



HAL
open science

A buoy designed to investigate the Mediterranean Sea

Fiorello Cavallini, Ramiro Dell'Erba, Daniele Maffei

► **To cite this version:**

Fiorello Cavallini, Ramiro Dell'Erba, Daniele Maffei. A buoy designed to investigate the Mediterranean Sea. *Energia Ambiente e Innovazione*, 2003. hal-01980108

HAL Id: hal-01980108

<https://hal.science/hal-01980108>

Submitted on 15 Mar 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Una **boa** per conoscere il Mar Mediterraneo

FIORIELLO CAVALLINI
RAMIRO DELL'ERBA
DANIELE MAFFEI

ENEA
UTS Fusione



Progettare e costruire una “boa derivante” dedicata alle specifiche caratteristiche del Mar Mediterraneo è l’obiettivo del progetto MELBA (MEditerranean Lagrangian Buoy Appliance), promosso dal Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca e condotto operativamente dall’ENEA

studi & ricerche

A **buoy** designed to investigate the Mediterranean Sea

Abstract

The ultimate objective of the MELBA project is to build a low-cost multipurpose tool that is easy to operate, can transmit a very large amount of geo-referenced data, and can be deployed either in the open sea or (much likelier) near the coast, for instance by municipal administrations for periodic measurements of offshore pollution. The truly innovative feature of this project is the design and construction of a buoy capable of tracking any of the parameters (density, salinity, temperature, closed depth) calculated by measurements performed by its own sensor system. For example, the buoy can be kept in an area where the temperature is constant. A two-way communications system enables the buoy to transmit data and to receive instructions from a base on land or at sea.

Contesto e ruolo dell'ENEA nel progetto

La prima applicazione della legge 95/95, art. 3, ha comportato, fra le altre iniziative, il lancio di un programma di ricerca di interesse dell'ENEA, denominato "Ambiente Mediterraneo"; tale programma, nello spirito della legge, prevedeva che imprese nazionali contribuissero allo sviluppo di tecnologie innovative da utilizzare per attività di ricerca in campo ambientale marino.

A seguito di apposito bando nazionale furono individuati 17 progetti, proposti da un certo numero di operatori nazionali, fra industrie e enti di ricerca; il finanziamento globale previsto a carico del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (ora Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca - MIUR), che poteva allora coprire una quota attorno al 60% dell'impegno totale, fu opportunamente suddiviso fra i singoli progetti. All'interno di ciascuno di tali progetti compariva ENEA come uno dei partner, oggetto quindi anche di una parte del suddetto finanziamento.

Fra questi progetti, contrassegnato dalla sigla 3.3.1.4, trova luogo quello dedicato allo sviluppo di un robot sottomarino autonomo, da adibire a campagne di misure di lunga portata e fino a profondità di 2000 m. L'acronimo MELBA sta per Boa Lagrangiana derivante per il Mediterraneo. Il MIUR ha indicato l'ENEA quale organizzatore esecutivo di questo progetto.

* * *

Il progetto MELBA ha come scopo la realizzazione di una boa derivante lagrangiana dedicata alla particolare morfologia del Mar Mediterraneo, il quale presenta ristrette dimensioni spaziali, rispetto agli oceani, ma, in molti casi, una grande variabilità dei fondali. Le boe lagrangiane seguono i flussi di corrente marina misurando le proprietà di un elemento di acqua solidale con la boa stessa (da cui il nome lagrangiana) per gli scopi più svariati, dalla sorveglianza ambientale agli studi oceanografici. La boa

può immergersi e risalire, fornendo così misure in profondità prestabilite; alcuni tipi di siffatte boe sono in commercio per lo studio di correnti oceaniche. Il Mediterraneo, però, è caratterizzato da rapide variazioni della profondità, rispetto ai più piatti fondali oceanici, nonché dall'influenza della costa, caratteristiche che risultano determinanti per le correnti marine: l'elemento di acqua in studio riflette queste peculiarità. La nostra boa, inoltre, è progettata per operare in vicinanza della costa che rende le missioni operative molto differenti da quelle in oceano aperto nelle quali sono in uso ad oggi. La dinamica di un elemento acquoso è infatti grandemente influenzata da questi fattori; l'analisi dello stesso va quindi svolta su scale spaziali inferiori, tipicamente delle decine di miglia; conseguentemente anche la durata delle missioni è inferiore, rispetto a quelle oceaniche.

Poiché il nostro studio concerne prevalentemente l'inquinamento ambientale abbiamo concentrato la nostra attenzione verso la zona costiera, maggiormente influenzata dalle attività umane. Una delle possibili attività costiere di MELBA, ad esempio, è il campionamento ad alta frequenza (ovvero ad intervalli di alcune ore) di acque di bassa profondità (minori di 100 metri) in cui è osservabile l'evoluzione della massa di plankton e le conseguenze dell'attività umana sullo stesso. Il sistema di controllo di MELBA deve tenere presente queste considerazioni, sia per missioni di medio o lungo periodo in mare aperto, sia per missioni di breve periodo molto ripetitive e dedicate allo studio dell'ambiente marino costiero su scale spazio temporali brevi.

Il corpo della boa è formato da un tubo di alluminio, capace di resistere fino a 2000 metri di profondità, e contenente il motore di ascesa e discesa (unico moto consentito alla boa), il sistema di comunicazione satellitare e il sistema di controllo della missione. La strumentazione sensoristica accessoria è variabile in base al tipo di missione da eseguire: essa può comprendere misure di conducibilità, salinità, temperatura,

clorofilla ecc. Il sistema di comunicazione, attraverso il quale la boa invia i dati misurati ricevendone le nuove missioni conseguenti, è a due vie supportato tramite la costellazione satellitare Orbcomm.

Un GPS (Global Position System) è integrato per la georeferenziazione dei dati misurati, una volta che la boa è emersa.

Le novità principali di MELBA, rispetto a prodotti commerciali, sono due: l'utilizzo di una costellazione satellitare affidabile per lo scarico dei dati e la comunicazione a due vie che consentono all'operatore nel laboratorio di riprogrammare la missione della boa via satellite in base ai risultati di una missione precedente o altro. Inoltre vi è un sistema di controllo "intelligente" capace di intervenire in situazioni semplici mediante una serie di regole.

Boe derivanti

Le boe Lagrangiane, sono così chiamate poiché solidali nel moto con l'elemento acquoso in studio; esse sono sia di superficie che di profondità. In particolare queste ultime, dette anche "profilatori" dato il loro moto verticale, sono strumenti di misura capaci di scendere ad una predefinita profondità, misurare alcune caratteristiche, risalire alla superficie e trasmettere i dati ad una stazione di terra. Alla fine del loro lavoro vanno generalmente perdute.

L'uso di tali strumenti ha aperto vasti e nuovi orizzonti nel campo degli studi climatici ed oceanografici; i loro costi, infatti, sono incomparabilmente minori (il valore di una boa è di circa 10.000 euro) rispetto alla conduzione di una campagna di misure con strumenti usuali, quali una nave oceanografica, che costa sì 10.000 euro, ma al giorno.

Caratteristiche del Mar Mediterraneo

L'applicazione di queste tecnologie in mari chiusi, quali il Mediterraneo, dove le scale spazio temporali sono spesso ridotte ri-

spetto agli oceani e le dinamiche mostrano alti gradienti dovuti alla struttura del fondo e delle coste, quasi sempre presenti nell'area di esplorazione, richiedono l'uso di strumenti intelligenti. Un sistema di controllo flessibile è di grande utilità per programmare e soprattutto riprogrammare le missioni così come la realizzazione di procedure di fuga per evitare che la boa possa rimanere intrappolata sul fondo marino.

MELBA

Lo scopo del progetto MELBA è la realizzazione di una boa Lagrangiana profilante dedicata all'ambiente marino mediterraneo. Il sistema di controllo è stato realizzato tenendo presente le considerazioni di cui sopra per missioni di lungo e medio termine ma anche per missioni brevi e molto ripetitive; in particolare missioni costiere, brevi e dedicate a misurazioni di inquinamento e biologiche.

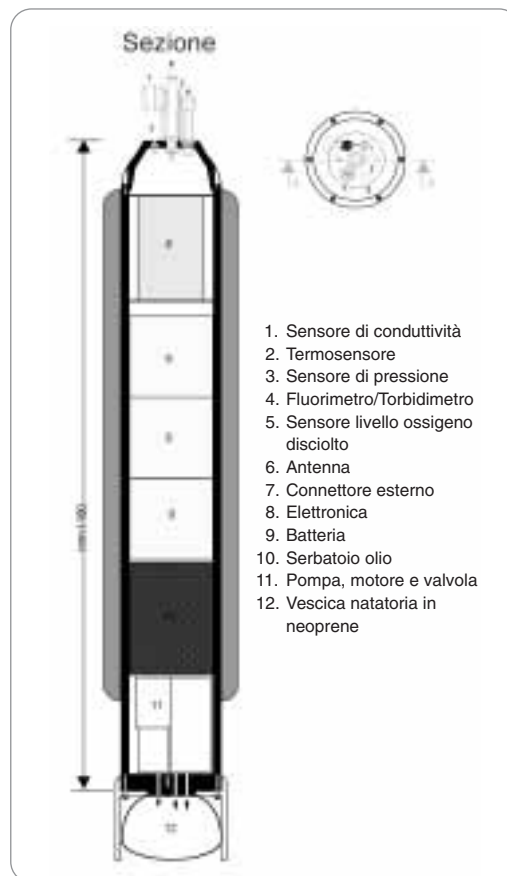


Figura 1
La boa MELBA

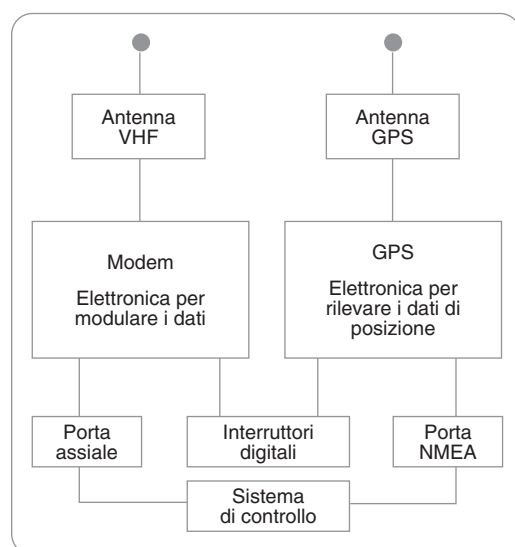
La boa derivante (mostrata in figura 1) ha una profondità operativa massima di 2000 metri. Il progetto è organizzato in quattro blocchi funzionali per la boa ed uno per l'interfaccia uomo-macchina. Ogni blocco sarà implementato separatamente e sarà poi connesso con gli altri tre. La struttura è descritta nei seguenti sottoinsiemi:

- corpo
- batterie
- sensori
- elettronica di bordo
- interfaccia uomo-macchina.

Corpo

Il corpo è formato da un cilindro di alluminio (costruito con tecniche di derivazione aeronautica per essere capace di resistere fino a 2000 metri di profondità) contenere la strumentazione elettronica, il motore a vescica per il movimento verticale, il sistema di controllo per la missione ed il sistema di emergenza. Il corpo è lo stesso in ogni missione. L'unica variazione ammessa è la tipologia dei sensori esterni in base ai dati che è necessario acquisire nella specifica missione, allo scopo di ridurre il peso della boa. Il movimento verticale della boa è assicurato dal pompaggio di olio in una vescica esterna, similmente a quanto fatto dai pesci, per controllare il livello di profondità a cui la boa è in equilibrio.

Figura 2
Schema a blocchi del sistema di comunicazione



Batteria

Una parte considerevole del peso del corpo è costituito dalle batterie, le quali devono durare per l'intera vita della boa (200 cicli circa nel caso di missioni brevi). Il pacco batterie è realizzato dall'unione in serie ed in parallelo di 72 batterie al litio di alta capacità (16,5 Ah 3,6 V).

Sensori

Nel corpo di MELBA sarà possibile caricare diverse tipologie di teste equipaggiate con sensori di base CTD (conducibilità, temperatura e profondità) e con altri sensori per la misura della quantità di ossigeno disciolto, torbidità, fluorescenza; sarà possibile montare diversi sensori specifici per l'uso in particolari missioni. La boa è capace di effettuare misure idrologiche, chimiche, biologiche e di geologia oceanografica.

Elettronica di bordo

L'elettronica di bordo consiste in :

- sistema di comunicazione
- sistema di controllo
- sistema di acquisizione dati

Sistema di comunicazione

Il sistema di comunicazione è del tipo satellitare a due vie (full duplex). Un GPS (Global Position System), come mostrato in figura 2, è utilizzato per la georeferenziazione dei dati all'atto dell'emersione della boa, quando questa trasmette i dati acquisiti. Per questo specifico sistema di comunicazione stiamo sviluppando un'antenna unica adatta sia a ricevere dati GPS che a trasmettere e ricevere dati dal satellite. Caratteristica essenziale di questa antenna è la capacità di resistere alle pressioni marine operative (2000 metri pari a circa 200 atmosfere). Lo schema logico del software per il controllo del modem è mostrato in figura 3. La gestione di questo software sarà un compito del sistema di controllo della boa.

Il sistema di controllo e supervisione

Il sistema di controllo è responsabile per la realizzazione della missione programmata.

Nonostante i soli movimenti e permessi alla boa siano dei sali e scendi noi proveremo ad implementare un sistema di controllo sofisticato. Sottolineiamo, ancora una volta alcune peculiarità che distinguono le necessità di una boa operante nel Mar Mediterraneo rispetto ad una operante nell'oceano. La principale differenza è l'alta variabilità del fondale marino e del contorno della costa, che produce vortici su una scala spazio temporale ristretta. Noi vorremmo che la boa fosse capace di seguire non solo un profilo di profondità programmato, ma anche altri parametri quali salinità, temperatura ecc. Un sistema di supervisione dovrebbe quindi essere implementato per migliorare le probabilità di successo di una missione. Il sistema di supervisione dovrebbe essere capace di mantenere la boa in un elemento di acqua a temperatura costante seguendo una corrente termica. Inoltre lo stesso dovrebbe essere capace di prendere qualche decisione elementare in caso di rotture o malfunzionamenti non vitali quali, ad esempio, una cattiva trasmissione dei dati o un assorbimento elettrico anomalo da parte di una utenza. L'eccessivo assorbimento di corrente da parte di una utenza, ad esempio, può far decidere al sistema di supervisione di isolare quell'utenza e di continuare la missione senza quel sensore. Le attuali boe sono totalmente passive nella trasmissione dei dati cosicché molti di essi sono persi.

In pratica c'è la possibilità di cambiare parametri della missione mentre questa viene effettuata. Il sistema di supervisione dovrebbe poi ripianificare la missione ottimizzando le prestazioni ottenibili anche nel caso di attrezzatura ridotta. La nostra intenzione è di partire da un semplice metodo di regole e di incrementarle progressivamente in complessità. Si vuole cioè partire da una semplice tabella di regole e del tipo "Se... allora" per le decisioni da assumere o di chiedere aiuto umano, grazie al sistema di comunicazione bidirezionale. Lo schema logico del sistema di controllo con le sue connessioni è mostrato in figura 4.

**Figura 3**

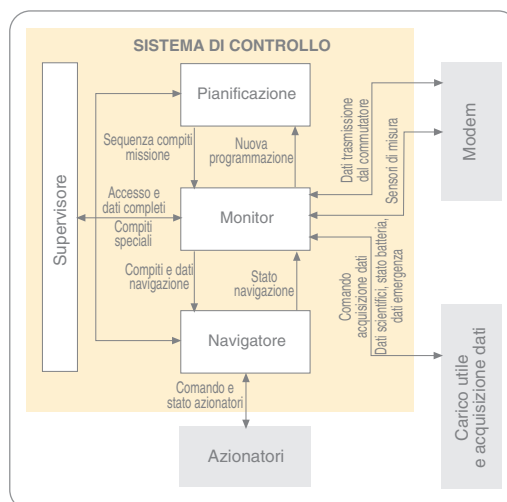
Schema logico del sistema di comunicazione

In particolare possiamo distinguere le seguenti unità logiche:

Schedulatore: il compito dello schedulatore è di dividere la missione ricevuta in una sequenza di compiti semplici e di passarla al monitor. Lo schedulatore riceve poi dal monitor la missione pianificata.

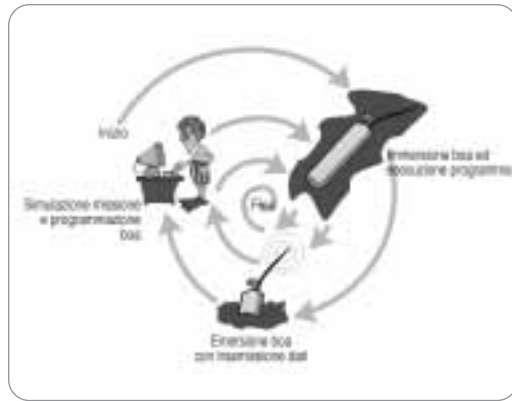
Monitor: il monitor riceve la missione schedulata e invia i comandi di misura ai sensori; inoltre invia il piano di navigazione al sistema di navigazione, ricevendone lo stato corrente.

Sistema di navigazione: il sistema di navigazione riceve il piano dal monitor e lo informa sullo stato di navigazione. Inoltre spedisce i compiti elementari agli attuatori, ricevendone risposta.

**Figura 4**

Schema logico del sistema di controllo

Figura 5
Ciclo di programmazione della missione



Supervisore: il supervisore è informato circa tutti i dati e può seguire una tabella di regole elementari, del tipo "Se...allora" o in caso di difficoltà a decidere di chiedere aiuto umano.

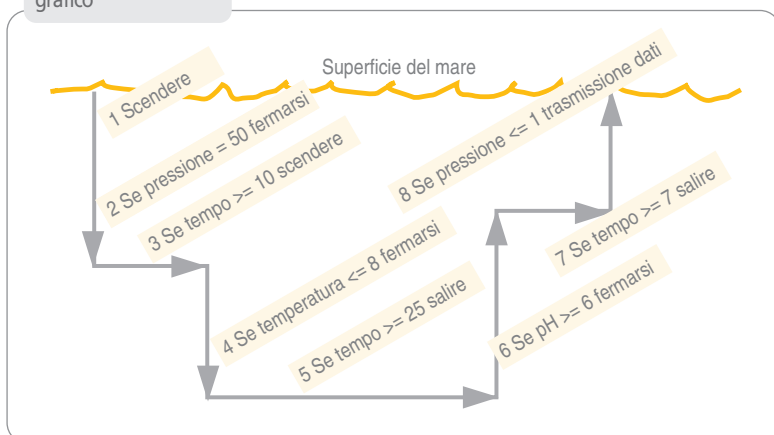
Acquisizione dati

Allo scopo di rendere maggiormente flessibile la boa, è stato deciso durante la fase di progettazione di inserire un micro controllore per il controllo di tutti i sensori di bordo. Il micro controllore è capace di verificare un primo livello di congruità dei dati misurati e di controllare lo stato dei sensori.

Interfaccia uomo-macchina e il programma di missione

L'interfaccia uomo-macchina (HCI) trae spunto dalla esperienza condotta con il progetto ARAMIS. Per aiutare il pilota/scienziato nel compito di programmare la missione è stato usato un linguaggio di tipo

Figura 6
L'ambiente visuale di sviluppo (VDE) di MELBA. Ogni freccia e vertice è un comando grafico



visuale simile a quello realizzato per il progetto ARAMIS. Naturalmente l'insieme di comandi adottato è diverso in quanto la boa si può muovere solo verticalmente.

Esso è formato da:

- comandi di movimento (del tipo da "vai su", "vai giù", "stop") per pilotare su e giù la boa;
- comandi di controllo per testare le variabili di stato della boa. (del tipo "Se...allora") e prendere semplici decisioni in accordo con il valore della temperatura, pressione posizione geografica, tempo, piazza ecc.;
- comandi e istruzioni di misura per i sensori.

L'ambiente di sviluppo integrato (IDE) è mostrato in figura 5. Questo set di comandi può essere utilizzato nell'ambiente grafico così come il relativo insieme di grafici di comandi che sono mostrati in figura 6. L'IDE, insieme al simulatore di scenario e della boa, se le informazioni ambientali sono sufficienti, permette di prevedere il reale comportamento della boa nell'acqua e di pianificare quindi la missione con alta probabilità di sopravvivenza.

Così la missione viene simulata e ricalcolata ad ogni emersione (figura 7).

Il modello dei dati è scaricato, dall'operatore a terra, periodicamente da National and European Projects (as MFSP - Mediterranean Forecasting System Pilot Project, MODB - The Mediterranean Oceanic Data Base, SINAPSI - Seasonal, Interannual and decadal variability of the atmosphere, oceanS and related marine ecosystems etc.) ed integrato con il modello della boa e i suoi programmi. Ad ogni ciclo di missione la posizione della boa, il VDE mostra il modello aggiornato (figura 8).

Per fare questo è necessario che la boa possa contattare il pilota/scienziato ovunque esso sia. Per questa ragione l'interfaccia è mobile e il legame con la boa è realizzato attraverso una stazione server.

Naturalmente il sistema deve operare anche se le connessioni non sono possibili, cosicché il server deve essere capace di

prendere decisioni circa la continuazione della missione (figura 9) giocando il ruolo del sistema di controllo missione.

Conclusioni

Lo scopo finale del progetto MELBA è la realizzazione di uno strumento a basso costo multifunzionale, che accordi facilmente le specifiche attività, che sia possibile usarlo sia in mare aperto sia, con molta maggiore probabilità, vicino le coste e che sia capace di spedire una grande quantità di dati ben georeferenziati. Tale strumento potrebbe essere usato anche a livello comunale, per le periodiche misurazioni dello stato della costa prospiciente.

Il vero elemento innovativo del progetto è la realizzazione di una boa capace di seguire uno dei parametri (densità, salinità, temperatura, profondità chiusa) calcolato dalle misure effettuate dal proprio sistema sensoriale. Per esempio è possibile mantenere la boa in una zona a temperatura costante.

Un sistema di comunicazione bidirezionale dà la possibilità sia di trasmettere dati che di ricevere ordini (ad esempio una nuova missione chiusa) dalla stazione terrestre o dalla stazione navale.

Per questo tipo di applicazioni è importante che lo strumento sia espandibile così come la capacità di trasmissione venga aumentata, in modo da potervi programmare la missione o un facile ritrovamento di MELBA alla naturale o forzata fine della sua missione.

Ringraziamenti

In particolare vogliamo ringraziare:

- CNR – IAN Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Automazione Navale
- Idromar srl
- Tecnomare SpA

Bibliografia

1. TERRIBILE A. AND OTHER, *ARAMIS: a system for robotic inspection of sediments*, Conference Proceedings Oceanology International 2000, Brighton (UK), 7-10 March 2000.
2. MAFFEI D., PAPALIA B., ALLASIA G., BAGNOLI F., *A computer interface for controlling the ROV mission in scientific survey*, Conference Proceedings Oceans 2000, Providence (RI), 11-14 September, 2000.



Figura 7
Il ciclo di vita di una missione

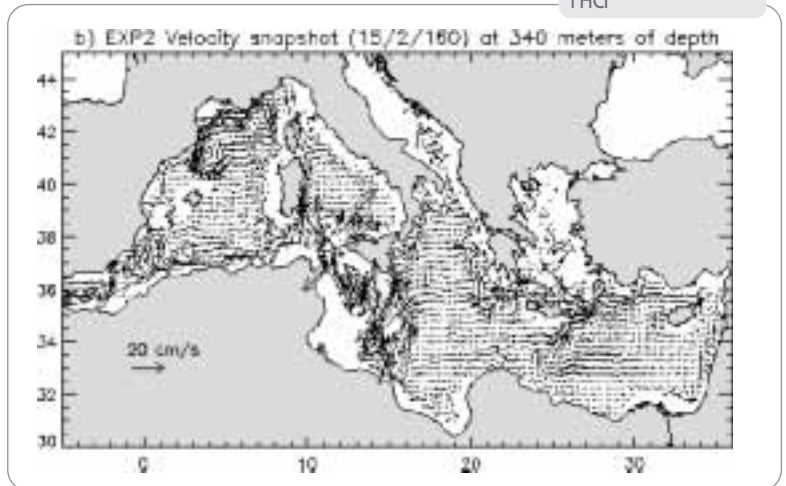


Figura 8
Le correnti del Mediterraneo, come mostrate dal Environment and Drifter Simulator (EDS) dell'HCI

3. EU-MAST Project, <http://www.cineca.it/mfssp/>
4. EU-MAST Project, <http://modb.oce.ulg.ac.be/>
5. Italian-MIUR Project, <http://sinapsi.cineca.it/>
6. RUPOLO V., BABIANO A., ARTALE V., IUDICONE D., *Horizontal space-time dependent tracer diffusivity parameterization for a OGCM. A sensitivity study in the Mediterranean Sea.*

Figura 9
L'HCI accessibilità dalla boa

