI ...	-----					
	ALTRI MINERALI ...						
	B ENTRO LA COPERTURA SEDIMENTARIA	1. IDROCARBURI ...					
2. SOLFO ...							
3. SODIO ...							
4. URTO ...							
C ENTRO IL SUBSTRATO	GIACIMENTI METALLIFERI SODIUMI, POTASSIO E IN ALTRI ...					SOLLEVAZIONE IN ATTO FINO A 2000 M.	IN UN FUTURO LONTANO
	2. ...						
	3. ...						

Fig. 6 — Materie minerali ed energetiche estraibili dai fondi marini, loro distribuzione e possibilità di estrazione.

vaste estensioni di rocce vulcaniche recenti (soprattutto tufi), o metamorfiche o granitiche, che contengono sia pure in tracce minime qualcuno dei minerali sopra citati. Altro criterio utile ma non necessario per l'individuazione di placers marini è la presenza di concentrazioni metallifere nelle alluvioni e nelle sabbie litorali della prospiciente terraferma.

Nel Mediterraneo, sfruttamenti industriali di placers litorali si hanno attualmente solo nel delta del Nilo (ilmenite, zircono, magnetite); in passato si è tentata la coltivazione delle sabbie del Lazio e Campania (magnetite, ilmenite, zircono).

Sabbie metallifere sono state messe in evidenza sulla piattaforma continentale dell'Isola d'Elba (magnetite), della Toscana e del Lazio (magnetite), della Calabria (ilmenite, titanio-magnetite, zircono) e della Sardegna meridionale (minerali di Ti, Zr, Sn, Zn). Altre piattaforme continentali mediterranee, che offrono prospettive interessanti sono quelle del M. d'Alboran, Delta del Nilo, Cipro, Turchia del SW e M. Egeo, dove sono possibili anche concentrazioni di cromite, come indicato in Fig. 7.

3.2. *Materiali da costruzione*

In molti Paesi (Stati Uniti, Francia, Olanda, ecc.) si va sempre più intensificando l'estrazione dal mare di sabbie, ghiaie e ammassi conchigliati per rilevati, ripascimento di spiagge, costruzioni stradali, inerti per malte, ecc.; in quest'ultimo caso si presenta anche il problema della dissalazione. Per i paesi mediterranei queste estrazioni non sono ancora impellenti anche se per alcuni (Italia, Israele, ecc.) sono prevedibili in un prossimo futuro. Naturalmente è la piattaforma continentale che sarà oggetto di tali sfruttamenti a breve distanza dalla costa dato il basso costo di tali materiali.

3.3. *Torbe*

A stretto rigore non si tratta di veri giacimenti superficiali, ma solo se il materiale si trova a minima profondità sotto il fondo può essere sfruttato. Depositi di torba si possono rinvenire sulla piattaforma continentale fino a 130-140 m di profondità particolarmente di fronte ai grandi delta fluviali attuali (ad es. nell'alto Adriatico); essi si sono formati durante gli abbassamenti glacioeustatici del livello marino. Ma dato il suo scarso valore economico, la torba non è oggi oggetto di ricerca e sfruttamento.

3.4. *Croste e concrezioni ferromanganesifere*

Nodi ferromanganesiferi, o meglio polimetallici per l'elevato contenuto anche in altri elementi (Ni, Co, V, Cu, ecc.) come quelli oceanici, non esistono nel



Fig. 7 — Sabbie metallifere o «placers» nel Mediterraneo.

Mediterraneo, dove per altro mancano le possibilità di formazione a causa soprattutto dell'elevata velocità di sedimentazione.

Nel Mediterraneo però sono presenti altre forme di precipitazione di Fe, Mn e altri elementi utili, secondo tre diversi tipi di giaciture (i valori percentuali sono dati su materiale secco):

a) croste manganesifere da mm a 3-4 cm di spessore depositatesi su ogni supporto solido affiorante: rocce compatte dei monti e rilievi sottomarini, coralli ahermali, conchiglie, ecc.

b) concrezioni subferiche e strati porosi di color bruno o rossobruno ferriferi e ferromanganesiferi (in media Fe 30%, Mn 7%).

c) concrezioni e strati neri o nerastri abbastanza compatti manganesiferi (in media Mn 38-55%).

Il primo tipo di mineralizzazioni è ubiquitario nel Mediterraneo e deriva da precipitazione diretta dalle acque marine. Esso però non ha alcun valore economico.

Gli altri due tipi di mineralizzazioni sono stati finora rinvenuti solo nel SE Tirreno, ma è prevedibile la loro presenza anche nell'Egeo meridionale nell'arco delle Cicladi (Fig. 8). Essi sono di origine esalativo-idrotermale e connessi con un vulcanismo sottomarino, talora insulare. Tali fluidi venendo a contatto con l'acqua marina e passando da un ambiente riducente a uno ossidante danno luogo alla precipitazione di Fe, Mn e altri elementi minori. Nel processo hanno importanza numerosi altri fattori: posizione delle bocche di emissione, morfologia del fondale, correnti marine di fondo, temperatura, pH ed Eh delle acque, scarsità di sedimentazione terrigena, ecc. Finora nel SE Tirreno sono stati messi in evidenza circa 13 Km² di mineralizzazioni, con riserve valutabili a parecchi milioni di tonnellate di concrezioni manganesifere del tipo c). Oltre all'elevato tenore in Mn, esse hanno anche piccoli tenori in Ni, Co e Cu che ne accrescono il valore economico.

Tutte queste mineralizzazioni sono legate a vulcani calc-alcalinici come sono quelli delle Isole Eolie. Viceversa non sembra favorevole il vulcanesimo basaltico e alcalibasaltico o per lo meno non sono stati finora rinvenuti depositi ferro-manganesiferi connessi con questi tipi di apparati (centro e S Tirreno, Canale di Sicilia).

3.5. Fanghi metalliferi

Tipici esempi di questi giacimenti sono le 13 depressioni del Mar Rosso, mineralizzate con Fe, Mn, Zn, Cu, ecc. sotto forma di ossidi e solfuri.

L'origine di questi depositi è dovuta alle acque marine infiltratesi in profondità, dove hanno assunto mineralizzazione e termalità, e quindi riemerse sul fondo marino, dove è avvenuta la precipitazione degli elementi utili.

Lo stesso fenomeno potrebbe essersi verificato anche nel Mediterraneo in corrispondenza di depressioni chiuse in prossimità di apparati vulcanici con esala-



Fig. 3 — Concrezioni ferro-manganese nel Mediterraneo.

zioni idrotermali. Le zone più favorevoli per un tale processo sono il Mar Tirreno meridionale e l'Egeo meridionale, dove appunto esistono queste condizioni. Le ricerche nel M. Tirreno, sulla scarpata della Sicilia e della Campania, hanno però messo finora in evidenza solo precipitazioni di zolfo e solfuri di Fe.

3.6. Altri minerali superficiali

Fosforiti non sono note finora nel Mediterraneo anche se in alcuni tratti dello Ionio occidentale e nel Canale di Sicilia ve ne sia la probabilità. In ogni caso il loro interesse economico sarebbe trascurabile, data la vicinanza in terraferma (Nord-Africa) di enormi giacimenti ben più ricchi.

Glauconite, barite e fanghi sapropelitici non sono materiali che meritino una ricerca, anche se per gli ultimi ve ne sono possibilità nel Mar Nero.

Viceversa materiali che possono suscitare interesse rilevante, anche se finora non sono stati oggetti di ricerca, sono le zeoliti.

4. GIACIMENTI ENTRO LA COPERTURA SEDIMENTARIA

Si tratta di materie prime di origine sedimentaria fluide (idrocarburi e vapore) o solide, ma che possono essere rese fluide per fusione (zolfo) o soluzione (sal-gemma e sali di potassio e magnesio). La loro ricerca e sfruttamento avviene mediante pozzi perforati per centinaia e migliaia di m al disotto del fondo marino.

Oggi le tecnologie di perforazione sono ben collaudate e di impiego comune fra la costa fino ai 200 m di profondità del mare. Pozzi sono stati perforati anche al disotto di acque più profonde talora superiori ai 1000 m; ma occorre attendere qualche anno prima che queste tecnologie si sviluppino e si diffondano in modo che siano utilizzabili per tutte le profondità marine e in ogni condizione del mare, soprattutto per quanto riguarda lo sfruttamento, immagazzinamento e trasferimento dei fluidi.

4.1. Idrocarburi

Essi costituiscono già oggi il 90% del valore economico totale delle produzioni minerarie marine mondiali. Anche se gli sfruttamenti sono in pratica limitati alla piattaforma continentale, il petrolio prodotto dal mare rappresenta circa il 20% e il gas quasi il 10% delle produzioni globali.

Sotto questo aspetto il Mediterraneo offre prospettive promettenti soprattutto sulle sue piattaforme e scarpate continentali e in particolar modo della sua parte centrale; in futuro quando i mezzi tecnici lo consentiranno potranno suscitare interesse anche le grandi pianure batiali disseminate di numerosissimi diapiri saliferi.

I terreni più interessanti sono rappresentati dalle intercalazioni sabbiose o calcaree del Neogene e dai calcari del Mesozoico.

L'attività di ricerca geologica-geofisica e di perforazione è intensa ed ha portato ad alcuni successi nel Golfo di Valencia, nel Mare Adriatico, nel Mar Ionio, sulle piattaforme continentali della Sicilia meridionale e della Tunisia, al largo del Delta del Nilo e nell'Egeo settentrionale (Fig. 9). Malgrado gli sforzi, le produzioni complessive di olio sono modeste (G. di Valencia, Tunisia, Grecia) e inferiori complessivamente a 1 mil. di t/anno; più consistenti sono quelle di gas (Adriatico e Ionio) anche se mancano i dati.

Globalmente parlando il Mediterraneo presenta un interesse non indifferente per quanto riguarda i giacimenti d'idrocarburi, malgrado che i risultati pratici finora ottenuti siano stati inferiori alle aspettative e che, dato lo sminuzzamento tettonico, non siano da attendersi ritrovamenti di giacimenti giganteschi, ma solo di medie e piccole dimensioni. Tuttavia il grande spessore ed estensione dei sedimenti neogenici e mesozoici, con tutti i requisiti adatti per la genesi e l'accumulo degli idrocarburi, sono elementi favorevoli per l'intensificazione delle ricerche.

4.2. Zolfo ed evaporiti

Enormi sono nel Mediterraneo le riserve di evaporiti utili (salgemma, sali di potassio e magnesio), che sono valutabili ad un ordine di grandezza di $2 \cdot 10^7$ tonnellate. Tali evaporiti si estendono continue con spessori anche di migliaia di m soprattutto al disotto delle pianie basali (Fig. 9) e nei bacini periferici impostati sulle scarpate continentali. Esse si sono formate per precipitazione dalle acque marine durante il Miocene sup. (Messiniano), quando le acque del Mediterraneo per una particolare situazione paleogeografica raggiunsero una salinità superiore al 420‰ (crisi di salinità).

Esse però possono essere oggetto di sfruttamento economico solo in particolari situazioni favorevoli e cioè quando si trovano a piccola profondità al disotto del fondo marino, come avviene in quelle numerosissime strutture diapiriche generate appunto dal salgemma in tutto il Mediterraneo. Ovviamente i diapiri più interessanti sono quelli più prossimi alla costa. Il metodo di sfruttamento è identico a quello spesso usato anche in terraferma: perforazione di pozzi, iniezione di acqua, recupero di salamoie molto concentrate (che nel nostro caso vengono convogliate a terra) e dalle quali si ricava il salgemma per evaporazione.

Viceversa è molto improbabile che depositi di zolfo, che spesso sono associati alle successioni evaporitiche messiniane, siano economicamente sfruttabili nel Mediterraneo.

4.3. Vapore

In corrispondenza dell'area vulcanica del SE Tirreno (vulcano Marsili e anello vulcanico delle Eolie) sono stati misurati elevati flussi di calore fino a 6-7 HFU.



Fig. 9 — Adiacenti di idrocarburi nel Mediterraneo.

Tali valori sono paragonabili a quelli riscontrati in campi geotermici di terraferma. Probabilmente il calore proviene da grandi serbatoi magmatici cristalli o sub-cristalli.

Nella regione sono presenti cospicui spessori di successioni argillose impermeabili con intercalazioni sabbiose permeabili. Qualora si verificano anche condizioni idrauliche favorevoli, l'area può presentare prospettive interessanti per la produzione di vapore.

Situazioni simili devono trovarsi in altre parti del Mediterraneo, dove compare vulcanismo quaternario e attuale e in particolare nel Canale di Sicilia e nell'Egeo meridionale.

Malgrado le prospettive generali favorevoli, i problemi tecnici della ricerca, sfruttamento e utilizzazione del vapore da giacimenti marini, soprattutto sotto grandi profondità di acqua e a notevole distanza dalla costa, sono oggi praticamente insormontabili. Si tratta perciò di risorse che potranno essere utilizzate in un futuro più o meno remoto.

5. GIACIMENTI METALLIFERI DEL SUBSTRATO

Entro le rocce ignee, sedimentarie e metamorfiche che costituiscono la crosta intermedia, come è in prevalenza quella del Mediterraneo e che da un punto di vista minerario abbiamo qui indicato genericamente come substrato, sono possibili tutti i tipi di giacimenti metalliferi che conosciamo in terraferma. Nel Mediterraneo sono più facilmente prevedibili quelli connessi con i corpi granitici, con le ofioliti alpine e con il vulcanismo. In corrispondenza delle scarpate continentali e dei monti sottomarini, con una copertura sedimentaria minima o dove nella prospiciente terraferma compaiono situazioni geologiche favorevoli e mineralizzazioni metallifere, i ritrovamenti minerari possono essere più facili e interessanti.

Oltre 100 miniere sottomarine mediante pozzi e gallerie che si dipartono da isole o dal continente sono attive nel mondo (Finlandia, Inghilterra, Scozia, Alasca, Canada, Australia, ecc.) fino al disotto di 120 m di acqua e a 8 Km dalla costa. Tali estrazioni potranno aumentare al disotto della piattaforma continentale, ma perché si possa sviluppare una vera industria mineraria nel substrato del margine continentale sono necessarie nuove tecnologie.

Anzitutto occorrono nuove metodologie di ricerca per l'individuazione, delimitazione e valutazione degli ammassi sottomarini, che non possono essere solo quelle oggi adottate in terraferma. Poi dovranno essere applicati nuovi metodi di estrazione. In alcuni casi può essere possibile lo sfruttamento mediante gallerie, anche da isole artificiali, quando la roccia di tetto ha sufficiente tenuta. Di impiego più generale sembra essere però l'estrazione mediante perforazioni; in tal caso si dovrà ricorrere a fratturazione e successivamente ad acidificazione o lisciviazione

o attacco batterico della roccia, infine al recupero di questi fluidi per il successivo trattamento. In ogni caso però si tratta di operazioni ancora da studiare e collaudare e di realizzazioni forse possibili in un futuro assai lontano.

6. CONCLUSIONI

Da quanto si è esposto nelle pagine precedenti si può dire che la ricerca mineraria nel Mediterraneo è appena iniziata con le prime saltuarie esplorazioni. Tuttavia le prospettive si possono al momento riassumere come segue:

- buone e talora ottime per gli idrocarburi;
- buone o discrete per minerali di manganese, titanio, nickel e per salgemma e sali potassici;
- discrete per altri minerali pesanti;
- scarse o nulle per fosforiti, zolfo, materiali da costruzione, torbe ecc. per il basso valore economico di questi materiali e per l'esistenza a terra di riserve abbondanti assai più competitive;
- interessanti, ma realizzabili in un futuro più o meno lontano per i giacimenti metalliferi nel substrato e l'energia geotermica, dati gli imponenti problemi tecnologici ancora da risolvere.

L'esplorazione geologica dell'oceano e dei mari, sviluppatasi enormemente negli ultimi 30 anni ha già messo in evidenza una quantità notevole di risorse minerarie e ancor più ne scoprirà in avvenire. Si pone però un problema generale: è economicamente vantaggioso ricercare e sfruttare queste risorse?

L'argomento è complesso e richiede una risposta articolata generale e non limitata al nostro piccolo ambito mediterraneo.

Anzitutto in mare tutte le operazioni di prospezione, esplorazione, valutazione e sfruttamento dei giacimenti sono molto più costose che in terra. Ad esempio per quanto riguarda i grandi campi di idrocarburi oltre i 200 m di profondità si valuta che i costi siano da 5 a 10 volte maggiori che in terraferma. Se il discorso fosse allargato alle altre materie prime il risultato sarebbe analogo, salvo forse per i noduli polimetallici oceanici dove i costi finali di produzione sembrano vicini (per taluni AA. addirittura concorrenziali) con quelli di produzione del Cu, Ni, Co e Mn di terraferma.

Ma le valutazioni, che oggi noi possiamo fare, sono legate alle condizioni attuali di mercato e alle tecnologie disponibili. Ma sono questi due fattori molto variabili nel tempo, come l'esperienza ci insegna.

Le condizioni di mercato portano inesorabilmente a un progressivo aumento dei prezzi, sia per l'impoverirsi delle risorse in terraferma, sia per ragioni politiche. Si veda l'esempio degli idrocarburi il cui aumento del prezzo di mercato ha permesso che divenissero economici e concorrenziali lo sfruttamento dei grandi giacimenti del Mare del Nord e l'uso dell'energia nucleare.

I mezzi tecnologici a nostra disposizione per gli sfruttamenti marini sono secondo i casi: o poco progrediti (semplici adattamenti di quelli nati in terraferma), o enormemente arretrati e primitivi, o addirittura inesistenti. Il progresso tecnologico, soprattutto per quanto riguarda i mezzi di estrazione e i metodi di trattamento dei minerali, farà indubbiamente quei progressi necessari per rendere lo sfruttamento più economico. Anche questo ce lo insegna ad esempio la storia dell'industria degli idrocarburi.

Perciò se dobbiamo rispondere secondo le condizioni di mercato e tecnologiche attuali dovremmo rispondere che in buona parte dei casi lo sfruttamento delle risorse minerarie ed energetiche marine non è oggi economicamente vantaggioso.

Però con l'evoluzione dei mercati e delle tecnologie lo sfruttamento diventerà certamente non solo concorrenziale, ma largamente proficuo in un futuro prossimo nella maggior parte dei casi.

Dobbiamo perciò riguardare le risorse minerarie marine come una grande riserva futura per l'uomo data la loro estensione e potenzialità (non dobbiamo dimenticare che l'oceano copre quasi i tre quarti del nostro pianeta). A noi geologi spetta al momento solo il compito di individuarle e valutarle, ad altri tecnici quello di preparare i mezzi materiali per lo sfruttamento economico delle risorse.