

PALEOCLIGE 2000

testo e foto di Giampiero Dore

*Campagna oceanografica
nelle Bocche di Bonifacio*



Nel mese di Ottobre, un gruppo di ricercatori delle Università di Cagliari e Trieste hanno condotto una impegnativa campagna oceanografica finalizzata allo studio dei fondali marini delle Bocche di Bonifacio, denominata **PALEOCLI.GE 2000**, acronimo di Paleoclimatologiae Paleogeografia. I primi risultati, come la produzione di una cartografia digitale a scala di dettaglio dei fondali marini con diversi **tematismi** (sedimentologia, geomorfologia, geologia), sono stati presentati al **II** Convegno Nazionale sulle Scienze del Mare, tenutosi a Genova dal 20 al 25 Novembre. Promotore della spedizione è stato l'Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (O.C.E.A.N.S.) ubicato a Palau, sede della Scuola di Geologia Ambientale Subacquea. Obiettivo principale l'approfondimento degli studi sulle caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche dei fondali marini delle aree comprese tra Capo Testa e Capo Figari e l'acquisizione di informazioni sui sistemi deposizionali dell'**Arcipelago**. La campagna si prefiggeva inoltre di ricostruire il paleoclima e la pale-

ogeografia dei bacini nord-orientali della Sardegna e di approfondire lo studio sugli ambienti di sedimentazione attuale. **PALEOCLI.GE 2000** rappresenta solo una delle prime fasi di un più ampio progetto di studio rivolto alle Aree Marine Protette ed ai Parchi Nazionali della Sardegna e più in generale ai fondali marini del Mediterraneo occidentale.

Il gruppo di ricerca, coordinato dal Dott. Sandro De Muro dell'Università di Cagliari, comprendeva ricercatori di grande esperienza come il geofisico Prof. Michele Pipan, il geologo marino Prof. Roberto Bartole, il **sedimentologo** Dott. Raffaella Piani, dell'Università di Trieste, il geofisico Dott. Riccardo Ramella, il geologo marino Dott. Federica **Donda** dell'Istituto Nazionale di Oceanografia. Preziosa ed infatti cabile la collaborazione degli allievi della Scuola di Geologia Ambientale Subacquea Federica Maggiani, Nicola Cabboi, Massimo Cabras, Giovanna Ligas, Giuseppe Lai, Daniele Manca e Walter Colautti.

Numerosi gli enti ed i soggetti privati che hanno reso possibile lo svolgi-

Operazioni di varo del "pesce", ovvero del trasmettitore-ricevitore degli impulsi sonori.



I mezzi nautici del Corpo Forestale utilizzati nel corso della campagna. La Ketty Nelson, imbarcazione madre, aveva il compito di trainare il Side Scan Sonar ed il Sub Bottom Profiler-Chirp e di ospitare tutta la strumentazione scientifica. Il battello pneumatico era invece destinato alla squadra di sommozzatori.



mento della campagna. Innanzi tutto il Corpo Forestale di Vigilanza Ambientale che ha messo a disposizione i mezzi nautici e la grande esperienza e professionalità degli equipaggi, l'Associazione Delphina, la Croce Rossa, Orsus Mediterraneus, lo Yacht Club Punta Sardegna, MD Service, il Comune di Palau, l'università di Trieste - Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine, l'università di Cagliari - Dipartimento di Scienze della Terra.

Per le ricerche ci si è avvalsi delle tecniche di telerilevamento acustico (vedi box), unica tecnologia attualmente disponibile per lo studio di dettaglio della morfologia dei fondali marini, dalla fascia costiera alle fosse oceaniche. I sistemi ottici ed elettromagnetici, convenzionalmente utilizzati nel telerilevamento, non possono essere utilizzati per questo scopo a causa dell'elevato assorbimento della radiazione elettromagnetica nell'acqua. Oltre ai rilievi con il Sonar a scansione laterale (S.S.S.) sono state effettuate



Il capo spedizione Dott. Sandro De Muro ed il geofisico Michele Pipan sulla Ketty Nelson, alla consolle di controllo del Side Scan Sonar.



La consolle del Side Scan Sonar interfacciato con il sistema G.P.S.

Oltre all'osservazione, alla misurazione ed alla documentazione diretta di punti di particolare interesse segnalati dalla imbarcazione madre, i sommozzatori hanno eseguito numerosi prelievi di campioni di sedimento.



misure correntometriche, campionature di sedimenti sia sul fondo che in colonna d'acqua (trappole di sedimentazione) ed immersioni per il rilevamento diretto dei fondali.

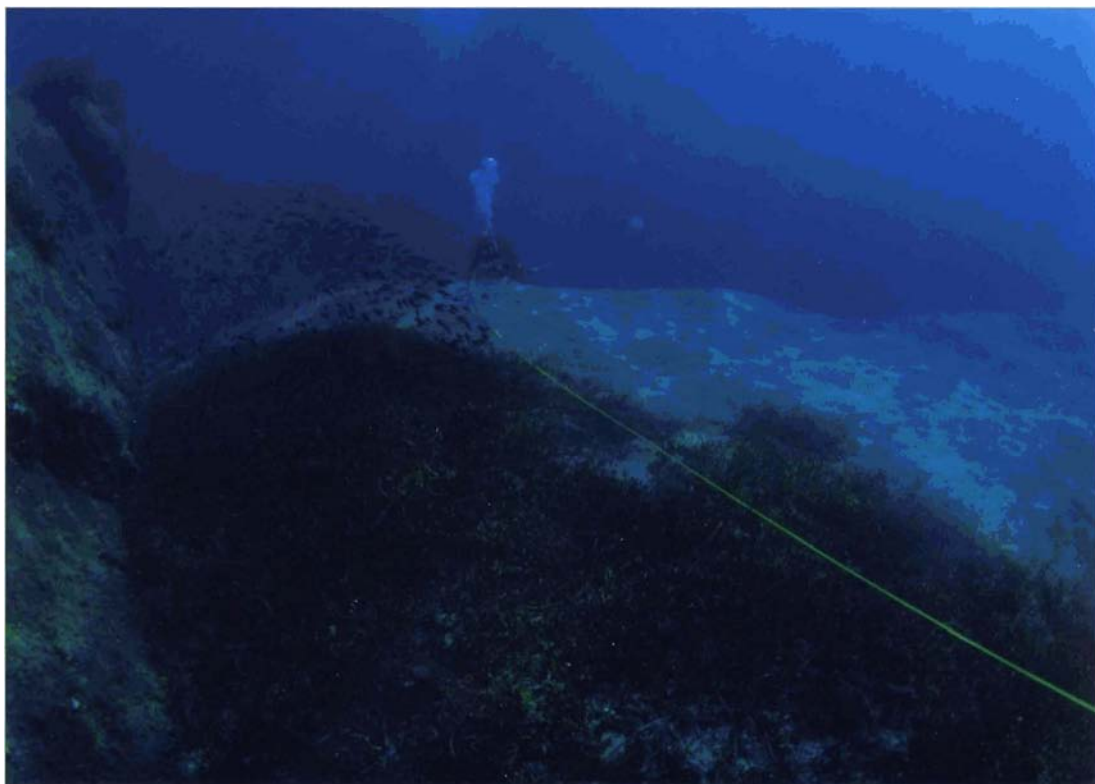
Per le ricerche sui mari della Sardegna è un cambiamento di ritmo quasi epocale. Strumenti per determinare la posizione rispetto al fondo con assoluta precisione, sonar a scansione laterale dotati di correzione geometrica digitale interfacciati con la posizione GPS che disegnano su un monitor il fondo del mare creando il modello digitale dell'area indagata. Onde acustiche in alta risoluzione per ricostruire gli spessori dei sedimenti e le geometrie degli strati che compongono il fondo mare con precisione millimetrica.

La Campagna PALEOCLIGE 2000, ha realizzato 650 miglia nautiche di rilievi del fondo marino utilizzando strumenti digitali ad altissima tecnologia e precisione. I dati acquisiti, memorizzati su decine di dischi magnetooptici da 2.5 GIGA, sono poi stati trattati con sofisticati programmi di correzione ed ana-

lisi sismica. L'output della approfondita elaborazione, incrociato con le risultanze degli esami dei campioni di sedimento e con i rilievi diretti effettuati dai sommozzatori hanno portato alla produzione di accurate carte tematiche dei fondali marini delle Bocche di Bonifacio e dell'Arcipelago di La Maddalena. Tre le imbarcazioni impegnate contemporaneamente: l'imbarcazione madre che ha eseguito i rilievi sonar e sismici consentendo l'interpretazione in tempo reale dei dati e stabilendo le strategie delle altre due equipe; la seconda imbarcazione con una squadra di sommozzatori ha svolto rilievi diretti in immersione, prelievo di campioni, fotorelevamento e misure di dettaglio; la terza squadra si è impegnata nei prelievi di sedimento per la ricostruzione delle correnti di fondo e le analisi climatico-ambientali.

Mentre i risultati della campagna in parte sono stati pubblicati ed altri sono in fase di elaborazione, già si pensa al futuro e si inizia ad organizzare PALEOCLIGE 2001.

Misurazione della lunghezza d'onda di una serie di "sand waves" nei pressi dell'isolotto del Fico. Le otto grandi onde di sabbia avevano una lunghezza d'onda compresa fra i 16 ed i 22 metri ed una altezza massima di ben 5 metri.



I SONAR (Sound Navigation And Ranging) possono essere schematicamente suddivisi in tre categorie:

- Echo-Sounders (ES): trasmettono un singolo fascio orientato verticalmente
- Side Scan Sonars (SSS): trasmettono (in genere) un fascio per lato.
- Multi-Beam Sonars (MBS): trasmettono decine di fasci per lato

Questi sistemi possono registrare batimetria o immagini acustiche, oppure ambedue, come nel caso dei MBS di più recente fabbricazione. I vari sistemi possono essere solidali con lo scafo o al traino. In ambedue i casi sono previsti sensori che ne rilevano in ogni istante la posizione ed i movimenti. Nei sistemi più evoluti (MBS) tali sensori comprendono:

- * Un ricevitore GPS differenziale.
- * Un attitude sensor per la misura di heave, roll, pitch, yaw
- * Una girobussola

A questi si deve aggiungere una sonda per la misura della velocità del suono in acqua. Il suono viaggia infatti nell'acqua ad una velocità di circa 1500 m/s, ma tale valore è influenzato da temperatura, salinità e pressione. Misure accurate richiedono quindi la conoscenza del profilo di velocità nell'area in cui si opera. Questa misura è meno importante nel caso del SSS a causa dell'imprecisione nel posizionamento del sensore in genere trainato della nave.

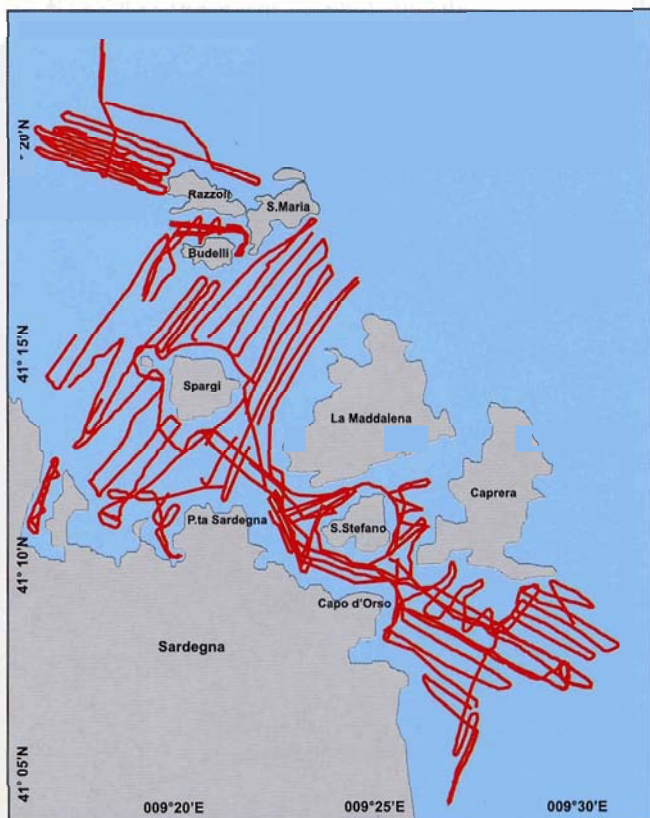
Acquisizione dati

Il SSS invia fasci di onde acustiche configurati in maniera particolare che interagiscono con il fondale e vengono in larga misura riflessi specularmente rispetto alla normale nel punto di incidenza. I fasci vengono trasmessi lateralmente, perpendicolarmente all'asse dello strumento ed alla direzione di avanzamento del medesimo. Il SSS può quindi essere assimilato, in prima approssimazione, ad un Side Looking Aperture Radar (SLAR) o, più semplicemente, ad uno strumento che riprenda immagini dai

finestrini di un aereo. La forma del fascio acustico è di fondamentale importanza ai fini della successiva ricostruzione delle immagini del fondale. I fasci generati dai trasduttori sonar sono normalmente molto stretti (circa 1°) nella direzione orizzontale mentre raggiungono i 40"-60" nel piano verticale perpendicolare all'asse dello strumento.

La distanza percorsa dall'onda acustica tra il sensore ed il punto di incidenza prende il nome di slant range. Il ground range è invece la distanza orinontale dal nadir del sonar al punto di incidenza. Il sonar viaggia lungo una traiettoria che, per analogia con altre tecniche di tele-rilevamento, viene indicata come line-of-sight. La direzione along-track coincide con quella di avanzamento del sonar mentre quella across-track è ad essa perpendicolare. La larghezza del tratto di fondale illuminato dal fascio, misurata across-track, prende il nome di swath width.

Su questa carta sono riportate le rotte seguite per effettuare i rilevamenti con il Side Scan Sonar per un totale di 650 miglia nautiche.



Il SSS viene trainato a distanza e profondità che variano in funzione della profondità del mare nell'area in esame. Se lo strumento è infatti troppo vicino al fondo, la **swath-width** si riduce. Se invece è troppo lontano le immagini del fondale possono perdere risoluzione.

L'energia acustica che non viene riflessa specularmente, viene in parte assorbita dal substrato, in parte riflessa verso il sensore. L'ampiezza di questa componente (backscattered wave) è funzione di tre fattori principali, in ordine di importanza decrescente:

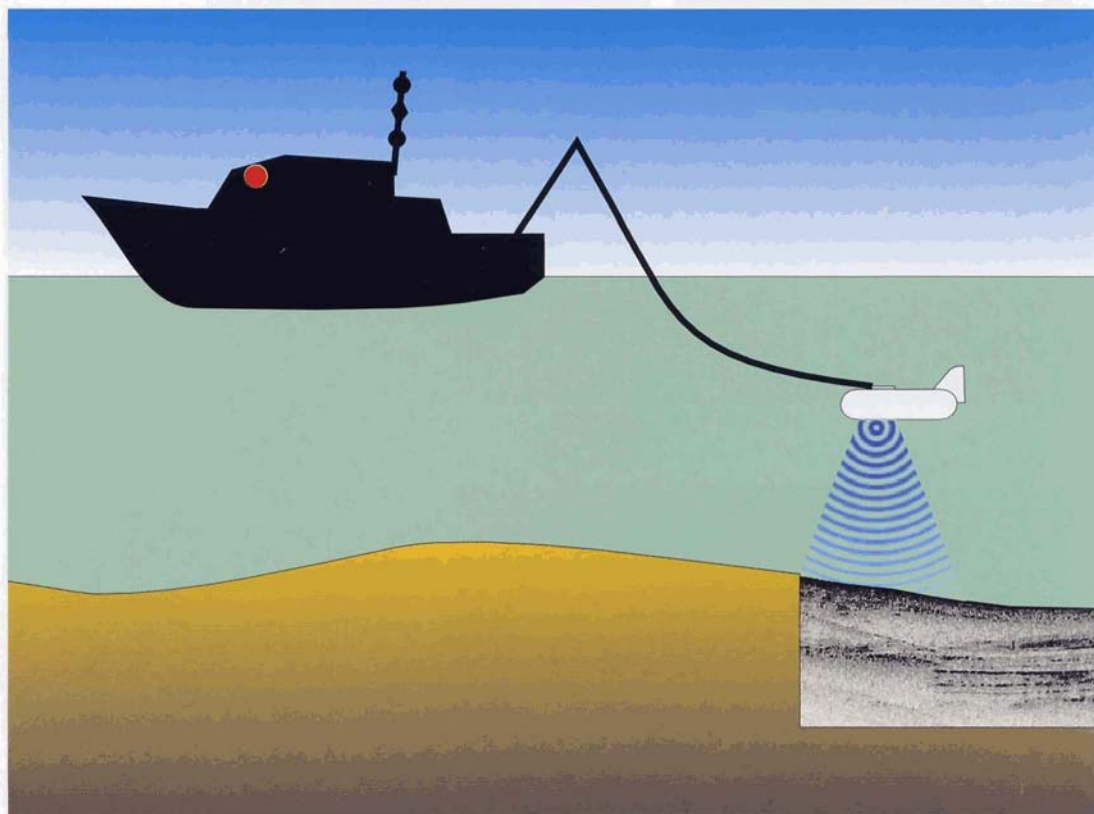
- La geometria del sistema sensore-obiettivo (angolo di incidenza del fascio, pendenza locale etc.)
 - Le caratteristiche fisiche della superficie (rugosità a micro-scala).
- La natura intrinseca della superficie (composizione, densità e quindi capacità di generare uno scattering di superficie o di volume).

Il SONAR produce energizzazioni (ping) ad intervalli di tempo regolari e ravvicinati, fino ad un minimo di diversi ping per secondo per i sistemi utilizzati in acque poco profonde.

La forma d'onda generata dallo strumento ad ogni ping è approssimativamente impulsiva, ovvero corrisponde ad una variazione quasi istantanea di pressione e contiene in genere un ampio intervallo di frequenze centrato su valori di pochi KHz, per i sistemi oceanici, fino a diverse centinaia di KHz per i sistemi utilizzati in aree costiere e ridotti battenti d'acqua.

Gli echi dal fondale vengono registrati per ogni ping su una finestra temporale relativamente ampia in modo da consentire la ricezione di energia proveniente da un'ampia fascia del fondale. Tale energia viene memorizzata in funzione del tempo di arrivo al sensore. I profili registrati mentre lo strumento avanza vengono messi insieme per riprodurre mappe del 'ackscattering del fondale marino.

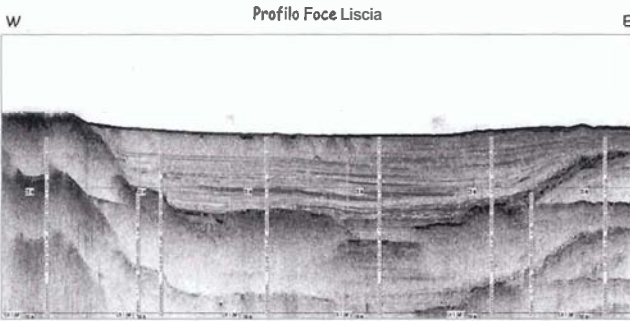
La profilazione acustica è stata effettuata per mezzo di un Sub Bottom Profiler-Chirp al traino, in grado di operare contemporaneamente su due bande di frequenza registrate su due diversi canali.



Parametro fondamentale nelle indagini SSS è la risoluzione, ovvero la capacità di evidenziare dettagli del fondale. Una definizione quantitativa della risoluzione è la distanza minima tra due oggetti che possono essere identificati separatamente in un'immagine SSS. La distribuzione 3-D dell'energia acustica del SSS ha un'intersezione ellittica con il fondale marino (analogamente all'ellisse che si crea su un foglio di carta posto obliquamente al di sopra di un abat-

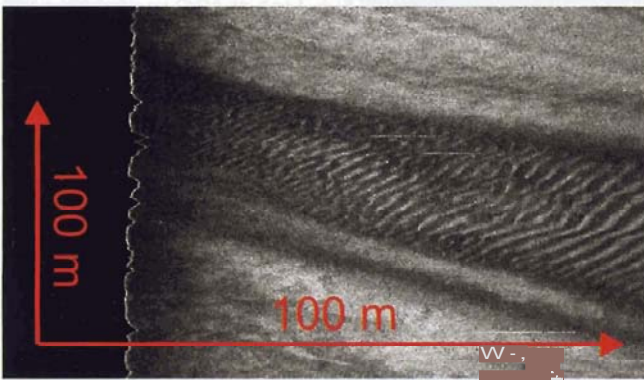
jour). Carea coperta da questa ellisse prende il nome di footprint.

Casse **along-track** è invece il valore minore tra l'apertura orizzontale del fascio e la distanza percorsa dal trasduttore nell'intervallo di ricezione. Altri parametri importanti sono: potenza trasmessa e banda di frequenza utilizzata, caratteristiche del trasduttore (lunghezza, apertura¹ angolare), frequenza di energizzazione e velocità di crociera, altezza del SSS sul fondo del mare.



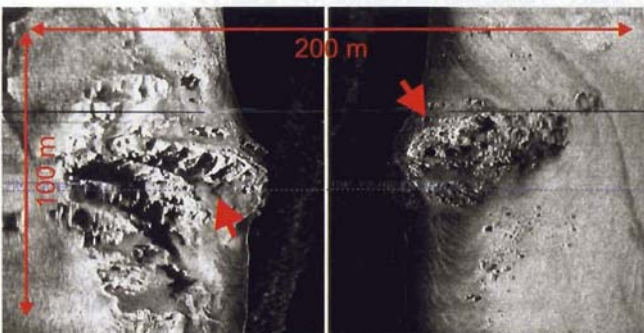
Profilo Foce Liscia

I massimi spessori di sedimento, superiori a 25 metri, sono stati riscontrati in corrispondenza delle Rias, le antiche valli fluviali, come quella del fiume Liscia alla quale si riferisce l'esempio.



Sand Waves

Un'altra immagine del fondo mare con le "sand waves", grandi onde di sabbia alte diversi metri, che testimoniano l'elevata velocità delle correnti in quel tratto di mare.



Profilo granito

Una immagine "normalizzata" del fondo mare ottenuta con il Side Scan Sonar. Sono ben evidenti gli affioramenti granitici ed il detrito circostante.