



Rendiconti

Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL

Memorie di Scienze Fisiche e Naturali

99° (1981), Vol. V, fasc. 4, pagg. 43-66.

G. PUPPI (\*)

## Tecnologie Marine (\*\*)

### Marine Technologies

SUMMARY. — New technologies for the utilization of resources of the sea bottom are described.

Il mare è elemento di separazione per i popoli, ma anche di unione; nella storia dell'uomo la funzione di unione è cresciuta con il progredire delle capacità dell'uomo e cioè con il progredire delle sue conoscenze e della sua tecnologia. E' stato insieme causa ed effetto dello sviluppo della sua economia; il mare vicino utilizzato per la pesca e il sale, e il mare lontano per i traffici con altri popoli.

Dall'epoca delle grandi esplorazioni si è sviluppata una consuetudine, che fu anche dottrina enunciata da Hugo Grotius nel 1609, della *proprietà delle acque territoriali* per i paesi rivieraschi da una parte, e dall'*uso libero degli alti mari* per tutti dall'altra.

Questa consuetudine ha significato molto per lo sviluppo dell'umanità e per la sua dinamica (esplorazioni, commerci, colonizzazioni, trasmissioni, politiche marine, ecc.) ovviamente sia nel senso buono che in quello cattivo.

E' da notare, con un certo stupore come questa dottrina sia stata formalizzata solo recentemente (Ginevra 1958).

In questo secolo l'utilizzo del mare si è molto ampliato rispetto ai tradizionali profili della pesca e della navigazione innanzi tutto perché la pesca stessa ha superato il suo aspetto artigianale e costiero per assumere sempre più quello di attività industriale. Inoltre il fondo e soprattutto il sottofondo marino sono divenuti importanti sorgenti di materie prime come minerali ma soprattutto come petrolio e gas. Infine sempre più il mare sta diventando il ricettacolo finale di tutti i rifiuti delle attività umane. Per tutte queste attività, vecchie e nuove, si è assistito negli ultimi decenni ad uno sviluppo così vigoroso da porre il quesito se sia ancora

(\*) Uso del XL. Ordinario di Fisica, Università di Venezia. Presidente Tecnomar.

(\*\*) Conferenza tenuta il 20-6-1979 nella sede Accademica nel Ciclo Centro Problemi del Mediterraneo e prospettive.

lecito considerare il mare, che però occupa il 70% della superficie terrestre, come un sistema dotato di capacità infinita di fronte ai bisogni dell'uomo.

Già per la pesca, e a prescindere da quella relativa a certi tipi particolari come la balena, o da certe zone particolarmente critiche come alcuni mari interni, ma proprio per la pesca mondiale, si è avuto negli ultimi anni una sensibile riduzione del tonnellaggio di pescato annuale. Questo potrebbe significare, se l'andamento persiste, che si è già al limite dello sfruttamento di questa risorsa.

Per la estrazione di idrocarburi dal sottofondo marino e ancor più per il ricupero di minerali siamo ancora agli inizi ma è probabile che per la fine del secolo molto di quello che dal mare si può estrarre sarà stato individuato, e questa risorsa comincerà anch'essa a mostrare i primi segni del futuro esaurimento. L'uso del mare come ricettacolo dei rifiuti delle attività umane infine è forse il problema, assieme a quello delle crisi delle risorse biologiche, più immediato. Molte fasce costiere sono già fortemente inquinate, e cominciano ad esserlo anche i mari chiusi; per l'oceano è forse un po' presto per dire qualche cosa di sicuro ma il sospetto del suo deterioramento c'è, e la cosa è particolarmente grave perché non sappiamo bene quali siano gli effetti a lungo periodo di una alterazione delle proprietà fisiche e chimiche del mare sul clima del globo e quindi in definitiva sul destino della specie umana.

Sembra quindi doversi dedurre che non si può più parlare di *utilizzazione* del mare senza contemporaneamente parlare di *conservazione* del mare, soprattutto dei processi di modificazione e di recupero onde controllarne le derive sistematiche. Su queste conoscenze la tecnologia moderna, che è responsabile della situazione attuale di uso ed abuso del mare, potrà costituire la risorsa, che è anche l'unica ragionevole a nostra disposizione, per il suo corretto controllo e la sua fruizione non distruttiva.

Notiamo che il problema della conservazione delle caratteristiche del mare assume un particolare interesse per il Mediterraneo che, pur non essendo un mare chiuso, è tuttavia molto grande come massa d'acqua rispetto alla massa d'acqua scambiata con l'oceano; ne consegue che l'equilibrio tra immissione e smaltimento dei inquinanti potrebbe in futuro divenire critico. Di ciò tutte le nazioni rivierasche sono coscienti ma non molto è stato conseguito e i vari progetti bilaterali e multilaterali non hanno avuto sinora successi significativi.

Da parte nostra almeno, vista la posizione particolare dell'Italia che è immersa in questo mare, sarà doveroso istituire un sistema di sorveglianza e di controllo molto più efficiente di quello esistente.

Notiamo infine che il problema del controllo della qualità del mare, a parte i suoi interessanti aspetti politici di elemento di collaborazione tecnico scientifica tra paesi rivieraschi, è anche in sé un problema di rilevante interesse scientifico visto che non vi è disciplina che non vi sia coinvolta; ed è anche un problema di rilevante interesse didattico vista la varietà e l'ampiezza dei problemi da affrontare.

Una Accademia Scientifica come questa, che vi si dedicatesse non occasional-

mente ma sviluppando in tal senso una sua nuova vocazione, potrebbe trovarvi la gratificazione del coinvolgimento in una impresa di grande dimensione ed un respiro internazionale molto qualificato nel colloquio tra le varie nazioni che su questo Mare Mediterraneo vivono.

Ma veniamo ora a discutere il tema per cui penso di essere stato invitato a parlarvi, quello delle tecnologie marine propriamente dette, quelle relative all'intervento dell'uomo nel mare per lo sfruttamento delle sue risorse e principalmente nella forma di risorse energetiche provenienti dal sottofondo marino, petrolio e gas naturale.

E' una attività questa che storicamente è partita dalla terraferma, ove tuttora ne rappresenta la maggior parte, e pertanto il suo sviluppo è avvenuto con molta gradualità in termini di allontanamento dalla costa e di utilizzo di fondali di profondità crescente.

Essa consta di tre fasi: la ricerca, lo sfruttamento e il trasporto a terra del prodotto sotto forma liquida (petrolio) o gassosa (gas), o un miscuglio delle due.

La *ricerca* e cioè la esplorazione delle risorse potenziali di idrocarburi nel sottofondo marino si è sviluppata molto rapidamente in questo secolo tanto che attualmente si può perforare dalla superficie del mare in fondali di alcune migliaia di metri e per spessori del sottofondo marino anche di alcune migliaia di metri.

Di seguito sono presentati alcuni dei mezzi navali più frequentemente usati nella fase di perforazione per ricerca e precisamente: un sistema « jack-up » che si appoggia sul fondo a mezzo delle tre gambe ed innalza la piattaforma con le attrezzature (fig. 1), una struttura semi sommergibile galleggiante (fig. 2) e infine una vera e propria nave (fig. 3).

Una volta individuato il giacimento vi è bisogno, se esso è economicamente interessante, di una struttura fissa che congiunga permanentemente il fondo del mare con la superficie del mare e che permetta di perforare i pozzi di produzione e di gestirli per anni.

Questo si realizza con strutture generalmente metalliche e recentemente anche in cemento armato ed è qui che si incontrano le più gravi limitazioni dato che l'impegno tecnico e il costo di queste strutture crescono molto rapidamente, come è facile intuire, con la profondità del fondale. A tutt'oggi non esiste nel mondo alcuna piattaforma fissa di produzione installata in più di 300 metri di fondale.

Alcuni esempi di tali piattaforme sono presentati nelle due varianti: a pali infissi nel fondo del mare e appoggiate sul fondo. Nelle figure 4, 5, 6 sono presentate in una specie di successione storica di crescente complessità: una piattaforma che serve un solo pozzo, una combinazione di tre pozzi singoli e infine una piattaforma ad otto pozzi di prima generazione a pali.

Di una di queste piattaforme di prima generazione a pali sono illustrate nella fig. 7, 8, 9, 10 alcune fasi di realizzazione: costruzione a terra, varo in mare, completamento col ponte e con gli alloggi.

Nelle fig. 11, 12 sono invece riportati i disegni di due tipi di piattaforme appoggiate sul fondo (cosiddette piattaforme a gravità), una in cemento armato e l'altra in acciaio. Esse vengono costruite in cantiere, poste in galleggiamento, rimorchiate sul punto di destinazione e ivi affondate ed appoggiate sul fondo.

Esse sono i due esemplari costruiti per primi nel mondo, e di cui esistono oggi già vari esempi di installazione.

Per comprendere meglio le difficoltà che si incontrano al crescere della profondità del fondale nella installazione di strutture permanenti è riportato nella fig. 13 un diagramma che mostra l'andamento del peso strutturale in funzione della profondità del fondale per piattaforme installate o progettate. La figura illustra anche un altro aspetto molto importante e cioè la dipendenza del peso strutturale, a parità di fondale, dalle condizioni metro-oceanografiche e precisamente: una condizione molto severa (Mare del Nord) ed una meno severa (Mediterraneo, Golfo del Messico, Golfo Persico, Africa Occidentale).

Quale sarà il futuro di questa tecnologia?

Un crescente gigantismo nelle piattaforme non sembra essere la soluzione giusta visti gli andamenti dei pesi strutturali e anche perché la famosa gradualità che fino ai 200 metri di profondità era suggerita dall'andamento del fondo marino nella piattaforma continentale non è più vera oltre, dato che il fondo marino oltre la piattaforma continentale precipita verso le profondità abissali con una scarpata abbastanza ripida; è probabile quindi che in futuro, esaurite le possibilità della piattaforma continentale e della scarpata si debba veramente aggredire il dominio delle migliaia di metri di profondità; strutture emergenti in superficie dal fondo non sono qui più pensabili.

Qui ci sono due vie da seguire possibilmente; la prima è di lavorare addirittura sul fondo del mare installandovi delle teste di pozzo comandate remotamente, la seconda è di lavorare ancora in superficie ma con delle strutture ancorate sul fondo. Le fig. 14 e 15 illustrano soluzioni possibili del problema con due tipi differenti di ancoraggio. La prima soluzione mantiene ancora una struttura di collegamento sul fondo ma estremamente ridotta, la seconda mantiene come collegamento al fondo solo i pozzi di estrazione. Venendo ora alla terza fase, quella del *trasporto a terra* degli idrocarburi, esso si effettua normalmente attraverso condotte (pipelines) appoggiate sul fondo marino e colleganti la piattaforma con la costa. Il varo in mare di tali condotte in cui uno schema illustrativo è riportato in fig. 16 si esegue a mezzo di appositi pontoni galleggianti ed operanti a mezzo di ancore di cui un esempio, ritratto mentre posa, è nella fig. 17.

Anche in questo campo sono stati fatti recentemente notevoli progressi e raggiunte profondità importanti come i 350 metri nello stretto di Messina realizzati dalla SAIPEM del Gruppo ENI.

Nella fig. 18 è appunto riportato un confronto in termini di profondità d'acqua contro diametro della condotta per varie pose effettuate nel passato e negli ultimi anni.

Il progresso in profondità e in diametro delle condotte anche qui si risolve in un crescente gigantismo e sofisticazione dei pontoni che le posano. Si potrà

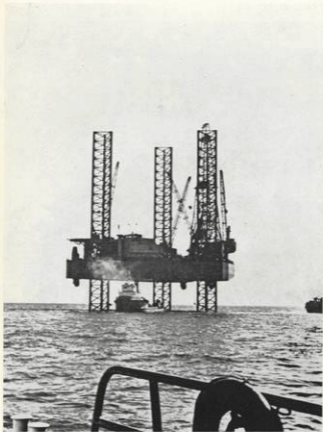


Fig. 1.



Fig. 2.

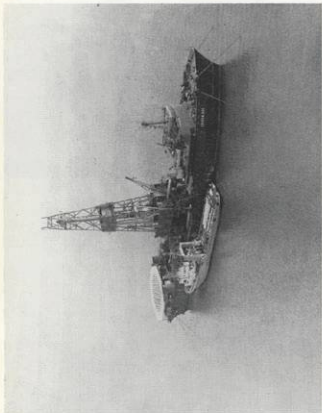


Fig. 3.

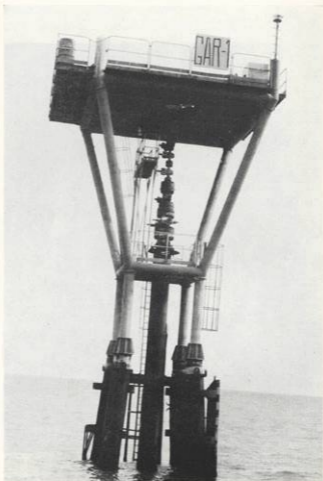


Fig. 4.



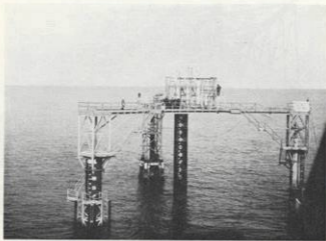


Fig. 5.



Fig. 6.

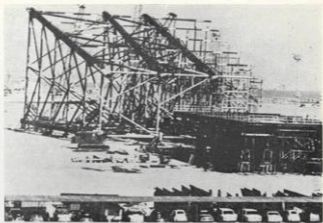


Fig. 7.

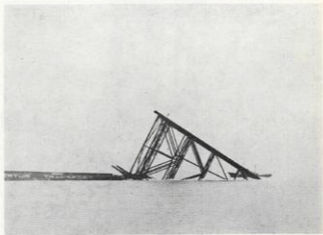


Fig. 8.

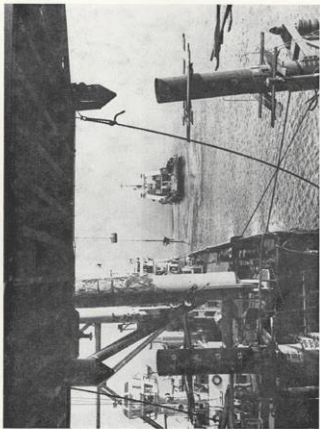


Fig. 9.

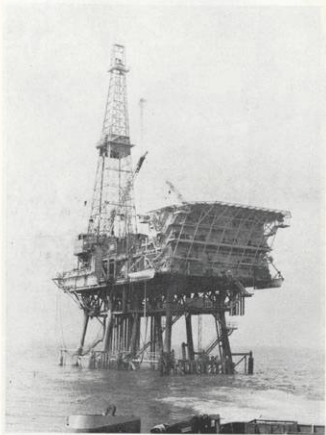


Fig. 10.

PLATFORMS WEIGHT TREND

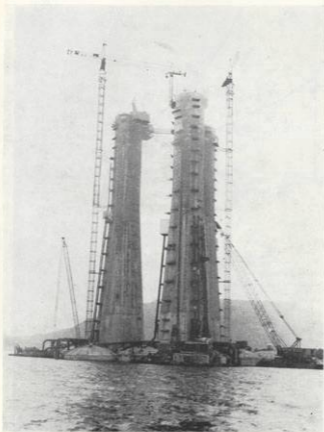


Fig. 11.

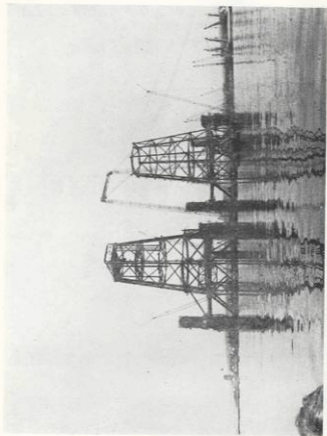


Fig. 12.

### PLATFORMS WEIGHT TREND

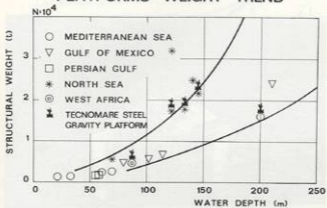


Fig. 13.

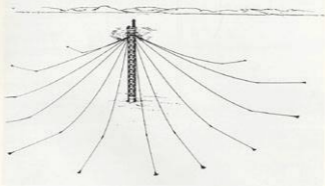


Fig. 14.

PLATFORMS WEIGHT TREND

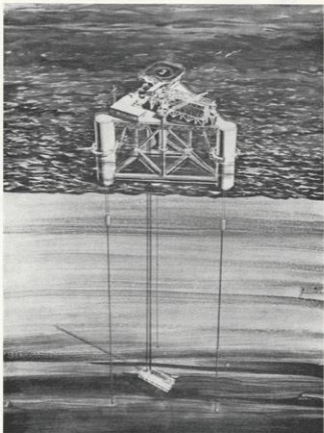


Fig. 15.



LAY BARGE WITH  
CURVED PONTOON

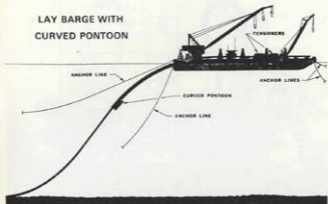


Fig. 16.

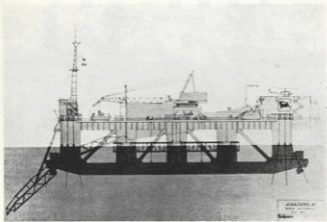


Fig. 17.

## PIPES LAID IN RECENT YEARS

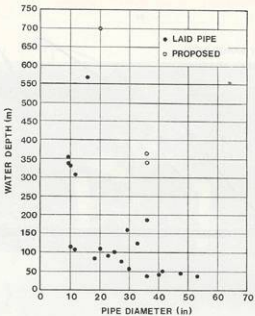
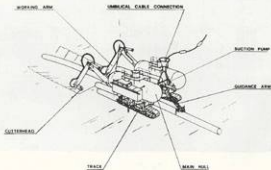


Fig. 18.



TM-102 PERSPECTIVE VIEW

Fig. 19.

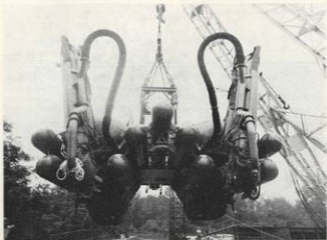


Fig. 20.

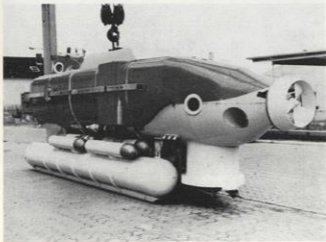


Fig. 21.



Fig. 22.

ancora migliorare, ma i 600 metri di profondità sembrano oggi il limite delle tecniche attuali.

D'altra parte la capacità di posa in acqua molto profonda sembra importante anche per sistemi di sfruttamento operanti completamente sul fondo; sembra quindi importante sperimentare nuovi sistemi di posa. Con l'aumento delle profondità altre esigenze diventano imperative come l'automazione dei sistemi, il controllo a distanza, la diagnostica della vita residua delle strutture, i mezzi di ispezione e i mezzi di lavoro sul fondo del mare.

Questi ultimi sono chiamati ad assolvere compiti via via più impegnativi che vanno dalla preparazione del terreno, all'interro delle condotte, agli interventi di manutenzione e riparazione. Nelle fig. 19, 20 è presentato appunto un mezzo cingolato di lavoro, di recente realizzazione e particolarmente adatto a scavare trincee per l'interro delle condotte, la loro sistemazione nella trincea, e il loro ricoprimento. E' completamente automatizzato e controllato dalla superficie: può giungere a lavorare a profondità di 150-200 metri. E' probabile che nei prossimi anni vedremo un moltiplicarsi di mezzi di questo tipo per le crescenti esigenze di lavoro sul fondo. In fig. 21 infine è presentato un piccolo sottomarino abitato normalmente impiegato per ispezione e assistenza.

Di un ulteriore elemento non abbiamo parlato finora e precisamente dei serbatoi sia isolati sia incorporati nelle piattaforme a gravità. Salvo alcune importanti eccezioni essi non sono ancora un elemento importante nella organizzazione petrolifera, ma è probabile che lo diventeranno.

Raccogliendo gli elementi finora presentati ci accorgiamo che sempre più l'intervento in mare assume l'aspetto di un sistema logistico integrato; una visione artistica di un tale sistema è presentata nella fig. 22, e ci sono situazioni nel mondo che cominciano a rassomigliare a questa visione, come nel campo di Ekofisk nel Mare del Nord.

Quanto è stato illustrato per l'industria petrolifera può immaginarsi per altri tipi di occupazione permanente del mare e del fondo marino, a mezzo di isole galleggianti, habitat sottomarini, serbatoi sommersi, sistemi di distribuzione di prodotti e di servizi. Se si pensa al tipo di ingegneria che sarà richiesta per realizzare i corrispondenti elementi ci si accorge che essa è abbastanza simile a quella richiesta per l'industria petrolifera, onde l'esempio che abbiamo illustrato, pur essendo specifico per quella industria, ha sotto l'aspetto ingegneristico e tecnologico e di sistema, validità molto generale.

Certo che gli usi non petroliferi del mare sono ancora agli inizi, ma già si parla di isole galleggianti o comunque artificiali per centrali nucleari, per impianti chimici, per aeroporti e in generale per integrazione dei sistemi costieri, e ancora per lo sfruttamento dei gradienti termici per produzione di energia, per la coltivazione di sostanza biologica e infine per la raccolta di minerali del fondo marino.

Credo che entro questo secolo molte di queste idee saranno realizzate e l'uomo potrà trovare nel mare una nuova dimensione per le sue attività, purché lo rispetti e ne faccia un uso ragionevole e controllato.

Volendo tentare di immaginare una serie di obiettivi di interesse economico e di complessità tecnica gradualsi si potrebbe dire questo:

Un primo obiettivo sarà l'utilizzazione del territorio marino come prolungamento di quello terrestre attraverso la realizzazione di isole artificiali emergenti o galleggianti, per attività industriali non petrolifere.

Un secondo obiettivo potrà essere quello di aumentare la capacità di lavoro sul fondo marino con l'impiego di mezzi di lavoro abitati, telecomandati o automatizzati, per la distribuzione di fluidi, energia, informazione.

Un terzo obiettivo sarà certamente l'utilizzo del mare come fattoria per la produzione di proteine animali e vegetali attraverso sistemi non di cattura ma di coltivazione.

Un quarto obiettivo potrà essere l'insediamento abitativo o ricreativo dell'uomo nel mare; a me sembra alquanto remoto, ma tante volte abbiamo visto che la nostra fantasia non è in grado di prevedere le inclinazioni, le necessità e i desideri dell'uomo futuro.

Ma tutti questi obiettivi, per essere realizzati hanno bisogno di un supporto tecnologico e soprattutto conoscitivo molto superiore a quello che attualmente possediamo. E' per questo che lo studio del mare rappresenterà in questo scorcio di secolo una delle attività importanti dell'uomo e potrà anche costituire, per sua natura, se lo vogliamo, uno dei più attraenti temi di collaborazione tra i popoli del pianeta.

Lo studio e la collaborazione potranno svilupparsi sia sul piano scientifico che su quello tecnologico ed è prevedibile che la interazione tra i due piani aumenti perché se è vero che le scoperte scientifiche danno nuove possibilità alla tecnologia è pure vero che una tecnologia molto spinta pone continuamente nuovi problemi alla indagine scientifica.

La oceanologia è una scienza abbastanza antica ma la tecnologia marina è un fatto recente; perciò anche la interazione tra le due è un fatto del tutto recente ma di cui ormai incominciamo ad avvertire il peso e la portata.

Ci sono un po' in tutti i paesi attività scientifiche promosse dalle Università o da Istituti di Ricerca civili e militari interessati al mare. La Tecnologia marina invece a tutto oggi è una attività svolta solo dai paesi fortemente industrializzati e dove esistono attività petrolifere autonome.

L'Italia è in questo gruppo di paesi grazie alla sua attività industriale, siderurgica, cantieristica e meccanica, ma soprattutto grazie alla attività in Italia e all'Estero dell'industria petrolifera di Stato, l'ENI.

Tra le varie fasi attraverso cui si stende l'arco delle tecnologie marine e cioè la progettazione, la costruzione, la installazione, la gestione degli impianti a mare, forse la prima, soprattutto per quanto attiene alla concezione e progettazione di nuove soluzioni, era la più carente e per questa ragione nel 1971 alcune tra le maggiori imprese industriali italiane di diversi settori come ENI, FIAT, FIN-

SIDER, MICOPERI, PIRELLI, BREDA, SELENIA, decisero di associarsi e di costituire assieme all'IMI, nella sua qualità di gestore per conto dello Stato del fondo di promozione per la ricerca industriale, una Società di ricerca, denominata TECNOMARE con sede a Venezia, proprio per lo sviluppo delle tecnologie marine.

Le figure qui riportate rappresentano alcuni dei progetti e prototipi da detta Società realizzati. Qualcosa quindi è stato fatto, ma il mare presenta una grande varietà di temi e non bastano da una parte alcuni nuclei di ricerca nelle Università e negli Enti di ricerca civili e militari e dall'altra la mobilitazione della sola industria petrolifera. Lo sfruttamento delle risorse biologiche, minerali ed energetiche del mare, per un paese come il nostro, richiederebbe un ben altro impegno. Vi è da sperare che questo avvenga in un futuro non troppo lontano.