



**PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
DIPARTIMENTO PER I SERVIZI TECNICI NAZIONALI
SERVIZIO GEOLOGICO
QUADERNI serie III
volume 8**

**CARTA GEOLOGICA DEI MARI ITALIANI
ALLA SCALA 1:250.000
GUIDA AL RILEVAMENTO**

FABBRI A*, ARGNANI A*, BORTOLUZZI G.*, CORREGGIARI A.*, GAMBERIF.*,
LIGI M.*, MARANI M.*, PENITENTI D.*, ROVERI M.*, TRINCARDI F.*

a cura di

D'ANGELO S.**, VENTURA G. **

* *Istituto di Geologia marina – Consiglio Nazionale delle Ricerche di Bologna*

** *Servizio Geologico d'Italia*

1. Carta Geologica d'Italia – 1:50.000. Guida al rilevamento.
2. Carta Geologica d'Italia – 1:50.000. Guida alla rappresentazione cartografica
3. Carta Geologica d'Italia – 1:50.000. Guida all'informatizzazione.
4. Carta Geomorfologica d'Italia – 1:50.000. Guida al rilevamento.
5. Carta Idrogeologica d'Italia – 1:50.000. Guida al rilevamento ed alla rappresentazione.
6. Carta Geologica d'Italia – 1:50.000. Banca dati geologici.
7. Carta Geologica d'Italia – 1:50.000. Catalogo delle Formazioni
Fascicolo I - Unità validate.
Fascicolo II - Unità non validate (Unità da abbandonare e/o da riclassificare)
Fascicolo III – Unità validate.
Fascicolo IV – Unità non validate (Unità da abbandonare e/o da riclassificare). *In preparazione*
Fascicolo V – Unità validate. *In preparazione*
8. Carta Geologica dei Mari italiani alla scala 1:250.000. Guida al rilevamento.
9. Guida italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica.

Il rilevamento della nuova Carta Geologica d'Italia e delle carte geotematiche necessita degli strumenti normativi idonei a garantire l'omogeneità dei contenuti e della rappresentazione; la definizione delle norme discende naturalmente dall'applicazione di *linee guida* frutto dell'attività di Commissioni e gruppi di lavoro.

Questa collana si propone come veicolo per lo scambio di opinioni e lo sviluppo delle tematiche trattate, intendendo favorire il dibattito tra gli operatori coinvolti nel progetto Carta Geologica mediante la stampa delle linee guida e delle norme per il rilevamento, la rappresentazione dei dati e l'informatizzazione dei prodotti, nonché - ove fosse ritenuto necessario- delle loro modifiche e/o integrazioni in corso d'uso. Si ringraziano il dott. F. Ferri e il dott. F. Visicchio del Servizio Geologico d'Italia, per la revisione critica al capitolo relativo l'informatizzazione.

Copertina:

di Maria Luisa Vatovec, lo schema di E. Beneo; *la Geologia dell'Italia*; dis. di S. Pannuti (1965).

DIRETTORE VICARIO del Servizio Geologico d'Italia: NORMANNO ACCARDI

Allestimento editoriale, grafico e composizione del testo : Maria Luisa Vatovec

PRES ENTAZIONE

In analogia con quanto realizzato in altri Paesi europei si è ormai affermata l'esigenza di una cartografia geologica ufficiale dei mari italiani. In quest'ottica le attività principali del SGN, nel campo della geologia marina, consistono prevalentemente nel promuovere e coordinare le attività relative al progetto CARG, curando anche la creazione di una banca dati geologici marini, e nella redazione di normative per il rilevamento e la cartografia dei fondali marini.

Il progetto per la realizzazione di una "Carta geologica dei mari italiani" prende avvio dalla legge n. 183 del 18/3/89 che contiene le "norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" e recepisce l'esigenza di una cartografia geologica e geotematica capace di costituire una valida documentazione scientifica per la conoscenza del territorio; per la prima volta tale termine viene esteso alla piattaforma continentale che, anche dal punto di vista delle attività antropiche, è ormai da considerare a tutti gli effetti un'estensione delle terre emerse.

Per la realizzazione della cartografia geologica ufficiale dei mari italiani, la scala 1:250.000 si è rivelata il mezzo più idoneo per l'individuazione delle principali strutture geologiche dei fondali marini. Infatti, a differenza di quanto viene cartografato alla scala 1:50.000, in cui la rappresentazione dei fondali marini è più specificamente rivolta a fini applicativi, una rappresentazione a scala 1:250.000 permette una visione sinottica e una interpretazione a più ampio raggio anche delle strutture profonde dei fondali e della loro evoluzione più recente.

Per quanto riguarda le normative per la Carta geologica dei mari italiani alla scala 1:250.000, l'Istituto per la Geologia Marina-CNR-Bologna ha affiancato il Servizio Geologico d'Italia nella definizione delle metodologie e dei criteri da adottare. Per la rappresentazione di questo tipo di carte è stato utilizzato il taglio della serie cartografica JOG dell'IGM, con le basi batimetriche dell'Istituto Idrografico della Marina che è, insieme all'Istituto Geografico Militare, l'altro organo cartografico ufficiale dello Stato.

Purtroppo finora, nonostante la legislazione abbia ripetutamente sancito l'importanza dello studio dell'ambiente marino, a ciò non è corrisposto un adeguato sviluppo del personale e delle strutture necessarie per svolgere tali compiti. Nel campo della ricerca marina, la necessità di collaborazione fra i vari Enti che operano nel settore diventa quindi indispensabile per un miglior impiego delle scarse risorse destinate a questo comparto scientifico, per svolgere un ruolo di coordinamento delle attività in progetti sia nazionali che internazionali, e per fungere da sostegno a chi opera in mare.

La pubblicazione di queste linee-guida vuole essere quindi il primo, indispensabile passo per l'avvio e lo sviluppo del programma di cartografia dei mari italiani alla scala 1:250.000, auspicando un impulso alle attività sistematiche relative a questa tematica.

*Il Dirigente Superiore del Servizio Geologico
dott. Ferdinando PETRONE*

INDICE

1. - PREMESSA	
2. - CRITERI DI BASE PER LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA MARINA ALLA SCALA 1:250.000	
2.1. - COMPOSIZIONE DEL FOGLIO	
2.2. - PROIEZIONE E TAGLIO DELLA CARTA.....	
2.3. - CONVERSIONE DATI FRA I VARI ORIENTAMENTI.....	
3. - CARTA GEOLOGICA SUPERFICIALE	
3.1. - SCELTA DELLE UNITÀ STRATIGRAFICHE DA RAPPRESENTARE.....	
3.1.1. - <i>Unità stratigrafiche e stratigrafia sequenziale</i>	
3.1.2. - <i>Risoluzione sismica ed espressione sedimentologica delle superfici guida</i>	
3.2. - LA SEQUENZA DEPOSIZIONALE TARDO-QUATERNARIA	
3.2.1. - <i>Componenti principali e rappresentazione cartografica in mare</i>	
3.2.2. - <i>Analisi di facies e rappresentazione schematica degli ambienti deposizionali</i>	
3.3. - DEPOSITI SEDIMENTARI PIÙ ANTICHI DELLA SEQUENZA DEPOSIZIONALE TARDO-QUATERNARIA	
3.4. - APPARATI VULCANICI E DEPOSITI VULCANOCLASTICI	
3.5. - ROCCE IGNEE E METAMORFICHE	
3.6. - ACQUISIZIONE, ELABORAZIONE E RAPPRESENTAZIONE DEI DATI	
3.6.1. - <i>Carta principale</i>	
3.6.2. - <i>Carte tematiche aggiuntive e schemi stratigrafici</i>	
3.6.3. - <i>Legenda</i>	
4. - CARTA GEOLOGICA DEL SOTTOFONDO MARINO	
4.1. - CARATTERI GEOLOGICI DEI MARI ITALIANI.....	
4.1.1. - <i>Mare Adriatico</i>	
4.1.2. - <i>Mare Ionio</i>	
4.1.3. - <i>Canale di Sicilia</i>	
4.1.4. - <i>Mar Tirreno</i>	
4.1.5. - <i>Mar Ligure e Mar di Sardegna</i>	
4.2. - METODI D'INDAGINE: DATI SISMICI E STRATIGRAFICI	
4.2.1. - <i>Reperimento dei dati pregressi</i>	
4.2.2. - <i>Rilievi ex novo di sismica a riflessione</i>	
4.3. - INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI	
4.3.1. - <i>Interpretazione strutturale</i>	
4.3.2. - <i>Interpretazione sismo-stratigrafica</i>	
4.4. - CONTENUTI DELLA CARTA	
4.4.1. - <i>Carta geologica principale</i>	
4.4.2. - <i>Altre carte accessorie</i>	
4.4.3. - <i>Sezioni geologiche</i>	
4.4.4. - <i>Schema dei rapporti stratigrafici</i>	
5. - STRUTTURA GRAFICA DELLE DUE CARTE	
5.1. - SIMBOLOGIA	
6. - METODOLOGIE DI ACQUISIZIONE E DI ELABORAZIONE DEI DATI.....	
6.1. - DATI PREGRESSI	
6.2. - NORME PER L'ACQUISIZIONE DEI DATI IN MARE.....	
6.3. - NORME PER L'ELABORAZIONE DEI DATI.....	
7. - NOTE ILLUSTRATIVE ED INFORMATIZZAZIONE	
7.1. - NOTE ILLUSTRATIVE	
7.2. - INFORMATIZZAZIONE	
7.2.1. - <i>Fornitura di particolare tipologia di dati (documentazione integrativa)</i>	
7.2.2. - <i>Supporti</i>	
APPENDICE del Cap. 3	
A) - STRATIGRAFIA SISMICA E STRATIGRAFIA SEQUENZIALE.....	
B) - CICLI QUATERNARI.....	
APPENDICE del Cap. 6	
A) - STRUMENTI PER L'ACQUISIZIONE DEI DATI IN MARE	
B) - SISTEMI DI FILTRAGGIO DEI DATI DI POSIZIONAMENTO.....	
BIBLIOGRAFIA	

1. - PREMESSA

La cartografia geologica marina alla scala 1:250.000 si propone il rilevamento organico e sistematico delle aree marine italiane allo scopo di fornire un quadro geologico semplificato ma esauriente, tale da consentire un confronto con le situazioni geologiche osservabili in zone adiacenti, siano esse a terra o in mare. Oltre a costituire un elemento per uno studio integrativo, tale carta dovrebbe anche servire come base per pianificare ulteriori ricerche, mirate ad investigare particolari problematiche da riportare a scale di maggior dettaglio.

Più in generale con l'avvio di questo progetto cartografico si persegue un adeguamento alla politica di gestione territoriale ed ambientale riguardante anche le aree marine, già operativa in altri paesi europei. Definire in modo preciso ed adeguato quale tipo di cartografia standard "ufficiale" debba essere utilizzato per rappresentare la geologia di un'area così estesa come quella dei mari italiani non è certo impresa semplice. E' opportuno ricordare che per mari italiani si intendono tutte le aree marine comprese fra la linea di costa del territorio nazionale italiano (isole comprese) e le linee di mezzera stabilite o riconosciute più o meno ufficialmente con gli stati confinanti (Francia, Spagna, Tunisia, Libia, Malta, Grecia, Albania ed ex-Yugoslavia).

Un aiuto rilevante per la realizzazione di questo progetto deriva dal fatto che si può fare riferimento alle esperienze conseguite in questo campo da Servizi Geologici, Enti di altri paesi che hanno avviato progetti simili a quello che si propone di elaborare anche per il nostro paese.

Determinante è risultato effettuare un'ampia ed approfondita disamina ed analisi dei progetti di cartografia geologica marina "ufficiale" realizzati o in corso di realizzazione in altri paesi, prendendo in considerazione principalmente quelli di paesi molto attivi ed avanzati nel settore della ricerca geologica marina e con una particolare attenzione fra questi e quelli di paesi europei. Sono stati stabiliti rapporti particolarmente stretti, sia a livello informativo-conoscitivo che di lavoro, con quegli Enti la cui attività nel settore cartografico marino è stata da noi valutata utile e talvolta determinante per il progetto italiano. Si tratta in particolare del *British Geological Survey* (BGS), del BRGM francese, dell'IFREMER (Francia), dell'U.S. *Geological Survey* di Menlo Park (U.S.A.), del *Rijks Geologische Dienst* (Olanda), dell'*Instituto Tecnológico Geominero de Espana*, dell'*Hong Kong Geological Survey*, etc.

Quasi tutti i progetti a media scala (in genere 1:200.000-1:250.000), per lo meno quelli più organici ed a più ampio respiro, prevedono la realizzazione per ogni foglio di carte sia geologiche che geofisiche; in genere le carte geologiche sono almeno due: una che descrive le caratteristiche geologiche (sedimentologiche e geomorfologiche) del fondo marino ed un'altra che delinea la geologia del sottofondo evidenziandone soprattutto l'assetto strutturale e stratigrafico. Ciò dipende dal fatto che in gran parte delle aree marine (es. piattaforme continentali, margini continentali, bacini sui margini o profondi, piane batiali ed abissali) la sedimentazione è intensa e continua nel tempo, per cui spessori anche di diverse centinaia o migliaia di metri di sedimenti ricoprono i termini e le strutture geologiche più antiche. L'assetto geologico del fondo marino è quindi indicativo solo dei processi geologici più recenti (in genere tardopleistocenico-olocenici).

Per conoscere invece l'evoluzione geologica dell'area da tempi più antichi occorre riferirsi a dati rilevati nel sottofondo marino. Naturalmente lo stesso problema si presenta anche per la maggior parte delle aree marine italiane che sono caratterizzate da ampie zone di piattaforma (Mare Adriatico, Canale di Sicilia, Arcipelago Toscano) e di scarpata continentali.

Fra i vari progetti di cartografia marina che abbiamo analizzato e discusso ci è parso opportuno per il nostro lavoro tenere come principale punto di riferimento e di esempio quello del *British*

Geological Survey, che ci fornisce quasi un progetto guida. Si tratta di un progetto cartografico avviato negli anni '60 ed ormai quasi completamente realizzato, che con circa 110 fogli (85 quelli marini) alla scala 1:250.000 copre tutta la piattaforma continentale del Regno Unito, alcune aree della scarpata superiore atlantica e gran parte dell'area del Mare del Nord.

Quest'ultima parte (più il Canale della Manica) è stata realizzata in collaborazione con i Servizi Geologici degli altri paesi rivieraschi (Francia, Belgio, Olanda e Norvegia).

Per ogni foglio sono prodotte fino a cinque carte (tre a carattere geologico e due a carattere geofisico), segnatamente:

- *Sea bed sediments* (riferita al fondo marino)
- *Quaternary geology* (riferita ai sedimenti quaternari del sottofondo marino)
- *Solid geology* (riferita ai termini geologici del sottofondo marino pre-quaternari)
- *Aeromagnetic anomaly*
- *Bouguer/free air gravity anomaly*.

Le carte sono basate sulla proiezione Universale Trasversa di Mercatore (UTM), Zona 29, Meridiano Centrale 9°W, Orientamento Europeo 1950 (ED50) ed Ellissoide Internazionale; il taglio dei fogli è di 1° in latitudine e di 2° in longitudine.

Fra i progetti cartografici analizzati si tratta di quello più complesso ed organico, molto ben progettato e coordinato sia a livello nazionale che internazionale, con l'apporto determinante sia del settore privato (industria mineraria) che di quello della ricerca universitaria. Lo standard qualitativo è eccellente sia dal punto di vista dei contenuti geologici che dal punto di vista della loro rappresentazione grafica. Pur non esistendo una precisa normativa scritta, i risultati, anche quelli grafici, sono piacevolmente uniformi nei vari fogli, soprattutto nelle carte relative al fondo marino ed ai sedimenti quaternari. Si nota tuttavia una notevole elasticità per quanto riguarda la rappresentazione dei caratteri geologici di un'area: gli autori infatti hanno ampia libertà di scelta a questo riguardo sulla base dell'entità e del tipo di dati in loro possesso (enormemente variabili in aree marine) e delle principali caratteristiche geomorfologiche, sedimentologiche e geologiche dell'area. Un altro aspetto positivo del progetto è che esso si è venuto man mano adeguando nel tempo al rapido evolversi delle metodologie e delle tecniche di rilievo geologico e geofisico in mare ed al conseguente incremento delle conoscenze geologiche nelle aree marine.

Tutti i dati di navigazione, di campionatura, di output cartografici, di sismica a riflessione multicanale, di magnetometria, di gravimetria, etc. sono stati acquisiti in forma digitale; pertanto la loro conservazione ed elaborazione sono di tipo informatico.

Il programma di cartografia geologica marina ha infatti dato luogo alla creazione di una cospicua e funzionale banca dati geologici e geofisici marini, gestita direttamente dal British Geological Survey, che attualmente costituisce un punto di riferimento indispensabile ed obbligato per tutti coloro che intendono svolgere attività di ricerca di qualsiasi tipo (dall'applicata a quella di base) nei mari che circondano il Regno Unito. Il programma cartografico britannico alla scala 1:250.000 è l'unico progetto di cartografia geologica marina sistematica in via di realizzazione da parte di questo paese. Non esistono progetti di tipo sistematico o standard a scala più dettagliata. Ciò vale anche per i programmi cartografici marini dei Servizi Geologici o degli Enti degli altri paesi che abbiamo esaminato ed analizzato, ad eccezione della carta geologica marina della Baia di Hong Kong. A seguito della produzione della sua serie di carte al 250.000, il BGS sta pubblicando una serie di rapporti regionali, diretti sia a studiosi che studenti, che costituiscono un'introduzione ideale alla geologia delle aree

marine del Regno Unito. Questi rapporti utilizzano i dati BGS, quelli commerciali resi disponibili e tutte le informazioni pubblicate. Ogni rapporto sintetizza la geologia di un'area della

piattaforma continentale del Regno Unito in modo analogo alle ben note guide geologiche regionali che coprono le aree di terraferma. I soggetti trattati vanno dalla struttura crostale all'assetto stratigrafico dei depositi compresi tra il basamento ed il fondo marino, così come l'evoluzione strutturale e la geologia economica. La veste editoriale è eccellente con illustrazioni a colori, mappe, diagrammi ed ampia bibliografia.

La scelta del tipo e dei contenuti di un piano cartografico con cui rappresentare alla scala 1:250.000 i caratteri geologici dei mari italiani deve passare anche attraverso una disamina il più possibile esauriente, anche se necessariamente schematica, delle conoscenze finora acquisite in questi mari. L'analisi effettuata si compone di due aspetti tematici differenti, uno relativo ai processi più recenti che sono registrati nell'immediato sottofondo marino e l'altro ai processi più antichi che interessano il sottofondo fino a notevole profondità; perciò essa verrà riportata e discussa nelle sezioni di questo rapporto che si riferiscono rispettivamente alla carta geologica superficiale ed a quella del sottofondo. In queste note vengono trattate innanzitutto il tipo e la struttura della cartografia che si propone per il progetto alla scala 1:250.000 (cap.2); successivamente ne vengono discussi i contenuti (cap.3 e 4) e le modalità di rappresentazione (cap.5); negli ultimi due capitoli (6 e 7) sono riportate le note metodologiche e tecniche sull'acquisizione ed elaborazione dei dati e le indicazioni sulle note illustrative dei fogli e sulla informatizzazione dei dati.

Nelle appendici sono raccolte tutte le notazioni più tecniche dei vari capitoli.

2. - CRITERI DI BASE PER LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA MARINA AL 250.000

2.1. - COMPOSIZIONE DEL FOGLIO

In relazione a quanto illustrato nella premessa per ogni foglio verranno redatte due carte:

- una *carta geologica superficiale* che descriva e rappresenti i caratteri geologici sedimentologici, geomorfologici, etc. del fondo e dell'immediato sottofondo marino;
- una carta geologica del sottofondo marino che descriva e rappresenti l'assetto strutturale stratigrafico dell'area in esame e la sua evoluzione geologica.

-

Contenuti e caratteri delle due carte vengono illustrati e discussi separatamente ai paragrafi 3 e 4. Esse costituiscono i minimi prodotti indispensabili per dare una illustrazione dei principali caratteri geologici delle aree marine italiane che risulti utile, corretta ed adeguata per i potenziali fruitori. Ad integrazione di quelle principali, sulla falsariga del modello cartografico britannico, ci si può proporre di elaborare anche altri tipi di carte, non solo a carattere geologico e geofisico (magnetometria e gravimetria), ma anche di tipo tematico (per esempio a carattere ambientale).

In generale, per i fogli che comprendono aree di piattaforma continentale la carta superficiale dovrebbe rivestire importanza prioritaria rispetto alla carta del sottofondo, poichè rappresenta il prodotto più direttamente confrontabile con la cartografia in terra, in cui vengono riportate e caratterizzate le rocce o i sedimenti affioranti.

In particolare la carta superficiale acquista ulteriore importanza, perchè contiene informazioni di base utilizzabili nella gestione di problemi territoriali-ambientali in senso lato.

2.2. - PROIEZIONE E TAGLIO DELLA CARTA

Nel caso specifico del progetto cartografico marino italiano alla scala 1:250.000, per la proiezione ed il taglio dei fogli si è ritenuto opportuno di attenersi a soluzioni simili a quelle adottate dal BGS e riprese dal BRGM e dagli altri Servizi Geologici nord-europei che hanno collaborato alla cartografia marina per il Mare del Nord.

Si propone pertanto l'utilizzo della proiezione Universale Trasversa di Mercatore (UTM) nella accezione standard (500.000 m di falso Est e riferimento ai fusi stabiliti dai meridiani centrali 9° (32), 15° (33), 21° (34), coefficiente di contrazione 0,9996; Orientamento riferito al Sistema Geodetico *European Datum* del 1950 (ED50) ed Ellissoide Internazionale. Questo orientamento è utilizzato dall'IMGI per la serie di base 1:150.000, oltre che per serie particolari (serie JOG e Aeronautica); esso è comunque riportato sulla cartografia ufficiale IGMI, IIM e CTR delle Regioni. Il taglio dei fogli di 1° di latitudine per 2° di longitudine e la loro numerazione sono quelli della serie JOG dell'Istituto Geografico Militare Italiano (in realtà il taglio della serie JOG IGMI non è sempre 1°x 2°, ma si suggerisce uniformità nel taglio). In fig.1 sono visibili nel loro complesso i fogli necessari per avere una copertura completa delle aree marine italiane, cioè quelle comprese fra la linea di costa del territorio italiano e le linee di mezzeria stabilite con gli stati confinanti od antistanti dal punto di vista marittimo.

Si tratta in totale di 55 fogli marini con la relativa specifica numerazione JOG. Con questa numerazione ogni foglio è identificato da un codice costituito da una sigla e da una serie di numeri del tipo NK-33-9, dove NK-33 identifica la zona (NK è la fascia di latitudine ampia 4° e 33 la fascia di longitudine ampia 6°) e 9 rappresenta il numero del foglio in quella zona (si hanno 12 fogli per ogni zona). Ferma restando la dimensione base di ogni foglio geologico a mare, 1° in Latitudine per 2° in Longitudine, si prevede la possibilità di spostare in senso Est-Ovest la posizione dei fogli JOG IGMI, mantenendone inalterati i limiti settentrionale e meridionale secondo i meridiani, allo scopo di:

- 1) minimizzare la superficie terrestre rappresentata in ogni foglio marino
- 2) minimizzare la rappresentazione di porzioni marine oltre la *midline* per le quali non è prevista la cartografia geologica che altrimenti sarebbero destinate a rimanere bianche
- 3) ridurre la frammentazione dei fogli a mare che interrompono la rappresentazione di una data area su due fogli contigui rendendone difficile la lettura e spezzando inutilmente la continuità laterale degli elementi geologici.

In questo caso i fogli così ottenuti verranno identificati dal codice JOG che denota la fascia di Latitudine, quella di longitudine e dai numeri dei fogli JOG separati da un sbarretta (/) dove il nome del foglio occidentale (a sinistra) precede quello orientale (a destra). Ad esempio, traslando di un grado in Longitudine la posizione il margine sinistro di ogni foglio si nota che i fogli NK-32 in Liguria possono essere suddivisi, lungo il meridiano 9°, come NK-32-1/2 e NK-32-2/3, quelli dell'Adriatico settentrionale in prossimità delle Marche sono raggruppabili, tra i meridiani 13° e 15°, in NK-33-1/2 o quelli della Puglia settentrionale possono essere risuddivisi, lungo il Meridiano 17°, in NK-33-8/9 e NK-32-9/-34-7.

Per maggiore praticità tuttavia si consiglia di denominare i fogli col nome della località o del toponimo marino o costiero che caratterizza maggiormente l'area rappresentata. Così ad esempio il Foglio NL-33-10 in alto Adriatico, sull'area del quale stiamo realizzando secondo le disposizioni della Convenzione il primo esemplare di carta geologica marina al 250.000, viene chiamato, in accordo col SGN, "Foglio Ravenna" dal momento che insiste sull'area marina antistante questa città ed il suo grande porto canale. Si propone in questa sede che la

denominazione completa dei fogli al 250.000 per località o toponimi venga effettuata successivamente dal SGN.

In fig.2 sono visibili i fogli secondo il relativo fuso di appartenenza. E' importante notare che i fogli avranno dimensioni variabili a seconda della latitudine e della longitudine, a causa della convergenza dei meridiani verso il Polo nella rappresentazione Trasversa di Mercatore (UTM). In tab.1 sono presentate le dimensioni minime e massime di alcuni fogli rappresentativi; tali dimensioni sono quelle del rettangolo che circonda i vertici esterni delle carte. Nell'ambito di singoli fogli saranno possibili estensioni laterali in ogni direzione qualora i fogli adiacenti comprendessero aree da cartografare relativamente piccole oppure appartenessero a unità geologiche e fisiografiche differenti (ad esempio il foglio NK-33-9 potrà estendersi ad Ovest per comprendere la porzione di NK-33-8; NK-33-12 potrà estendersi ad Est; NJ-33-2 potrà estendersi a Est per l'area interessata dalla parte tirrenica di NJ-33-3, etc.).

2.3. - CONVERSIONE DATI FRA I VARI ORIENTAMENTI

La scelta dell'orientamento cartografico, in generale, comporta la necessità di uniformare dati provenienti da campagne diverse e riferiti alle basi cartografiche più svariate.

La scelta dell'orientamento ED50 in particolare impone che, nel caso di acquisizione di dati in diversi orientamenti (per esempio con reti di posizionamento *Range-Range*, le cui stazioni sono in coordinate Gauss-Boaga, oppure da ricevitori GPS in coordinate WGS-84 oppure digitalizzando cartografia esistente da mappe orientate Genova), dovrà essere effettuata una trasformazione delle coordinate geografiche all'orientamento ED50. In tale conversione dovrà essere garantita una precisione di circa 20 m, pari all'errore di graficismo alla scala 1:100.000 che costituisce la scala di lavoro per la serie 1:250.000. Sarà cura del contraente garantire tale precisione, utilizzando procedure validate, oppure misurando gli scostamenti fra gli orientamenti all'interno del foglio. L'applicazione degli scostamenti andrà supervisionata da organi competenti (IGMI, IIM) al fine di evitare disallineamenti e garantire uniformità fra fogli contigui. Le procedure da seguire possono essere:

(1) formula di Molodenskij (noti i parametri geometrici dei due ellissoidi, tab.1) (BOMFORD, 1960), oppure (2) calcolo delle matrici di rototraslazione e scalatura, note le coordinate nei due orientamenti di diversi punti sparsi omogeneamente nel territorio (LIGI & BORTOLUZZI, 1989a).

A titolo di esempio, sono stati calcolati e visualizzati (fig.3) gli scostamenti in latitudine e longitudine all'interno di aree di estensione 1x2 gradi (tali valori sono utilizzabili a scale 1:250.000 e inferiori, a causa degli errori su fogli contigui, essendo gli scostamenti calcolati al centro foglio).

3. - CARTA GEOLOGICA SUPERFICIALE

Le metodologie ed i criteri (detti di seguito *normativa*) per la realizzazione della carta geologica superficiale si ispirano ai seguenti principi generali:

- 1) omogeneità di approccio tra zone diverse per ottenere prodotti cartografici confrontabili
- 2) rappresentazioni sintetiche e schematiche anche in aree dove la geometria interna o l'andamento areale degli oggetti da cartografare appaiano complessi nel dettaglio
- 3) enfasi sui rapporti stratigrafici oggettivi che caratterizzano corpi deposizionali di età diversa.

I criteri metodologici su cui si basa la normativa per la carta geologica superficiale della Cartografia Geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000 derivano da un'integrazione di:

- 1) interpretazione stratigrafica sequenziale di profili sismici ad altissima risoluzione; 2) analisi

di *facies* su dati di carotaggio relativi ai primi metri di sedimento; 3) analisi biostratigrafica, geochimica speditiva e datazione assoluta di livelli guida e unità stratigrafiche da questi comprese; 4) ricostruzione di dettaglio della batimetria e della morfologia del fondo marino con particolare attenzione ad aree caratterizzate da più intensa dinamica erosivo-deposizionale, come ad es. fondali caratterizzati da forme di fondo a grande scala in piattaforma (attive, palinseste o relitte), o in scarpata e bacino, da depositi da trasporto in massa di grande estensione soprattutto in zone di prodelta o scarpata, e da *canyons* ed altre strutture erosive minori in scarpata.

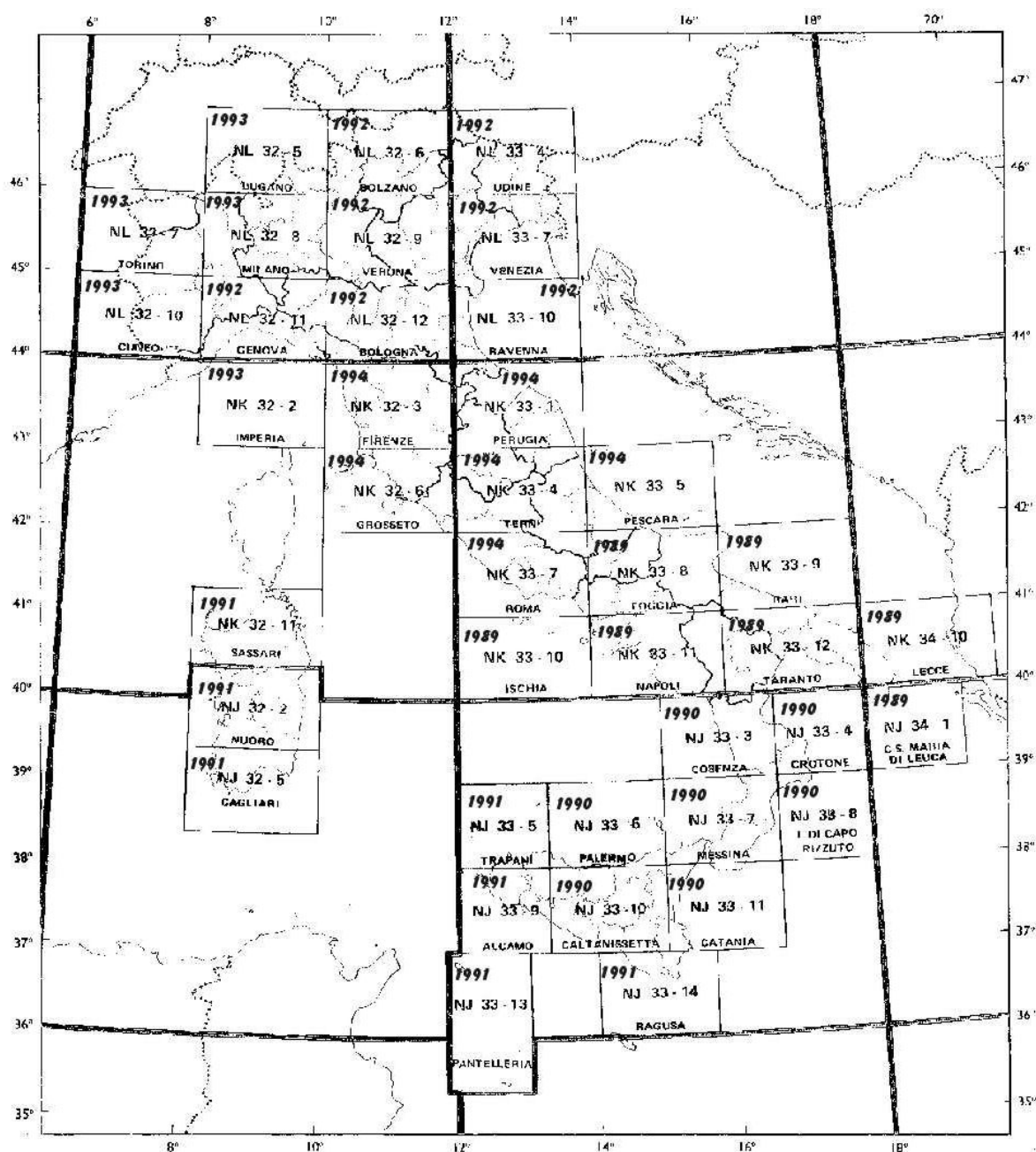


Fig.1 – Numerazione dei fogli alla scala 1:250:000 dal catalogo IGMI, ed. 1996-serie “Il Mondo” (JOG) 1501 serie250/G. L’anno indicato si riferisce all’ultimo aggiornamento (anche solo parziale).

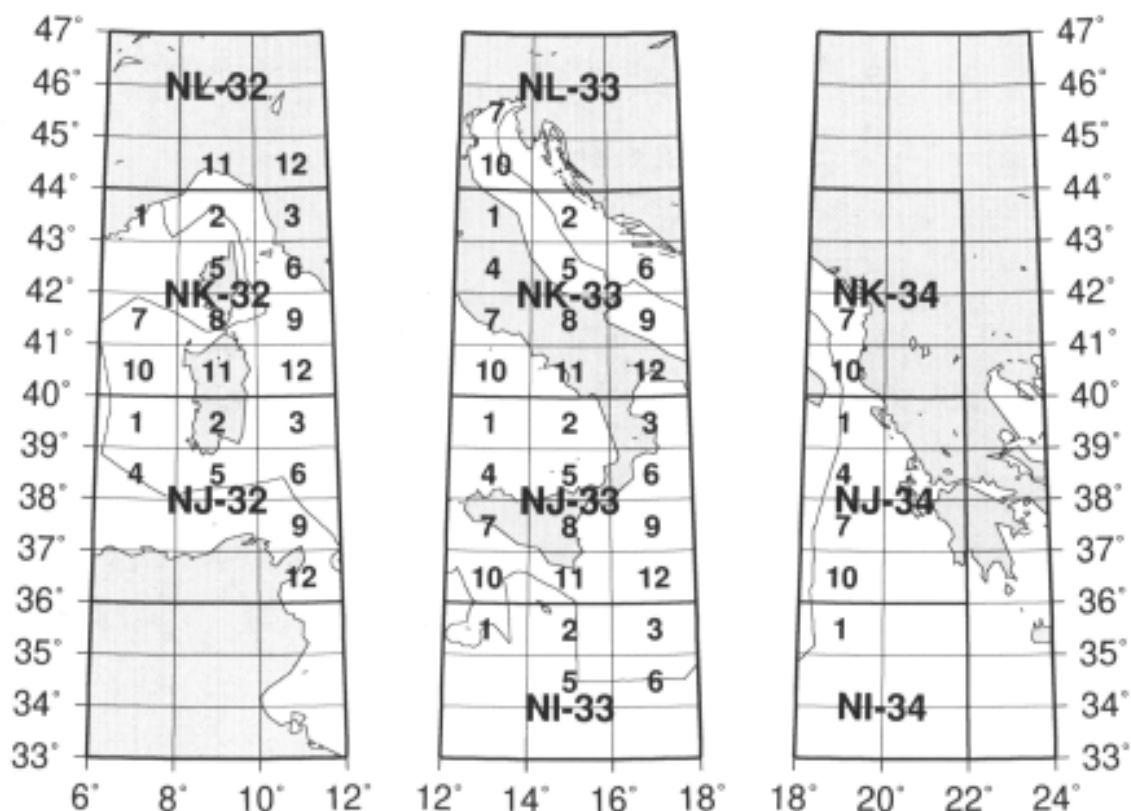


Fig. 2 – Fogli UTM alla scala 1.250.000. Taglio JOG IGMI. Fusi 32,33,34.

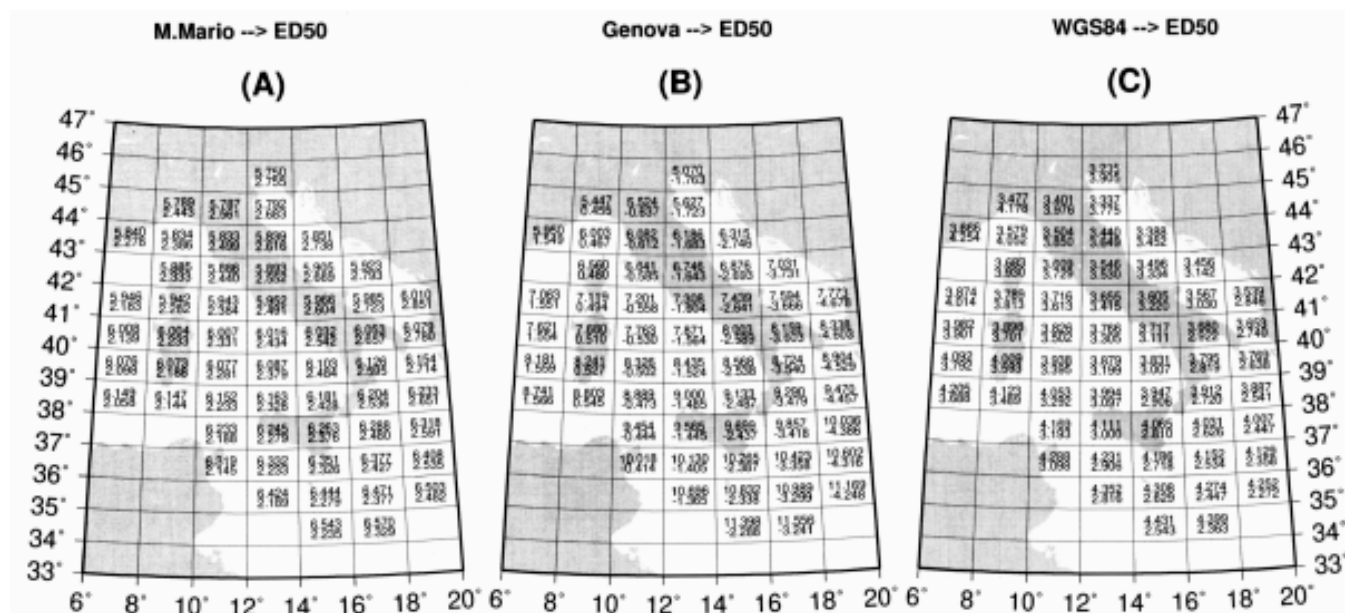


Fig. 3 – Cambio di orientamento fra i sistemi italiani.
Differenza in secondi di latitudine (alto) e longitudine (al centro riquadro).

Tab. 1 – *Dimensioni minime e massime delle Carte JOG – UTM 1:250.000*

ZONA	FOGLIO	Xcm	Ycm	Xinch	Yinch
NL-32	11	64.142	44.433	25.253	17.493
NL-32	12	64.687	45.990	25.467	18.106
NK-32	1	65.747	45.981	25.884	18.103
NK-32	12	68.802	45.944	27.087	18.088
NJ-32	1	69.779	45.928	27.472	18.082
NJ-32	12	72.581	45.869	28.575	18.059
NL-33	7	63.608	45.996	25.043	18.109
NL-33	10	64.687	45.990	25.467	18.106
NK-33	1	65.747	45.981	25.884	18.103
NK-33	5	66.257	44.417	26.086	17.487
NK-33	12	68.802	45.944	27.087	18.088
NJ-33	1	69.779	45.928	27.472	18.082
NJ-33	5	70.242	44.387	27.654	17.475
NJ-33	12	72.581	45.869	28.575	18.059
NI-33	1	73.471	45.846	28.926	18.050
NI-33	6	74.338	45.821	29.267	18.040
NK-34	7	67.804	45.958	26.695	18.094
NK-34	10	68.802	45.944	27.087	18.088
NJ-34	1	69.779	45.928	27.472	18.082
NJ-34	10	72.581	45.869	28.575	18.059
NI-34	1	73.471	45.846	28.926	18.050

Il principale metodo di indagine utilizzabile nel campo della geologia marina a scopo cartografico è quello della sismica a riflessione. Esso risulta tuttavia limitato da due fattori principali: la risoluzione verticale ottenibile con i profili sismici, che definisce lo spessore minimo al di sotto del quale non è possibile riconoscere un deposito, e la risoluzione spaziale, che è funzione della distanza che separa profili sismici attigui e che determina l'estensione minima al di sotto della quale un deposito non è correlabile. La combinazione di questi limiti di risoluzione definisce le dimensioni minime dei corpi geologici che si possono identificare e correlare. Il tipo di sorgente sismica e sistema di acquisizione (risoluzione verticale) e la spaziatura tra i profili devono essere scelti in base alle dimensioni minime dei corpi geologici che si vogliono cartografare.

Sulla carta geologica superficiale vengono rappresentati tutti i corpi geologici che affiorano o subaffiorano sul fondo marino. Poichè tutti i margini che circondano il territorio nazionale emerso sono caratterizzati dalla presenza su vaste aree di depositi originatisi durante varie fasi dell'ultima fluttuazione tardo quaternaria del livello marino (post ca. 125 ka), si ritiene opportuno che vengano rappresentati con maggiore dettaglio i depositi messi in posto durante questo periodo: in particolare l'estensione areale, la distribuzione degli spessori e le *facies* caratteristiche dei depositi trasgressivi e di stazionamento alto tardo-quaternari sulla piattaforma e sulla scarpata continentale. Inoltre, si riportano in forma essenziale informazioni riguardanti l'andamento della superficie di erosione subaerea, e/o sottomarina, originatisi durante l'ultima

fase di stazionamento basso tardo - pleistocenica e, qualora presenti, i depositi di caduta e stazionamento basso del livello del mare. Poichè i margini continentali che circondano la penisola italiana e le isole sono estremamente variabili in estensione, gradienti e morfologia, i risultati erosivo/deposizionali dell'ultimo ciclo di fluttuazione di livello del mare sono estremamente variabili da una zona all'altra.

Particolare dettaglio sarà dedicato alla rappresentazione dei depositi messi in posto durante l'ultima risalita di livello del mare (post 18 ka) ed il successivo periodo di stazionamento alto.

Il primo tipo di depositi (trasgressivi) costituisce il prodotto dei cambiamenti nel regime degli apporti, nell'assetto fisiografico e nei processi oceanografici che accompagnano la rapida risalita di livello del mare avvenuta da circa 16-18 ka a circa 4-5 ka (FAIRBANKS, 1989). La distribuzione areale dei depositi del secondo tipo (depositi di stazionamento alto) esprime l'interazione tra gli apporti ed il regime oceanografico durante gli ultimi 4-5 ka.

L'intervallo di tempo successivo all'ultimo acme glaciale e stazionamento basso del livello del mare è associato ad un notevole e generalizzato cambiamento nell'assetto dei margini continentali dell'intero pianeta. Il livello del mare è infatti risalito di circa 120 m in circa 14-15 mila anni sommergendo estese aree di piattaforma continentale precedentemente sottoposte ad esposizione subaerea. Un esempio macroscopico di questo cambiamento in Mediterraneo Centrale viene dal bacino epicontinentale Adriatico che, nel corso della risalita del livello marino, ha registrato un aumento di superficie sommersa di circa 8 volte (TRINCARDI *et alii*, 1994). In generale, i depositi trasgressivi e di stazionamento alto presentano la massima variabilità e complessità delle *facies* in zone di piattaforma, soprattutto nelle aree a più basso gradiente (ad es. Adriatico Settentrionale; Arcipelago Toscano; Golfo di Gaeta); i depositi dovuti all'azione di correnti di contorno e quelli gravitativi di stazionamento basso sono, al contrario, tipici di aree di bacino (ad es. Bacino di Cefalù, Bacino di Paola e Bacino Corso).

3.1. – SCELTA DELLE UNITÀ STRATIGRAFICHE DA RAPPRESENTARE

I margini continentali centro Mediterranei sono stati oggetto di numerosi studi di geologia marina durante gli ultimi 30 anni. Si tratta di indagini eterogenee che hanno prodotto una base di dati ingente, ma piuttosto disomogenea e di non facile utilizzo. Durante questo periodo sono stati raccolti dati con scopi diversi e metodi soprattutto convenzionali (sismica a media risoluzione e registrazione analogica monocanale e campionature tramite carotiere limitate ai primi 4 o 5 metri del sottofondo marino). I risultati di questa fase di studi sono stati presentati nella maggior parte dei casi in modo descrittivo e con scarsa attenzione alla natura dei processi sedimentari ed al loro potere di preservazione nella registrazione geologica. Anche per questa ragione il confronto tra zone diverse, fino ad ora poco immediato, può venire facilitato da un approccio multidisciplinare basato sull'utilizzo della stratigrafia sequenziale. Un altro problema riguarda la rappresentazione dei corpi geologici che affiorano in aree dove la sequenza deposizionale tardo-aternaria non è presente; ciò avviene in aree soggette ad erosione e sottoalimentate durante il tardo Quaternario o su margini continentali interessati da notevole attività vulcanica.

In questi casi dovranno essere distinti e cartografati tre tipi di depositi:

- 1) depositi sedimentari più vecchi della sequenza deposizionale tardo quaternaria (per la suddivisione dei quali si adottano criteri lito e cronostratigrafici con definizione di Unità a grande scala)
- 2) depositi vulcanici e vulcanoclastici (suddivisibili per età e composizione)
- 3) rocce cristalline (suddivisibili per età e composizione)

3.1.1. - Unità stratigrafiche e stratigrafia sequenziale

Allo scopo di suddividere e rappresentare in carta i depositi sedimentari sui margini continentali italiani si potrebbe scegliere un approccio simile a quello adottato dalla cartografia terrestre basato sul riconoscimento di unità litostratigrafiche inquadrare cronostatigraficamente (Formazioni e altre unità di rango gerarchico inferiore o superiore).

La definizione di una unità litostratigrafica si basa sulle differenze dei caratteri litologici e di *facies* rispetto alle altre unità con cui essa viene a contatto lateralmente e/o verticalmente. Così individuata, ogni unità viene poi collocata nel tempo geologico attraverso il riferimento ad unità geocronologiche e cronostatigrafiche. Ciò si ottiene attraverso metodologie di varia natura (biostratigrafiche, magnetostratigrafiche, geochimiche, radiometriche, etc) su campioni presi all'interno di ogni unità litostratigrafica senza una particolare attenzione alla natura ed al significato cronostatigrafico dei limiti fisici che la definiscono. Un determinato intervallo di tempo sarebbe così registrato da una o più unità di spessore ed estensione areale variabili.

Un passo ulteriore potrebbe essere quello di riconoscere superfici di non conformità estese a scala regionale delimitanti corpi rocciosi complessi costituiti all'interno da una o più unità litostratigrafiche; le unità definite sulla base di limiti non conformi prendono il nome di *Unconformity Bounded Stratigraphic Units* (UBSU). Queste unità hanno un significato genetico legato alla natura delle superfici che le delimitano; in questo senso esse concettualmente comprendono una vasta gamma di unità stratigrafiche, tra cui le unità ciclostratigrafiche. Queste ultime si differenziano in base al tipo di ciclicità che le caratterizza (eustatico, climatico, tettonico). L'utilizzo a fini cartografici delle unità ciclostratigrafiche, in particolare delle sequenze deposizionali, è al momento ancora piuttosto difficile nel campo della geologia di superficie, per quel margine ancora ampio di soggettività che ne caratterizza la definizione, soprattutto in mancanza di riferimenti temporali certi. L'adozione dei concetti guida della stratigrafia sequenziale nell'esecuzione dei rilievi cartografici viene comunque vivamente consigliata dalla Commissione CNR per la Cartografia Geologica e Geomorfologica, riconoscendone la potenzialità per una migliore comprensione dei rapporti spazio-temporali dei corpi geologici.

La situazione delle aree marine italiane è diversa rispetto alle aree terrestri; le aree marine sono infatti in larga misura caratterizzate dalla presenza di depositi tardo quaternari, raramente deformati e ben inquadrabili mediante opportune metodologie (sismica ad alta risoluzione e datazioni assolute) in quadri temporali definiti; questi depositi notoriamente registrano i vari eventi eustatici e climatici tardo-quaternari; per questi motivi un progetto che ne prevede la rappresentazione cartografica costituisce un'occasione quasi unica per sperimentare la potenzialità delle unità ciclostratigrafiche ed in particolare delle unità stratigrafico sequenziali.

La principale unità cartografabile su cui si basa la stratigrafia sequenziale è la sequenza deposizionale, definibile come l'insieme dei depositi sedimentari che si formano durante un ciclo completo di variazione relativa del livello del mare; i limiti sono costituiti da superfici di discontinuità e da superfici di continuità ad esse correlabili, che si formano durante le fasi di abbassamento relativo del livello del mare (figg. 4 e 5). All'interno di una sequenza le varie fasi del ciclo sono definite dalla risposta dei sistemi deposizionali o meglio dei tratti di sistemi contemporanei (*systems tracts*); si possono così definire in modo relativamente oggettivo delle sottounità che hanno una precisa connotazione genetica e temporale; queste sottounità stratigrafico-sequenziali costituiscono i corpi sedimentari più utili e significativi per la

rappresentazione cartografica. Si tratta infatti di unità rigidamente inquadrabili dal punto di vista temporale e all'interno delle quali sono facilmente definibili i vari sistemi deposizionali; questi

ultimi corrispondono in ultima analisi ad unità litostratigrafiche (Formazioni), che possono essere quindi definite e rappresentate cartograficamente, realizzando un legame concettuale e pratico con l'approccio cartografico terrestre.

Seguendo tale approccio ad esempio, i depositi di stazionamento alto (HTS) tardo-olocenici verrebbero suddivisi in tre unità formazionali con limiti eteropici: argille e sabbie continentali, sabbie costiere o di foce, argille di prodelta (vedi Legenda). L'estensione areale di ognuna di tali formazioni può andare ben oltre l'area coperta da un singolo foglio a scala 1:250.000; sarebbe di conseguenza possibile che un deposito come i fanghi di prodelta che circondano in continuità ampi tratti delle coste italiane vengano artificiosamente separati e rinominati in modi diversi in aree geografiche diverse; ne risulterebbe un proliferare di nomi non necessario o controproducente. La fig. 6 schematizza i rapporti tra *systems tracts* e i vari tipi di unità stratigrafiche più usati nella cartografia terrestre. In questo quadro ed in base alle esperienze acquisite sui margini continentali che circondano il territorio nazionale, si propone di utilizzare la stratigrafia sequenziale come metodo per caratterizzare e confrontare tra loro le successioni stratigrafiche tardo-quadernarie sui margini continentali italiani.

Questo approccio offre tre vantaggi principali:

- permette di stabilire una relazione stratigrafica e genetica tra depositi messi in posto in diversi ambienti deposizionali entro domini fisiografici distinti su uno stesso margine continentale (ambiente continentale, costiero/paralico, di piattaforma, di scarpata e di bacino)
- consente una maggiore uniformità semantica
- facilita la correlazione ed il confronto tra zone geograficamente distinte ed il riferimento ad altri margini continentali extramediterranei.

3.1.2. - Risoluzione sismica ed espressione sedimentologica delle superfici guida

Tre superfici guida costituiscono i limiti fisici che permettono di definire e suddividere al proprio interno un ciclo deposizionale: superficie di trasgressione (che marca l'inizio della risalita relativa di livello del mare su un margine), superficie di massima inondazione (che registra il massimo spostamento verso terra della linea di riva) e la superficie di esposizione subaerea formatasi durante condizioni di caduta di livello del mare.

Altre superfici significative sono quella di *ravinement* (SWIFT, 1975; DEMAREST & KRAFT, 1987; NUMMEDAL & SWIFT, 1987) e quella regressiva di erosione sottomarina (PLINT, 1988). Entrambe queste superfici (fig.5) sono formate da erosione da parte della spiaggia sommersa (*shoreface*) in condizioni rispettivamente trasgressive e regressive; queste superfici, spesso di più facile identificazione rispetto ad altre, possono essere presenti all'interno dei *systems tracts* e non hanno significato cronostatigrafico poichè sono diacrone. Altre superfici possono formarsi per erosione sottomarina ad opera di correnti di fondo; tali superfici anche se di grande estensione regionale non trovano una ovvia posizione in nessuno degli schemi stratigrafici che si sono sviluppati a partire dalla stratigrafia sismica (CHRISTIE-BLICK, 1991).

La correlazione a scala regionale di superfici fisiche di discontinuità stratigrafica alla base e all'interno della sequenza deposizionale tardo-quadernaria rappresenta il punto di partenza per l'individuazione dei corpi geologici da cartografare e per la pianificazione di una strategia di campionatura del sottofondo marino mirata a risolvere problemi stratigrafici e a caratterizzare gli

ambienti deposizionali. In base alle considerazioni sopra esposte, per ogni foglio si prevede l'elaborazione di una carta a scala 1:250.000 su cui viene rappresentata la natura e l'estensione areale dei corpi geologici più superficiali. A questo scopo ci si riferisce a corpi sedimentari

sismicamente risolvibili e non a sedimenti superficiali. Su questa base, depositi definibili solo in carota e non risolvibili in sismica ad alta risoluzione non vengono rappresentati in carta, ma considerati come semplici superfici fisiche.

In generale, si stabilisce come limite pratico per la risoluzione verticale quello che deriva dall'utilizzo di *subbottom* a 3,5 kHz standard; tale limite varia in funzione della lunghezza dell'impulso del segnale trasmesso (tipicamente da 1 a 4 msec.) e aumenta con il crescere della profondità che si vuole raggiungere (piattaforma, scarpata o bacino profondo). In piattaforma ad esempio 10-40 cm di sabbie bioclastiche associate alla superficie di *ravinement* (TRINCARDI *et alii*, 1994) non sono cartografabili, mentre in bacino il limite di risoluzione aumenta al punto che un drappaggio di fango di 1-2 m non è risolvibile in assenza di carote (TRINCARDI & FIELD, 1992; MONGARDI, 1994).

3.2. - LA SEQUENZA DEPOSIZIONALE TARDO-QUATERNARIA

La suddivisione stratigrafica proposta deriva dal tipo di dati utilizzati in geologia marina (prevalentemente rilievi di sismica a riflessione con carotaggi di taratura) e dal metodo di interpretazione (stratigrafia sequenziale ad alta risoluzione); i corpi geologici che vengono rappresentati sono i *systems tracts* della sequenza deposizionale tardo-quaternaria. La legenda prevede una matrice che definisce ogni corpo cartografabile in base a due criteri: 1) la posizione stratigrafica relativa ai corpi sotto e soprastanti, 2) le *facies* e gli ambienti deposizionali da cui ogni *systems tract* è costituito. Il primo tipo di classificazione viene realizzato attraverso l'utilizzo di colori, il secondo tipo di classificazione può essere sovrapposto al precedente utilizzando simboli grafici (vedi par. 3.6.3.). In particolare, entro la sequenza deposizionale tardo-quaternaria ci si deve proporre di individuare e caratterizzare sistemi deposizionali riferibili a fasi rispettivamente di:

- (1) caduta del livello del mare (*Falling sea-level systems tract*, HELLAND HANSEN & GJELBERG, 1994)
- (2) stazionamento basso del livello del mare (*Low-stand systems tract*) e relative suddivisioni interne ove possibile (POSAMENTIER *et alii*, 1991)
- (3) risalita di livello del mare (*Transgressive systems tract*, POSAMENTIER & ALLEN, 1993; TRINCARDI *et alii*, 1994)
- (4) stazionamento alto del livello del mare (*High-stand systems tract*, POSAMENTIER & VAIL, 1988).

I *systems tracts* così definiti verranno di seguito indicati rispettivamente dalle seguenti sigle: FST, LST, TST, HST (fig. 4).

La scelta di rappresentare nella carta superficiale i *systems tracts* della sequenza deposizionale tardo-quaternaria (fig. 4), in particolare quelli trasgressivo e di stazionamento alto, costituisce un punto di partenza logico e soddisfa le seguenti esigenze:

- 1) individuare e cartografare corpi deposizionali definiti come oggetti tridimensionali, riferiti alla loro posizione stratigrafica relativa;
- 2) fornire informazioni circa la natura dei sedimenti superficiali attraverso un inquadramento stratigrafico fisico ad alta risoluzione calibrato con campionature e datazioni assolute di

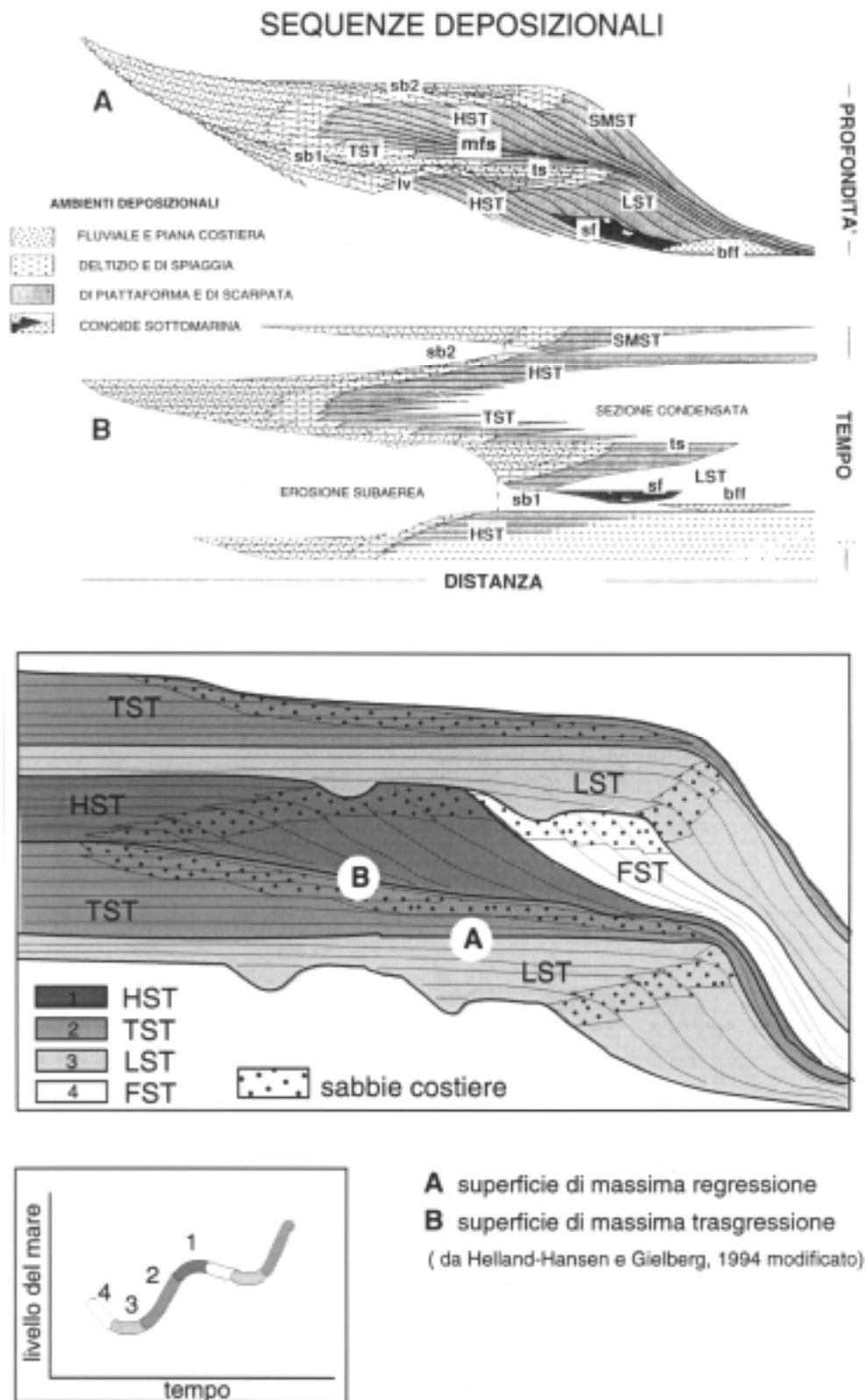


Fig.4 – Sezioni schematiche in relazione alla profondità **A** e al tempo **B** che evidenziano i rapporti geometrici tra *system tracts* e la distribuzione delle facies siliciclastiche all'interno delle sequenze deposizionali limitate da discontinuità.

System tracts: SMST= margine di piattaforma; HST= stazionamento alto; TST= trasgressivo; LST=stazionamento basso. Limiti di sequenza: sb2=limite di sequenza di tipo 2; sb1= limite di sequenza di tipo 1. Superfici significative: mfs=superficie di massima inondazione; ts= superficie trasgressiva; sf= conoidi di scarpata; bff= conoidi di bacino

(I: da VAIL, 1977; CRISTIE-BLICK, 1991 modificati; II: da HELLAND-HANSEN e GIELBERG, 1994, modificato).

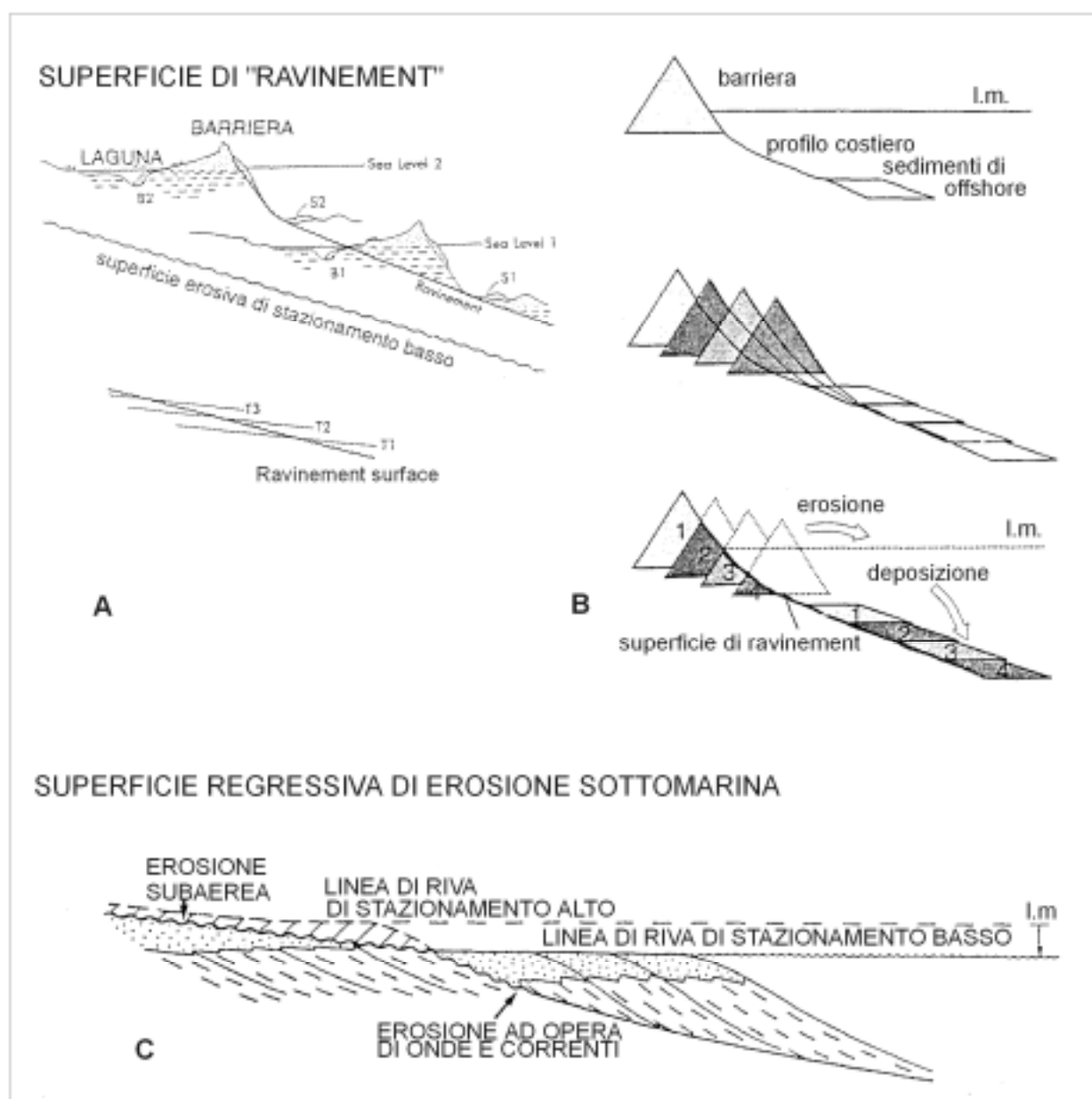


Fig. 5 – Origine della superficie di "ravinement"

- Durante la risalita del livello del mare dalla posizione **1** alla posizione **2** la spiaggia si muove verso terra e il processo erosivo e di rimaneggiamento dei depositi costieri di barriera durante il passaggio della linea di riva porta allo smantellamento di parte della barriera lasciando preservate le *facies* di retro barriera **B1**. I nuovi depositi di piattaforma interna **S2** sono più giovani dei sottostanti depositi di retro barriera **B1**; a loro volta i depositi **B1** sono coevi ai depositi di piattaforma **S1** posti sopra la superficie di "ravinement" verso mare (NUMMENDAL & SWIFT, 1987 modificato).
- Questa superficie non ha significato cronostratigrafico bensì litostratigrafico e separa litosomi di spiaggia e marini in s.l. da litosomi parali o continentali trasgressivi. Questa superficie può quindi essere considerata un limite formazionale (THORNE & SWIFT, 1991 modificato).
- Superficie di erosione di spiaggia formatasi in condizioni di caduta del livello relativo del mare. Superfici di questa natura si trovano alla base e all'interno del *System tract* di caduta del livello del mare (FST).

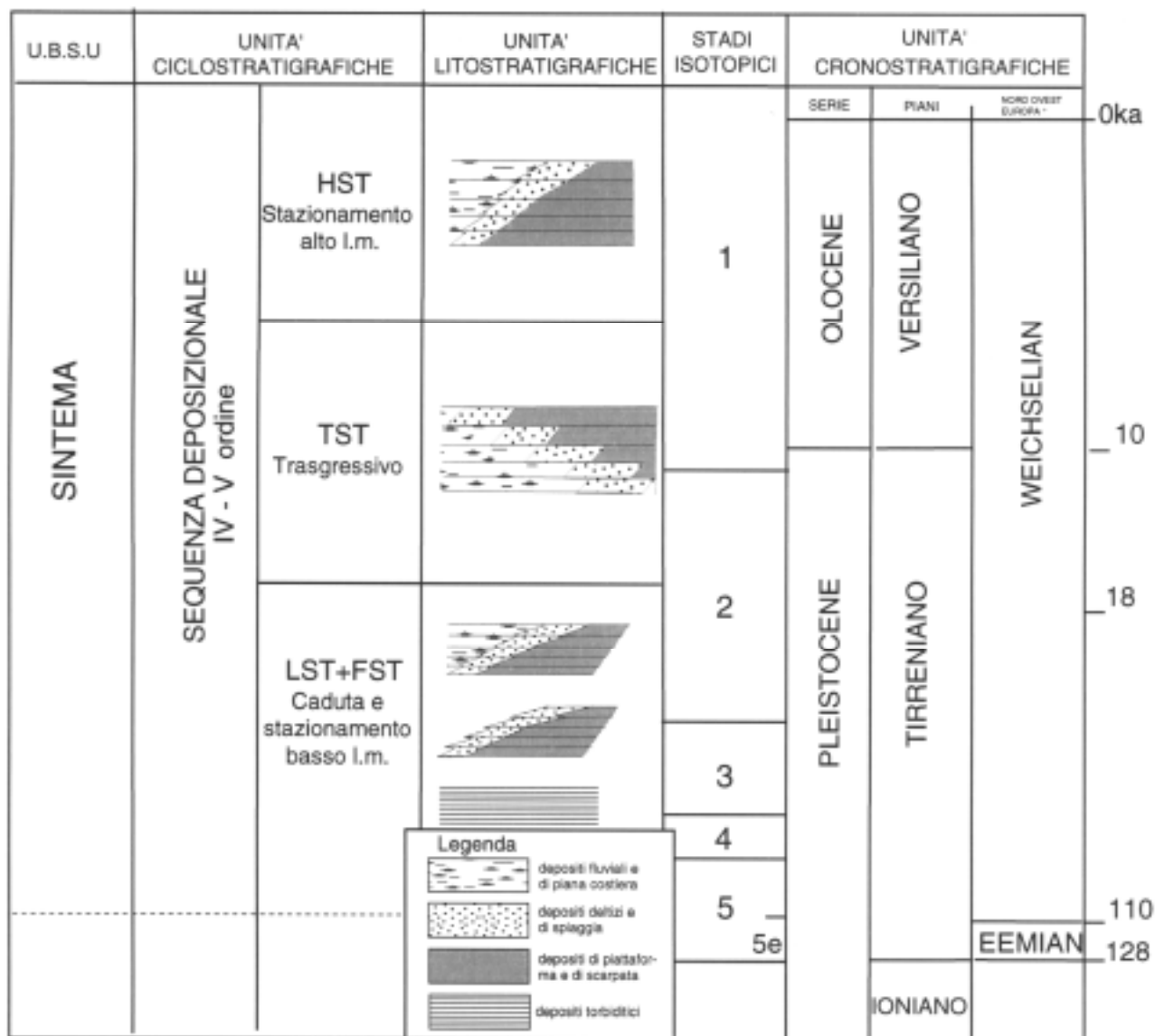


Fig.6 – Schematizzazione dei rapporti nei vari tipi di unità stratigrafiche più usati nella cartografia terrestre e i *system tracts* (ZAGWUN W. H., 1979; 1985; 1989)

livelli guida, che permette di caratterizzare indirettamente anche i sedimenti superficiali e di dare informazioni stratigrafiche complementari circa la natura dei corpi deposizionali individuati ed i processi che ne hanno controllato la deposizione e la preservazione.

Su queste basi, inoltre, i sistemi deposizionali ricostruiti possono essere messi in relazione Alle variazioni del livello del mare tardo quaternarie;

- 3) ottenere informazioni confrontabili tra tutti i margini della penisola senza essere eccessivamente influenzati da aspetti locali o particolari. L'ultima risalita di livello del mare tardo-quaternaria, con un' escursione di circa 120 metri ed un tasso massimo nell'ordine dei 10 metri per 1000 anni (fig.7), ha lasciato una impronta sull'assetto morfologico e stratigrafico di tutti i margini continentali mondiali. I depositi associati a tale processo sono fortemente differenziati da zona a zona in funzione dei diversi apporti sedimentari, degli assetti morfologici e dei regimi oceanografici; cartografare questi depositi permette quindi di correlare le superfici guida (erosive o non deposizionali) e confrontare le *facies*, le geometrie interne e gli spessori dei depositi che registrano il processo di risalita del livello marino in modo differenziato sui vari margini.

3.2.1. - Componenti principali e rappresentazione cartografica in mare

Di seguito vengono riassunte le caratteristiche essenziali dei *systems tracts* associati alle fasi principali dell'ultimo ciclo di fluttuazione eustatica del livello del mare. Di ogni *systems tract* vengono brevemente discussi il significato stratigrafico e la rappresentabilità in carta. Maggiore enfasi e dettaglio verranno posti nella rappresentazione dei *systems tracts* di stazionamento alto e trasgressivo; informazioni essenziali riguarderanno quelli di stazionamento basso e caduta del livello marino. Tutti i depositi da cartografare verranno innanzitutto riferiti alla loro posizione stratigrafica entro la sequenza tardo-quadernaria. Interpretazioni sulla genesi dei corpi deposizionali (basate sulle geometrie interne, l'espressione morfologica e sulle *facies* sedimentarie) contribuiranno ad una migliore caratterizzazione dei *system tracts* ma non costituiranno il criterio principale per la rappresentazione cartografica.

Depositi di stazionamento alto (HST)

I depositi di stazionamento alto (HST), sono successivi alla fase di massima ingressione marina avvenuta al termine della risalita di livello del mare (ca. 4-5000 anni fa), e presentano i massimi spessori in piattaforma interna presso i principali apparati deltizi (ad es.: Po, Tevere, Arno) lungo la costa italiana e si riducono a pochi metri di spessore in piattaforma esterna. Eccezioni a questo andamento si trovano su alcuni tratti del margine Adriatico Centrale, Ionico e Tirrenico orientale, dove gli apporti fluviali in condizioni di stazionamento alto del livello del mare sono tali da consentire la deposizione di un drappaggio distale di fanghi in piattaforma esterna e scarpata (ad es. piattaforma circostante le Isole Tremiti, CORREGGIARI *et alii*, 1992; piattaforma antistante il delta del fiume Sele, TRINCARDI & FIELD, 1991, piattaforma a Nord-Ovest del delta del Tevere, TRINCARDI & NORMARK, 1988; BELLOTTI *et alii*, 1994). Nel caso di apporti estremamente abbondanti si osserva deposizione torbidaica e costruzione di apparati di argine/canale in scarpata e bacino (ad es. Conoide del Crati, RICCI LUCCHI *et alii*, 1984).

Rappresentazione in carta: il foglio superficiale riporta in forma sintetica informazioni riguardanti la distribuzione areale e lo spessore dei depositi di HST attraverso la redazione di una carta delle isocronopache di questi depositi in millisecondi. La curva corrispondente allo spessore di 2 m di sedimenti di HST (circa 2,5 msec), costituisce il limite di risoluzione pratico dello strumento sismico adoperato. Si ritiene che dove gli spessori di HST sono maggiori sia sufficiente riportare curve di ugual spessore ogni 5 msec.

Nell'esempio del bacino Adriatico, la distribuzione degli spessori dei depositi di stazionamento alto è influenzata dagli apporti (Po e fiumi minori) e dalla circolazione geostrofica che ridistribuisce i sedimenti parallelamente alla costa italiana, da NO verso SE, prevenendone la dispersione verso il centro del bacino (fig.8). Una interazione tra la distribuzione degli apporti fluviali ed il regime oceanografico è stata osservata anche su altri margini della penisola italiana, quale ad es. il margine tirrenico orientale (delta del Tevere, TRINCARDI & NORMARK, 1988; delta del Sele, TRINCARDI & FIELD, 1991).

Depositi trasgressivi (TST)

I depositi trasgressivi (TST) originatisi in ambiente continentale, costiero-paralico o marino durante le fasi successive della risalita di livello del mare tardo-quadernaria appaiono

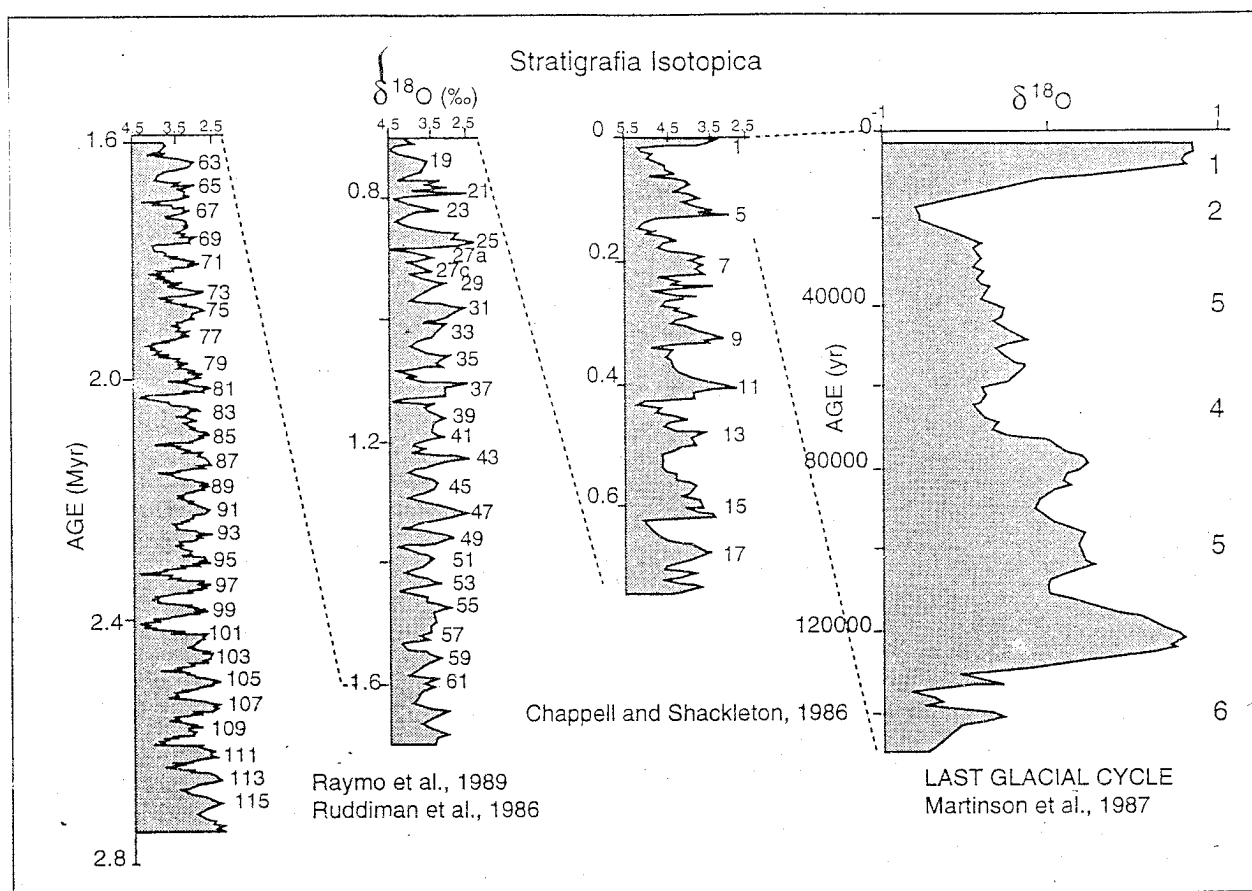


Fig. 7. - Stratigrafia isotopica dell'ossigeno per gli ultimi 2,75 milioni di anni. La curva ricalca le variazioni glacio-eustatiche del livello del mare con un massimo di ampiezza di 150 m. Si notino le lente cadute del livello del mare con l'aumento del volume dei ghiacci e le rapide risalite durante lo scioglimento delle calotte glaciali. Le curve sono espresse come deviazione (δ) in parti per mille dal valore *standard* (SMOW=Standard Mean Ocean Water); per l'ultimo ciclo glaciale i valori sono normalizzati in un intervallo da -1 a 1 (da PLINT *et alii*, 1992, modificato).

generalmente ridotti di spessore e studiabili con metodi sismici ad altissima risoluzione e campionature tramite carotaggio. In aree di piattaforma caratterizzate da basso gradiente (ad es. piattaforma adriatica), al procedere della risalita del livello del mare la traslazione verso terra dei sistemi deposizionali associati all'ambiente costiero e paralico è massima (tipicamente da 10 a 20 km per ca. 10 m di innalzamento del livello del mare). I margini continentali della penisola Italiana documentano la variabilità delle *facies* e delle geometrie interne al TST tardo-quaternario e della espressione sedimentologica delle superfici guida che lo delimitano al tetto ed alla base (TRINCARDI *et alii*, 1994). La fig.8 rappresenta un esempio di mappa strutturale della *Ravinement surface* (Rs) che all'interno del TST separa depositi paralici, sottostanti, da depositi marini, sovrastanti (fig.5). La Rs si forma per il processo di ritiro erosivo dello *shoreface* in funzione della variazione del rapporto tra tasso di risalita del livello del mare relativo e tasso di variazione degli apporti (NUMMEDAL & SWIFT, 1987; THORNE & SWIFT, 1991). Si noti che nella maggior parte dell'area adriatica tale superficie coincide con quella di massima inondazione (*maximum flooding surface*) per la mancanza di depositi marini attribuibili al TST (fig.5).

Rappresentazione in carta: dove possibile per condizioni morfologiche e assenza di copertura successiva, è necessario campionare in modo selettivo le principali parasequenze trasgressive (di età decrescente verso terra), per caratterizzarne le *facies*, documentarne i cambiamenti nell'organizzazione interna e nel potenziale di preservazione al procedere della trasgressione e datarne eventuali orizzonti guida o faune in situ allo scopo di ricostruire in dettaglio i tempi della risalita di livello del mare.

Depositi di stazionamento basso (LST)

I depositi originatisi durante lo stazionamento basso del livello del mare durante l'ultimo episodio glaciale quaternario (Stadio Isotopico 2, fig.7) possono essere schematicamente suddivisi dal basso verso l'alto stratigrafico in: depositi da trasporto in massa, sistemi torbiditici di base di scarpata e cunei progradazionali di margine di piattaforma. Tipicamente, ogni settore di margine non comprende tutti e tre i tipi di depositi ma solo uno o due.

Lo sviluppo di ognuno dei tre tipi di depositi di stazionamento basso è funzione dell'assetto morfologico e del regime degli apporti clastici. I depositi da trasporto in massa tendono ad avere grande estensione areale ed appaiono caratterizzati da riflessioni caotiche o trasparenza acustica, base erosiva e spessori da alcuni metri a molte decine di metri.

Tipici esempi di questi depositi provengono dalla parte più profonda della Depressione Meso-Adriatica (TRINCARDI *et alii*, 1994) e da alcuni bacini peritirrenici (TRINCARDI & NORMARK, 1988; MONGARDI *et alii*, 1994). Sistemi torbiditici di base di scarpata sono caratterizzati da rilievi deposizionali di limitata estensione areale e canalizzati nella porzione prossimale; argini costituiti prevalentemente da sedimenti fangosi possono essere associati ad alcuni canali più stabili nel tempo o caratterizzati da un maggiore apporto di sedimenti fini. Esempi di questo tipo di depositi di stazionamento basso provengono soprattutto da margini fisiograficamente immaturi in aree caratterizzate da ingenti apporti sedimentari durante il Quaternario (ad es.: Bacino di Paola, Tirreno Orientale).

Cunei progradazionali di geometria varia caratterizzano ampi settori di margine di piattaforma continentale; cunei progradazionali di questo genere possono comprendere anche le prime fasi di risalita relativa di livello del mare, in zone sottoposte a grandi apporti clastici. In questo caso sarà evidente una componente di aggradazione verticale nella regione dei *topsets* ed una tendenza al progressivo spostamento verso terra dell'*onlap* costiero.

Il bacino Adriatico presenta un esempio di cuneo progradazionale caratterizzato da dimensioni ingenti (circa 200 km di progradazione da Nord verso Sud per uno spessore di 250 m, TRINCARDI *et alii*, 1994).

Cunei progradazionali di minore entità ma analoga collocazione temporale provengono da settori del margine Tirrenico Orientale (MARANI *et alii*, 1986).

Rappresentazione in carta: i depositi di stazionamento basso verranno rappresentati soltanto in forma schematica allo scopo di identificare la possibile linea di riva al termine del periodo glaciale e perciò all'inizio della risalita relativa del livello del mare. Poichè il riconoscimento e la correlazione fisica della base di questi depositi sono in molti casi controversi (così come la datazione precisa dei depositi immediatamente soprastanti ad essa), non si ritiene possibile ottenere l'elaborazione di carte delle isocronopache per questi depositi in modo sistematico. Il tipo di deposito di LST potrà essere messo in luce attraverso la scelta di simboli grafici diversi.

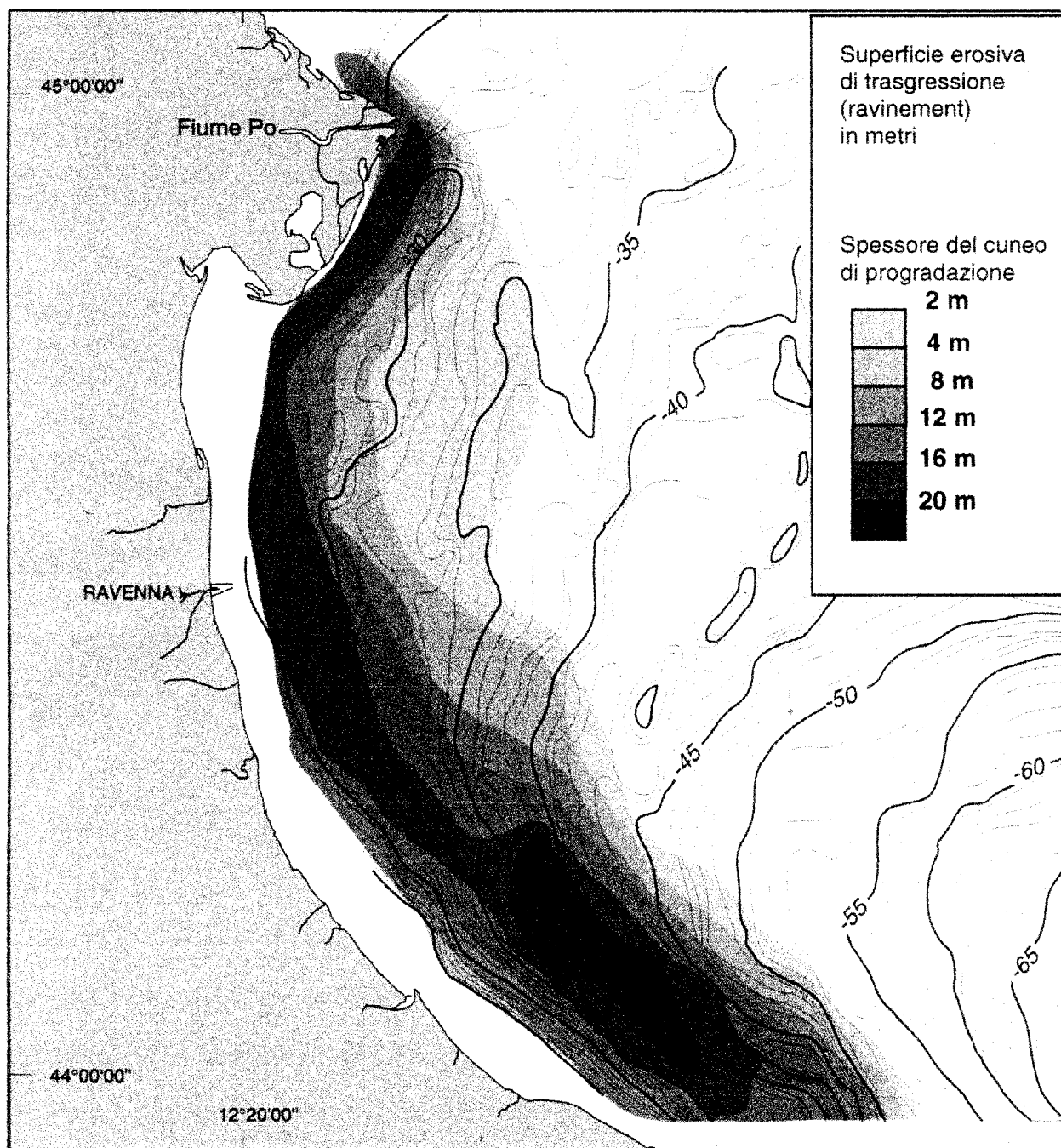


Fig. 8 - Carta strutturale della superficie di "ravinement" e spessori (sovraimposti in toni di grigio) del cuneo progradazionale di stazionamento alto nel Bacino Adriatico settentrionale.

Depositi di caduta di livello del mare (FST)

E' noto che i cicli di variazione relativa di livello del mare durante il Quaternario sono caratterizzati da cadute relativamente lente e discontinue e da risalite molto più rapide.

Circa il 90% del tempo durante cicli di questo genere è assorbito da fasi di caduta e stazionamento basso del livello del mare. I margini continentali Mediterranei presentano numerosi esempi di depositi di caduta che possono essere caratterizzati da geometrie, spessore, estensione areale e litologie estremamente diverse (TESSON *et alii*, 1990; TRINCARDI & FIELD, 1991; HERNANDEZ-MOLINA *et alii*, 1994). Si tratta di depositi progradazionali messi in posto

attraverso un meccanismo di regressione erosiva (CURRAY, 1964) o forzata (POSAMENTIER *et alii*, 1992) riconoscibile per il progressivo spostamento verso mare e verso il basso dell'*onlap* costiero. Questi depositi possono essere tra loro contigui o separati da una zona di non deposizione e trasporto più o meno estesa. Nel primo caso i depositi di regressione forzata rappresentano un *continuum* che inizia con la progradazione di stazionamento alto e termina con lo stazionamento basso.

Rappresentazione in carta: nel caso di depositi di regressione forzata è virtualmente impossibile definire un limite fisico più importante degli altri alla base di unità progradazionali che rappresentano fasi successive di caduta; in questo contesto sarà perciò preferibile mappare l'estensione del deposito di caduta più recente allo scopo di meglio approssimare la posizione raggiunta dalla linea di riva al termine della caduta di livello del mare.

Limiti di sequenza

Si definiscono due tipi di limiti di sequenza in funzione del rapporto tra tasso di caduta di livello del mare e tasso di subsidenza al ciglio della piattaforma (VAIL *et alii*, 1984; POSAMENTIER & ALLEN, 1993): limiti di tipo 1 si formano dove e quando il tasso di caduta eustatica supera il tasso di subsidenza e si ha esposizione subaerea dell'intera piattaforma continentale; limiti di tipo 2 caratterizzano margini in cui la subsidenza in piattaforma esterna è superiore al tasso di caduta di livello del mare e parti più o meno estese della piattaforma rimangono sommerse e soggette a deposizione. I limiti di tipo 1 sono caratterizzati da più estesi fenomeni di incisione fluviale.

Rappresentazione in carta: i margini continentali centro mediterranei offrono esempi di entrambi i tipi di limiti di sequenza. Qualora presenti, le incisioni fluviali vanno rappresentate per definire l'estensione dell'erosione subaerea.

3.2.2. - Analisi di facies e rappresentazione schematica degli ambienti deposizionali

Tutti i *systems tracts* all'interno della sequenza deposizionale tardo-aternaria contengono idealmente depositi caratterizzati da *facies* riconducibili ad ambienti deposizionali continentali, costieri-parali, di piattaforma e marini profondi. Le superfici guida che costituiscono la base ed il tetto dei *systems tracts* possono avere espressioni sedimentologiche estremamente variabili da zona a zona a seconda delle differenze tra le *facies* che vengono a trovarsi a contatto diretto, e della presenza ed entità di processi erosivi ad esse associati.

La revisione di tutti i dati (pubblicati o in possesso dell'Istituto di Geologia Marina di Bologna) sulla sequenza deposizionale tardo-aternaria sui margini italiani documenta la massima complessità e variabilità delle *facies* entro i depositi trasgressivi. La normativa per il foglio superficiale prevede maggiore enfasi nella caratterizzazione delle *facies* entro i depositi trasgressivi e di stazionamento alto. Dove possibile, verranno caratterizzate anche le *facies* dei depositi di stazionamento basso o caduta di livello del mare; ciò verrà presentato sulla carta principale in aree dove i depositi di LST e/o FST non sono coperti da depositi più recenti (ad es.: vasti settori dell'Adriatico settentrionale in prossimità della linea di mezzogiorno), o su una carta tematica accessoria a scala 1:1.000.000 relativa ai depositi di stazionamento basso. La determinazione delle età dei depositi entro i vari *systems tracts* si baserà principalmente sull'utilizzo di datazioni ^{14}C su depositi di torba o molluschi, con particolare rilievo ai molluschi

di ambiente paralico, cioè di un ambiente più prossimo al livello del mare. La rappresentazione schematica delle età così ottenute verrà riferita all'andamento delle linee di riva riconoscibili a fasi particolari della caduta o della risalita del livello del mare in carte tematiche di sintesi a scala 1:1.000.000.

D e p o s i t i c o n t i n e n t a l i

Depositi continentali possono essere presenti sul fondo o nell'immediato sottofondo soprattutto in zone di bassa profondità soggette ad esposizione subaerea durante i periodi glaciali quaternari (vedi Appendice 3B). Si tratta principalmente di depositi di piana alluvionale all'interno dei quali sono riconoscibili sistemi fluviali, caratterizzati da depositi canalizzati con alvei incisi e argini rilevati sulla pianura circostante. Le zone di interfluvio sono caratterizzate dalla formazione di suoli. I riempimenti delle incisioni fluviali possono essere caratterizzate da sedimenti di granulometria estremamente variabile (in funzione della litologia degli apporti, della lunghezza del percorso fluviale, del clima, della tettonica ecc.) e da geometrie di riempimento riconducibili a depositi di meandri o *braided*. Tali geometrie possono essere riconosciute su profili sismici di buona risoluzione. Ovviamente, i depositi continentali riconoscibili entro la sequenza deposizionale tardo-quaternaria in mare appartengono essenzialmente ai *systems tracts* di stazionamento basso e a quello trasgressivo.

D e p o s i t i p a r a l i c i e c o s t i e r i

I sistemi deposizionali costieri e paralici presentano una grandissima variabilità morfologica e di stile deposizionale. Tale variabilità riflette diversi bilanci tra i sedimenti disponibili, quantità e tipo, e il regime oceanografico (dominato da onde, maree o misto). Il Mediterraneo è caratterizzato in genere da un regime microtidale e la grande maggioranza dei sistemi costieri sui margini italiani è dominata dalle onde. Depositi costieri e paralici possono teoricamente formarsi in ogni fase di un ciclo di fluttuazione del livello del mare relativo ma sono caratterizzati da *facies* differenti; sistemi regressivi si formano in condizioni di caduta di livello del mare (regressioni forzate, POSAMENTIER *et alii*, 1992) o quando gli apporti sono tali da controbilanciare il tasso di risalita relativa di livello del mare.

Sistemi trasgressivi in zone precedentemente di pianura alluvionale che vengono progressivamente annegate, sono sottoalimentati e caratterizzati dalla presenza di più o meno estesi ambienti intertidali e subtidali nella zona di retrospiaggia. Questi sistemi sono particolarmente presenti nel TST. In questa fase gli alvei fluviali incisi dai fiumi durante la precedente esposizione subaerea della piattaforma vengono annegati e danno luogo a sistemi di estuario. In molti casi una componente rilevante del riempimento di estuari e lagune proviene da mare ad opera di correnti lungo costa, maree e tempeste.

D e p o s i t i d i p i a t t a f o r m a

I sedimenti che caratterizzano le piattaforme continentali attuali possono essere ricondotti a tre tipi principali: sedimenti depositatisi in una fase in cui la linea di riva era più a mare rispetto alla posizione attuale e successivamente annegati (sedimenti relitti) o annegati ma successivamente rialborati ad opera di correnti onde di tempesta o maree (sedimenti palinsesti) e sedimenti riconducibili al HST tardo quaternario in equilibrio con i processi attuali.

Durante lo stazionamento alto tardo quaternario un cuneo progradazionale fangoso costituito da sedimenti fini intensamente bioturbati caratterizza ampi settori dei margini italiani.

All'interno di questo possono talora essere parzialmente preservati depositi di piena fluviale (fanghi omogenei ricchi in frustoli vegetali e materia organica) o di tempesta (*lags* più grossolani a conchiglie). Analoghe *facies* fangose di piattaforma/scarpata possono depositarsi entro gli altri *systems tracts*. A causa della generale sottoalimentazione che caratterizza i sistemi costieri durante le fasi di risalita di livello del mare, tuttavia, queste *facies* sono meno sviluppate in spessore all'interno del TST. Zone di piattaforma che non ricevono apporti durante fasi particolari del ciclo tardo quaternario tendono a sviluppare depositi o concrezioni biogenici di spessore ridottissimo (in genere inferiore al metro) assimilabili a superfici condensate o di omissione stratigrafica. Esempi di questo tipo di depositi provengono da ampi settori di margine continentale rimasti privi di apporti clastici durante fasi dell'ultima risalita del livello marino (Margine Tirrenico Orientale, TAVIANI & TRINCARDI, 1987; MARANI *et alii*, 1988; MONGARDI, 1994; Bacino Adriatico: STEFANON, 1981; CORREGGIARI *et alii*, 1995; Canale di Sicilia: COLANTONI *et alii*, 1985).

Depositi marini profondi

Zone di scarpata, bacino o rilievo sottomarino risentono in modo meno diretto delle fluttuazioni di livello del mare durante il Quaternario. Sulla base dei dati di carotaggio acquisiti negli ultimi 30 anni in tutto il Mediterraneo appare chiaro che in genere l'ultima risalita di livello del mare ed il successivo periodo di stazionamento alto sono rappresentati da sedimenti argillosi in drappoggio. Questi depositi sono spesso al limite o sotto il limite della risoluzione dei profili 3.5 kHz e appaiono perciò difficili da mappare in assenza di carotaggi. Eccezioni a questa situazione si osservano in aree di instabilità gravitativa (TRINCARDI & FIELD, 1992; MONGARDI, 1994; MONGARDI *et alii*, 1995) o deposizione torbidity (e.g.: Conoide del Crati, RICCI LUCCHI *et alii*, 1984). In aree dove i depositi trasgressivi e di stazionamento alto tardo quaternari sono ridotti ad un sottile drappoggio di sedimenti pelitici (fino ad uno spessore massimo di 2 m), verranno cartografati i diversi sistemi deposizionali formati durante il periodo immediatamente precedente la risalita di livello del mare. Al di sotto dei depositi di drappoggio superficiali infatti si possono distinguere, e rappresentare in carta, quattro tipi principali di depositi:

- 1) depositi torbidity di varia natura (riferibili a elementi deposizionali specifici come sistemi argine canale, lobi, o depositi non canalizzati distali)
- 2) depositi da trasporto in massa (vedi paragrafo precedente)
- 3) depositi originati da correnti di fondo e correlative superfici erosive o condensate
- 4) depositi di drappoggio pelagico.

Forme di fondo a grande scala in piattaforma, scarpata e bacino

Forme di fondo a grande scala sono presenti in alcune aree di piattaforma e scarpata continentale e bacino; queste sono costituite da sedimenti di granulometria varia: da accumuli fangosi in bacini di scarpata influenzati dal passaggio di correnti di fondo (*mud drifts*, MARANI *et alii*, 1992) ad accumuli di sabbia rimaneggiati dopo il loro annegamento trasgressivo in zone di piattaforma (CORREGGIARI *et alii*, 1995). La presenza di forme di fondo fornisce, qualunque siano la collocazione fisiografica ed il contesto stratigrafico, informazioni circa importanti variazioni del regime oceanografico su un dato margine. Per questa ragione è necessario, nell'ambito della cartografia a scala 1:250.000, segnalarne la presenza e l'orientazione prevalente. Dove consentito dal contesto geologico, è necessaria la campionatura diretta di tali depositi e la caratterizzazione delle *facies* al loro interno, la descrizione delle geometrie interne in base a profili sismici ad alta risoluzione e la definizione della batimetria qualora si tratti di depositi non coperti da unità più recenti.

Depositi da trasporto gravitativo e systems tracts

Depositi gravitativi di varia natura, organizzazione interna ed estensione areale sono riconoscibili nelle successioni tardo-quadernarie di tutti i margini continentali della penisola Italiana. La messa in posto di depositi gravitativi può infatti avvenire in condizioni di stazionamento basso, risalita relativa o stazionamento alto del livello marino (GALLOWAY *et alii*, 1991; CORREGGIARI *et alii*, 1992; TRINCARDI & FIELD, 1992). Per queste ragioni, nell'ambito della cartografia marina alla scala 1:250.000 questi depositi verranno rappresentati in base all'età di messa in posto indipendentemente dall'interpretazione del processo specifico di trasporto (interpretazione che sarebbe comunque in molti casi congetturale, a causa dei limiti inevitabili nell'acquisizione dei dati in mare). Infine, nella carta 1:250.000 non verranno rappresentati depositi da trasporto in massa che siano individuati su un solo profilo sismico e la cui posizione stratigrafica non sia definita a causa della limitata risoluzione verticale ed areale nei rilievi di sismica a riflessione. A questo proposito occorre ricordare che, dati questi limiti di risoluzione, sui margini continentali attuali sono risolvibili soltanto depositi gravitativi di estensione areale e spessore molto maggiori di quanto riscontrato in equivalenti osservati in affioramenti di campagna (WOODCOCK, 1979).

3.3. - DEPOSITI SEDIMENTARI PIÙ ANTICHI DELLA SEQUENZA DEPOSIZIONALE TARDO QUADERNARIA

Alcuni settori dei margini continentali che circondano la penisola e le isole sono caratterizzati dalla presenza di affioramenti di depositi sedimentari di età e composizione varia. Questi depositi verranno schematicamente rappresentati secondo i criteri definiti per la carta geologica del sottofondo. In generale, verranno riportate informazioni essenziali circa l'età (usando i colori convenzionali stabiliti per i vari piani geologici) e la natura dei depositi sedimentari suddivisi in tre gruppi principali: silicoclastici, carbonatici, evaporitici (usando simboli da sovrapporre ai colori).

3.4. - APPARATI VULCANICI E DEPOSITI VULCANOCLASTICI

Una parte significativa dei mari italiani risente in modo diretto o indiretto dell'attività vulcanica, particolarmente intensa anche durante il Quadernario. Nei fogli che comprendono aree particolarmente interessate da apparati vulcanici o depositi lavici la rappresentazione cartografica sarà fortemente sintetica e tenderà a riportare estensione areale di prodotti caratterizzati da età e/o composizione diversa. I dati petrografici e geocronologici necessari a questo scopo verranno desunti principalmente da bibliografia.

L'attività esplosiva di alcuni apparati può dare luogo a depositi di tefra, cioè depositi vulcanoclastici di grande estensione areale e spessore variabile. Questi depositi possono essere mappati sulle carte tematiche relative al *systems tract* entro il quale sono rinvenuti attraverso carte delle isopache in cm desunte da dati di carotaggio.

Questo tipo di rappresentazione ha il vantaggio di essere schematico, inquadrato temporalmente e indicativo della direzione di dispersione del deposito; informazioni circa la composizione del deposito e l'apparato di provenienza possono essere rappresentati da una sigla e/o da un simbolo grafico. Ad esempio, il deposito di tefra pliniano del 79 AD emesso dal Vesuvio può essere rappresentato su tutto il margine tirrenico orientale dal Golfo di Napoli a Capo Vaticano con curve di ugual spessore interpolate da tutti i dati di carotaggio disponibili, nella carta tematica relativa all'HST.

3.5. - ROCCE IGNEE E METAMORFICHE

In alcuni settori dei margini continentali italiani, soggetti a più intensa deformazione tettonica e non alimentati da apporti sedimentari durante il ciclo tardo-quadernario, si osservano affioramenti rocciosi di estensione areale variabile; questi affioramenti possono essere costituiti da rocce ignee o metamorfiche. Dati gli scopi del foglio superficiale della cartografia alla scala 1:250.000, oltre alla mappatura di questi affioramenti sul fondo marino, sarà sufficiente procedere ad una loro differenziazione semplificata in base alla composizione litologica ed all'età.

3.6. - ACQUISIZIONE, ELABORAZIONE E RAPPRESENTAZIONE DATI

L'elaborazione della carta geologica superficiale in ogni data area di lavoro dovrà basarsi sull'integrazione di informazioni provenienti da tre tipi di fonti principali: lavori pubblicati, dati non pubblicati, acquisizione di nuovi dati "*ad hoc*".

Il primo tipo di informazione è eterogeneo per approccio concettuale e disomogeneo per distribuzione areale; informazioni utili preliminari possono essere acquisite da una vasta letteratura filtrando interpretazioni che appaiono a volte contraddittorie, allo scopo di estrarre i dati oggettivi disponibili in ogni data area e pianificare in modo più efficiente l'acquisizione di nuovi dati.

Il secondo tipo di dati può non essere di facile accesso; si tratta di dati di tipo geofisico, batimetrico e di campionatura dei sedimenti superficiali ottenuti da istituti di ricerca (Università, CNR, ENEA) nell'area corrispondente ad uno o più fogli geologici ma con scopi e metodi diversi; poichè molte campagne in mare da parte di Istituti di Ricerca nel corso degli anni '70 e '80 non hanno portato alla pubblicazione dei dati, sarebbe utile poter accedere a tali informazioni almeno allo scopo di pianificare in modo più efficiente l'acquisizione di nuovi dati.

Pozzetti geognostici e *site surveys* in zone di interesse per compagnie petrolifere rappresentano dati non pubblicati che potrebbero essere particolarmente utili per la preparazione del foglio superficiale. Sulla base dei dati pubblicati e non pubblicati o confidenziali in una data zona si procede all'acquisizione di nuovi dati geofisici batimetrici e di campionatura: la densità con la quale questi nuovi dati vanno acquisiti può variare in funzione della copertura già esistente.

In generale, è necessario che la maglia dei profili sismici consenta di definire compiutamente corpi deposizionali di estensione superiore ad alcuni km.

Nel caso di forme di fondo a grande scala (dune o *sand waves*) è necessario aumentare la densità della copertura allo scopo di definirne orientamento e geometria interna discriminando, quando possibile, se si tratti di strutture attive, palinseste o relitte.

La rappresentazione finale può comunque essere fortemente schematica e riassuntiva.

Per le specifiche tecniche relative agli strumenti e alle strategie di lavoro per l'acquisizione di nuovi dati si rimanda alla parte 6.

Per quanto riguarda l'acquisizione dei dati di campionatura si ritiene, in generale, preferibile ubicare i punti di carotaggio sui profili sismici cercando di raggiungere tutte le principali unità che si vogliono rappresentare, caratterizzarne le *facies* e definirne le età relative e, ove possibile, quelle assolute.

Campionature distribuite in modo "statistico" su un margine sono da considerarsi sorpassate date le conoscenze preliminari disponibili, dispendiose in termini di tempo (sia tempo nave che in laboratorio) e dispersive dal punto di vista dell'interpretazione e rappresentazione stratigrafica.

In base a quanto fino ad ora discusso potrà darsi il caso che in una data zona la copertura di carotaggi appaia fortemente disomogenea dal punto di vista della copertura areale ma soddisfi l'esigenza di una più completa copertura stratigrafica.

3.6.1. - *Carta Principale*

In base a tutte le considerazioni sopra svolte, la carta principale a scala 1:250.000 dovrà riportare le seguenti informazioni:

- linea di costa e batimetria di dettaglio (vedi cap.5);
- estensione HST (in piattaforma dove gli spessori sono superiori a 2 msec ed in scarpata dove c'è presenza di drappeggio risolvibile);
- estensione TST dove non coperto da depositi più recenti; in scarpata può essere mappato l'*onlap* marino originatosi durante la prima fase di risalita di livello del mare (*healing phase*);
- estensione LST+FST (dove non coperti da depositi più recenti; ad es. Adriatico Centro-Settentrionale sulla mezzeria; Margine Cilento-Punta Licosa) con particolare risalto per la fase progradazionale immediatamente precedente l'inizio della trasgressione e/o all'andamento degli assi delle principali incisioni fluviali di stazionamento basso;
- affioramenti di depositi sedimentari precedenti l'ultimo stazionamento basso di livello del mare suddivisi secondo gli schemi adottati per il foglio profondo;
- prodotti vulcanici affioranti (colate laviche, apparati vulcanici, caldere ecc.) mappati per grandi raggruppamenti di età e composizione;
- rocce cristalline con informazioni essenziali sulla composizione e l'età.

Tutti i *systems tracts* mappati nella carta principale saranno caratterizzati per ambiente deposizionale seguendo i grandi raggruppamenti proposti sopra: depositi continentali, depositi parali e costieri, depositi di piattaforma e depositi di scarpata e bacino.

3.6.2. - *Carte tematiche aggiuntive e schemi stratigrafici*

Accanto alla carta principale, si prevedono anche una carta aggiuntiva alla scala 1:1.000.000 riportante l'ubicazione dei profili sismici ad alta risoluzione utilizzati ed una alla stessa scala con l'ubicazione dei campioni (qualora questi ultimi non possano essere riportati sulla carta principale per ragioni di spazio).

Altre carte aggiuntive saranno di tre tipi:

- 1) fino a tre *carte tematiche* a scala 1:1.000.000 rappresenteranno estensione, spessori (isocronopache in msec) e *facies* (schematiche) dei principali *systems tracts* della sequenza deposizionale tardo quaternaria: rispettivamente il LST, o la superficie erosiva e le incisioni fluviali ad esso equivalenti, il TST, e la superficie di *ravinement* ad esso associata, ed il HST, con eventuali informazioni circa l'estensione e le *facies* dell'ultima parasequenza al suo interno;
- 2) una o più *carte di dettaglio* a scala 1:100.000 per esprimere con massimo dettaglio una o più sottoparti della carta principale che siano particolarmente significative per la comprensione dell'assetto stratigrafico recente o della natura dei processi sedimentari che interessano zone particolari;
- 3) *sezioni geologiche* e schemi interpretativi necessari alla comprensione dei rapporti stratigrafici tra le unità cartografate e le superfici guida che le delimitano.

1) Le *tre carte tematiche* a scala 1:1.000.000 hanno la funzione di rappresentare se presenti i *systems tracts* che compongono la sequenza deposizionale tardo-quadernaria:

HST: su questa carta verrà riportato lo spessore del deposito di stazionamento alto riferito alla carta strutturale della sottostante superficie di massima inondazione. Ove possibile sarà opportuno riportare da bibliografia l'andamento della linea di riva relativa alla fase di massima ingressione marina (per avere un riferimento relativo all'inizio della progradazione di stazionamento alto) ed eventualmente l'andamento della linea di riva durante le successive fasi di progradazione.

TST: questa carta riporta gli spessori totali dei depositi trasgressivi tra le superfici di trasgressione e massima inondazione; se possibile tali spessori verranno riferiti all'andamento della sottostante superficie di trasgressione (o del limite di sequenza quando coincidente (Vedi Appendice 3A). L'andamento delle linee di riva durante le fasi della risalita può essere espresso mappando schematicamente le *facies* di spiaggia (se e dove preservate almeno parzialmente) o il limite verso terra di superfici morfologiche quali piattaforme di abrasione marina.

LST e FST: per questo intervallo si riporteranno, a seconda del tipo di margine, gli spessori dei corpi progradazionali di margine di piattaforma e/o l'andamento di eventuali incisioni fluviali e relativi stili di riempimento desunti dalle geometrie dei riflettori e dalle *facies* sismiche.

2) *Carte di dettaglio* (1:100.000) potranno essere elaborate per determinate sottozone della carta principale dove la morfologia del fondo e la natura dei sedimenti del sottofondo possono essere messi in relazione a processi sedimentari specifici (ad es. riportare l'andamento di forme di fondo a grande scala, la geometria di un deposito di frana particolarmente complesso, la morfologia di una superficie erosiva in un tratto di margine non alimentato, la differenziazione tra depositi vulcanici di diversa età o composizione).

3) *Sezioni geologiche, schemi stratigrafici e cronostatigrafici* (diagrammi di Wheeler) devono essere estese a porzioni significative del foglio in esame per mettere in luce i rapporti tra la sequenza deposizionale tardo-quadernaria e i depositi sottostanti, tra i diversi *systems tracts*, componenti distinte all'interno di ogni *systems tract* (se necessario, ad es. in zone di maggiore espansione stratigrafica).

3.6.3. - *Legenda*

Il primo tipo di classificazione individua pacchi di strati in base alla loro posizione stratigrafica relativa e viene realizzato attraverso l'utilizzo di colori:

Verde:	HST (Olocene pp)
Verde:	depocentro dell'ultima parasequenza di stazionamento alto, dove definibile
Azzurro:	TST (tardo-Pleistocene Olocene pp)
Giallo:	LST (o ultima parasequenza di FST) stadio isotopico 2
Marrone:	depositi Tirreniani precedenti il low-stand dello stadio isotopico 2
Marroncino:	depositi quadernari (pre-tirreniani)
Viola:	depositi pre-pliocenici indifferenziati
Grigio:	rocce ignee (intrusive o vulcaniche indifferenziate)

Il secondo tipo di classificazione schematizza i principali ambienti deposizionali all'interno di ogni *systems tract* basandosi sulla conoscenza delle *facies* in carota e della

morfologia dei depositi e può essere sovrapposto al precedente (età relative) utilizzando simboli grafici:

pattern a bolli:	depositi continentali e di retrospiaggia indifferenziati
puntinato:	depositi sabbiosi costieri (di spiaggia o barra di foce)
pattern orizzontale:	depositi fangosi di prodelta
pattern caotico:	depositi da trasporto in massa (frane, <i>slump</i> , <i>mud flows</i> , <i>debris flows</i> , deformazioni da carico, liquefazione, espulsione di fluidi indifferenziati)
pattern puntinato grossolano:	depositi torbidity con espressione morfologica e risolvibilità in sismica
pattern tratteggiato:	ispessimenti di depositi fini in scarpata o bacino di scarpata (ad es. la <i>healing phase</i> del TST).

Oltre alla schematizzazione per ambienti e posizione stratigrafica relativa, verrà rappresentata la carta strutturale della superficie di “*ravinement*”; l'andamento di questa superficie fornisce un riferimento immediato di tipo geometrico e di *facies* poichè separa ambienti deposizionali subaerei o parali (al di sotto) da ambienti marini (al di sopra); in alcuni casi, potrà essere rappresentata la carta strutturale di altre superfici guida quali il limite di sequenza (dove riconoscibile e cartografabile a scala regionale) o della superficie di massima inondazione alla base del *systems tract* di stazionamento alto (in zone dove la copertura dei dati o lo spessore di questo *systems tract* non permettano di raggiungere i depositi trasgressivi sottostanti).

Strutture morfologiche

Verranno riportate in modo essenziale in aree dove la complessità del fondale appaia difficilmente rappresentata nella carta batimetrica.

Tra le strutture che può essere necessario rappresentare si hanno:

- assi di *canyon* in scarpata;
- terrazzi marini al ciglio o all'interno della piattaforma;
- rilievi relitti erosivi in piattaforma;
- nicchie di distacco in scarpata o in piattaforma.

Allo scopo di non appesantire eccessivamente la carta, verranno rappresentate con simboli solo le strutture morfologiche di origine erosiva in senso lato (ad es. asse di canyon o nicchia di distacco), poichè i corpi deposizionali associati a queste strutture (ad es. depositi gravitativi al piede delle rispettive nicchie di distacco, depositi torbidity allo sbocco di canali e *canyons*, o depositi progradazionali al piede di una falesia) saranno rappresentati entro il *systems tract* corrispondente secondo i criteri cartografici sopra esposti.

Strutture tettoniche

Faglie (dirette e inverse) e pieghe (anticlinali e sinclinali), verranno rappresentate in modo semplificato seguendo le simbologie utilizzate per la carta geologica profonda e riportate solo nel caso interessino tutta o parte della sequenza deposizionale tardo quaternaria.

4. - CARTA GEOLOGICA DEL SOTTOFONDO MARINO

La finalità della cartografia geologica marina del sottofondo alla scala 1:250.000 è quella di rappresentare, attraverso la mappatura di uno o più orizzonti stratigrafici significativi ed arealmente estesi, le caratteristiche geologiche generali ed i principali caratteri stratigrafico-strutturali delle aree in oggetto.

Al fine di valutare i criteri ottimali per una rappresentazione cartografica valida ed omogenea dei caratteri geologici principali del sottofondo dei mari italiani è necessario considerare i due aspetti vincolanti dal punto di vista operativo: la variabilità regionale dei suddetti caratteri geologici e le metodologie d'indagine.

4.1. - CARATTERI GEOLOGICI DEI MARI ITALIANI

Il progetto cartografia deve fornire prodotti il più possibile omogenei su tutte le aree marine italiane, questa esigenza deve conciliarsi con il fatto che le aree marine italiane sono caratterizzate da un assetto stratigrafico-strutturale assai variabile. Prima di passare alla descrizione della normativa, è perciò opportuno, dare una breve descrizione dei caratteri geologici delle aree marine italiane, sottolineando così i problemi da affrontare per una cartografia standard.

4.1.1. - *Mare Adriatico*

Il mare Adriatico è una zona prevalentemente di mare basso compreso fra la penisola italiana e quella balcanica. Solo nel settore meridionale antistante le coste pugliesi raggiunge profondità elevate (circa 1200 m). Dal punto di vista geologico il mare Adriatico si presenta assai differenziato: la parte occidentale costituisce l'avanfossa della catena appenninica, mentre nel lato orientale è presente l'avanfossa della catena dinarica (ARGNANI *et alii*, 1993). Fra queste due aree si estende l'avampese relativamente indeformato delle due catene (fig. 9). Le anomalie di Bouguer presentano un minimo a nord del Conero, in continuità con quello che marca l'avanfossa padana, e un altro minimo nella zona di Pescara. Un'altra regione con valori gravimetrici fortemente negativi è presente sul alto orientale, nell'area adiacenti alle coste albanesi. Le rimanenti aree adriatiche sono caratterizzati da valori che si discostano di poco da 0; due massimi gravimetrici sono comunque presenti nella zona del Gargano ed in Istria. I valori crostali sono piuttosto omogenei su tutta l'area e si aggirano sui 35 km. Un'area con spessore leggermente più elevato si estende a sud del Gargano (NICOLICH & DAL PIAZ, 1991).

La parte occidentale dell'Adriatico centro-settentrionale è occupata dalla più recente (plio-quadernaria) di una serie di avanfosse originate al fronte della catena appenninica e migrate in tempi successivi verso Est (RICCI LUCCHI, 1986). In questa regione la base della successione plio-quadernaria si trova flessurata con pendenza verso la catena appenninica e corrisponde a un forte riflettore sul quale terminano in *onlap* i depositi plio-quadernari costituiti da corpi torbiditici, emipelagiti e sedimenti relativi ad apparati deltizi in progradazione (SCHWANDER, 1989) (fig.10). L'avanfossa plio-quadernaria adriatica è caratterizzata da due depocentri separati da un'area dove la base del Pliocene è più elevata (ARGNANI & GAMBERI, in stampa).

I due depocentri corrispondono alle due zone di minimo delle anomalie di Bouguer e a zone di accumulo sedimentario rappresentato da 4 sec. (in tempi doppi) di depositi di avanfossa.

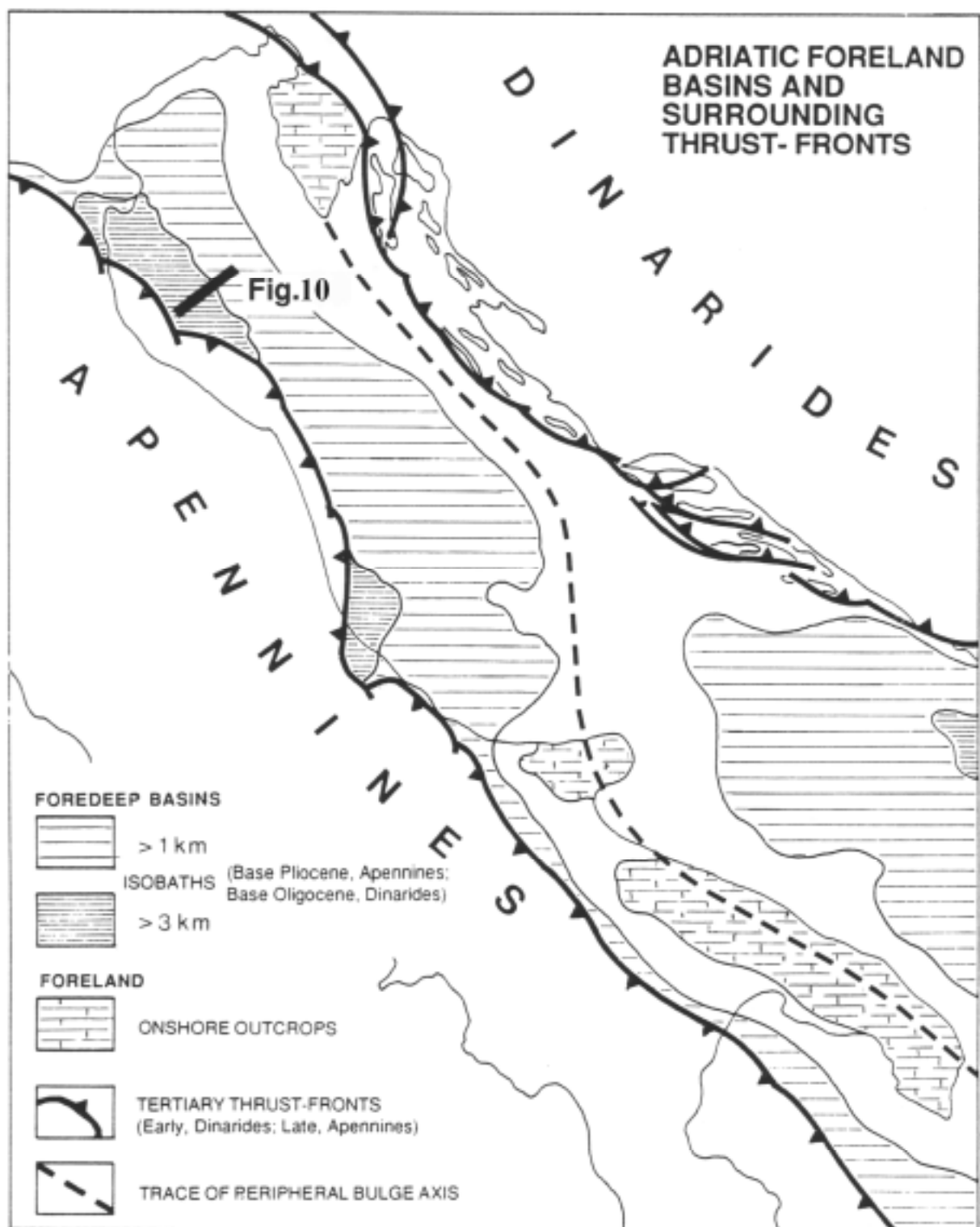


Fig. 9- Schema semplificato dei principali elementi geologici del Mar Adriatico. Sono evidenziati i fronti della catena appenninica e di quella dinarica e la distribuzione delle relative avanfosse. All'interno dell'avanfossa appenninica sono marcati i due depocentri principali. Nel Golfo di Taranto è presente la continuazione meridionale dell'avanfossa appenninica. (da ARGNANI *et alii*, 1993). Il profilo di fig.10 è localizzato nel depocentro settentrionale.

Il fronte esterno della catena appenninica è inoltre presente nelle zone prospicienti le coste italiane. Esso presenta stili strutturali molto variabili (ARGNANI & GAMBERI, in stampa). In alcune aree la deformazione frontale è diffusa su zone abbastanza ampie che passano gradualmente all'avampaese (*low strain front end*; MORLEY, 1986) mentre in altre si concentra su una fascia ristretta nettamente separata dall'avampaese indeformato (*high strain front end*; MORLEY, 1986). Il settore adriatico orientale è invece occupato dall'avanfossa della catena dinarica affiorante nella penisola balcanica. Nella sua porzione centro-settentrionale l'individuazione dell'avanfossa dinarica precede il Pliocene.

La base dei sedimenti Pliocenici si trova a scarsa profondità e ha andamento praticamente orizzontale, mentre al di sotto di questa superficie è visibile un cuneo di sedimenti che si inspessisce rapidamente verso Est e rappresenta il riempimento dell'avanfossa dinarica di età eocenico-oligocenica (CELET, 1977). Verso Sud, nelle aree prospicienti l'Albania la catena dinarico-ellenica è tuttora attiva e ha dato luogo alla deposizione di un cuneo di sedimenti plio-quadernari la cui base, verso costa, raggiunge la profondità di 3 sec. in tempi doppi. Sotto l'avanfossa plio-quadernaria, evidenziata anche dalle anomalie di Bouguer, è presente un altro cuneo di sedimenti di età oligo-miocenica, la cui base raggiunge la profondità di 7 sec. e che rappresenta il riempimento della precedente avanfossa relativa alla catena dinarica, equivalente temporale di quella descritta più Nord (ARGNANI *et alii*, in stampa).

L'avampaese relativamente indeformato delle catene che circondano l'Adriatico affiora in Istria ed in Puglia. Queste regioni sono caratterizzate da modesti spessori della successione plio-quadernaria e da tettonica verticale (ARGNANI & GAMBERI, in stampa; ARGNANI *et alii*, 1993). I numerosi pozzi disponibili nell'Adriatico occidentale consentono di ricostruirne l'evoluzione stratigrafica. Al di sotto dei depositi plio-quadernari è stata evidenziata la presenza di successioni simili a quelle umbro-marchigiane e a quelle sudalpine. La loro stratigrafia riflette l'evoluzione tettonica del margine continentale adriatico, dalla sua individuazione, legata al *rifting* permo-triassico e alla frammentazione liassica, al suo coinvolgimento nella strutturazione della catena appenninica.

I dati attualmente reperibili non permettono di ricostruire in dettaglio l'andamento del *rifting* permo-triassico (CATI *et alii*, 1987); attendibili ricostruzioni paleogeografiche dell'area adriatica sono invece possibili fino al Giurassico. Esse evidenziano che in buona parte dell'Adriatico la sedimentazione di piattaforma carbonatica, tipica del Triassico superiore, viene interrotta nel Lias. A questo periodo risale infatti l'annegamento, dovuto a tettonica estensionale, di parte della piattaforma carbonatica; questo evento geodinamico crea una strutturazione a piattaforme e bacini profondi, con deposizione di carbonati pelagici, caratteristica di tutto il margine meridionale della Tetide (ARGNANI & GAMBERI, in stampa; ZAPPATERA, 1990; CATI *et alii*, 1987). Un significativo cambiamento nella sedimentazione è legato all'instaurarsi della deformazione compressiva che segue la convergenza fra placca africana ed europea e alla conseguente produzione di detrito silicoclastico. Con la progressiva migrazione della catena verso Est l'area adriatica è interessata prima da deposizione di rampa esterna rispetto alle avanfosse mioceniche e poi nel Pliocene diventa sede dell'attuale bacino di avanfossa presente al fronte della catena (RICCI LUCCHI, 1986). Un evento particolare si verifica nel Messiniano, quando un abbassamento del livello del mare relativo e condizioni iper-saline alla scala dell'intero Mediterraneo producono erosione subaerea e deposizione di sedimenti evaporitici, dando origine a una superficie particolarmente ben identificabile sui profili sismici. Nell'area adriatica le evaporiti e gli altri sedimenti depositi durante questo intervallo di tempo sono presenti quasi uniformemente.

4.1.2. - *Mare Ionio*

Il mar Ionio è compreso fra l'Arco Calabro e la scarpata di Malta ad Ovest, e la dorsale apula ad Est (fig.11). Si tratta di un bacino profondo fino a 4000 m che rappresenta i resti di una vecchia zona oceanica o a crosta continentale molto assottigliata originatasi durante le fasi distensive che hanno portato all'apertura della Tetide (HINZ, 1974; BOCCALETTI *et alii*, 1984). Il mare Ionio è oggi in via di consumazione a causa dei processi di subduzione ancora attivi nell'area centro-mediterranea (MANTOVANI *et alii*, 1992; PATACCA *et alii*, 1992).

Le anomalie di Bouguer presentano generalmente valori che dai margini aumentano verso le regioni centrali del bacino dove si raggiungono i 300 mgal.

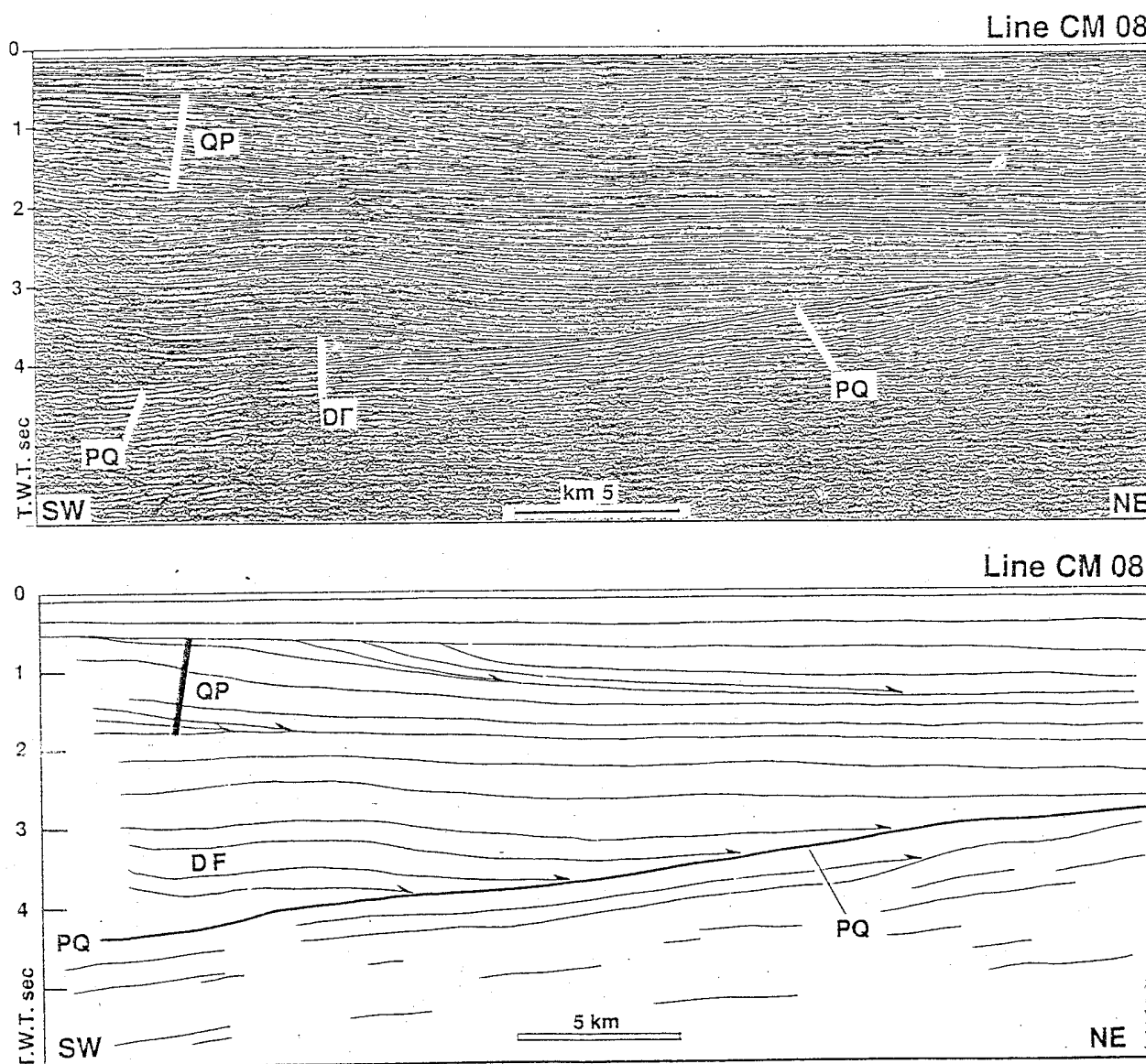
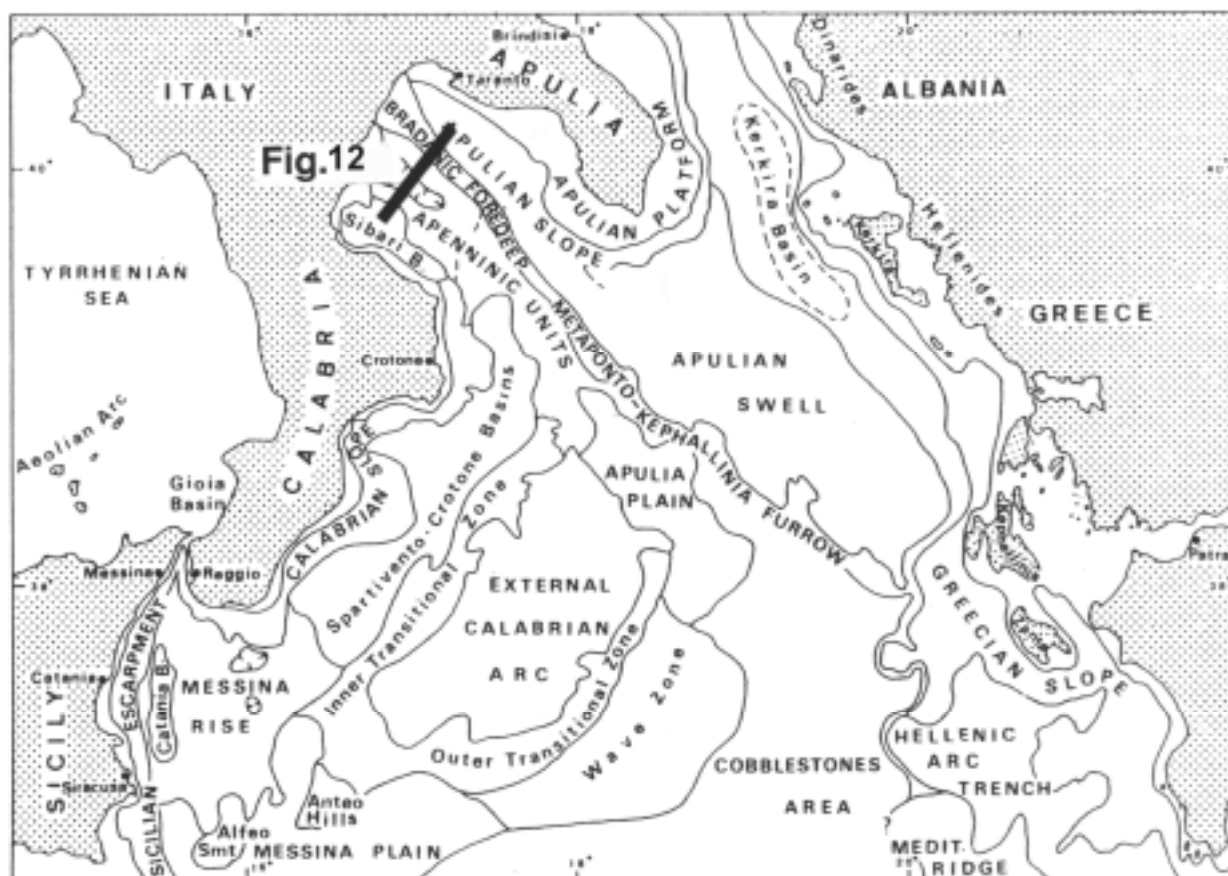


Fig. 10 - Profilo sismico multicanale passante nel depocentro settentrionale dell'avanfossa adriatica (ubicazione in fig. 9). La base del Pliocene è rappresentata da un marcato riflettore inclinato verso sud-ovest sul quale terminano in "onlap" i depositi pliocenico-quadernari. QP marca un pacco di riflettori con geometria progradante verso le parti assiali del Bacino Adriatico. DF indica una piega di scollamento che rappresenta la struttura più esterna del fascio deformativo appenninico. (da ARGNANI & GAMBERI, in stampa).



Nel golfo di Taranto sono presenti i tre elementi che caratterizzano l' Appennino meridionale: la catena, l'avanfossa bradanico-ionica e l'avampaese (ROSSI, 1984) (fig.9). Le zone di catena sono caratterizzate da numerose coltri plastiche il cui movimento si è protratto fino al Pleistocene; il loro assetto caotico limita notevolmente la risoluzione dei dati sismici (fig.12).

In alcune aree il fronte delle coltri alloctone è praticamente in contatto con l'avampaese apulo rialzato, in altre a questi due elementi si frappongono i depositi indeformati più recenti (Pliocene inferiore) dell'avanfossa bradanico-ionica:

la regione del golfo di Taranto è anche sede di tettonica distensiva che si attua tramite faglie con orientamento NO-SE e NE-SO, a modesto rigetto nella piattaforma apula e con rigetto maggiore sul margine calabro dove risultano nella formazione del *graben* di Sibari.

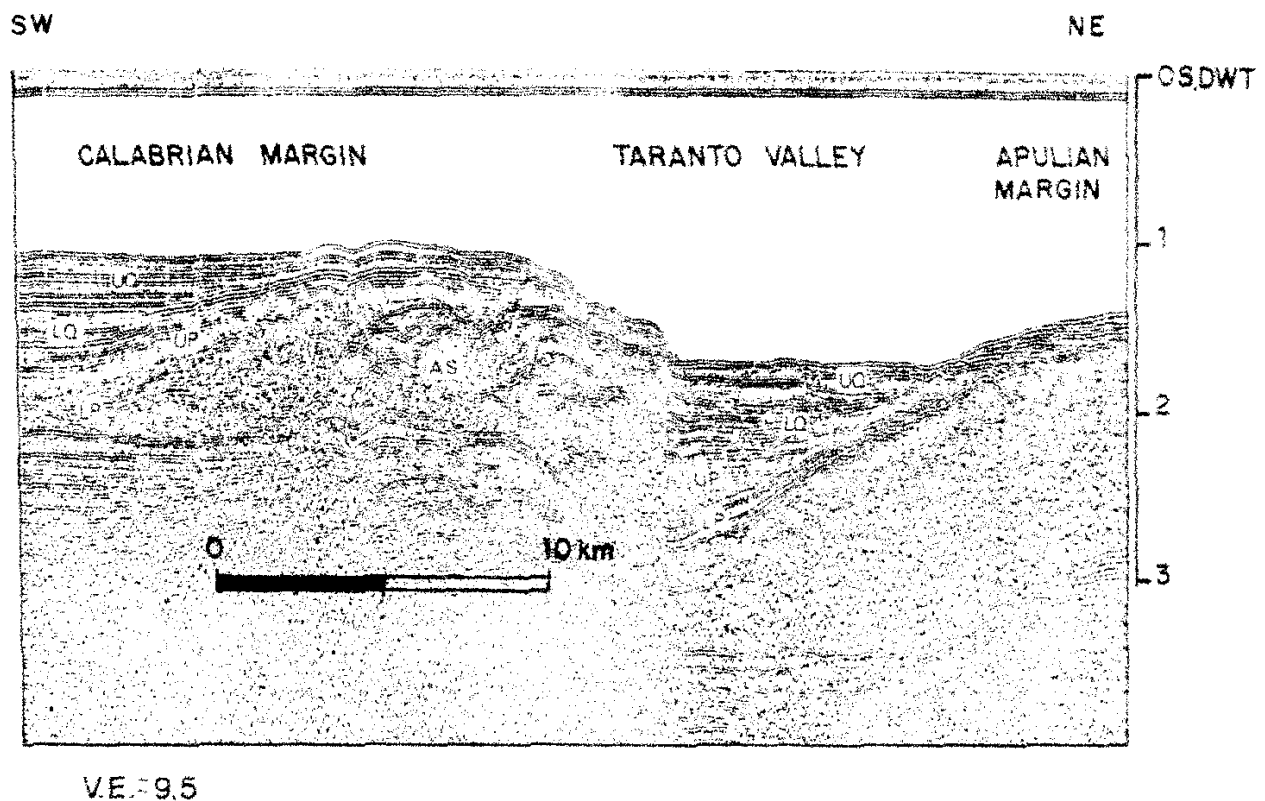


Fig. 12 - Profilo sismico monocale (sorgente *Sparker*) attraverso il Golfo di Taranto (ubicazione in fig.11). La presenza di serie caotiche sul margine continentale calabro (AS) limita fortemente la risoluzione dei dati sismici. Il riempimento plio-quaternario presente nella Valle di Taranto costituisce la continuazione meridionale dell'avanfossa appenninica. I depositi dell'avanfossa terminano in "onlap" sulla placca adriatica flessurata verso sud-ovest. (da ROSSI & SARTORI, 1981).

Bacino di Crotone-Spartivento ed Arco Calabro Esterno

Il bacino di Crotone-Spartivento è limitato da faglie distensive variamente orientate e contiene una successione di più di 2 sec. di spessore di depositi plio-quaternari e messiniani interessati spesso da fenomeni di instabilità gravitativa (BARONE *et alii*, 1983). La penetrazione del segnale sismico è spesso limitata alla sommità del Messiniano, che è rappresentato da spesse (fino a 400 msec in tempi doppi) sequenze evaporitiche con livelli saliferi, che danno origine a strutture da deformazione salina. I sedimenti che riempiono il bacino sono interessati da frequenti strutture compressive attive fino al Pliocene.

La scarpata del bacino di Crotona-Spartivento e l'Arco Calabro Esterno sono caratterizzati da faglie inverse ed accavallamenti con direzione NNE-SSO e con immersione prevalente verso terra, anche se sono presenti frequenti retroscorrimenti. A sud dell'Arco Calabro Esterno si estende la cosiddetta "zona a *cobblestones*", la cui immagine sismica sembra dovuta alla presenza di sovrascorrimenti con rigetti scarsi e scollamenti superficiali (ROSSI & SARTORI, 1981).

4.1.3. - Canale di Sicilia

Il Canale di Sicilia è un'area di mare basso situata sul margine settentrionale della placca africana (CATALANO & D'ARGENIO, 1982) che rappresenta l'avampase della catena sud-vergente appenninico-maghrebide. Nella porzione centrale è presente un insieme di strette depressioni caratterizzate da elevata profondità (fig.13). Questa zona centrale coincide con un massimo gravimetrico (80 mgal) orientato in direzione NO-SE e con una regione di assottigliamento crostale caratterizzata da spessori ridotti a 20 km (NICOLICH & DAL PIAZ, 1991). Le anomalie di Bouguer evidenziano anche una regione, in prossimità della costa siciliana meridionale, con valori negativi in continuazione con il minimo (-110 mgal) centrato sul bacino di avanfossa di Caltanissetta. Sono differenziabili domini geologici di diverso assetto che verranno descritti separatamente (fig.14).

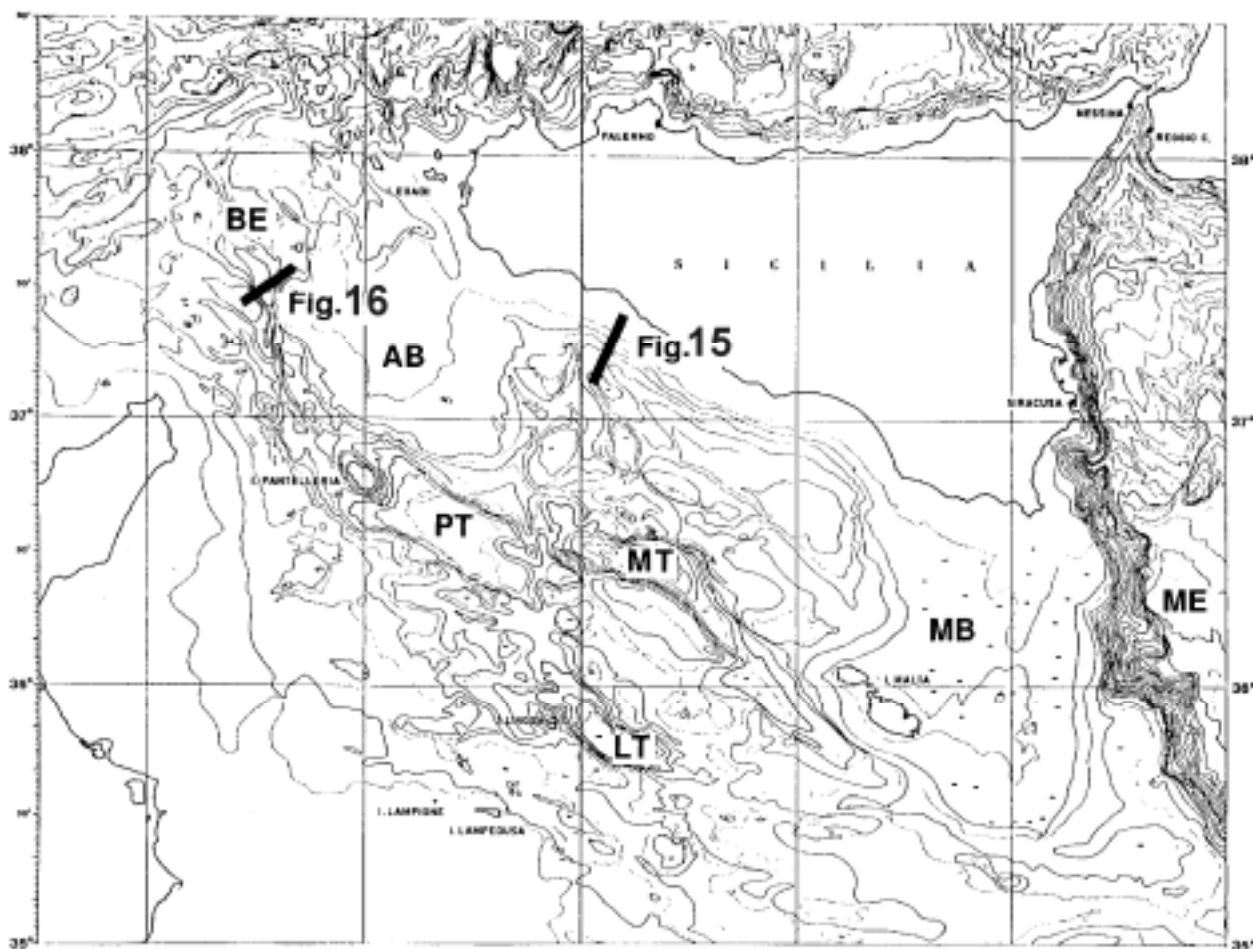


Fig. 13 - Mappa batimetrica del Canale di Sicilia. Sono evidenti le fosse al centro del Canale (PT: fossa di Pantelleria; MT: fossa di Malta; LT: fossa di Linosa), la scarpata di Malta (ME9, il Banco Avventura (AB) e quello di Malta (MB), e i bacini delle Isole Egadi (BE)

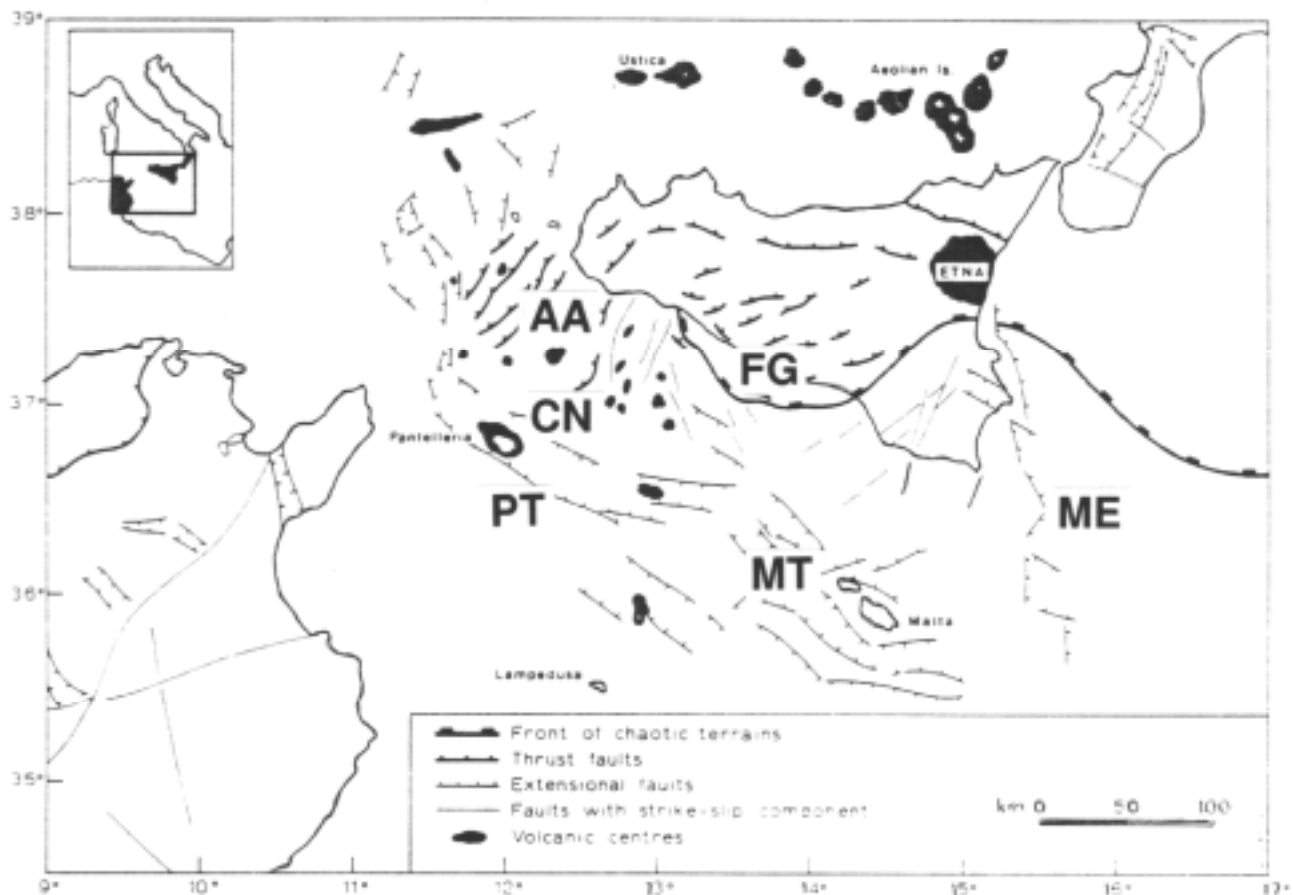


Fig.14- Schema geologico semplificato del Canale di Sicilia. **FG**: Falda di Gela; **CN**: Catena Nilde; **PT**: Fossa di Pantelleria; **MT**: Fossa di Malta; **ME**: Scarpata di Malta; **AA**: Avanfossa Avventura. (modificato da ARGNANI, 1990).

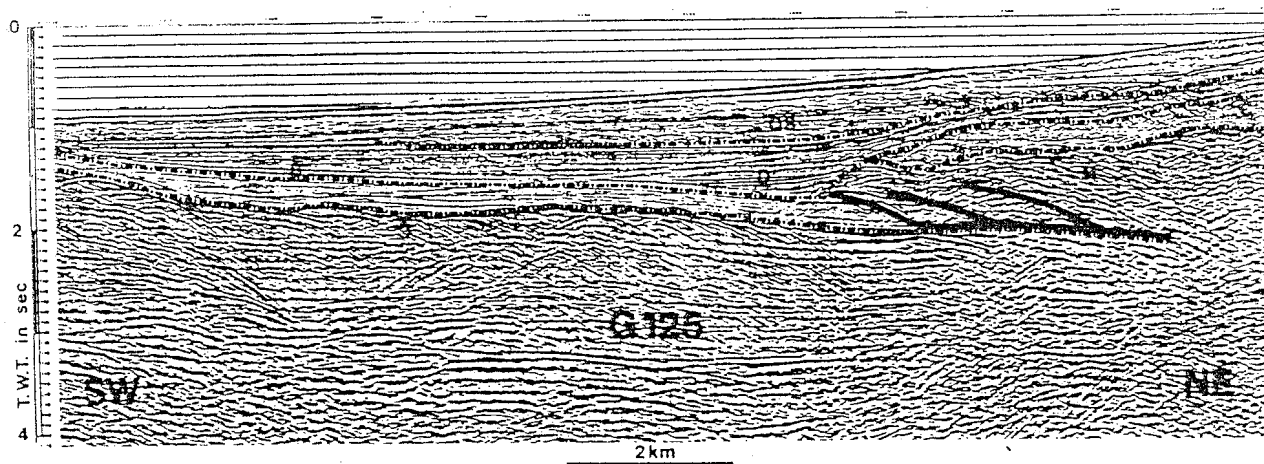


Fig.15 - Profilo sismico attraverso la porzione meridionale della Falda di Gela e l'avanfossa relativa. (vedi fig. 13 per l'ubicazione; da ARGNANI, 1987)

Falda ed avanfossa di Gela

La parte del Canale di Sicilia compresa fra il Banco Avventura ed il plateau di Malta è occupata dalla falda e dall'avanfossa di Gela. Il fronte della falda di Gela si estende in mare e rappresenta la struttura più esterna appartenente al sistema deformativo delle Maghrebidi Siciliane (ARGNANI, 1987).

La falda di Gela è costituita da terreni silicoclastici di età miocenica medio-superiore e da evaporiti messiniane, entrambi fortemente caoticizzati (ARGNANI *et alii*, 1987) (fig.15). Il suo movimento è avvenuto in età pliocenico-pleistocenica inferiore ed i sedimenti sui quali è sovrascorsa mostrano età via via più recenti procedendo verso Sud (DI GERONIMO *et alii*, 1978).

Attualmente l'interpretazione della falda di Gela come un *melange* tettonico, originato da una serie di sovrascorrimenti densamente spaziati all'interno di sedimenti soffici, prevale sull'ipotesi di un corpo caotico causato da un franamento sottomarino (ARGNANI *et alii*, 1987).

A sud del fronte della falda, e parzialmente al di sotto di essa, si sviluppa l'avanfossa di Gela, la cui direzione E-O è marcata dall'anomalia gravimetrica che continua il trend negativo coincidente con l'avanfossa di Caltanissetta. L'avanfossa di Gela ha iniziato ad evidenziarsi nel Pliocene inferiore, e contiene 2500 m di torbiditi silicoclastici di età plio-pleistocenica (ARGNANI *et alii*, 1987). Nella parte meridionale del bacino un grosso pacco di sedimenti di circa 600-800 msec di spessore è coinvolto in una frana di grandi dimensioni avvenuta nel Pleistocene superiore (TRINCARDI & ARGNANI, 1990).

Plateau di Malta

Occupava la parte sudorientale del canale di Sicilia. I dati sismici individuano uno spessore di sedimenti, sovrastanti rocce cristalline del basamento di tipo africano, di circa 5000 m. Essi sono costituiti da successioni pre-plioceniche simili a quelle descritte per le zone adriatica e ionica (MORELLI *et alii*, 1975; CASERO & ROURE, 1994). I sedimenti di età plio-quaternaria costituiscono al più gli ultimi 500 m di successione e giacciono al di sopra di una netta superficie erosiva originata durante l'episodio messiniano (WINNOCK, 1981).

Banco Avventura

E' ubicato nella parte nord occidentale del Canale di Sicilia ed è occupato dal fronte della catena appenninico-maghrebide e dalla relativa avanfossa di età tortoniana (chiamata appunto Avventura) (ARGNANI *et alii*, 1987; ANTONELLI *et alii*, 1988).

La catena è costituita da un insieme di scaglie tettoniche scollate dal loro substrato e sovrascorse verso SE. In alcune aree (zona della catena Nilde; ANTONELLI *et alii*, 1988) i sedimenti tortoniani e il loro basamento sono stati interessati nel Pliocene da tettonica compressiva a pieghe e faglie inverse. La successione stratigrafica, se si eccettua la presenza dei depositi tortoniani di avanfossa, è simile a quella del plateau di Malta.

Fosse di Pantelleria, Malta, Linosa e bacini delle isole Egadi

I principali fra i bacini, che frammentano l'avampaese africano, sono quelli di Pantelleria (profondità massima 1317 m), di Linosa (profondità 1529 m), di Malta (profondità 1721 m) e i bacini delle Egadi (profondità massima 900 m).

Essi sono originati da faglie distensive con prevalente direzione NO-SE (fig.16), che, relativamente ai depositi miocenici superiori, determinano rigetti di 500 m a Pantelleria e di 1000 m a Malta e Linosa (ARGNANI, 1990). I vari bacini sono delimitati assialmente da faglie trasversali con orientazione N-S.

I sedimenti plio-pleistocenici che ne costituiscono il riempimento sono di tipo torbiditico (MALDONADO & STANLEY, 1977) con spessori di 1000 m a Pantelleria, di 1500 m a Malta e di 2000 m a Linosa (WINNOCK, 1981) e di 2500 m nei bacini delle Egadi (GAMBERI & ARGNANI, 1993).

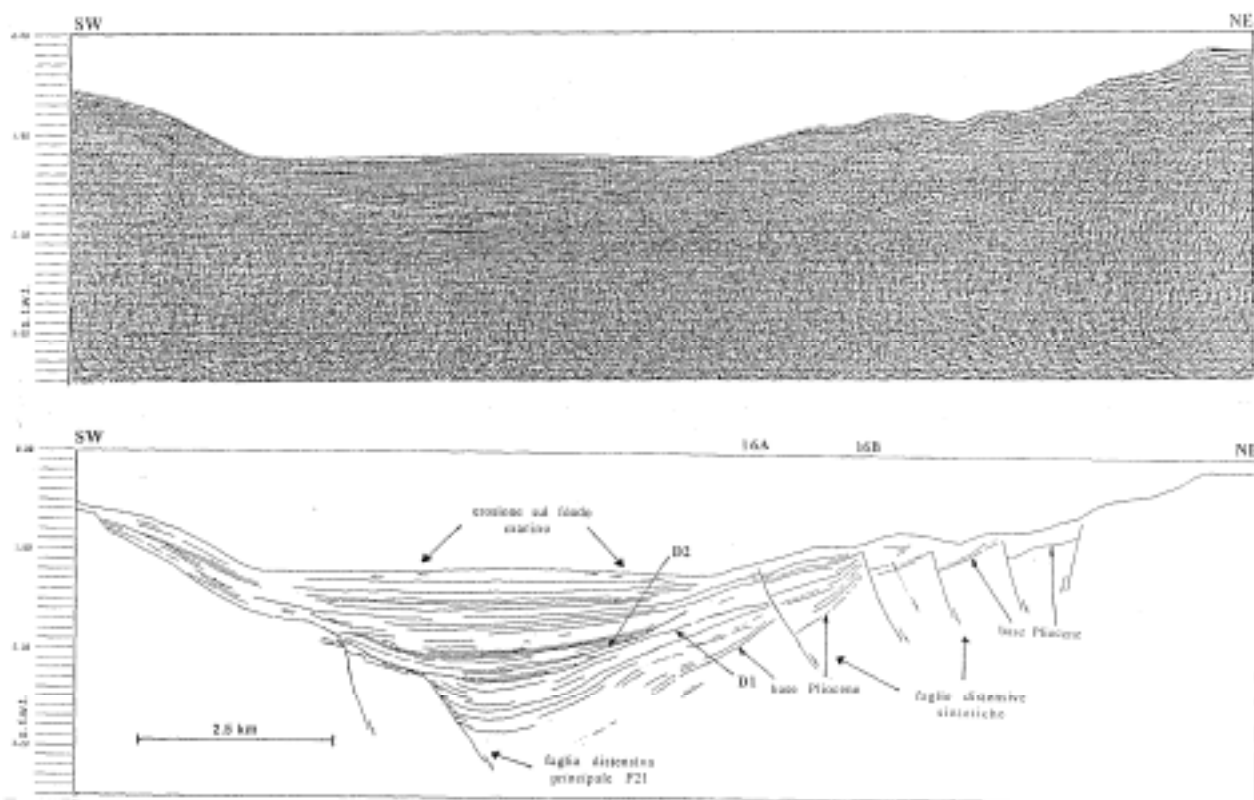


Fig.16- Profilo sismico multicanale (sorgente Sparker) perpendicolare a uno dei bacini a sud ovest delle Isole Egadi (ubicazione in fig.13). E' evidenziata la faglia distensiva immergente verso est che origina il Bacino. La successione plio-quadernaria che costituisce il riempimento del Bacino è rappresentata da riflettori che terminano in "onlap" sulla base della successione stessa. (da G AMBERI, 1994).

4.1.4. - Mare Tirreno

Il Tirreno è un mare profondo che costituisce un bacino episuturale di retro arco sviluppatosi in un'area di catena prodotta dalle orogenesi alpina ed appenninica (SARTORI, 1990). Esso è compreso fra la Corsica, la Sardegna, la Sicilia e le coste occidentali italiane. All'incirca lungo il 41° parallelo è suddivisibile in due settori meridionale e settentrionale con caratteristiche geofisiche e strutturali diverse (fig 17).

Tirreno meridionale

E' un bacino profondo (3620 m di profondità massima), le cui aree batiali costituite dai bacini Vavilov e Marsili sono caratterizzate da un basamento a crosta oceanica o pseudo-oceanica. In queste due aree bacinali profonde si hanno valori estremamente positivi delle

anomalie di Bouger e spessori crostali ridotti a 10 km (STEINMETZ *et alii*, 1983; NICOLICH & DAL PIAZ, 1991). Una soglia batimetrica con direzione N-S e spessore crostale più elevato (15 km) divide il bacino del Vavilov da quello del Marsili. Tra queste zone batiali profonde e le aree emerse peri-tirreniche si interpone una serie di ampi bacini di scarpata (FABBRI *et alii*, 1981) (fig.17); le aree di scarpata continentale sono in genere caratterizzate da valori dello spessore crostale e delle anomalie di Bouguer intermedi fra quelli delle aree bacinali profonde e quelli delle aree emerse circostanti.

Bacini peri-tirrenici

Sulla scarpata superiore della Sardegna si estende, da capo Carbonara al canyon di Caprera il bacino Sardo. Sulla scarpata inferiore, separato dal bacino Sardo tramite il rilievo delle Baronie, si estende quello del Cornaglia. Questi bacini sono originati da faglie distensive orientate prevalentemente N-S che producono una serie di *graben* e *semi-graben* (FABBRI *et alii*, 1981) (fig.18). Il basamento è costituito da rocce paleo-mesozoiche affini a quelle affioranti in Sardegna (BORSETTI *et alii*, 1979); sul Monte delle Baronie, che separa il bacino sardo da quello del Cornaglia, sono presenti rocce serpentinitiche a presunta affinità alpina (WEZEL *et alii*, 1977). Nell'area compresa fra il margine sardo e la zona delle Egadi, sono ancora presenti unità stratigrafico-strutturali di tipo europeo (granitoidi del basamento sardo orientale), ma sono state rinvenute anche unità di tipo calabro-kabilide e di tipo siciliano (CATALANO *et alii*, 1989) che sovrascorrono le une sulle altre con vergenza verso Sud. I più antichi depositi all'interno di questi bacini, in accordo con quanto rilevabile a terra in Sardegna, sono attribuiti all'Oligocene; i depositi pre-messiniani raggiungono lo spessore di 2600 m e la loro parte basale, di età anteriore al Tortoniano, si è deposta prima dell'inizio dell'attività distensiva che ha dato origine all'apertura tirrenica; a partire dal Tortoniano invece la sedimentazione è stata coeva con la rotazione dei blocchi bordati dalle faglie distensive (FABBRI *et alii*, 1981). Il Messiniano è rappresentato da depositi evaporitici cui seguono in discordanza i sedimenti pliocenico-quadernari che raggiungono lo spessore di 1600 m. Nel bacino del Cornaglia il Messiniano è caratterizzato da uno spesso e continuo livello di sale che dà origine a frequenti strutture di tettonica salina. Sul margine siciliano e su quello calabro sono presenti numerosi bacini di scarpata i più importanti dei quali sono quelli di Cefalù, di Gioia e di Paola. Sono originati da faglie distensive con direzione in prevalenza NO-SE e NE-SO, che hanno portato alla formazione di blocchi ruotati spesso limitati assialmente da faglie trasversali (Fig.19). Le rocce del basamento affioranti nelle parti più elevate dei blocchi ruotati hanno affinità con quelle dell'arco calabro e della catena maghrebide siciliana. Sono state infatti rinvenute rocce ad affinità calabra nel bacino di Paola, calabro-peloritana in quello di Gioia e simili a quelle della catena siciliana (Complesso Panormide, Formazione di Reitano, Capo d'Orlando) nel bacino di Cefalù (FABBRI *et alii*, 1981).

Nei bacini circostanti la Calabria e la Sicilia (Cefalù, Gioia, Paola) l'inizio dell'attività distensiva è marcato da depositi di età tortoniana che giacciono in discordanza sul basamento e raggiungono lo spessore di 2500 m (FABBRI *et alii*, 1981; ARGNANI & TRINCARDI, 1988). Anche questi bacini sono interessati dalla sedimentazione evaporitica messiniana; in particolare le evaporiti hanno spessore fino a 1600 m nel bacino di Cefalù dove danno origine anche a frequenti strutture deformative dovute a tettonica salina. Al di sopra delle evaporiti si trovano in discordanza i sedimenti plio-quadernari che raggiungono 2000 m di spessore. Andando verso i bacini posti a Nord del margine calabro l'età della tettonica distensiva sembra essere più recente, infatti i depositi plio-quadernari sono in diretto contatto col basamento.

Bacino Vavilov e piana batiale meridionale

Il bacino Vavilov ha forma triangolare e raggiunge la massima profondità tirrenica (3620 m). Dati sulle età e sul chimismo del basamento derivano dalle perforazioni del Leg 107 ODP. Il sito 655 ha infatti evidenziato una sequenza di 116 m di basalti con affinità di MORB transizionali al di sotto di sedimenti di età di 3,4-3,6 Ma (BECCALUVA *et alii*, 1990).

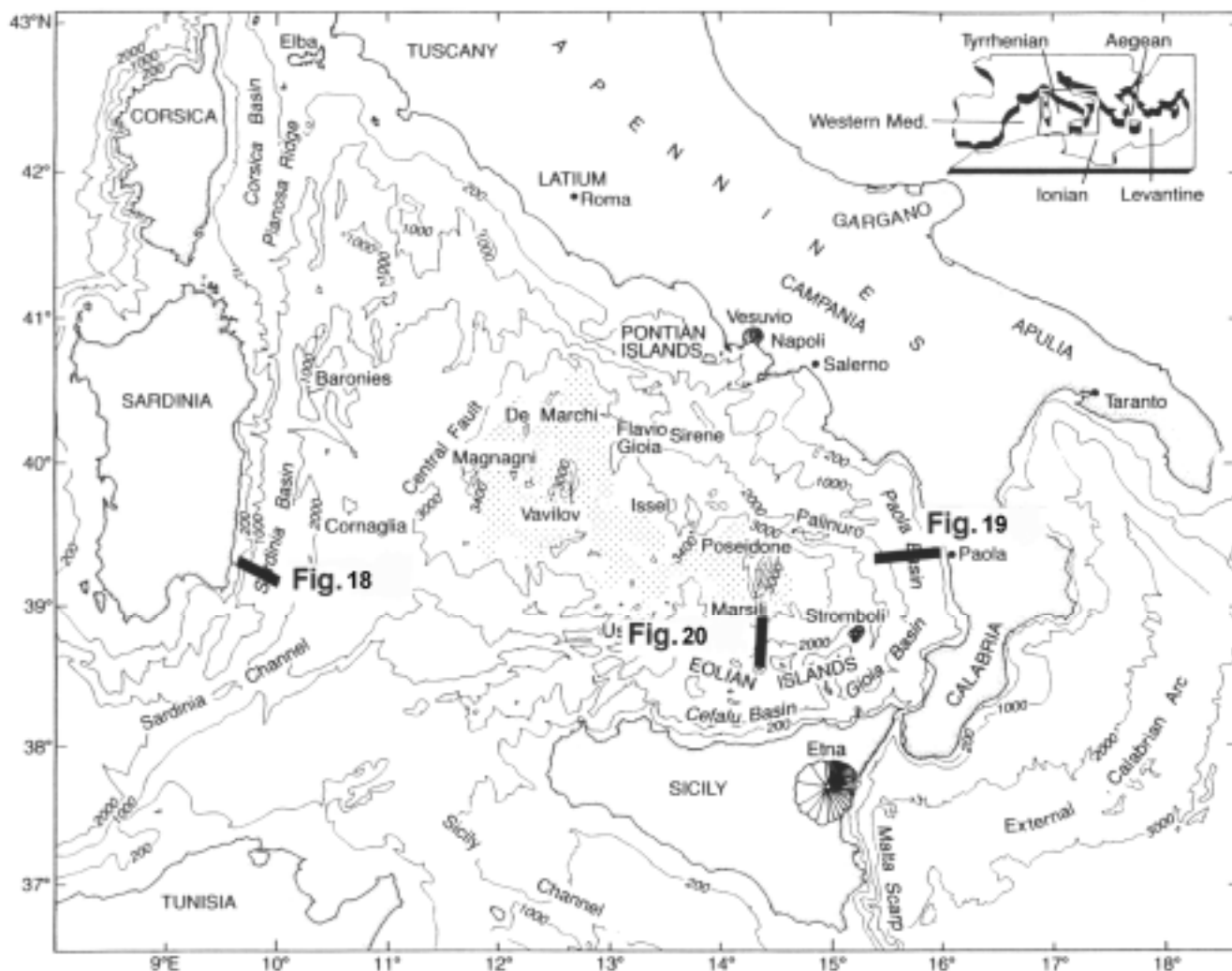


Fig. 17- Carta batimetrica semplificata del Mar Tirreno. Si noti il netto cambiamento che avviene lungo il 41° parallelo. La parte meridionale è occupata dalle piane batiali profonde del Bacino Vavilov e Marsili, esse sono circondate da una serie di bacini di scarpata (il Bacino sardo e quello di Cornaglia ad ovest; il Bacino di Cefalù, quello di Gioia e quello di Paola a Sud ed Est). Nella parte settentrionale caratterizzata da profondità minori la Dorsale di Pianosa separa il margine toscano dal Bacino della Corsica. Sono indicate le ubicazioni dei profili sismici di figg.18-20

Mentre il sito 651 ha evidenziato rocce basaltiche simili a quelle dell'arco delle Eolie sotto sedimenti di 2 Ma. I sedimenti di età pliocenico-aternaria sono sovrapposti direttamente al basamento. Essi hanno uno spessore massimo di 1 km e consistono di fanghi calcarei e sedimenti vulcanogenici.

Bacino Marsili

Ha forma romboedrica ed è separato dal bacino Vavilov e dalla piana batiale meridionale da una soglia a direzione N-S. Anche nel bacino Marsili i dati ottenuti dal Leg 107 ODP hanno messo in evidenza la presenza di un basamento di tipo oceanico. In particolare il sito 650 ha perforato al di sotto di sedimenti con età di 1.7-1.9 Ma, basalti ad affinità calc-alkalina (BECCALUVA *et alii*, 1990). I sedimenti di età pliocenica superiore all'interno dei quali è presente una marcata discontinuità (MARANI *et alii*, in stampa) giacciono direttamente su questo basamento e consistono di torbiditi e altri depositi dovuti a flussi gravitativi intercalati a fanghi calcarei (KASTENS *et alii*, 1988) (Fig.20). L'area centrale del bacino è occupata dal vulcano Marsili che si eleva per 3000 m sul fondo della piana batiale.

Oltre che dalla formazione di crosta oceanica nei bacini Vavilov e Marsili l'evoluzione del bacino tirrenico è stata accompagnata da altri importanti fenomeni vulcanici. Al retro della zona di subduzione della placca adriatica si sono infatti susseguiti nel tempo tre archi vulcanici: il più antico in Sardegna (32-13 Ma), il più recente (1-0 Ma) delle isole Eolie e dei vulcani marini adiacenti e un presunto arco intermedio (5-2 Ma) centro-tirrenico (ARGNANI *et alii*, 1995). Sono inoltre presenti corpi vulcani ad affinità intra-placca e calcalcalini, i più importanti dei quali sono quelli che costituiscono i rilievi sottomarini del Magnaghi, del Vavilov e del Marsili (BECCALUVA *et alii*, 1994; GASPAROTTO & SAVELLI, 1994; ARGNANI *et alii*, 1995).

Tirreno settentrionale

Il Tirreno settentrionale è compreso fra la Corsica, la Toscana e la Liguria e raggiunge, a Sud, la massima profondità di 2200 m. L'anomalia di Bouguer è caratterizzata da valori leggermente positivi in graduale aumento verso Sud.

Lo spessore crostale diminuisce dai margini verso le aree centrali dove si riduce a 22.5 km (NICOLICH & DAL PIAZ, 1991). I dati geofisici indicano quindi un assottigliamento crostale minore rispetto a quello del Tirreno meridionale. La dorsale dell'Elba, a direzione N-S, divide questa zona in due settori: il margine toscano ed il bacino Corso.

Margine toscano

Lo smembramento della catena collisionale alpino-appenninica è avvenuto in questa regione tramite l'attività di faglie distensive con orientazione N-S e NO-SE (fig.21), che hanno talora riattivato precedenti piani di accavallamento (ZITELLINI *et alii*, 1986; BARTOLE *et alii*, 1991). Ne è risultata una strutturazione a *semi-graben* delimitati da faglie con movimento rotazionale e separati longitudinalmente da faglie trasversali a direzione antiappenninica (ZITELLINI *et alii*, 1986; MARANI & ZITELLINI, 1986; MARIANI & PRATO, 1988) (fig.22).

Il basamento è costituito da unità ad affinità liguride e da unità sedimentarie e metamorfiche simili a quelle della serie toscana sovrascorse le une sulle altre con vergenza verso Est e la cui distribuzione spaziale comunque non è di facile ricostruzione (BARTOLE *et alii*, 1991). Il riempimento sedimentario dei semi-graben, prevalentemente di tipo torbiditico, inizia nel Tortonian superiore ed avviene contemporaneamente all'attività delle faglie distensive fino al Pliocene superiore.

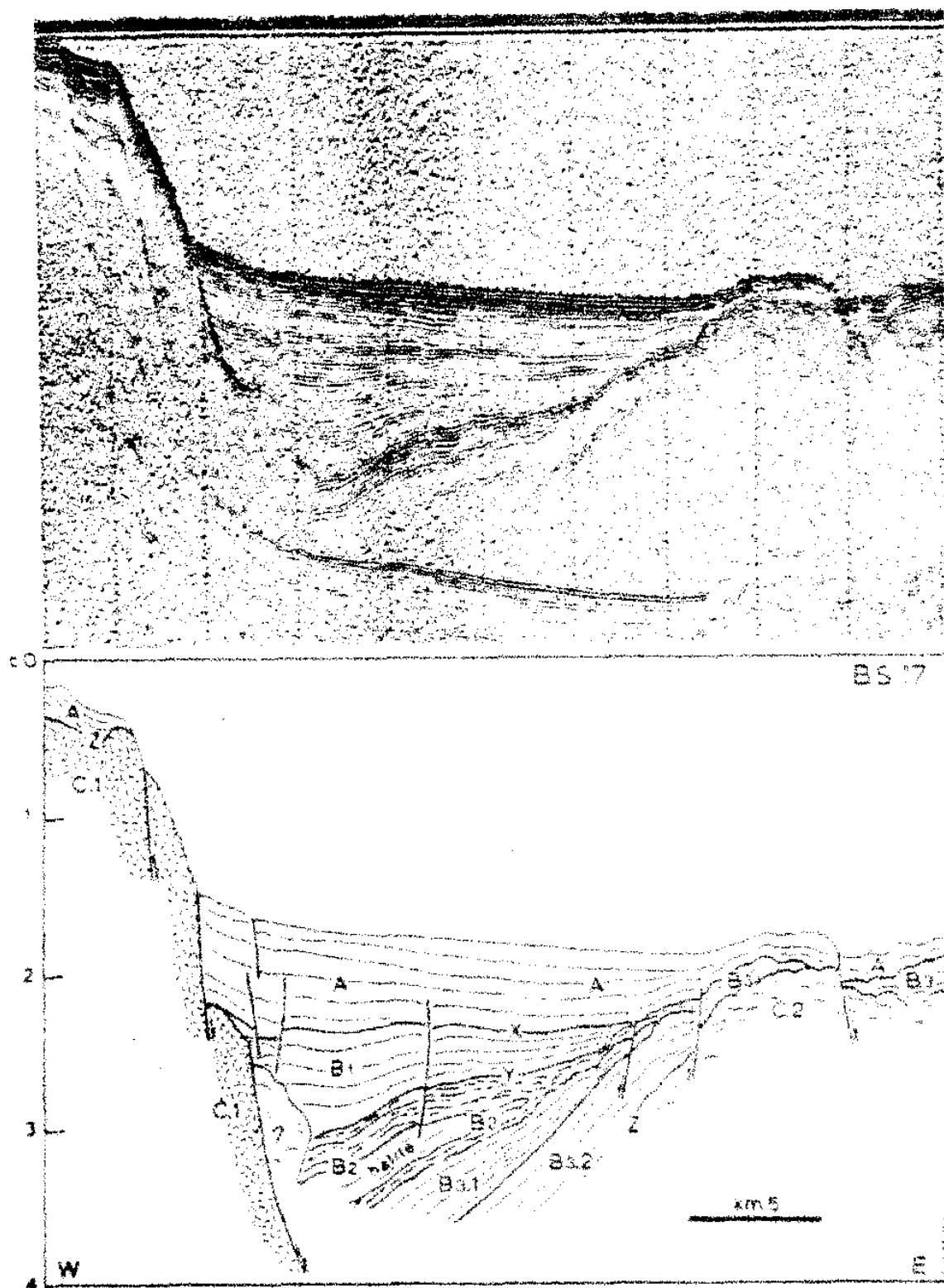


Fig. 18 - Il profilo sismico monocanale (sorgente sparker) BS 17 (ubicazione in fig.17) mostra una faglia distensiva immergente verso est che origina il bacino sardo. E' evidente la successione evaporitica messiniana (B2) il cui tetto è marcato dalla discordanza Y (da FABBRI *et alii*, 1981).

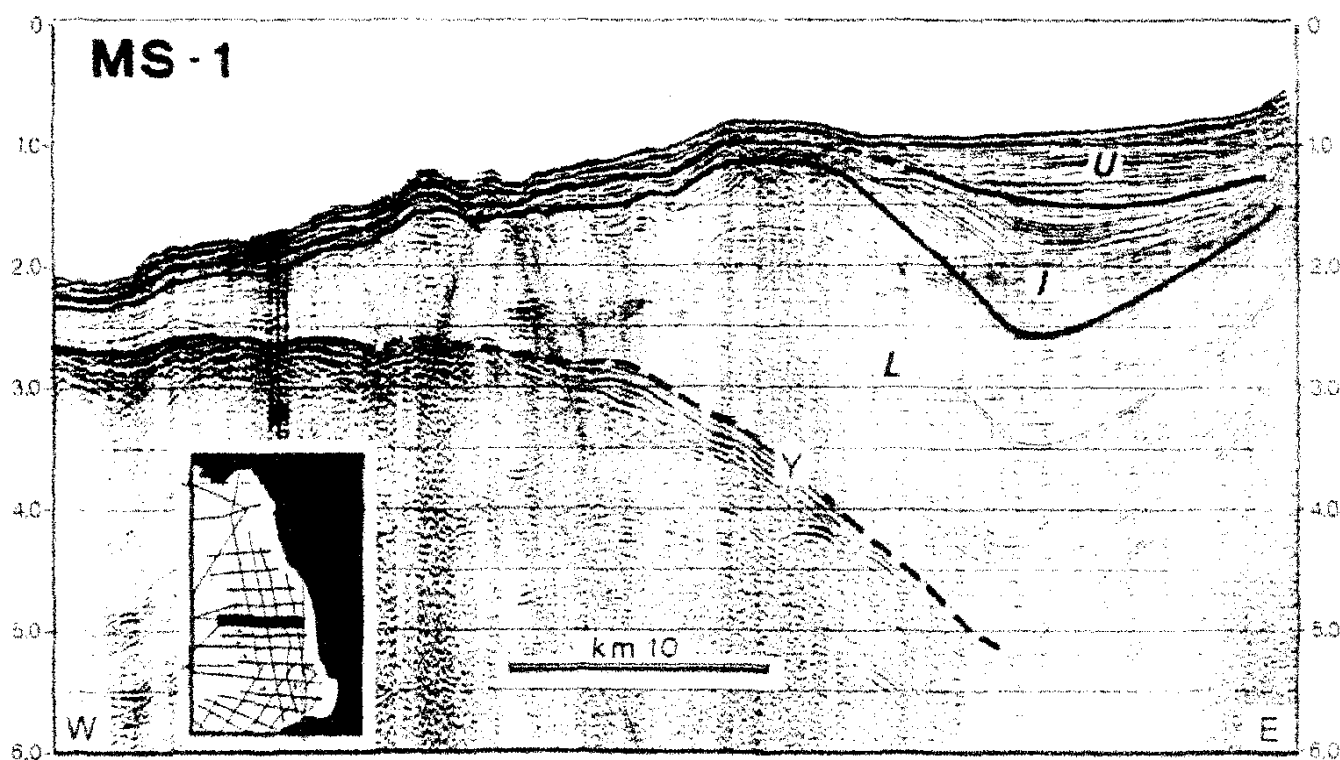


Fig.19- Profilo sismico che taglia trasversalmente il Bacino di Paola. Y indica la base della successione plio-quadernaria. ARGNANI & TRINCARDI (1988) hanno interpretato il rialzo al centro del profilo come dovuto a tettonica compressiva posteriore all'individuazione del bacino. (vedi fig.17 per l'ubicazione) (da ARGNANI & TRINCARDI, 1988)

I sedimenti di *sin-rift* (Tortoniano superiore-Pliocene superiore comprendono anche la successione evaporitica messiniana che fa passaggio lateralmente e nelle zone più elevate degli alti strutturali a superfici di erosione subaerea.

I sedimenti di *post-rift* sono sub-orizzontali. La tettonica distensiva è stata accompagnata anche dalla messa in posto di corpi magmatici intrusivi ed effusivi anafettici acidi (BECCALUVA *et alii*, 1989) che sono migrati nel tempo da Ovest verso Est.

Bacino Corso

E' separato dal margine toscano dalla dorsale dell' Elba.

Il substrato consiste di una serie di unità tettoniche sovrascorse le une sulle altre con vergenza verso Est. Le unità strutturalmente più elevate, presenti dalle coste della Corsica fino al monte Cialdi, consistono di unità alpine del basamento oceanico ligure-piemontese e delle sue coperture sedimentarie (calcescisti, ofioliti, flysch ad helmintoidi) (FABBRI *et alii*, 1981).

L'inizio della sedimentazione post-orogena è databile al Burdigaliano superiore in accordo con i dati rilevabili a terra in Corsica e di alcuni pozzi. I depositi antecedenti il Messiniano, che raggiungono lo spessore di 3000 m, sono seguiti da *facies* evaporitiche messiniane marginali la cui sommità è marcata da una netta superficie erosiva sulla quale si depositano in discordanza i sedimenti plio-quadernari (FABBRI *et alii*, 1981; ZITELLINI *et alii*, 1986; WEZEL *et alii*, 1981) (Fig.23).

4.1.5. - *Mar Ligure e Mare di Sardegna*

Costituiscono il settore più orientale del Mediterraneo occidentale e ne comprendono aree batiali che raggiungono la profondità di 3000 m. Sono circondati dalla Liguria a Nord, dalle coste toscane, dalla Sardegna e dalla Corsica ad Est e dalle coste Provenzali e dalle isole Baleari ad Ovest. Costituiscono una zona a crosta oceanica o continentale assottigliata originatasi a partire dall'Oligocene a causa della separazione del blocco sardo-corso dalle coste provenzali (REHAULT *et alii*, 1984). Le anomalie di Bouguer sono fortemente positive nelle aree centrali del bacino (200 mgal) e decrescono rapidamente verso le zone marginali. Lo spessore crostale è ridotto a soli 15 km in corrispondenza della piana batiale centrale ed aumenta gradualmente verso costa (LE DOUARAN *et alii*, 1984; NICOLICH & DAL PIAZ, 1991).

Le aree marginali sono interessate da faglie distensive parallele alle coste, immergenti generalmente verso il centro del bacino, che bordano blocchi ruotati.

L'inizio dell'attività di queste faglie sembra databile all'Oligocene superiore ed alcune mostrano che la distensione si è protratta nel Miocene ed anche nel Pliocene.

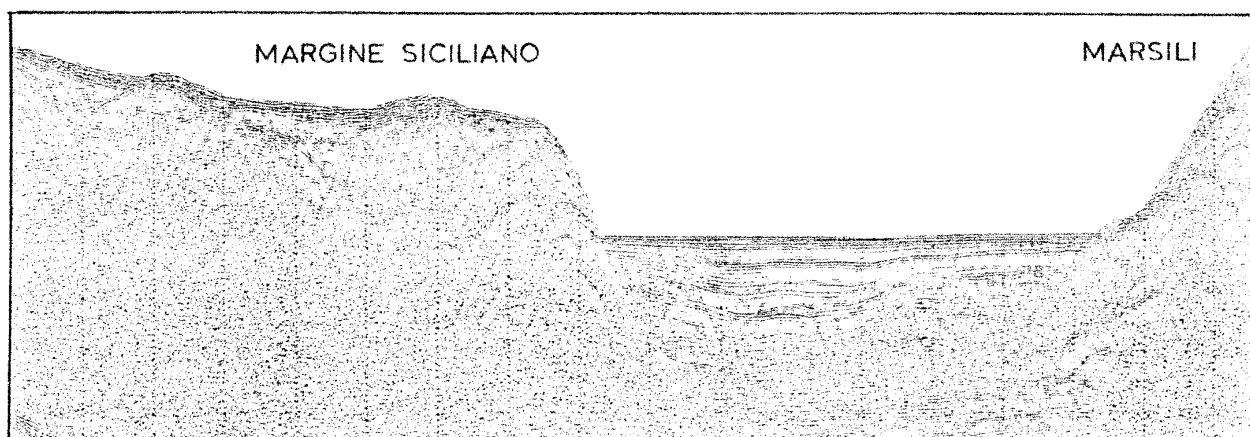
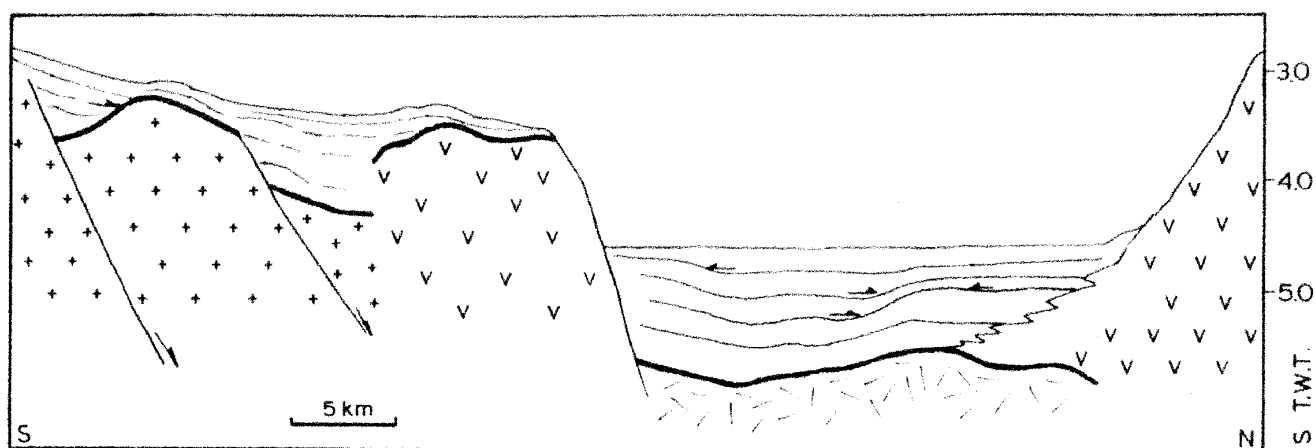


Fig. 20 - Profilo sismico monocanale (sorgente Sparker) ubicato nella parte meridionale del Bacino tirrenico. Sono evidenti l'apparato vulcanico del Marsili, la piana batiale dell'omonimo bacino, dove i sedimenti plio-quadernari appoggiano direttamente su un basamento di tipo oceanico, e il margine continentale siciliano interessato da vulcanesimo e tettonica distensiva (da GAMBERI *et alii*, 1995).

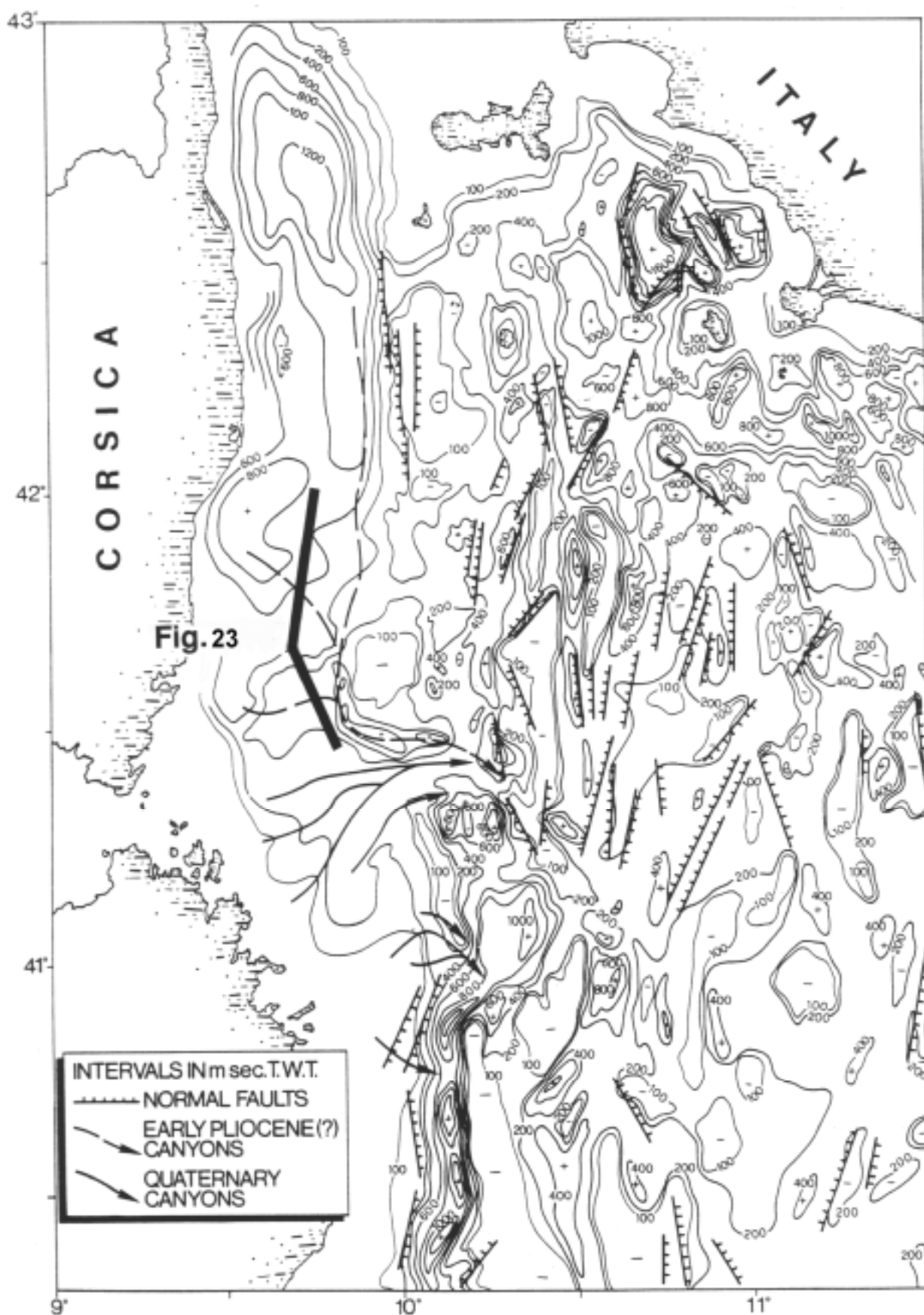


Fig.21- Mappa delle isocronopache della base della successione pliocenico-quadernaria nel Tirreno settentrionale. E' evidenziata l'ubicazione della linea sismica di fig. 23(da ZITELLINI *et alii*, 1986).

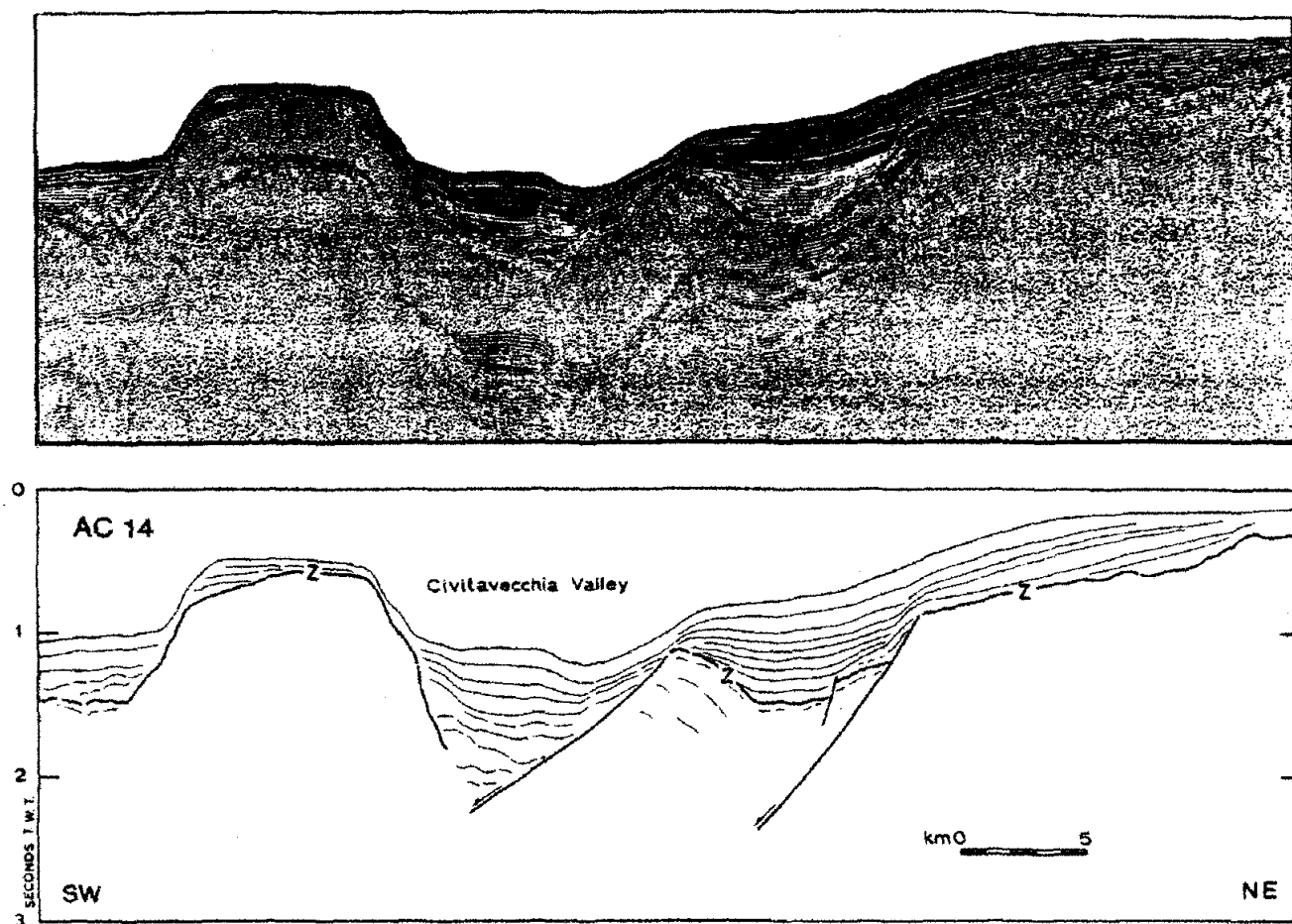


Fig. 22– Profilo sismico monocanale (sorgente Sparker) perpendicolare al margine tirrenico nord-orientale. E' illustrato il sistema di graben che costituisce la valle di Civitavecchia. Sia nelle zone di alto strutturale che in quelle bacinali non sono presenti evaporiti messiniane e la base della successione piocenico-aternaria poggia direttamente sul substrato. (da ZITELLINI *et alii*, 1986).

I blocchi sono caratterizzati da basamento continentale con litologie simili a quelle delle successioni affioranti nell'adiacente terraferma (FABBRI, 1984).

Metamorfiti del ciclo ercinico sardo sono stati evidenziati fino a 100 km dalla costa orientale della Sardegna testimoniando che la zona continentale assottigliata si estende parecchio al largo.

Nelle parti profonde affiora invece un basamento igneo con basalti tholeitici ed alcalini la cui età risale al Miocene inferiore (REHAULT *et alii*, 1984). La parte centrale è occupata da un basamento igneo con basalti tholeitici ed alcalini di età miocenica inferiore (20-17 Ma). La copertura sedimentaria inizia con l'Oligocene superiore o con il Miocene inferiore.

E' nel complesso molto potente raggiungendo uno spessore variabile da 6 a 9 km; al suo interno si evidenziano sedimenti continentali e pelagici pre-evaporitici, la successione evaporitica messiniana e sedimenti post-evaporitici che hanno spessore inferiore a un secondo (FANUCCI *et alii*, 1984). Sono presenti notevoli accumuli di sali messiniani che danno spesso luogo a fenomeni di tettonica diapirica (PAUTOT *et alii*, 1984).

4.2.- METODI DI INDAGINE: DATI SISMICI E STRATIGRAFICI

Dall'esame dei dati esposti nei precedenti paragrafi risulta che la ricostruzione dell'assetto stratigrafico-strutturale del sottofondo marino richiede l'utilizzo di dati sismici che raggiungano la penetrazione di alcuni secondi. I profili sismici a riflessione presentano una notevole eterogeneità nelle metodologie di acquisizione e conseguentemente un diverso potenziale di utilizzo. Non tutti i dati sismici quindi hanno caratteristiche tali da potere essere utilizzati per gli scopi della cartografia geologica del sottofondo marino. Una prima fondamentale distinzione che riguarda la qualità del dato e la sua potenzialità di utilizzo va fatta fra i profili multicanale e quelli monocanale. In generale i primi presentano, sia per le modalità di acquisizione che per la possibilità di un'elaborazione numerica, le caratteristiche migliori per le finalità della cartografia geologica marina del sottofondo. E' quindi auspicabile che la ricostruzione cartografica sia effettuata utilizzando per la maggior parte profili sismici multicanale. Gli orizzonti riconosciuti e correlati sulle linee sismiche richiedono per la loro taratura la presenza di dati stratigrafici del sottofondo. Similmente a quanto evidenziato per i profili sismici, sono di particolare interesse soprattutto i dati stratigrafici che raggiungono profondità elevate. In genere possono essere utilizzati solo pozzi per l'esplorazione petrolifera.

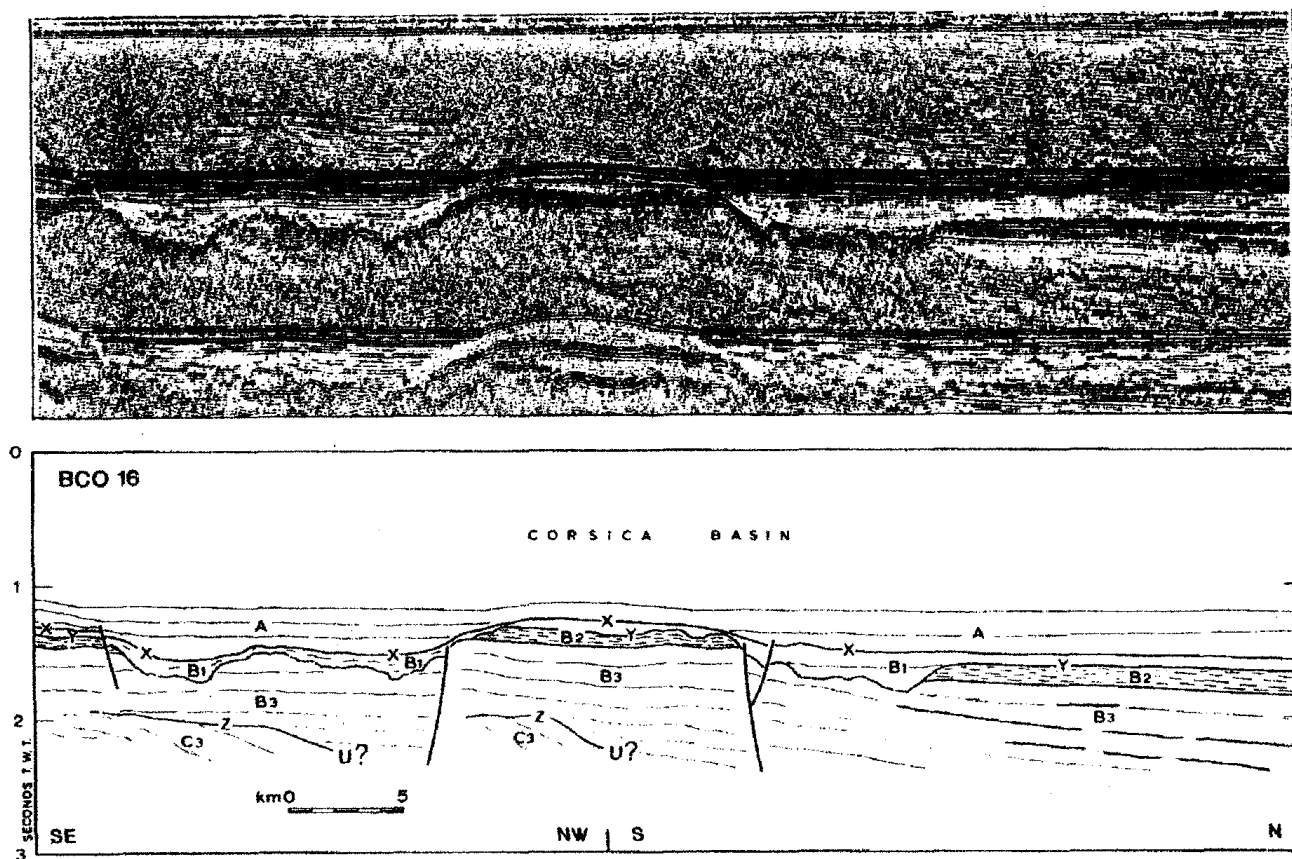


Fig.23- Il profilo sismico monocanale BCO16 (sorgente Sparker) corre lungo l'asse del Bacino di Corsica (vedi fig. 21 per l'ubicazione). Y è una netta superficie di erosione al tetto del Messiniano sulla quale si depositano in discordanza i depositi della successione pliocenico-quadernaria (da ZITELLINI *et alii*, 1986).

In aree di scarpata e di *seamount*, dove mancano le coperture sedimentarie diventa essenziale e necessario il riconoscimento geologico delle unità litostratigrafiche affioranti sul fondo marino attraverso la loro campionatura con dragaggi e/o carotaggi. Lo stesso dicasi per gli apparati vulcanici e le rocce magmatiche.

Il primo passo quindi è il reperimento dei dati sismici e dei pozzi presenti nell'area di interesse; in seguito se ne dovrà valutare il potenziale di utilizzo, stabilendo se essi sono sufficienti o se si renda necessaria l'acquisizione di nuovi dati sismici.

4.2.1.- *Reperimento dei dati pregressi*

I dati pregressi, acquisiti da Istituti di Ricerca e dall'Industria, forniscono un inquadramento generale della geologia delle aree marine italiane e consentono di definire, a questo stadio, i criteri di base per la cartografia geologica. D'altro canto, considerando i costi elevati dell'acquisizione di dati geologico-geofisici in mare, è opportuno trarre il massimo dell'informazione dai dati esistenti e con questi costituire il nucleo iniziale della banca dati cartografica. I dati pregressi provengono principalmente da tre fonti: dati commerciali disponibili presso il Ministero dell'Industria, dati acquisiti dagli Enti di Ricerca e dati appartenenti all'Industria.

I profili sismici a riflessione disponibili presso il Ministero dell'Industria sono di tipo multicanale e forniscono, in genere, dati utilizzabili per la costruzione della carta geologica del sottofondo. Questi profili sismici sono stati acquisiti attraverso rilievi successivi effettuati fra la fine degli anni '60 ed i primi anni '80 allo scopo di rilevare la piattaforma continentale italiana limitata dall'isobata dei 200 m; solo in alcuni casi, questi profili sono stati acquisiti in acque profonde sino a circa 1000 m. I rilievi interessano diversi settori dei mari italiani: l'Adriatico settentrionale (Zona A), l'Adriatico centrale (Zona B), l'Adriatico meridionale e lo Ionio (Zone D e F), i mari antistanti la Sicilia (Zone C e G) e le piattaforme continentali peri-tirreniche e sarde (Zona E) (fig.24). Oltre ai profili sismici sono disponibili presso il Ministero anche dati stratigrafici liberalizzati relativi a pozzi per l'esplorazione petrolifera (fig.24). Generalmente, la distribuzione dei dati appartenenti al Ministero dell'Industria è tale da consentire la ricostruzione dell'evoluzione stratigrafico-strutturale delle varie aree marine italiane permettendo di calibrare tramite i dati dei pozzi la stratigrafia desunta dai profili sismici.

I dati sismici appartenenti agli Enti di Ricerca sono caratterizzati da una elevata eterogeneità dei parametri di acquisizione e della copertura areale. Pertanto, la loro adeguatezza per le finalità cartografiche va valutata di volta in volta, utilizzando come guida i criteri e le specifiche di seguito esposte per l'acquisizione ex-novo di dati sismici.

L'industria, in particolare quella del campo petrolifero, possiede un gran numero di profili sismici e pozzi per l'esplorazione non disponibili al dominio pubblico. La possibilità di accedere a questi dati porterebbe ad una notevole riduzione della spesa connessa con l'acquisizione di nuovi dati. Sarebbe pertanto opportuno che il Servizio Geologico d'Italia promuovesse una collaborazione con le compagnie petrolifere che operano nelle acque italiane allo scopo di potere utilizzare anche i dati riservati, qualora se ne presenti la necessità.

4.2.2.- *Rilievi ex-novo di sismica a riflessione*

Qualora i dati pregressi ricavati dalle fonti sopra elencate non soddisfino le condizioni minime necessarie per poter essere utilizzati nella costruzione della carta del sottofondo marino,

sarà opportuno integrare la copertura dell'area interessata con profili multicanale acquisiti ex-novo.

Un rilievo di sismica a riflessione con finalità di cartografia del sottofondo marino ha lo scopo di ottenere un'adeguata copertura dell'area da investigare, con il minimo necessario di linee. Tali linee vanno acquisite con le più avanzate metodologie tenendo presente che l'obiettivo è di raggiungere una penetrazione anche di alcuni chilometri al di sotto del fondo marino. E' ovvio che per questo scopo la prospezione da utilizzare è quella sismica a riflessione con un cavo multicanale. Questo tipo di prospezione implica l'acquisizione digitale del dato sismico e rende possibile l'incremento del rapporto segnale/rumore in fase di elaborazione.

I dettagli tecnici ed operativi riguardanti le problematiche dell'acquisizione ed elaborazione dei dati geofisici sono ampiamente trattati più avanti nella parte tecnica (vedi App. 6A). In questa sede vengono discussi gli aspetti dell'acquisizione che influenzano più da vicino la risoluzione spaziale dei dati e che quindi costituiscono il controllo fondamentale della potenzialità della successiva ricostruzione cartografica effettuata tramite l'interpretazione dei dati. In seguito verranno anche trattati i vari processi da attuare in fase di elaborazione dei dati, altro fattore di grande importanza nel processo di utilizzo a scopo geologico dei dati sismici a riflessione.

A c q u i s i z i o n e

A prescindere dalle successive fasi di elaborazione, le potenzialità del dato sismico sono strettamente vincolate dai parametri di acquisizione. Le problematiche che riguardano l'acquisizione, che maggiormente influenzano la qualità del dato sismico, e che quindi vanno presi in considerazione nella programmazione di una campagna di sismica a riflessione sono:

- 1) *Tipo di sorgente*
- 2) *Geometria di sparo nella sismica multicanale*
- 3) *Registrazione del dato sismico*
- 4) *Grigliato delle linee sismiche.*

1) *T i p o d i s o r g e n t e*

Il tipo di sorgente di energia sismica influenza sia la profondità di penetrazione del segnale all'interno della successione sedimentaria sia il contenuto in frequenze dello stesso e di conseguenza il suo potere risolutivo verticale e laterale. Per gli obiettivi della carta del sottofondo, alla luce dell'esperienza maturata attraverso l'esame dei profili sismici acquisiti dall'Istituto di Geologia Marina e quelli Ministeriali la sorgente più indicata risulta essere di tipo *airgun*. Questo tipo di sorgente consiste in un cannone ad aria compressa che produce una bolla che si espande nell'acqua liberando energia. L'energia liberata, e quindi la capacità di penetrazione nel sottofondo, è funzione del volume del cannone e della pressione dell'aria compressa. Per ottenere una penetrazione accettabile attraverso le sequenze clastiche neogeniche che si ritrovano nella quasi totalità dei mari italiani è necessario un volume di almeno 2,5 litri con una pressione di 120-140 bar per ogni scoppio. Attualmente, fra le sorgenti *airgun* il modello *G.I. Gun* è quello più indicato in quanto l'energia trasmessa presenta una forma d'onda con un picco molto marcato che concentra l'energia (vedi App. 6A, fig.25), migliorando la risoluzione verticale e rendendo più efficaci le successive operazioni di elaborazione del dato acquisito. Alla prova dei fatti anche sorgenti *sparker* di grossa potenza (almeno 30 kJ) si sono rivelate adeguate allo scopo. Il loro rendimento è comunque molto inferiore a quello degli

airgun. In primo luogo infatti la sorgente *sparker* emette energia con forme d'onda variabili da scoppio a scoppio rendendo meno efficace la fase di elaborazione e secondariamente presenta lo spettro di frequenze dell'energia trasmessa spostato verso l'alto, limitando la penetrazione in profondità.

2) *Geometria di sparo nell'acquisizione multicanale*

Questo aspetto dell'acquisizione controlla la risoluzione spaziale, sia verticale che orizzontale, del dato sismico e risulta particolarmente importante nella fase di elaborazione. I parametri di controllo della geometria di acquisizione sono: la distanza fra la sorgente e la parte attiva del cavo sismico, la distanza fra i vari canali all'interno del cavo e la distanza fra i vari scoppi. E' importante che durante il rilievo venga mantenuta una geometria di sparo tale da garantire una copertura di almeno sei volte (vedi App. 6A, fig.26). Per sfruttare a pieno la potenzialità del sistema multicanale occorre un cavo con almeno 24 canali. Per garantire questa copertura è di fondamentale importanza disporre di un sistema di posizionamento e navigazione estremamente preciso i cui dettagli sono descritti nella parte tecnica. Infatti la presenza di più canali di registrazione rende possibile la copertura multipla dei punti di riflessione e di conseguenza, in fase di elaborazione, l'operazione di *stacking* che, attraverso la somma dei vari sismogrammi relativi allo stesso punto di riflessione, migliora in maniera significativa il rapporto segnale/rumore.

3) *Registrazione sismica*

Nell'acquisizione sismica multicanale la registrazione è di tipo digitale e viene effettuata su supporto magnetico: nastro o cassetta. Il formato utilizzato, in accordo con gli standard internazionali, deve essere del tipo SEG D o SEG Y. Per gli scopi della cartografia geologica del sottofondo marino il tempo di registrazione deve essere di almeno 6 secondi (tempi doppi). Data la natura digitale della registrazione il segnale in arrivo viene campionato con un certo passo. Questo passo influenza il contenuto in frequenza dello stesso e per avere un contenuto in frequenze accettabile è opportuno campionare il segnale almeno ogni 2 msec.

4) *Grigliato delle linee sismiche*

Nella preparazione della carta strutturale del sottofondo, gli elementi da cartografare devono essere correlati fra i vari profili. Pertanto la spaziatura del grigliato sismico è un fattore che condiziona in maniera determinante la risoluzione tridimensionale degli elementi riconosciuti. In linea teorica, una spaziatura molto ravvicinata consentirebbe di tracciare da un profilo all'altro strutture a tutte le scale (condizione raggiunta nel caso dei rilievi sismici a tre dimensioni); tuttavia gli alti costi dell'acquisizione suggeriscono di trovare una soluzione di compromesso fra la spaziatura delle linee e la qualità del risultato. Per gli scopi della carta alla scala 1:250.000 un grigliato sismico a maglia regolare con linee spaziate di circa 15 km risulta essere adeguato. Qualora si abbia conoscenza a priori dell'andamento strutturale della zona è opportuno che le linee sismiche siano disposte in maniera sia perpendicolare sia parallela agli elementi strutturali. Oltre a prevedere queste caratteristiche è opportuno che eventuali pozzi presenti nell'area della carta siano ben correlabili con i profili, evitando proiezioni che risultino forzate con riferimento alla situazione geologica riscontrata. E' anche auspicabile che siano presenti nell'area uno o più profili multicanale in posizione significativa, allo scopo di disporre di un'immagine geologica più completa

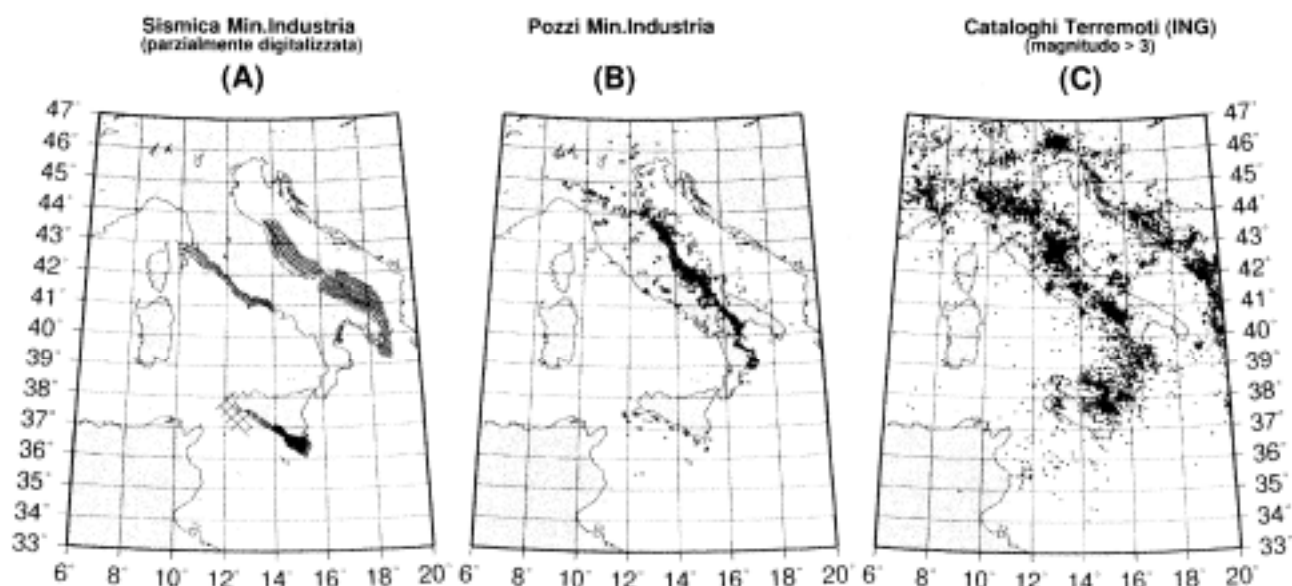


Fig. 24 – Ubicazione delle linee sismiche (A) e dei pozzi profondi per l'esplorazione (B) disponibili presso il Ministero dell'Industria. E' inoltre riportata l'ubicazione dei terremoti disponibile presso l'Istituto Nazionale di Geofisica (C).

Elaborazione

Il dato acquisito con le tecniche della sismica a riflessione multicanale è passibile di sostanziale miglioramento attraverso l'elaborazione del segnale. A questo riguardo va tenuto comunque presente che sono di cruciale importanza, come risulta dal paragrafo precedente, le modalità di acquisizione del dato originale. Anche nella fase di elaborazione dei dati sismici è opportuno trovare un compromesso fra un livello di elaborazione estremamente raffinato, che comporta tempi lunghi e costi elevati, ed uno speditivo che però non sfrutta a pieno le potenzialità del dato. Viene di seguito esposta una sequenza minima di elaborazione da applicare ai dati sismici, con lo scopo di ottenere, come prodotto finale, un profilo sismico in versione *stack* ottenuto attraverso l'analisi di velocità.

La sequenza suggerita comporta i seguenti passi :

- il ricampionamento del dato sismico a 2 oppure 4 msec
- il raggruppamento dei sismogrammi appartenenti allo stesso punto di riflessione (*sort*)
- l'analisi di velocità per stabilire le correzioni da applicare nella fase di *stack* (la spaziatura delle analisi di velocità influenza la qualità dello *stack* e per questo è opportuno rinfittire le analisi nelle zone strutturalmente e topograficamente più complesse)
- il *muting* per eliminare la parte del segnale non utilizzabile perchè rumoroso
- il filtraggio in tempo variabile per tenere conto dell'effetto filtro passa basso della Terra
- la deconvoluzione per riportare il segnale alla sua forma ideale ed eliminare i segnali dovuti a riflessioni multiple
- la somma delle tracce appartenenti allo stesso punto di riflessione (*stack*)
- per alcune linee, ritenute di importanza regionale, sarà opportuno ottenere sezioni migrate.

Nella rappresentazione del profilo sismico finale la scala verticale sarà indicata in secondi (tempi doppi) e in quella orizzontale saranno indicati i punti di scoppio ed i punti comuni di riflessione (CDP). Indicativamente, le scale da utilizzarsi potrebbero essere le seguenti: 1 sec ogni 5 cm per la scala verticale e 250 m ogni cm per la scala orizzontale. La rappresentazione dei singoli sismogrammi che compongono il profilo sarà effettuata con la modalità dell'area variabile e della traccia continua (*variable area and wiggle*).

4.3.- INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI

Ogni singolo evento riflettivo di un profilo sismico rappresenta un contrasto di impedenza acustica fra corpi rocciosi con caratteristiche diverse che compongono la successione geologica. I profili sismici sono delle sezioni tempo nelle quali gli eventi sono rappresentati a profondità che sono funzione della velocità di propagazione nel mezzo attraversato. Nonostante la scala verticale sia in tempi, è possibile usare la geometria delle riflessioni per effettuare una interpretazione geologica.

L'interpretazione dei dati sismici, per gli scopi della cartografia del sottofondo marino, ha come obbiettivo la suddivisione delle riflessioni in unità sismo-stratigrafiche, la definizione della loro storia deposizionale e l'individuazione delle strutture deformative che le interessano. Questi vari aspetti sono intimamente connessi e perciò, in sede operativa, devono essere affrontati parallelamente. Per convenienza di esposizione essi saranno trattati separatamente nel procedimento di interpretazione descritto qui di seguito.

4.3.1.- Interpretazione strutturale

Le strutture plicative e le faglie, sia dirette che inverse, si individuano sui profili sismici attraverso la geometria delle riflessioni, le terminazioni e le dislocazioni di riflettori di riferimento. Non di rado alle superfici di faglia sono associate zone ad iperboli.

Le principali strutture che vengono riconosciute sui profili sismici sono:

- a) faglie dirette ed inverse, generalmente ad alto angolo
- b) superfici di sovrascorrimento a basso angolo
- c) faglie a componente di movimento prevalentemente orizzontale; la loro corretta identificazione richiede un controllo della loro distribuzione spaziale
- d) assi di piega, sia sinclinali sia anticlinali
- e) strutture diapiriche
- f) intrusioni magmatiche e subvulcaniche
- g) faglie e strutture di inversione che mostrano una riattivazione di senso opposto a quello originario.

I principali caratteri sismici delle strutture tettoniche sono i seguenti:

F a g l i e - Alle faglie, che rappresentano discontinuità meccaniche che interessano i corpi rocciosi, sono spesso associati disturbi del segnale sismico dovuti a effetti di diffrazione che danno luogo ad iperboli. Per questo motivo non è sempre possibile determinare con precisione il loro esatto posizionamento. Verranno indicate in carta le tracce delle faglie dirette, inverse e trascorrenti; qualora esistano ambiguità riguardo alla natura della faglia questa può essere mappata come faglia incerta.

Le faglie di cui sopra dislocano la base della successione plio quaternaria. Nel caso siano presenti faglie significative che non dislocano l'orizzonte base del Plio-Quaternario, queste possono essere indicate in mappa con riferimento all'orizzonte dislocato stratigraficamente più alto. Qualora le faglie dirette presentino un elevato rigetto orizzontale dell'orizzonte di riferimento, è opportuno mappare l'estensione della superficie di faglia con apposita simbologia.

P i e g h e - Sono gli elementi strutturali più facilmente riconoscibili nei profili sismici in quanto, in genere, sono assenti i disturbi legati alle discontinuità che si riscontrano nelle faglie. Vengono mappati gli assi delle anticlinali e sinclinali relativi alla superficie base della successione plio-Quaternaria. Qualora la struttura non interessi la suddetta base, la traccia dell'asse sarà riferita all'orizzonte piegato stratigraficamente più alto.

S o v r a s c o r r i m e n t i - Sono superfici di taglio a basso angolo spesso associate a zone d'intensa deformazione e pertanto piuttosto difficili da identificare, essendo la loro immagine sismica disturbata da numerose iperboli di diffrazione. Anche in questo caso la superficie di riferimento è la base del Plio-Quaternario. Nel caso che i sovrascorrimenti non interessino questa superficie si procede come per le faglie.

S t r u t t u r e d' i n v e r s i o n e - Nel caso sia possibile riconoscere che faglie o pieghe siano dovute a riattivazione in senso opposto di preesistenti elementi strutturali sarà opportuno riportare queste strutture sulla carta con apposita simbologia. Alla struttura sarà attribuita l'età corrispondente al momento dell'inversione.

S t r u t t u r e d i a p i r i c h e - Legate a risalita di evaporiti o argille possono essere identificate nei profili sismici anche se i limiti di queste strutture risultano spesso non ben definibili a causa delle alte pendenze dei loro fianchi.

Le aree interessate da diapirismo e, quando possibile, le singole strutture, vanno indicate nella carta con apposita simbologia.

I n t r u s i o n i m a g m a t i c h e e c o r p i s u b v u l c a n i c i - Queste strutture sono difficilmente penetrabili dall'energia sismica e possono essere identificabili sui profili come zone sorde caratterizzate dall'assenza di riflessioni.

Essendo spesso associate ad anomalie del campo magnetico, la loro interpretazione può essere corroborata dall'analisi dei dati magnetometrici.

Le strutture tettoniche riconosciute in un singolo profilo vengono poi correlate attraverso vari profili, così da definirne l'andamento in pianta.

4.3.2.- *Interpretazione sismo-stratigrafica*

Il riconoscimento delle principali discontinuità tettoniche, reso possibile dall'interpretazione strutturale, permette di individuare aree più o meno indeformate all'interno delle quali viene effettuata l'analisi sismo-stratigrafica.

Essa verte al riconoscimento delle unità sismiche ovvero di pacchi di riflessioni relativamente concordanti limitati alla base e al tetto da superfici discordanti o dalle loro corrispettive superfici

concordanti. La corretta definizione delle unità sismiche richiede quindi la individuazione delle terminazioni laterali delle riflessioni, che permette di riconoscere le superfici che demarcano i limiti delle unità sismiche. L'individuazione delle singole unità sismiche è seguita dalla ricostruzione della loro geometria tridimensionale e delle superfici che le delimitano tramite la correlazione fra i vari profili. La successiva analisi della geometria delle riflessioni e delle *facies* sismiche, sulla base della continuità e dell'ampiezza delle riflessioni, all'interno delle varie unità sismo-stratigrafiche permette di ricostruirne la storia deposizionale e di ottenere una stratigrafia relativa fra le varie unità che vengono anche caratterizzate come unità deposizionali.

Le unità deposizionali riconosciute tramite l'analisi dei profili sismici vengono poi caratterizzate in senso lito e crono-stratigrafico attraverso il loro campionamento diretto nei casi in cui affiorano sul fondo marino oppure attraverso le correlazioni con le stratigrafie di pozzo, qualora queste siano disponibili. Il quadro cronostratigrafico ricostruito consente anche di dare un'età alle strutture deformative riconosciute.

4.4. - CONTENUTI DELLA CARTA

4.4.1. - *Carta geologica principale*

Da quanto esposto in precedenza risulta che una superficie riconoscibile generalmente in tutti i diversi settori dei mari italiani è quella che coincide con il limite Messiniano-Pliocene. Il passaggio alla successione pliocenica è marcato dall'evento Messiniano che è caratterizzato da un abbassamento del livello del mare relativo e da condizioni iper-saline alla scala dell'intero Mediterraneo. Gli effetti sedimentari di questo evento, erosione subaerea e deposizione di sedimenti evaporitici, danno origine ad una superficie particolarmente ben identificabile sui profili sismici. Essa è stata individuata, studiata e correlata nella quasi totalità delle aree marine italiane. Tramite questi studi precedenti, sintetizzati nel paragrafo 4.1. è possibile identificare l'orizzonte anche in aree dove sono assenti pozzi per l'esplorazione che lo raggiungono.

Questo fattore fa della base della successione pliocenica l'orizzonte di riferimento più adatto per gli scopi della carta principale. Si propone quindi che i caratteri strutturali e morfologici da rappresentare abbiano come riferimento temporale relativo questo orizzonte.

La rappresentazione cartografica della carta principale del sottofondo marino sarà effettuata alla scala 1 : 250.000.

Nella carta principale verranno sintetizzate le seguenti informazioni:

B a t i m e t r i a - Nella carta principale saranno indicate le isobate in metri seguendo i criteri stabiliti nella parte tecnica.

I n f o r m a z i o n i l i t o - s t r a t i g r a f i c h e d i r e t t e - In certi casi sarà possibile avere informazioni dirette su rocce e sedimenti del fondo e del sottofondo.

Queste informazioni derivano dalle seguenti fonti:

Pozzi per l'esplorazione petrolifera :

Sarà indicata l'ubicazione ed il nome dei pozzi per l'esplorazione petrolifera disponibili nella zona di rilevamento, la massima profondità in metri, e l'intervallo stratigrafico raggiunto utilizzando le abbreviazioni definite nella scale di VAN EYSINGA (1978) e HARLAND *et alii*

(1989). La loro descrizione generale, ai fini stratigrafici e dell'interpretazione geologica, verrà rimandata alle note illustrative.

Dragaggi e carotaggi:

Verranno riportati sulla carta principale soltanto l'ubicazione e la sigla dei carotaggi e dei dragaggi che contengono informazioni significative per la ricostruzione litostratigrafica del sottofondo. Per i dragaggi verrà indicato il tratto corrispondente alla lunghezza dello stesso.

Unità alla base della successione plio-quaternaria

Verranno rappresentati i limiti e l'estensione delle diverse unità stratigrafiche affioranti al di sotto della superficie della base del Plio-Quaternario, indicandone l'età, seguendo le norme convenzionali internazionali per i codici di colore, (VAN EYSINGA 1987; HARLAND *et alii* 1989) e, quando possibile, la litologia attraverso un opportuno sovrassegno in accordo con quanto proposto nelle norme generali per il rilevamento della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (AA.VV., 1976), e tramite l'integrazione, quando necessario, con i simboli classici utilizzati per la descrizione dei pozzi per l'esplorazione petrolifera, ricavabile, ad esempio, da AGIP (1977).

Il rapporto stratigrafico che intercorre tra le unità affioranti al di sotto della superficie della base del Plio-Quaternario può avere carattere concordante o discordante. In carta, allo scopo di distinguere questi due casi, la rappresentazione dei limiti tra le unità sub-affioranti verrà effettuata tramite una opportuna simbologia, come ad esempio un tratto continuo per i limiti concordanti e un segno a tratteggio per quelli discordanti, da riportare in legenda.

Profondità della base della successione plio-quaternaria

L'andamento dell'orizzonte che marca la base della successione plio-quaternaria verrà rappresentato dalle isocrone (in tempi doppi) di tale superficie, rispetto al livello del mare. Come intervallo di isolinea sarà importante considerare le profondità assolute da mappare per poter opportunamente scegliere un intervallo rappresentativo (almeno ogni 0,25 sec).

Principali elementi strutturali

Gli elementi strutturali rappresentati in carta saranno quelli che interessano la superficie corrispondente alla base del Plio-Quaternario. Qualora siano identificabili strutture significative che non interessano questa superficie, ma che si posizionano al di sotto oppure al di sopra di essa, queste possono essere rappresentate con un opportuno colore applicato al relativo simbolo grafico da riportare in legenda.

Le principali strutture da rappresentare sono:

- pieghe
- assi di anticlinali
- assi di sinclinali
- faglie normali
- faglie inverse
- faglie trascorrenti
- faglie di inversione
- sovrascorrimenti
- strutture diapiriche
- intrusioni magmatiche e corpi subvulcanici

Principali elementi morfologici

Gli elementi morfologici da riportare sulla carta principale saranno quelli che interessano la base della successione plio-quadernaria. Eventuali elementi morfologici di particolare interesse riconoscibili all'interno della successione plio-quadernaria saranno riportati in una carta accessoria alla scala 1:1.000.000.

I principali elementi da rappresentare sono :

- superfici di erosione a grande scala
- assi di canali
- assi di canyon
- edifici vulcanici
- colate laviche
- scarpate morfologiche

4.4.2.- Altre carte accessorie

Un numero variabile di carte tematiche può essere rappresentato tramite l'utilizzo di riquadri alla scala 1:1.000.000 allo scopo di sintetizzare possibili sottoinsiemi di informazioni derivabili

dai dati disponibili. Dovranno essere sempre rappresentati i riquadri riferiti a (1) un inquadramento geologico regionale della carta, (2) l'ubicazione delle linee sismiche, dei pozzi e dei siti di campionatura disponibili, e (3) una mappa dello spessore della successione plio-quadernaria. Inoltre, a seconda della qualità dei dati e della natura geologica della zona oggetto della carta, verranno rappresentati con riquadri i temi e i soggetti geologici che si riterranno più opportuni e più significativi.

Inquadramento regionale della carta

In un apposito riquadro verrà riportato, alla scala opportuna, lo schema geologico regionale di un'area sufficientemente grande da garantire l'inquadramento geologico regionale della carta del sottofondo.

Ubicazione linee sismiche

Sono da riportare tutte le linee sismiche utilizzate per la compilazione della carta del sottofondo marino, differenziandole in base alle caratteristiche di acquisizione (linee monocale oppure multitraccia, e tipo di sorgente utilizzata) e alla loro provenienza (ministeriale, enti di ricerca, industria). In aggiunta verranno riportate le ubicazioni dei pozzi per l'esplorazione utilizzati e dei dragaggi e carotaggi.

Successione plio-quadernaria: spessori

Verranno cartografate le isocronopache della successione plio-quadernaria, rappresentando lo spessore in tempi doppi, fra il fondo marino e la base della successione stessa. Le isocronopache saranno rappresentate da intervalli che saranno opportunamente scelti in considerazione dello spessore assoluto da rappresentare sulla carta (almeno ogni 0,5 sec), ed ogni intervallo verrà definito da uno specifico codice in colore. In pratica, ad ogni intervallo corrisponderà una differente tonalità dello stesso colore (ad esempio il giallo); le tonalità più chiare indicheranno

gli intervalli con spessore più basso e quelle più scure gli intervalli con valori di spessore più elevato.

Successione plio-quadernaria: unità deposizionali ed elementi morfologici

In questo inserto verranno rappresentati i limiti delle principali unità deposizionali eventualmente riconoscibili nell'interno della successione plio-quadernaria indicandone estensione, età ed eventualmente anche spessori (secondi, tempi doppi).

Inoltre, verranno rappresentati gli elementi morfologici che sono riconoscibili all'interno della successione plio-quadernaria. L'età degli elementi verrà indicata con l'apposito codice di colore applicato al relativo simbolo grafico.

I principali elementi da rappresentare sono:

- superfici di erosione a grande scala
- grandi corpi di frana
- eventuali nicchie di distacco
- conoidi sottomarine
- assi di canali
- assi di *canyon*
- strutture diapiriche (di fango oppure evaporitiche)
- edifici vulcanici
- colate laviche

Carta delle anomalie gravimetriche in Aria Libera e del campo magnetico residuo

Verrà rappresentato l'andamento delle anomalie gravimetriche in Aria Libera, che nel caso di aree marine rispecchiano l'informazione gravimetrica più oggettiva. In aggiunta verrà anche rappresentato l'andamento delle anomalie del campo magnetico residuo. Queste due rappresentazioni, con isolinee spaziate in maniera opportuna, forniscono informazioni sulla struttura crostale della zona in esame. I dati da utilizzarsi per la compilazione di questo inserto sono desumibili dalla letteratura. Qualora esistano specifici rilievi di dettaglio nell'area, essi andranno evidenziati nell'inserto.

Flusso di calore, sismicità e isobate della Moho

In questa carta verranno rappresentate le isolinee relative al flusso di calore ed allo spessore crostale nell'area oggetto della carta. Verranno inoltre rappresentati gli epicentri dei terremoti registrati nell'area. Le informazioni da rappresentare saranno desumibili dalla letteratura e, per la sismicità, dal catalogo pubblico gestito dall'Istituto Nazionale di Geofisica.

4.4.3.- Sezioni geologiche

La funzione delle sezioni geologiche è quella di fornire uno spaccato dell'assetto stratigrafico-strutturale dell'area oggetto della cartografia e di illustrarne eventuali variazioni laterali. In situazioni relativamente uniformi una sola sezione può essere sufficiente allo scopo; in casi più complessi, con marcate variazioni laterali, è opportuno aumentare il numero delle sezioni fino a un massimo di quattro. L'ubicazione e l'orientamento delle sezioni vanno scelti tenendo

conto della direzione delle strutture e della presenza di pozzi per esplorazione. Nel caso una sola sezione sia sufficiente questa deve essere perpendicolare alla direzione delle strutture (sezione trasversale). Quando, invece, le strutture presentino marcate variazioni laterali il numero delle sezioni trasversali va aumentato fino a un massimo di tre, riservandosi una quarta sezione perpendicolare alle precedenti (sezione longitudinale) avente funzione di raccordo. Le sezioni geologiche vanno costruite utilizzando i profili sismici a riflessione, possibilmente multicanale, integrati con i dati stratigrafici derivanti dai pozzi per esplorazione. E' opportuno, per ragioni di oggettività, che l'interpretazione dei profili sismici sia il più possibile conservativa. In quest'ottica, si ritiene che la rappresentazione della sezione geologica con l'asse verticale in tempi doppi, come desunti dal profilo, sia la scelta più conveniente. Qualora siano disponibili sezioni sismiche migrate in profondità o numerosi pozzi con indicazioni dei valori di velocità relativi alle unità incontrate, è possibile costruire la sezione in profondità, indicando comunque le velocità utilizzate per la conversione. Nella sezione vanno rappresentati i principali elementi tettonici, le unità riconosciute, i loro limiti e la geometria delle riflessioni all'interno delle unità stesse. Vanno inoltre riportate le ubicazioni di eventuali pozzi posti nelle vicinanze della sezione. Qualora alle unità sismiche riconosciute siano attribuibili età e litologie definite, queste vanno indicate con apposita simbologia (vedi rapporti stratigrafici). Per quanto riguarda la rappresentazione grafica delle sezioni è opportuno usare una scala orizzontale che sia conforme a quella della carta principale. Per la dimensione verticale va scelta, a seconda dei casi, una scala che consenta una buona resa grafica delle situazioni descritte.

4.4.4.- *Schema dei rapporti stratigrafici*

I rapporti stratigrafici fra le unità identificate possono venire rappresentati con una colonna, che può essere una reale stratigrafia di pozzo o una stratigrafia composita derivata da più pozzi, oppure con uno schema stratigrafico che illustri i rapporti laterali, derivati dalla stratigrafia dei pozzi e dalle geometrie osservate nei profili sismici. Vanno enfatizzate la presenza di discontinuità principali, la litologia, gli ambienti deposizionali (se possibile) e l'eventuale nome formazionale. La suddivisione cronostatigrafica deve seguire una scala di riferimento, che andrà indicata (possibilmente scelta a cura del Servizio Geologico d'Italia), il più aggiornata possibile. Vanno rappresentati gli intervalli cronostatigrafici, con le relative datazioni in milioni di anni, fino alla suddivisione dell'Età, qualora tale dettaglio sia possibile o utile. Il dettaglio della suddivisione cronostatigrafica è solitamente applicabile alle porzioni superiori, più recenti, della successione sedimentaria. La scelta dei colori relativi alle unità cronostatigrafiche seguirà il codice definito nella carta cronostatigrafica di riferimento (VAN EYSING, 1978; HARLAND, 1979). Per rappresentare le litologie viene utilizzata la simbologia apposita da sovrapporsi al colore come già illustrato nel paragrafo 4.4.1..

5. - STRUTTURA GRAFICA DELLE DUE CARTE

La carta principale alla scala 1:250.000 sarà posizionata al centro del foglio e la parte iconografica accessoria e variabile sarà rappresentata a fianco e sotto la carta principale stessa. Gli elementi rappresentati a fianco della carta principale configureranno due cartigli verticali.

Un esempio grafico di tale rappresentazione è stato realizzato nel foglio Ravenna.

Dimensioni della carta

Le dimensioni della carta devono rispettare quanto stabilito nel Quaderno serie III n. 2 del SGN "Guida alla rappresentazione cartografica". In particolare la dimensione massima in altezza è di tre dimensioni verticali del formato A5 (cm 63); la larghezza è variabile in funzione delle dimensioni della carta principale e delle informazioni accessorie alla carta stessa (carte tematiche accessorie, sezioni geologiche, schemi stratigrafici, tabelle, fotografie, testi, etc.)

Titolo della carta

Sarà posizionato in alto destra, secondo la denominazione del foglio individuata dal SGN e la numerazione JOG (esempio RAVENNA NL-33-10 - Carta superficiale o Carta del sottofondo marino). Vicino al titolo dovranno essere riportati i nomi degli autori e gli enti di appartenenza.

Carta principale

Sarà circondata da una cornice singola a distanza di circa 1,5 cm dal rettangolo che la delimita. Il riferimento N è costituito dal reticolo UTM.

Il reticolo geografico sarà rappresentato, in colore nero, dai meridiani e paralleli tracciati a linea continua in corrispondenza dei valori di latitudine e longitudine ogni 10' e paralleli alle trasformate del reticolo geografico di bordo, secondo l'angolo di convergenza del meridiano. Verranno inoltre riportati con crocifili in colore azzurro i riferimenti del reticolato UTM ogni 20km. Il valore corrispondente ai meridiani e paralleli verrà rappresentato a valore intero nella forma gradi sessagesimali (N,S,E,W) ai vertici della carta e sul meridiano centrale; i valori intermedi saranno rappresentati a multipli di 10'.

Il valore del reticolato UTM sarà rappresentato ai bordi della carta alle intersezioni del reticolo UTM con il reticolo geografico (in metri con unità, decine e centinaia scritte ad apice a carattere di dimensioni inferiori); i numeri dovranno essere ortogonali alle trasformate dei meridiani e dei paralleli, secondo l'angolo di convergenza del meridiano.

La scala andrà riportata con due scalimetri sotto il bordo inferiore della carta: (1) a multipli di 5 km (lunghezza corrispondente a 25 km) e (2) a multipli di 5 miglia nautiche (lunghezza corrispondente a 10 mn).

Lungo la cornice della carta andrà riportata a caratteri stampatello grandi la dicitura "NON VALIDA PER LA NAVIGAZIONE".

I dati batimetrici saranno riportati su entrambe le carte principali del foglio in forma di curve di livello, a cura dell'Istituto Idrografico della Marina.

La densità di disegno di tali curve sarà funzione della pendenza del fondale e delle particolarità morfologiche che si intende evidenziare.

La quantità dei dati batimetrici originali dovrà comunque essere tale da permettere una corretta individuazione della linea batimetrica.

Le isobate saranno rappresentate in colore azzurro almeno ogni 10 m fino a 200 m di profondità ed almeno ogni 100 m oltre i 200 m.

Le isobate dei 50, 100, 200, 500, 1000, 1500, 2000, etc. saranno rappresentate con tratto più marcato.

I valori delle isobate saranno inseriti, come per le carte nautiche, interrompendo le stesse, in numero sufficiente da poterle individuare chiaramente.

Ove le isobate risultino troppo ravvicinate, ne verranno eliminate alcune, evitando di eliminare quelle a tratto più marcato. Nelle aree dove le isobate risultassero troppo diradate (es. in alto

Adriatico) si inseriranno isobate intermedie facendone precisa annotazione nella relazione tecnica. Verrà inoltre riportata la linea di costa pubblicata sulle carte nautiche a scala 1:100.000 dell'IIM, nell'orientamento ED50. Nei casi in cui tale linea di costa non fosse ritenuta valida, a causa di variazioni morfologiche importanti (es. zone di delta fluviali, etc.) si dovrà valutare l'utilizzo di cartografia disponibile più recente. Fra i vari possibili Enti fornitori ricordiamo l'IGMI, gli Enti Regionali, le Compagnie di Aerofotogrammetria e Restituzione. Si riporterà la toponomastica marina e costiera che riguarda solamente gli elementi principali e più significativi.

Elementi illustrativi accessori obbligatori

Andranno riportati i seguenti dati e mappe:

- coordinate UTM dei vertici negli orientamenti ED50, WGS84, M.Mario
- convergenza del meridiano e scostamenti in secondi di latitudine e longitudine verso gli orientamenti WGS84 e M.Mario ai vertici e a centro mappa
- mappa di inquadramento del foglio con i fogli circostanti: scala 1:7.500.000, proiezione UTM, riporterà i nomi JOG dei fogli
- reticolati UTM e geografico: scala 1:2.500.000, proiezione UTM
- nome della carta, scala, orientamento, proiezione
- eventuali altre indicazioni aggiuntive.

Nella parte illustrativa accessoria, sull'esempio delle carte al 250.000 del BGS, potranno essere riportati vari elaborati grafici che hanno lo scopo di incrementare e completare le informazioni geologiche dell'area in esame fornite dalla carta principale, costituendone un ulteriore corredo illustrativo. Il contenuto, la composizione e l'impaginazione di questa parte accessoria potranno variare da carta a carta secondo le caratteristiche geologiche dell'area e le informazioni e/o il materiale iconografico disponibili. Sarà compito degli autori decidere in merito, in accordo con il SGN. Elenchiamo qui di seguito alcuni tipici elaborati che potranno rientrare in questa parte.

Carte accessorie

Queste carte sono state elencate e descritte nei paragrafi relativi alla Carta superficiale ed alla carta del sottofondo. Normalmente la scala sarà 1:1.000.000 o 1:2.500.000 e la proiezione UTM. Il taglio è quello dei limiti della carta principale oppure +/- 1 longitudine, +/- 0,5 latitudine. Il riferimento N è costituito dal reticolo UTM. Il reticolo geografico verrà rappresentato in colore nero dai meridiani e paralleli tracciati ogni 30' di latitudine e longitudine, con i valori di meridiani e paralleli rappresentati a valore intero nella forma gradi sessagesimali (N,S,E,W).

Sarà d'obbligo rappresentare con questo tipo di carte:

a) *nella carta superficiale:*

l'ubicazione dei profili sismici o di altro tipo utilizzati per il rilievo geologico dell'area;
l'ubicazione dei campioni, qualora non siano riportati sulla carta principale;

b) *nella carta del sottofondo:*

l'ubicazione delle linee sismiche distinte in mono e multicanale;
l'inquadramento geologico regionale schematico dell'area in esame;
le anomalie gravimetriche in aria libera e quelle del campo magnetico residuo.
Di norma gli elementi illustrativi accessori e le carte accessorie saranno riportati nei due cartigli posti a fianco della carta principale.

Sezioni geologiche

Nella carta del sottofondo marino se ne potranno riportare fino ad un massimo di quattro (tre perpendicolari alle strutture geologiche ed una longitudinale) in funzione della complessità strutturale dell'area. Di norma esse saranno rappresentate al di sotto della carta principale.

Altri elaborati

Line-drawings, schemi stratigrafici, pozzi di perforazione e carotaggi, rappresentazioni 3D e *Shaded Relief*, immagini del fondo marino in ecografia laterale (*Side Scan Sonar*), fotografie e disegni di vario tipo, legende, note esplicative anche con bibliografia, etc.

Questi elaborati potranno essere inseriti negli spazi disponibili sia nei due cartigli laterali che nello spazio sottostante la carta principale.

5.1. - SIMBOLOGIA

Nei paragrafi relativi alla carta geologica superficiale ed a quella del sottofondo sono state date indicazioni sia di colori che di simboli per la rappresentazione delle unità stratigrafiche (formali od informali), dei principali ambienti deposizionali (carta superficiale) o delle principali litologie (carta del sottofondo). Per quanto riguarda altre simbologie si propone, allo stato attuale delle cose, di fare riferimento a quelle proposte dal SGN in: Carta Geologica d'Italia - 1:50.000 - Guida al Rilevamento e in Carta Geomorfologica d'Italia - 1:50.000 - Guida al Rilevamento (SGN, 1992 e 1994).

6.- METODOLOGIE DI ACQUISIZIONE E DI ELABORAZIONE DATI

In questa parte verranno presentate le metodologie inerenti all'acquisizione ed all'elaborazione di dati geomarini. Dopo una presentazione dei dati disponibili in letteratura, che possono essere inseriti nei fogli 1:250.000, si passa all'esposizione delle norme da seguire per l'acquisizione dei dati in mare e all'illustrazione delle metodologie da usare per la loro successiva elaborazione in tutte le fasi fino alla redazione finale.

6.1.- DATI PREGRESSI

Per quanto riguarda i dati geofisici e geologici, in linea di principio andranno pubblicati sulla carta i migliori dati esistenti in bibliografia. Questo sarà valido per i dati di batimetria, magnetometria, gravimetria, pozzi profondi e geognostici, cataloghi di terremoti, linee sismiche ministeriali, etc.. Una buona parte di tali dati si rende disponibile in forma digitale oltre che cartacea, come ad esempio i dati dell'*International Bathymetric Chart of the Mediterranean* (IBCM, 1981) alla scala 1:1.000.000. E' tuttavia auspicabile che durante i rilievi di sismica e di batimetria vengano acquisite anche linee magnetiche e gravimetriche, soprattutto per avere coperture ottimali, dati di maggiore risoluzione e buon posizionamento. Per la magnetometria, ad esempio, potranno essere utilizzati i dati IBCM e del Rilievo Aereomagnetico AGIP.

Per la gravimetria sono disponibili i dati IBCM-G (1989). Inoltre, a partire dal 1994, possono essere utilizzati i rilievi ad alta ed altissima risoluzione dei satelliti geodetici GEOSAT ed ERS-1, che forniscono misure del geoide oceanico, da cui è possibile ricavare le anomalie gravimetriche in Aria Libera. Con tali metodologie, ad esempio, sono già disponibili griglie regolari (SANDWELL & YALE, 1994), da cui si possono ottenere dati utili ad inquadramenti regionali. In tali griglie i dati hanno un passo di campionamento ogni circa 3-4 km. Nel prossimo futuro si potranno utilizzare i rilievi del satellite ERS-2 a passo di campionamento anche inferiore. Si possono vedere esempi per i mari circostanti l'Italia (fig.25) e per il Tirreno (fig.26), in cui è presentata anche una elaborazione dei dati batimetrici IBCM.

6.2 - NORME PER L'ACQUISIZIONE DEI DATI IN MARE

P o s i z i o n a m e n t o

Il dato di posizionamento (coordinate geografiche, latitudine e longitudine, o metriche, Est e Nord) deve avere una precisione di almeno 20-30 m RMS nel caso di batimetrie, ecografie laterali, linee sismiche monocanale, gravimetriche, magnetiche e campionature del fondo e sottofondo marino.

Il passo di campionamento durante i rilievi geofisici dovrà essere in relazione alla velocità del mezzo e, comunque, non inferiore a 500 m.

Nel caso di sismica multicanale dovrà essere acquisita la posizione ad ogni scoppio. Al dato di posizionamento andrà assegnato contemporaneamente il dato temporale (data e ora GMT, nel formato hh:mm:ss). Si suggerisce vivamente, nel caso di acquisizione digitale di posizionamento GPS la memorizzazione della costellazione di satelliti (ciò favorisce il filtraggio ottimale del posizionamento). Nel caso di acquisizione in coordinate metriche nella rappresentazione di Gauss dovrà essere riportato il meridiano centrale e i falsi Est e Nord, oppure il fuso nel caso di rappresentazione UTM.

Nel caso di linee sismiche multicanale dovrà essere garantita una precisione superiore a quella dell'intervallo di sparo oppure un sistema di filtraggio dei dati di velocità in grado di rimuovere oscillazioni superiori a 0,1-0,2 m/sec. Durante l'acquisizione si consiglia l'uso di sistemi primari e secondari di posizionamento, al fine di una ottimizzazione del rilievo. L'uso di strumenti primari a precisione inferiore sarà possibile a patto di avere comunque alcuni dati contemporanei con un sistema a precisione maggiore. Questo per consentire una correzione del dato in sede di edizione delle carte di lavoro. I dati di navigazione finali andranno editati e filtrati delle acquisizioni spurie.

B a t i m e t r i a

Nel caso venga effettuato un nuovo rilievo batimetrico, si consiglia la acquisizione digitale dei dati, con una densità di almeno un punto ogni 250 m. E' comunque obbligatoria l'acquisizione analogica su carta. Si consiglia di utilizzare per i rilievi il valore della velocità del suono in acqua di 1500 m/sec. Qualora si evidenziasse durante il rilievo una situazione anomala, in grado di influire sulla accuratezza del dato in maniera rilevante (ad esempio in aree deltizie in condizioni di forti piene e forti sbalzi di temperatura) si effettueranno misure di CTD, al fine di poter applicare le correzioni di profondità. Ciò è particolarmente importante quando si vogliano utilizzare dati provenienti da rilievi effettuati in tempi diversi. E' comunque sempre raccomandabile l'acquisizione di calate CTD. Nel caso di acquisizione o disponibilità di batimetrie con scandagli

lateral *multibeam*, devono essere rispettate le norme per il rilievo a fascio singolo, in particolare per quanto riguarda le correzioni di marea e velocità del suono. E' altamente raccomandabile l'utilizzo di sistemi di posizionamento di precisione, oltre a misure quotidiane di CTD. Il rilievo deve essere tale da garantire coperture uniformi se non del foglio, almeno di aree ritenute morfologicamente importanti ed omogenee. Tali aree potranno essere anche rappresentate in dettaglio su carte tematiche accessorie. La correzione dei dati dovrà essere tale da garantire la eliminazione di artefatti strumentali.

S i s m i c a a r i f l e s s i o n e

L'acquisizione delle linee sismiche dovrà essere curata in maniera da ottenere sempre una buona sezione analogica, anche se i dati fossero registrati in modo digitale.

Ciò permette un buon controllo della acquisizione e la garanzia di avere una registrazione su carta utilizzabile in seguito. Questo implica la corretta scelta dei parametri di filtraggio ed amplificazione relativi alla sorgente in uso e della geometria sorgente-ricevitore. E' raccomandabile, ma non indispensabile, la registrazione digitale nel caso di rilievi monocanale.

Sulle registrazioni analogiche deve essere riportato in maniera chiara il riferimento temporale almeno ogni 500 m. Nel caso di linee brevi il riferimento temporale dovrà essere più frequente. Nel caso di rilievi multicanale deve essere riportata su un *log* manuale o automatico la sequenza di scoppi non registrati o non avvenuti.

R i l i e v i s u p e r f i c i a l i

L'acquisizione delle linee dovrà essere effettuata con la seguente configurazione minima; s e m o n o c a n a l e:

- sorgente *uniboom* o *chirp-sonar* o *SBP* per rilievi ad altissima risoluzione
- sorgente *mini-sparker* o *bubble-pulser* o *water-gun* per rilievi ad alta risoluzione.
- cavo ad alta frequenza, distanza massima degli idrofoni 1 m
- passo di campionamento almeno 125 microsec per altissima risoluzione, 250 msec per alta risoluzione
- se disponibile, registrazione su nastro magnetico in formato SEG-D o SEG-Y
- buon rapporto segnale/rumore sulle sezioni (rumore significativamente inferiore al segnale sismico)
- profondità sorgente 0,5 m per rilievi ad altissima risoluzione e 1-1,5 m per rilievi ad alta risoluzione
- profondità cavo di ricezione fra 0,5 e 1 m, fuori dal tappeto di bolle creato dalla propulsione dell' elica;

s e m u l t i c a n a l e:

- copertura del rilievo almeno 6
- registrazione su disco o nastro del posizionamento e della profondità acqua di ogni singolo *shot-point*
- controllore di profondità ogni 100 m
- intertracce 3.125, 6.25, 12.5.

R i l i e v i p r o f o n d i

L' acquisizione delle linee dovrà essere effettuata con la seguente configurazione minima:

- sorgente *sparker* (almeno 20 KJ) o *air-gun* o *water-gun* (almeno 2,5 lt a pressione 140 bar)
- cavo con intertraccia 25-50 m

- buon rapporto segnale/rumore sulle sezioni (rumore significativamente inferiore al segnale sismico)
 - profondità sorgente 6 m
 - profondità cavo di ricezione fra 6 e 12 m, al di sotto del tappeto di bolle creato dalla propulsione dell'elica.
 - passo di campionamento almeno 1 msec;
- se multicanale:*
- cavo di almeno 24 canali con intertraccia 25 o 50 m
 - copertura del rilievo almeno 6
 - registrazione su nastro magnetico in formato SEG-D o SEG-Y.
 - registrazione su disco o nastro del posizionamento e della profondità acqua di ogni singolo *shot-point*
 - controllore di profondità almeno ogni 200 m

Side scan sonar

Gli strumenti *side scan sonar* moderni hanno generalmente un'uscita grafica con correzioni di range e velocità. E' indispensabile che in questo caso venga fornita allo strumento una buona stima della velocità della nave, al fine di ottenere immagini non distorte e permettere la composizione di mosaici realistici. E' altamente raccomandabile la registrazione magnetica dei dati. Nel caso di lavori in acque profonde dovrà essere registrata con sistemi di posizionamento acustico la profondità del sensore.

Magnetometria

Il sensore vicino dovrà essere trainato ad almeno 3 volte la lunghezza della nave (nel caso di scafi in ferro). Nel caso di scafi in legno la distanza può essere inferiore.

Dovrà inoltre essere fatto un test di variazione del dato in relazione alla rotta di acquisizione, mediante percorsi su rotte a settori di 45 gradi, in zone di campo regionale piatto.

La georeferenziazione dovrà tenere conto della distanza del sensore dalla nave, o con azimuth-distanza oppure riportando la posizione del sensore.

Nel caso di acquisizione con gradiometro dovranno essere riportate le geometrie dei sensori.

Campionature di fondo

Per quanto riguarda l'acquisizione dei dati di campionatura si ritiene che sia preferibile ubicare i punti di carotaggio sui profili sismici cercando di raggiungere tutte le principali unità che si vogliono rappresentare in carta, caratterizzarne le *facies* e definirne le età relative e, ove possibile, quelle assolute. Campionature distribuite in modo "statistico" su un margine sono da considerarsi sorpassate date le conoscenze preliminari disponibili, dispendiose in termini di tempo (sia tempo nave che in laboratorio) e dispersive dal punto di vista dell'interpretazione e rappresentazione stratigrafica. In base a quanto detto potrà darsi il caso che in una data zona la copertura di carotaggi appaia fortemente disomogenea dal punto di vista della copertura areale, ma soddisfi l'esigenza di una più completa copertura stratigrafica.

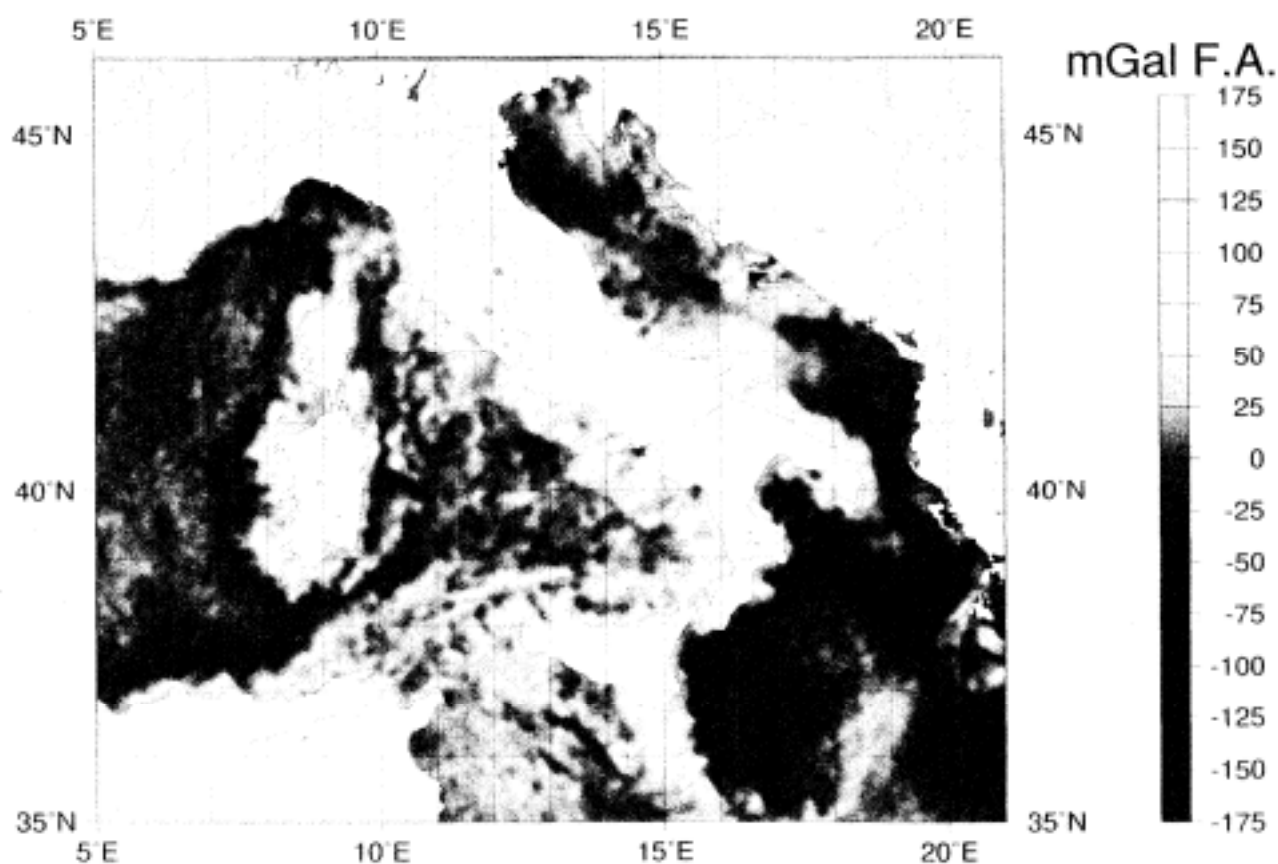


Fig. 25 – Anomalie di gravità in aria libera. Dati da satellite (SANDWELL & YALE, 1994) mari italiani
Elaborazione con GMT (WESSEL & SMITH, 1995).

Tra le tecniche di campionatura correnti sarà necessario scegliere quelle più opportune in funzione della natura dei sedimenti che si vogliono attraversare. In generale si raccomanda di utilizzare specificatamente, *carotieri a gravità* (a caduta libera, con o senza leva di sgancio) per ottenere una informazione di carattere preliminare circa i sedimenti dell'immediato sottofondo; questa tecnica è di utilizzo estremamente semplice ma non garantisce la conservazione del top della carota.

Sistemi di carotaggio più sofisticati potranno essere utilizzati per ottenere maggiori recuperi e quindi migliori informazioni da riportare sui profili sismici ad alta risoluzione:

- *carotieri a pistone* saranno in particolare utilizzati per migliorare i recuperi entro successioni di sedimenti fini; questi carotieri possono essere equipaggiati con tubi lunghi 12-18 metri avendo a disposizione una nave opportunamente configurata;
- *carotieri a vibrazione* che permettono recuperi da 3 fino a 6-9 metri (a seconda della configurazione) sono ideali per litologie più grossolane e offrono recuperi massimi in presenza di alternanze sabbia argilla. Questo tipo di carotiere però non è utilizzabile al di sotto dei 150-200 m; inoltre la profondità di impiego può essere sensibilmente ridotta a causa della necessità di effettuare ancoraggi a due ancore (che richiedono molto tempo e che in genere non si effettuano su

alti fondali). Per queste ragioni i *carotieri a vibrazione* sono utilizzabili principalmente nelle parti interne delle piattaforme continentali.

Altri metodi di campionatura sono rappresentati da *box-corers* e benne, che possono essere utilizzati, ove considerato necessario, durante fasi preliminari di lavoro; comunque dati gli scopi della carta geologica superficiale (definire e cartografare corpi deposizionali tridimensionali in base alle *facies* e alla posizione stratigrafica relativa) non vanno inseriti e rappresentati nei prodotti cartografici finali.

Dragaggi e carotaggi a gravità sono utilizzati per definire età e litologia di affioramenti rocciosi sedimentari, metamorfici o magmatici (esempio Monti Centrali Tirrenici); se necessario saranno ubicati sulla carta geologica del sottofondo.

6.3. - NORME PER L'ELABORAZIONE DEI DATI

Viene presentata di seguito una panoramica delle procedure di elaborazione automatica dei dati. Alcune delle procedure di elaborazione presentate richiedono l'acquisizione digitale (in particolare il filtraggio dei dati di posizionamento con Kalman e la elaborazione sismica). Altre possono essere utilizzate dopo digitalizzazione di carte di lavoro. Si raccomanda, tuttavia, la acquisizione digitale dei dati. Ciò al fine di massimizzare il profitto durante la campagna di acquisizione in mare, che, notoriamente, incide per una quota rilevante dei costi.

Inoltre l'acquisizione digitale, almeno in teoria, dovrebbe limitare le possibilità di errori dovuti a trascrizioni, perdita di log di campagna, etc.

P o s i z i o n a m e n t o

Il dato di posizionamento è condizionato da errori più o meno rilevanti, che possono essere causati da:

- a) assenza del sistema oppure problemi ai sistemi di acquisizione
- b) problemi di geometrie (nel caso GPS, con pochi satelliti in vista; nel caso di *Range-Range*, in vicinanza di una delle congiungenti le stazioni generatrici)
- c) problemi di propagazione (nel caso di *Range-Range* e LORAN)
- d) problemi di cambio di costellazione GPS.

Nel caso a) è necessario interpolare i dati mancanti a partire dalle ultime acquisizioni buone; nel caso b) è necessario utilizzare gli eventuali sistemi secondari. In tutti i casi (particolarmente in presenza di c) e d) è necessario eliminare i dati spuri e non congrui con l'andamento generale delle linee acquisite (ad esempio differenziali di latitudine e longitudine, o Nord e Est, molto maggiori della distanza percorsa dal mezzo fra due intervalli di acquisizione, etc.).

Si suggeriscono algoritmi di media mobile e filtri statistici di Kalman.

Dal lavoro di GENRICH & MINSTER (1991), e con migliorie IGM, è stata sviluppata una procedura che implementa un filtro di Kalman ottimizzato per l'ambiente GPS, che tiene conto sia del dato di posizionamento e velocità che della costellazione di satelliti GPS utilizzati per il calcolo del punto. Il filtro produce ottime stime della posizione, eliminando completamente gli errori associati al GPS soprattutto in corrispondenza del cambio costellazione, producendo inoltre valide stime di velocità e rotta (molto importante per esempio per calcolare la correzione di Eotvos per misure gravimetriche da nave).

RILEVAMENTO

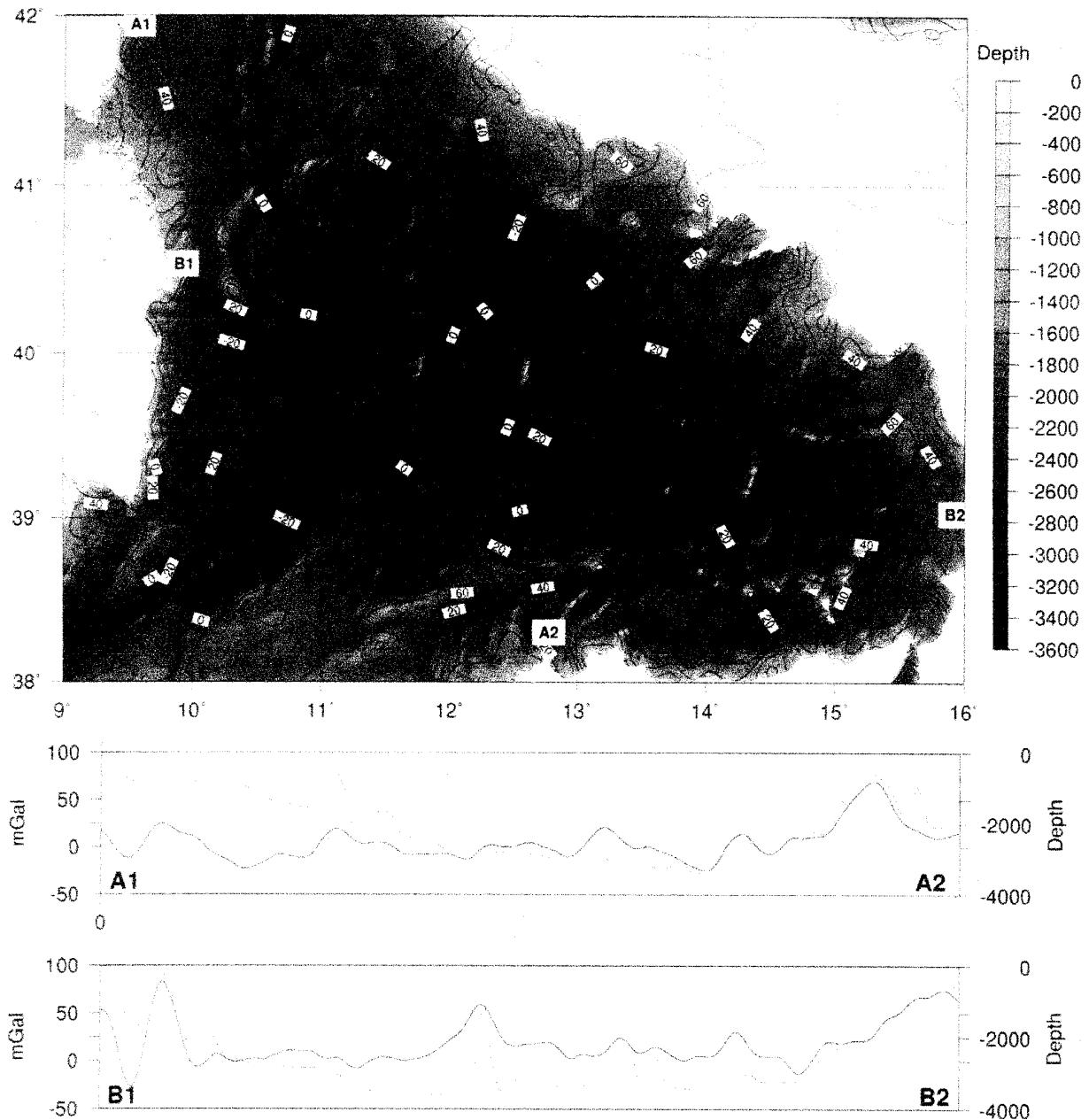


Fig. 26 – Anomalie di gravità in aria libera. Dati da satellite Mar Tirreno (SANDWELL & YALE, 1994). E' visibile inoltre la rappresentazione a sfumo della batimetria. I grafici sottostanti mostrano il profilo dei dati batimetrici (linee sottili) e gravimetrici lungo due transetti significativi. Elaborazione con GMT (WESSEL & SMITH, 1995).

Nella fig. 27 A si può vedere la correzione di una linea acquisita nel 1992, senza la costellazione di satelliti registrata. Risultati più soddisfacenti si possono ottenere con la costellazione di satelliti (fig. 27 B, campagna del 1994), quando sono presenti tutte le variabili che interessano il vettore di stato del filtro.

Batimetria

I dati acquisiti in maniera digitale dovranno sottostare ad un controllo di qualità che elimini dati spuri o inattendibili oppure zeri strumentali. Tale controllo dovrà essere fatto utilizzando i tracciati su carta. Inoltre, dovrà essere applicata la correzione stagionale e areale secondo le tavole edite dall'IIM (IIM, 1969). E' auspicabile applicare la correzione di marea, secondo le tavole annuali di previsione edite dall'IIM. Tale correzione andrà applicata solo per le aree costiere con profondità inferiore a 50 m.

I dati acquisiti saranno riportati allo zero del mareografo ufficiale più vicino alla zona di lavoro.

La correzione del dato batimetrico presuppone un buon controllo del dato di navigazione e tiene conto essenzialmente di :

- a) errori dovuti a problemi del sensore o del sistema di acquisizione
- b) variazioni dovute alle curve stagionali di salinità e temperatura che influenzano la velocità del suono in acqua
- c) variazioni dovute alla marea in zone costiere

Le correzioni a) consistono in filtraggi di media mobile sulla serie acquisita. Le correzioni b) possono effettuarsi, nei mari circostanti il territorio Italiano, utilizzando le Tavole edite dall'IIM. Le correzioni c) possono effettuarsi utilizzando le Tavole di Previsione Marea edite dall'IIM. Per quanto riguarda i sistemi *multibeam* le correzioni possono essere molto problematiche, specialmente nel caso di dati acquisiti in condizioni di mare cattive.

S i s m i c a a r i f l e s s i o n e

D a t i m o n o c a n a l e - Qualora le linee monocanale fossero acquisite in maniera digitale, le sezioni andranno filtrate e possibilmente deconvolute.

D a t i m u l t i c a n a l e -. Come *pre-elaborazione*, qualora i dati fossero stati registrati in modo *multiplex*, è necessario trasporre la matrice dati dai nastri di campagna in modo che essa si possa leggere come singole tracce a differenti *offsets* con un punto di scoppio comune. Segue la fase di edizione delle singole tracce, per eliminare o correggere dati rumorosi, a frequenze singole, a polarità invertita. Si applica quindi una funzione di ricovero del guadagno (per correggere la divergenza sferica e la perdita per attenuazione). Qualora il dato fosse molto rumoroso, si può applicare un filtro passa banda per ridurre il rumore ai limiti estremi dello spettro. Infine, si incorpora nei dati la geometria dell'acquisizione.

La procedura di deconvoluzione più usata è quella predittiva, con finestra di predizione (*lag* o *gap*) uguale al primo o secondo attraversamento a zero della funzione di autocorrelazione. Dal momento che la deconvoluzione riduce il segnale ad un singolo impulso, lo spettro del segnale deconvoluto si allarga e le tracce hanno un contenuto maggiore di alte frequenze, e può essere necessario applicare un filtro passa banda e un processo di equalizzazione in ampiezza delle tracce, al fine di portarle ad un unico livello medio, prima di ulteriori elaborazioni.

C M P s o r t i n g - L'acquisizione sismica a copertura multipla viene generalmente fatta in coordinate *shot-receiver*, mentre l'elaborazione richiede coordinate *mid-point-offset*. Dopo la fase iniziale di pre-elaborazione e deconvoluzione, i dati sono trasformati da coordinate *shot-receiver* a coordinate *mid-point-offset* tramite la operazione di *CMP-sorting*.

Ad ogni singola traccia viene assegnata una coordinata spaziale pari alla mezzeria delle diverse posizioni sorgente-ricevitore associate a quella traccia. Le tracce con le stesse coordinate vengono quindi ordinate e raggruppate assieme (*CMP-gather*).

Analisi di velocità-NMO-Stacking - Oltre ad aumentare il rapporto S/N, la copertura pluritraccia permette di ottenere informazioni sulla velocità delle onde sismiche nel sottosuolo. L'analisi viene fatta su insiemi o su singole famiglie di CMP ad intervalli significativi lungo la linea e fornisce una tabella di numeri funzione della velocità verso il Tempo Doppio (*Two Way Travel Time*, TWT) a zero *offset* (spettro di velocità). Tali numeri sono in una certa misura rappresentativi della coerenza del segnale lungo le traiettorie iperboliche, che sono governate dalla velocità, dall'*offset* e dal tempo di viaggio. Sulla base dei picchi di massima coerenza vengono scelte coppie di tempo-velocità, che, interpolate spazialmente, forniscono una funzione di velocità per ciascuna famiglia di CMP studiata. In accordo a tali funzioni di velocità si applica alle famiglie di CMP la correzione di *Normal Move Out* (NMO), che rimuove le differenze nei tempi di percorso riportando a medesimi orizzonti le riflessioni comuni raccolte dai singoli canali a tempi diversi. Poiché dopo tale correzione il contenuto di frequenza è spostato verso la parte bassa dello spettro, con una distorsione che aumenta a tempi piccoli e alti *offsets*, si può eventualmente ricorrere alla eliminazione (*muting*) di tale zona distorta. Infine, uno *stack* di CMP è ottenuto sommando le tracce lungo l'asse degli *offsets*.

Elaborazioni Poststack - La deconvoluzione predittiva è in grado, in alcuni casi, di eliminare riverberazioni o multiple di corto periodo e produce anche un ulteriore appiattimento (*whitening*) dello spettro. Qualora fossero presenti bande di frequenza rumorose si utilizza un filtro passa-banda tempo-variante. Quindi, per esaltare riflessioni deboli, o per migliorare la presentazione dei dati, si applica una funzione di guadagno (AGC, TVG).

Migrazione - In aree geologicamente complesse è opportuno migrare la sezione *stack*.

Magnetometria e Gravimetria

I dati di magnetometria acquisiti con un singolo sensore dovranno essere filtrati dalle variazioni giorno-notte e da eventuali tempeste magnetiche.

Ai dati si applicheranno le correzioni di campo regionale con la formula IGRF-80 (vedi Appendice 6B).

Carte di lavoro

Le carte di lavoro o di rilevamento in mare avranno le seguenti caratteristiche:

- Scala 1:100.000
- Proiezione di Mercatore Diretta sul Parallelo di Centro Carta
- Orientamento ED50
- Taglio variabile a copertura dell'area o del rilievo

L'orientamento dei fogli di lavoro può essere anche diverso da ED50 (esempio Gauss-Boaga o WGS84). Si consiglia di utilizzare lo stesso orientamento per ogni foglio, al fine di uniformità e sovrapponibilità.

E' comunque obbligatorio riportare il rilievo all'orientamento ED50 per la consegna al SGN.

Digitalizzazione degli elaborati e di dati pregressi

L'acquisizione di dati da mappe in proiezione può essere effettuata tramite sistemi di scansione e vettorizzazione automatici oppure mediante tavolo digitalizzatore per punti. In entrambi i casi si dovrà fare attenzione all'orientamento cartografico ed alla proiezione delle

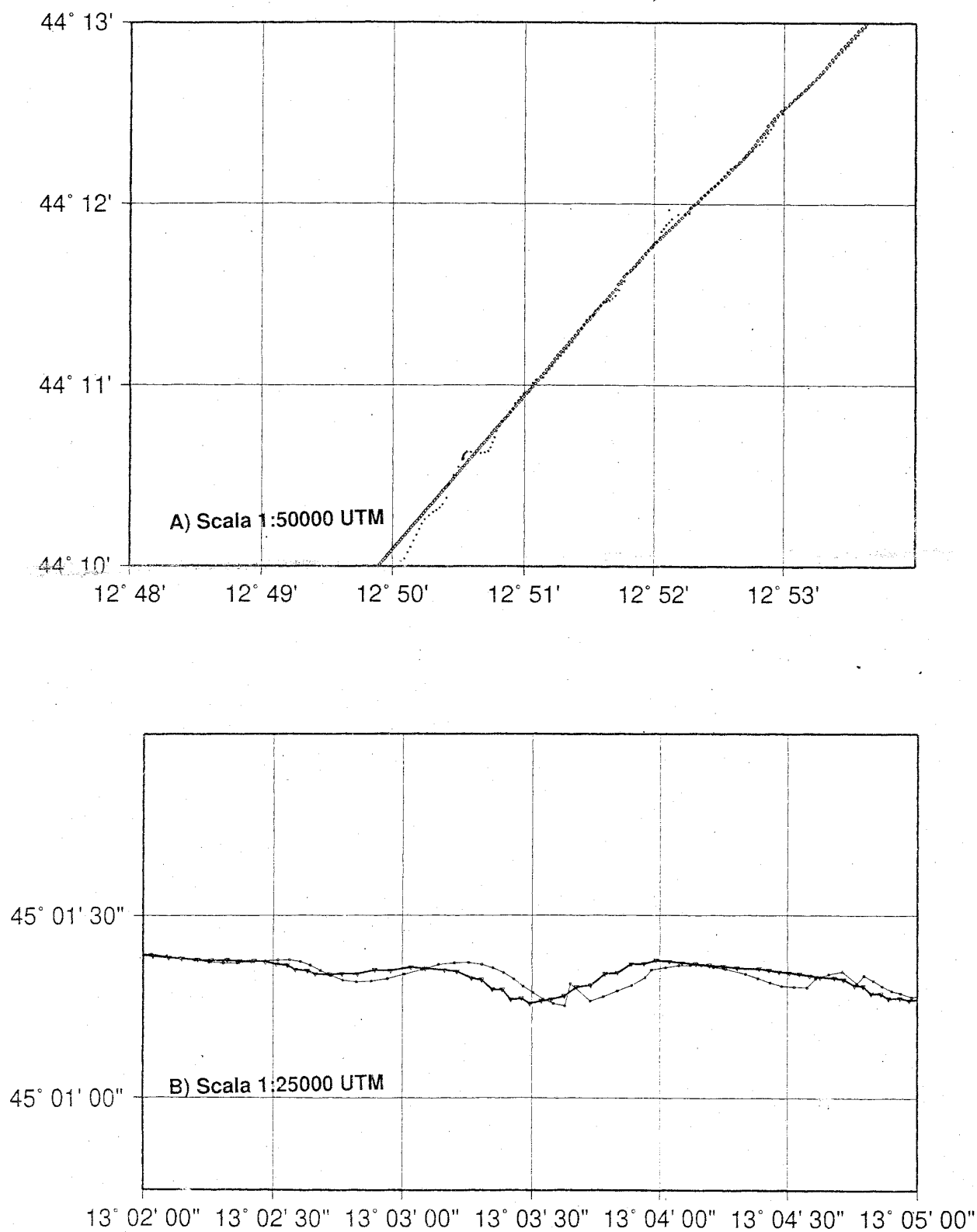


Fig. 27 – Esempi di applicazione di filtri a dati di navigazione GPS.

A – Esempio di elaborazione senza registrazione delle costellazioni dei satelliti

B – Elaborazione con le costellazioni dei satelliti.

mappe da digitalizzare. Si suggerisce che i dati finali vengano acquisiti o trasformati in coordinate geografiche, convertite all'orientamento ED50, secondo le modalità evidenziate al paragrafo 2.3.

La digitalizzazione dovrà essere effettuata dalle carte di lavoro a scala 1:100.000, con precisione dell'ordine dell'errore di graficismo (20 m per linee di 0,2 mm). I dati acquisti saranno comunque comprensivi anche di quelli non rappresentati sulla carta, nei casi in cui la densità di rappresentazione fosse tale da generare difficoltà di visualizzazione.

7.- NOTE ILLUSTRATIVE ED INFORMATIZZAZIONE

7.1.- NOTE ILLUSTRATIVE

La funzione delle note illustrative è quella di fornire il quadro delle informazioni disponibili nell'area della carta geologica, di illustrare le procedure di costruzione delle carte e di presentare una sintesi geologica.

A livello generale si dovrà premettere una descrizione dell'assetto geologico regionale relativo all'area da rappresentare nella carta sulla base della letteratura più "consolidata". Le note dovranno poi essere articolate in due parti relative rispettivamente alla carta geologica superficiale ed a quella del sottofondo marino.

C a r t a g e o l o g i c a s u p e r f i c i a l e

Si dovrà descrivere la morfologia (fisiografia, gradienti, estensione della piattaforma, dettagli morfologici, etc.) e l'evoluzione stratigrafica tardo-quadernaria (estensione e natura dei depositi delle sequenze deposizionali tardo-quadernarie) dell'area. In particolare, per quanto riguarda le sequenze deposizionali tardo-quadernarie, sarà opportuno descrivere:

- a) LST e FST unitamente al sistema di drenaggio ed alla morfologia della superficie di discordanza che definisce il limite di sequenza;
- b) descrizione delle facies di TST (con enfasi sulla ricostruzione di ambienti costieri e transizionali) e della natura geometrica e dell'espressione sedimentologica della superficie di *ravinement* (con enfasi su datazioni delle parasequenze trasgressive);
- c) descrizione delle facies *offshore* e costiere di HST in riferimento alla superficie di massima ingressione marina.

Sulla base dei dati bibliografici esistenti si dovranno inoltre evidenziare gli agganci con la geologia a terra, mappando (per es. su una carta accessoria) e descrivendo andamenti e facies; a questo proposito particolare importanza hanno la linea di riva relativa alla massima ingressione olocenica ed il terrazzo tirreniano (se presente) come riferimento anche in sezioni geologico-stratigrafiche.

Vanno descritte le sezioni geologiche e gli eventuali profili sismici riportati nella parte accessoria della carta, così come tematismi particolari rappresentati in questa stessa parte.

Si dovranno infine descrivere i metodi e le strumentazioni utilizzati per i rilievi in mare e l'elaborazione dei dati (posizionamento nave, rilievi batimetrici, sistemi sismici e *processing* standard, tipi di campionatura e di analisi svolte sui campioni, eventuali datazioni, etc.).

Carta geologica del sottofondo marino

Nelle note illustrative si dovrà fornire una descrizione sintetica dei dati geologici riguardanti non solo l'area rappresentata in carta ma anche le zone con termini ed informazioni relative ai metodi ed alle tecniche di stesura della carta.

Vanno riportati commenti relativi alle indagini geofisiche che forniscono informazioni sulla natura della litosfera e della crosta, sulle anomalie gravimetriche e magnetiche e sul flusso di calore per consentire una valutazione critica del dato. Vanno inoltre sintetizzate le stratigrafie dei pozzi disponibili e vanno discussi i criteri attraverso i quali sono stati ricostruiti i rapporti stratigrafici fra le unità individuate.

Per quanto concerne l'interpretazione dei profili sismici e la produzione degli elaborati che ne consegue (mappe e sezioni geologiche) è opportuno descrivere le procedure interpretative utilizzate ed i passaggi effettuati nella stesura degli elaborati. Questo allo scopo di rendere il prodotto cartografico il più oggettivo possibile.

Va inoltre presentata una breve sintesi della geologia dell'area (stratigrafia ed assetto strutturale) riguardante la carta, includendo anche le zone a terra. E' opportuno che tale sintesi sia generale e basata il più possibile su dati oggettivi. La sua funzione infatti non e' quella di proporre modelli geologici nuovi o alternativi a quelli eventualmente esistenti, ma puramente di illustrare in maniera schematica gli elementi geologici presenti nell'area.

Le fonti bibliografiche utilizzate sia come inquadramento geologico sia per estrarre informazioni specifiche vanno citate nella maniera più estesa possibile in modo da consentire a coloro che consultano la carta geologica di mettere a fuoco le problematiche geologiche della zona e di pianificare, eventualmente, ulteriori ricerche.

Infine occorrerà descrivere le strumentazioni e le metodologie utilizzate per i rilievi geofisici e geologici, nonché le tecniche usate per l'elaborazione e l'analisi dei dati.

Un breve riassunto o i dati salienti e conclusivi delle note illustrative riguardanti rispettivamente le due carte geologiche (superficiale o del sottofondo) potranno anche essere riportati direttamente in carta nella parte illustrativa accessoria.

7.2.- INFORMATIZZAZIONE

I dati di campagna, delle elaborazioni intermedie e degli elaborati finali devono essere organizzati in modo tale da consentirne l'informatizzazione, allo scopo di:

- Poter costruire i fogli con sistemi di cartografia automatizzata
- Poterli rielaborare e confrontare con nuovi dati
- Favorire una immissione semplice ed efficiente all'interno di banche dati (*Data Base Management Systems*, DBMS) e di sistemi informativi (*Geographical Information Systems*, GIS).

Tutto ciò è valido nell'ambito di una uniforme e corretta georeferenziazione (vedi Cap.2.) e con l'obiettivo di fornire informazioni facilmente riorganizzabili al variare di modelli concettuali, elaborativi e descrittivi del dato. Inoltre va anche ricordato come l'evoluzione tecnologica nel campo informatico fornisca sin da ora la possibilità di generare sistemi multimediali, in grado di combinare efficacemente informazioni grafiche, video e audio.

E' vivamente auspicabile ed in alcuni casi indispensabile (ad esempio per la sismica multicanale), che la maggior parte dei dati di campagna, di elaborazioni intermedie e finali, di analisi di laboratorio, sia fornita su supporto magnetico digitale.

In attesa della definizione finale della struttura della banca dati geofisica del Servizio Geologico i dati saranno organizzati, per quanto possibile, secondo il modello logico e fisico della Banca Dati Geologici del Servizio Geologico (*Quaderni serie III, vol.6*, 1997 e successive integrazioni). In particolare per i dati descrittivi inerenti le linee geofisiche e di navigazione si fa riferimento allo Strato 27 Tracciati geologici e geofisici, mentre per quanto riguarda le campionature allo Strato 17 Campioni geologici.

Si fa presente che è disponibile presso il Servizio Geologico un applicativo *software* che consente l'automazione delle procedure di inserimento dei dati relativi ai campioni geologici. Riguardo al formato, viene preferito il formato export (.E00) del *software Arc/Info* in codifica *ASCII* (opzione none). Sono ritenuti ammissibili, anche se da concordare con il Servizio Geologico, altri formati compatibili con le apparecchiature hardware e software del Servizio Geologico stesso, fatta salva l'integrità e la consistenza logica e fisica dei dati e della loro struttura.

7.2.1. - Fornitura di particolari tipologie di dati (Documentazione Integrativa)

1) dati sismici digitali:

Files in formato SEG – Y (uno per linea)

2) dati su grids regolari (Multibeam, Side scan sonar):

File dei seguenti formati:

ASCII (corredati da una descrizione completa della struttura dei dati e dei parametri di griglia);
USGS DEM; DTED; BIL; Export Grid Arc/Info (ascii); Surfer (ascii); LCT (ascii)

7.2.2. - Supporti

Supporto magnetico del tipo:

cassetta 4 mm DAT (90 metri); Cd Rom ISO 9660

APPENDICE del Cap.3

A) - STRATIGRAFIA SISMICA E STRATIGRAFIA SEQUENZIALE

L'affermarsi della stratigrafia sismica ha portato ad un nuovo modo di descrivere ed interpretare le successioni sedimentarie attraverso (a) l'integrazione di dati sismici, litologici e biostratigrafici (MITCHUM *et alii*, 1977), (b) l'individuazione di superfici guida originate da processi erosivi o da sedimentazione condensata (VAIL *et alii*, 1977), (c) il riconoscimento di sequenze deposizionali delimitate da superfici di discordanza (*unconformities*) e composte da *systems tracts* definiti come insiemi di ambienti deposizionali contemporanei e caratteristici di fasi deposizionali successive durante un ciclo di variazione relativa di livello del mare (BROWN & FISHER, 1977).

Si definisce sequenza deposizionale un insieme di depositi geneticamente collegati e delimitati alla base e al tetto da due superfici di discordanza o dalle superfici di concordanza ad esse correlabili (VAIL *et alii*, 1977); una sequenza deposizionale così definita ha significato cronostratigrafico in quanto è più giovane o più vecchia di tutti i depositi che si trovano rispettivamente al di sotto o al di sopra delle superfici di discordanza che ne costituiscono la base ed il tetto. Lo studio stratigrafico sismico dei margini continentali si basa sul riconoscimento di sequenze deposizionali e pone enfasi sull'analisi delle terminazioni dei riflettori (cioè di pacchi di strati) rispetto alla *unconformity* che marca la base di una sequenza deposizionale e ad altre superfici guida interne ad essa. Tali superfici marcano i principali cambiamenti nello stile di sovrapposizione tra depositi caratteristici dei diversi *systems tracts*. In generale si osservano geometrie progradazionali di varia natura e organizzazione interna nei *systems tracts* di stazionamento alto, caduta e stazionamento basso. Le superfici di trasgressione e di massima inondazione rappresentano rispettivamente la base ed il tetto dei depositi del *systems tracts* trasgressivo caratterizzato da progressivo arretramento dell'*onlap* costiero verso terra.

L'utilizzo della stratigrafia sismica come metodo di lavoro negli anni '70 ed '80 ha portato al successivo affinamento delle ricostruzioni stratigrafiche e suddivisioni interne alle sequenze deposizionali (POSAMENTIER & VAIL, 1988; POSAMENTIER & ALLEN, 1993). In particolare si sono diffusi tre modi logici alternativi di definire una successione di sedimenti depositatisi durante un ciclo completo di variazione relativa di livello del mare; questi si basano sulla correlazione fisica di corpi deposizionali, ma differiscono nella scelta delle superfici fisiche di diversa natura che si sceglie di individuare e correlare (THORNE & SWIFT, 1991; HELAND-HANSEN & GJELBERG, 1994):

- 1) sedimenti compresi tra due successive superfici di massima inondazione, cioè associate al massimo spostamento verso terra della linea di riva (questo approccio porta alla individuazione di sequenze stratigrafiche genetiche secondo GALLOWAY, 1989)
- 2) sedimenti compresi tra due successive superfici di massima regressione (individuando cicli Trasgressivo-Regressivi secondo JOHNSON *et alii*, 1985)
- 3) sedimenti compresi tra discordanze di esposizione subaerea (e superfici di concordanza ad esse correlabili) formatesi durante due successive cadute di livello del mare relativo (una successione così individuata corrisponde alla sequenza deposizionale di VAIL *et alii*, 1977).

Una visione di compromesso tra quelle sopra esposte va sotto la definizione di allostratigrafia e consiste nel dare uguale importanza gerarchica ad ogni superficie guida riconoscibile su base regionale, qualunque ne sia il significato genetico (WALKER, 1990).

I principi introdotti dalla stratigrafia sismica e dalla stratigrafia sequenziale vengono utilizzati nella definizione dei criteri per la rappresentazione cartografica dei margini continentali, allo scopo di definire le superfici guida e i depositi da rappresentare nel foglio superficiale. Tuttavia è bene riconoscere i limiti teorici e pratici potenzialmente legati a questo approccio; tali limiti derivano da alcune semplificazioni circa l'evoluzione tettonica dei margini continentali, dall'idea iniziale che le sequenze deposizionali potessero essere correlate a livello globale e da una visione piuttosto semplificata della dinamica deposizionale, soprattutto in ambiente fluviale e marino profondo.

I modelli teorici proposti dalla stratigrafia sequenziale (JERVEY, 1988; POSAMENTIER *et alii*, 1988; POSAMENTIER & VAIL, 1988; VAN WAGONER *et alii*, 1988) si basavano sui seguenti presupposti: tasso costante di apporto sedimentario durante un ciclo di variazione di livello del mare; andamento sinusoidale della curva di variazione di livello del mare, subsidenza caratterizzata da tasso costante nel tempo; fisiografia caratteristica di un margine passivo maturo (con piattaforma estesa e basso gradiente). L'assunto di un andamento sinusoidale della ciclicità eustatica rappresenta la semplificazione tra queste meno applicabile allo studio dei depositi quaternari.

L'idea che fosse possibile ricostruire e correlare cicli di variazione di livello del mare a scala globale ha rappresentato uno degli assunti della stratigrafia sequenziale nelle sue prime definizioni (VAIL *et alii*, 1977; HAQ *et alii*, 1987); si tratta di un'ipotesi ormai criticata e confutata da numerosi autori (MIALL, 1986, 1991, 1992; BOYD *et alii*, 1989). Questo "ridimensionamento" nelle implicazioni globali dell'approccio stratigrafico sequenziale non ne ha però ridotto il valore come modo di riconoscere e suddividere cicli deposizionali sui margini continentali (POSAMENTIER & JAMES, 1993).

La stratigrafia sequenziale tende a definire la posizione relativa dei vari corpi sedimentari a scala di un intero margine continentale in relazione a variazioni relative del livello marino guidate principalmente da cicli eustatici. Questo approccio tende a caratterizzare i sistemi deposizionali principalmente in base a dati geofisici quali *facies* sismica o espressione su *log* di pozzo, e limitatamente in base alla caratterizzazione delle *facies* e delle associazioni di *facies* (MUTTI, 1992). La stratigrafia sequenziale tende a riferire i sistemi deposizionali entro un quadro cronostatigrafico di riferimento; i rapporti tra le *facies* a grande scala possono essere espressi all'interno di questo quadro definendo unità stratigrafiche delimitate da superfici di discordanza. Molti margini continentali in zone tettonicamente attive (*rift*, convergenti o trasformati) mostrano una notevole variabilità di assetto fisiografico spesso documentabile su brevi distanze (FIELD & TRINCARDI, 1991; POSAMENTIER & ALLEN, 1993; HELLAND-HANSEN & GJELBERG, 1994). Il bacino Mediterraneo offre numerosi esempi di margini continentali di questo tipo. In questo tipo di margini la variabilità fisiografica costituisce un importante parametro che controlla la variabilità laterale dei depositi originati durante le varie fasi di un ciclo di fluttuazione del livello del mare. Su margini caratterizzati da variazioni laterali di gradiente e diverse profondità del ciglio della piattaforma è possibile che, ad esempio, una caduta relativa di livello del mare produca deposizione in una zona e non deposizione od erosione in un'area adiacente (TRINCARDI & FIELD, 1991). In condizioni di risalita di livello del mare, il gradiente della piattaforma controlla, a

parità di tassi di risalita e apporto sedimentario, la geometria di sovrapposizione delle parasequenze trasgressive (TRINCARDI *et alii*, 1994; CORREGGIARI *et alii*, 1995).

B) - CICLI QUATERNARI

Nonostante i principali limiti di impostazione precedentemente discussi, la stratigrafia sequenziale è applicabile allo studio dei depositi che registrano i cicli eustatici ad alta frequenza durante il Quaternario (LOUTIT *et alii*, 1988; BOYD *et alii*, 1989; TRINCARDI *et alii*, 1994; DALRYMPLE & ZAITLIN, 1995).

Il periodo Quaternario è caratterizzato da variazioni eustatiche di grande ampiezza (nell'ordine dei 100-120 m) e durata di circa 100 ka. Queste variazioni riflettono cambiamenti climatici che derivano da variazioni nell'insolazione media della Terra; la quantità di calore che il nostro pianeta riceve dal Sole dipende infatti da variazioni nei principali parametri astronomici che definiscono la rotazione della Terra su se stessa e attorno al Sole (eccentricità, obliquità e precessione). Durante gli ultimi 800 ka circa, i periodi di stazionamento alto del livello del mare rappresentano soltanto circa il 10% del tempo; le variazioni di livello del mare sono caratterizzate dall'alternarsi di cadute relativamente lente e discontinue e risalite estremamente rapide (fig.7). Questo andamento delle oscillazioni eustatiche quaternarie, documentato dalle curve ricostruibili sulla base di dati isotopici (CHAPPELL & SHACKLETON, 1986; SHACKLETON, 1977; MARTINSON *et alii*, 1988), riflette la lenta espansione ed il rapido arretramento delle calotte di ghiaccio nelle regioni polari. Oscillazioni climatiche di breve durata sono sovrapposte a questo andamento di più lungo periodo. Variazioni globali che verosimilmente rappresentano risposte non lineari del sistema oceano/atmosfera sono documentate in successioni lacustri, in sedimenti marini pelagici e in carote di ghiaccio; queste oscillazioni hanno in alcuni casi tempi di "innesco" estremamente rapidi, legati ad episodi di instabilità climatica e/o oceanografica. L'alternarsi di avanzamenti ed arretramenti delle calotte polari appare correlato rispettivamente a variazioni di temperatura, salinità e circolazione, negli oceani, e di temperatura, umidità e circolazione di polveri, sui continenti. I periodi di stazionamento alto di livello del mare associati a condizioni interglaciali, come quelle attuali, occupano una piccola percentuale di tempo rispetto alle condizioni glaciali. L'ultimo ciclo glaciale-interglaciale (che corrisponde circa agli ultimi 130 ka) fornisce il miglior riferimento temporale all'interno del quale analizzare i meccanismi del cambiamento climatico ed il loro impatto su oceano, atmosfera e biosfera. Dati provenienti da carote di ghiaccio provano inoltre la generale instabilità del clima in questo periodo; in particolare due carote di ghiaccio in Groenlandia mostrano che il clima in Nord Atlantico è in grado di riorganizzarsi addirittura in pochi decenni (GRIP, 1993). Questa forte instabilità climatica ha caratterizzato tutto il ciclo che va dall'interglaciale Tirreniano (stadio isotopico 5e) alla fine dell'ultimo glaciale e contrasta con la relativa stabilità che caratterizza l'attuale interglaciale (fig.7). I dati provenienti da carote di ghiaccio non sempre hanno risoluzione temporale sufficiente a permettere di apprezzare eventi paleoclimatici di breve durata (vedi ad esempio Vostock-Antartide rispetto ai nuovi dati Summit-Groenlandia) ed inoltre non possono fornire informazioni circa il responso faunistico a tali eventi. Anche per questo dati provenienti da un margine continentale alle medie latitudini, se filtrati dalle componenti regionali di movimento del fondo (subsidenza termica, carico e compattazione), possono fornire un controllo indipendente e complementare sulle variazioni osservate in carote di ghiaccio e sedimenti continentali.

APPENDICE del Cap.6

A) - STRUMENTI PER L'ACQUISIZIONE DI DATI IN MARE

P o s i z i o n a m e n t o

G P S - Il sistema GPS (WELLS *et alii*, 1986) è a copertura globale, basato su una costellazione di 24 satelliti operativi, che trasmettono in continuo segnali codificati. Le informazioni contenute nei messaggi ricevuti dai ricevitori mobili sono utilizzate per ricavare *pseudo-ranges* dai satelliti. Nota la posizione di questi, è possibile ricavare un punto per trilaterazione. Esso fornisce una precisione di circa 25 m RMS in condizioni ottimali (buona geometria e visibilità, buon PDOP, etc.). Tale precisione è fra l'altro soggetta a decisioni autonome del Ministero della Difesa Americano che ne cura la gestione e può essere degradata senza preavviso. E' richiesto l'uso di ricevitori di qualità con almeno 6 canali. Si consigliano strumenti con interfacce digitali, in grado di fornire anche la costellazione di satelliti per permettere migliori funzionalità di post-elaborazione e filtraggio, ad esempio con filtri predittivi di Kalman (vedi App. 6B).

G P S d i f f e r e n z i a l e - IL GPS Differenziale è una tecnica che può fornire precisioni dell'ordine di 1-5 m e anche sub-metriche, ovviando così al degrado del posizionamento in configurazione singola. Esso richiede l'uso di stazioni a terra che trasmettono, generalmente via radio, le correzioni alle *pseudo-range* misurate per ogni satellite in vista mediante confronto con le coordinate assolute della stazione di riferimento. E' di basilare importanza che la stazione a terra sia posizionata in un punto con coordinate assolute WGS84 accurate entro 1-2 m. Ciò potrà essere fatto: 1) su punti con coordinate note e validate ; 2) con un rilievo geodetico ; 3) con stazionamento di un ricevitore GPS per un periodo superiore ad alcuni giorni e dispersione non superiore ad 1 m. Il sistema è sufficientemente accurato entro distanze di circa 150-200 km.

R a n g e - R a n g e - I sistemi *Range-Range* sono costituiti da stazioni generatrici di segnali, generalmente in banda radar, posizionate su punti di coordinate note. I tempi di ricezione di tali segnali vengono trasformati in distanze dal mobile. Con almeno due distanze è possibile ottenere un discreto punto per trilaterazione. L'uso di più stazioni permette di avere punti più accurati e maggiore copertura. Le precisioni che si ottengono sono nell'ordine di 1-5 m. E' di basilare importanza che le stazioni generatrici siano posizionate su punti con coordinate note (preferibilmente nell'orientamento Gauss-Boaga o WGS84). Ciò al fine di garantire la bontà delle coordinate calcolate, oltre che il passaggio all'orientamento ED50, qualora necessario. E' vivamente consigliato che durante il rilievo vengano memorizzate anche le 'Range' dalle stazioni. Alcuni di tali sistemi sono limitati dalle frequenze di lavoro in portata ottica. Generalmente è possibile ottenere un buon punto a distanze di 80-100 km.

L o r a n - C - Sistema iperbolico di navigazione a copertura globale, che fornisce una precisione di circa 200-300 m. In condizioni ottimali, mediante correzioni locali, si può arrivare a precisioni anche di circa 100 m. L'uso del LORAN-C è auspicabile come sistema secondario, per garantire copertura in caso di mancanza del sistema primario (GPS o RANGE-RANGE). La conversione da ritardi LORAN-C a coordinate geografiche dovrà essere verificata localmente, su

punti noti, oppure mediante confronto con un sistema più accurato. Come risultato, si potrà ottenere un calcolo più accurato degli *Additional Secondary Factor* (IIM, 1992).

B a t i m e t r i a - In linea di principio le batimetrie per i fogli della carta geologica marina alla scala 1:250.000 dovranno essere fornite dall'IIM che è l'organismo ufficiale dello Stato autorizzato a produrre questo tipo di documenti. Qualora i rilievi batimetrici fossero forniti da altri Enti o da terzi dovranno comunque essere approvati dall'IIM per la pubblicazione.

Negli ultimi anni, a partire dalla metà degli anni '80, si sono resi disponibili moderni sistemi di scandagli a scansione multipla (*multibeam*). Tali sistemi forniscono dati di elevatissima qualità strumentale, oltre a permettere una copertura totale del fondale marino. E' altamente auspicabile che i nuovi dati batimetrici vengano acquisiti con tale strumentazione.

S i d e s c a n s o n a r - Nel caso di espressioni morfologiche particolarmente interessanti è auspicabile l'esecuzione di rilievi *Side Scan Sonar*. Ciò potrà essere fatto con i sistemi tradizionali a traino sul fondo, oppure utilizzando i sistemi *multibeam* con acquisizione del dato di *back-scatter*. E' auspicabile che le immagini da pubblicare siano rese come mosaici georeferenziati. Nel caso di strisciate singole, dovrà essere applicata la correzione di *slant-range* e di velocità. E' auspicabile, soprattutto nel caso di rilievi profondi, localizzare il sensore sul fondo con posizionamento acustico. I *multibeam* dell'ultima generazione hanno la possibilità di acquisire la riflettanza del fondo insonificato. Ciò permette una visualizzazione geometricamente corretta del fondo, con risultati molto buoni, comparabili a *side scan sonar* di media risoluzione. Il solo trattamento di dati di batimetria ad alta risoluzione e la creazione di *shaded-relief* forniscono comunque un dato di estremo interesse interpretativo.

S i s m i c a a r i f l e s s i o n e - L'obiettivo della sismica a riflessione è quello di evidenziare strutture geologiche sub-superficiali emettendo onde a frequenza sonica e subsonica che si propagano nel mezzo, sfruttando la capacità di alcuni orizzonti di rifletterle e registrandone i tempi di arrivo. Tali orizzonti si comportano come superfici di discontinuità al variare di alcune proprietà fisiche delle rocce (in particolare le riflessioni sono controllate dalle variazioni della impedenza acustica, definita come il prodotto fra la velocità delle onde per la densità). A differenza di altre proprietà fisiche (magnetismo, gravità), la velocità sismica delle rocce può variare di molto fra strati contigui a diversa litologia, il che determina un contrasto di impedenza e la relativa presenza di una superficie di discontinuità che riflette le onde incidenti secondo le regole della ottica fisica (maggiore è il contrasto di impedenza, maggiore l'intensità del segnale riflesso).

I segnali per la prospezione sono generati da sorgenti che convertono in onde sismiche (cioè variazioni di pressione nel mezzo) il rilascio (quanto più rapido e ripetibile) di energia pneumatica (*air-gun*, *water-gun*), chimica (esplosivi), elettrica (*sparkers*, SBP) o meccanica (*boomers*, vibratori). I segnali riflessi vengono in genere captati da idrofoni, convertiti in segnali elettrici, elaborati e visualizzati. La ripetizione lungo linee prefissate delle sequenze di scoppio e la registrazione dei tempi di arrivo dei segnali riflessi possono, con opportune elaborazioni, creare una immagine del sottofondo. L'acquisizione può essere analogica, tramite registratori grafici, oppure digitale su nastro magnetico. Quest'ultima tecnica permette la successiva elaborazione dei dati, mediante la applicazione di algoritmi statistico-matematici che ne possono incrementare notevolmente la qualità. L'impulso sismico ideale è quello in cui tutta l'energia si concentra in un

unico picco emesso in un tempo infinitamente breve. Nella realtà, esso è una onda più o meno complessa di lunghezza finita. La forma di quest'onda, e il suo contenuto di frequenza, devono essere noti al fine di determinare i vari parametri dell'acquisizione, dell'elaborazione e del riconoscimento delle strutture geologiche riflesse.

Essi sono inoltre importanti a fini di valutazione delle risoluzioni verticali e orizzontali. Uno dei problemi dovuto al rilascio rapido di energia in acqua, per la maggior parte delle sorgenti sismiche, è la generazione o l'iniezione di gas in acqua che produce un treno indesiderato di impulsi (noto come 'effetto bolla') assieme a quello principale, causa delle oscillazioni legate alla instabilità che si crea nel contrasto tra la pressione idrostatica esterna e quella interna alla bolla.

Fra le varie sorgenti, il *water-gun* non inietta o produce gas in acqua, ma una piccola quantità di acqua in pressione, ed è virtualmente privo di 'effetto bolla'. Nel corso degli anni l'industria ha introdotto diverse nuove sorgenti, con il fine di ottenere la massima concentrazione di energia (a fase minima) con il massimo rapporto Picco/Bolla e con la massima ripetibilità nel tempo. In fig.28 sono schematizzati gli impulsi che si ottengono con alcune sorgenti sismiche.

Il segnale emesso viene sottoposto a deformazioni e cambiamenti durante la penetrazione in profondità. Esso perde intensità a causa della divergenza sferica delle onde e per la graduale conversione in calore. Inoltre, quanto più aumenta la profondità, tanto più ne viene aumentato il contenuto a bassa frequenza (il segnale ha una attenuazione fissa per ciclo, per cui le alte frequenze sono attenuate in misura molto maggiore delle basse).

Tutto ciò fa sì che ad alti tempi di arrivo i segnali siano sempre più deboli e immersi nel rumore incoerente. Altre forme di rumore coerente, come ad esempio quello provocato da riflessioni multiple fra le interfaccie aria/acqua e acqua/fondo, sono in grado di mascherare i segnali utili. Per ovviare a questi inconvenienti ed avere risoluzioni maggiori in profondità, si progettano sorgenti e modalità di rilievo al fine di avere rapporti segnali/disturbo più alti. Ciò può essere fatto con sorgenti multiple (maggiore potenza di emissione e migliore forma d'onda e direttività dell'impulso), ricevitori multipli (diversi microfoni che sommano i segnali riflessi), battute multiple sullo stesso punto.

Quest'ultima tecnica, in particolare, è il rilievo multicanale a *Common Mid-Depth Point* (CMP-CDP) (MAYNE, 1962; MEYERHOFF, 1966; MC QUILLIN *et alii*, 1979; CLAERBAUT, 1985), derivato dall'idea che riflessioni plurime da un unico punto (opportunamente corrette per le differenze nei tempi di viaggio) si sommano in fase in maniera coerente e quindi si esaltano, mentre il rumore si somma in cancellazione di fase, in quanto incoerente, e quindi si riduce. Un cavo di idrofoni raggruppati in sezioni multiple (canali) viene spostato a distanze uguali (oppure sottomultiple o multiple) alla distanza fra le sezioni, dove viene emesso il segnale acustico. Maggiore è il numero di canali (oppure minore è la distanza fra gli scoppi) e maggiore è la copertura del rilievo. Questo parametro è molto importante, in quanto coperture maggiori implicano cavi con elevato numero di canali e sistemi di energizzazione più potenti, in grado di emettere impulsi sismici a frequenza maggiore.

Ciò ha dei costi in termini economici e gestionali che vanno attentamente valutati. In fig. 29 è riportata una rappresentazione schematica del rilievo multicanale negli spazi *shot-offset-midpoint*. Il procedimento CMP è possibile solo tramite la digitalizzazione e la memorizzazione dei dati raccolti dalle sezioni di idrofoni e la successiva elaborazione con tecniche sofisticate.

La procedura di digitalizzazione, a prescindere dalle tecniche strumentali, richiede la impostazione di alcuni parametri molto importanti: fra questi, il passo di campionamento, (che incide sullo spettro di frequenza del segnale campionato e quindi sulla risoluzione verticale e

orizzontale) e il filtraggio analogico passa-basso (*anti-alias*) che elimina componenti maggiori di $1/4$ o $1/3$ (funzione delle caratteristiche del filtro) della frequenza di campionamento e permette una ricostruzione quanto più fedele possibile del segnale campionato all'interno dello spettro di interesse.

S o r g e n t i s i s m i c h e - Vengono di seguito descritte le sorgenti utilizzabili per i rilievi sismici superficiali e profondi da effettuare per la cartografia geologica marina alla scala 1:250.000.

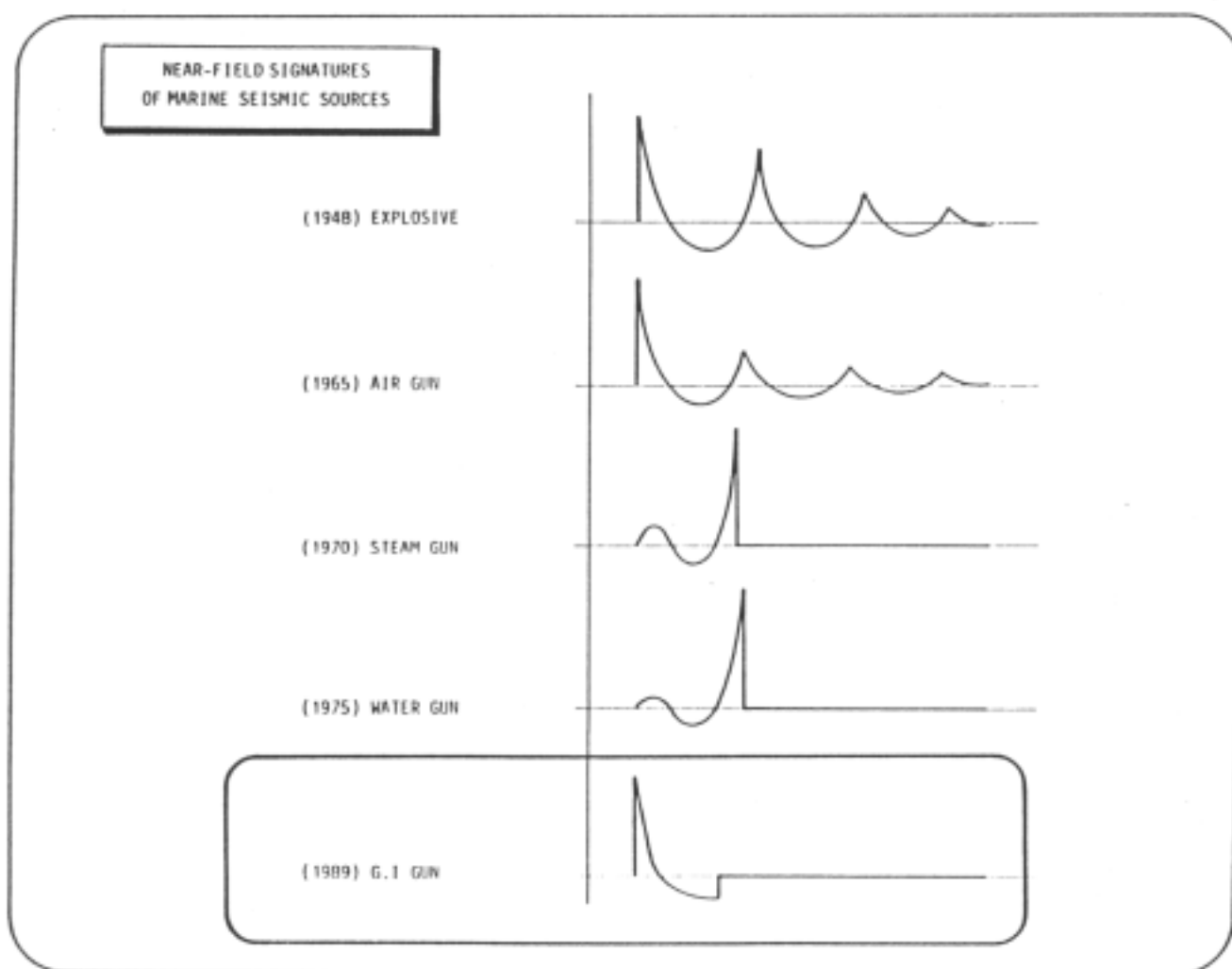


Fig. 28 – Esempi di “signature” che si ottengono da alcune sorgenti sismiche.

R i l i e v i s u p e r f i c i a l i - Sono caratterizzati da bassa penetrazione ed alta risoluzione. Andranno impiegati strumenti della classe *boomers* o *SBP*, in grado di risolvere gli

strati di sedimento superficiale con risoluzioni di circa 10-15 cm e penetrazione di circa 50-100 m. Penetrazioni superiori (anche di 500-1000 msec, a scapito di una minore risoluzione, si ottengono con le sorgenti tipo *water-gun* a basso volume (0,25 Lt) oppure *mini-sparker*. *Boomers*, *SBP* e *Chirp-Sonars* sono le sorgenti ideali per l'indagine ad altissima risoluzione dei primi 50-100 m di sedimento. Il loro spettro di frequenza è centrato generalmente attorno a 1-5 Khz. Esse permettono una risoluzione dell'ordine dei 10-15 cm. *Water-gun* e *mini-sparker* hanno uno spettro di frequenza centrato fra 0,2 e 2,0 Khz. E' preferibile l'utilizzo di "water-gun" per la migliore qualità del segnale sismico, virtualmente privo di "effetto bolla".

Rilievi profondi - Sono caratterizzati da grande penetrazione e media-bassa risoluzione. Andranno utilizzate sorgenti *air-gun* o *water-gun*, oppure *sparker*, in grado di penetrare il sedimento per almeno 5 sec in "tempi doppi". E' altamente raccomandabile l'uso di sorgenti (singole o in *array*) prive di "effetto bolla", come il GI-GUN Soderà, in configurazione *True GI* o *Harmonic*. E' inoltre altamente raccomandabile l'esecuzione di alcune linee multicanale, qualora tali linee non fossero disponibili come dati pregressi.

Rilievi superficiali - Sono caratterizzati da bassa penetrazione ed alta risoluzione. Andranno impiegati strumenti della classe *boomers* o *SBP*, in grado di risolvere gli strati di sedimento superficiale con risoluzioni di circa 10-15 cm e penetrazione di circa 50-100 m. Penetrazioni superiori (anche di 500-1000 msec, a scapito di una minore risoluzione, si ottengono con le sorgenti tipo *water-gun* a basso volume (0,25 Lt) oppure *mini-sparker*. *Boomers*, *SBP* e *Chirp-Sonars* sono le sorgenti ideali per l'indagine ad altissima risoluzione dei primi 50-100 m di sedimento. Il loro spettro di frequenza è centrato generalmente attorno a 1-5 Khz. Esse permettono una risoluzione dell'ordine dei 10-15 cm.

Water-gun e *mini-sparker* hanno uno spettro di frequenza centrato fra 0,2 e 2,0 Khz. E' preferibile l'utilizzo di 'water-gun' per la migliore qualità del segnale sismico, virtualmente privo di 'effetto bolla'.

Rilievi profondi - Sono caratterizzati da grande penetrazione e media-bassa risoluzione. Andranno utilizzate sorgenti *air-gun* o *water-gun*, oppure *sparkers*, in grado di penetrare il sedimento per almeno 5 sec in 'tempi doppi'. E' altamente raccomandabile l'uso di sorgenti (singole o in *array*) prive di 'effetto bolla', come il GI-GUN Soderà, in configurazione *True GI* o *Harmonic*. E' inoltre altamente raccomandabile l'esecuzione di alcune linee multicanale, qualora tali linee non fossero disponibili come dati pregressi.

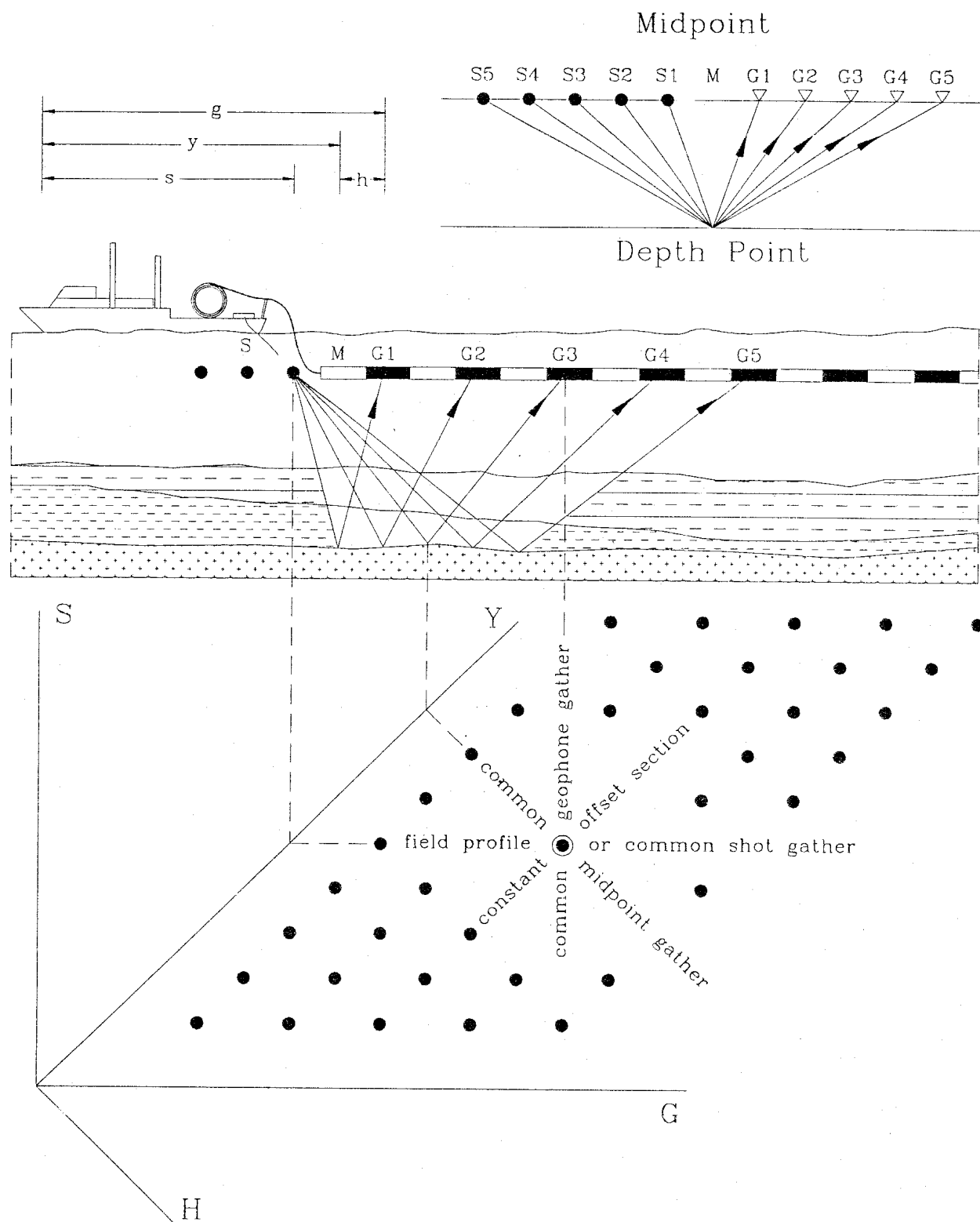


Fig.29- Rappresentazione schematica del rilievo multicanale negli spazi "shot-offset-midpoint" (MCQUILLIN et alii, 1979)

B) - SISTEMI DI FILTRAGGIO DEI DATI DI POSIZIONAMENTO

Filtri di Kalman

La qualità dei dati geofisici raccolti da nave dipende fortemente dall' accuratezza con cui viene descritta la cinematica della piattaforma di osservazione. Con l'avvento di un sistema di precisione globale di navigazione come il NAVSTAR/GPS, la posizione della nave può essere rilevata molto frequentemente e combinando tali informazioni con un appropriato modello di rumore è possibile determinare con precisione i parametri cinematici come posizione orizzontale, velocità e rotta. Sebbene posizione, velocità e rotta siano direttamente disponibili dai ricevitori GPS in commercio, la loro accuratezza può essere fortemente migliorata con l'applicazione di filtri che tengano conto dei cambi di costellazione e della dinamica della nave. Filtri di Kalman sono stati largamente applicati in problemi di navigazione in quanto la loro formulazione nel dominio spazio-temporale permette di costruire ottimi estimatori senza assunzioni di stazionarietà. Il loro successo è dovuto principalmente ai seguenti fattori: propagazione degli errori essenzialmente lineare; determinazione a priori di combinazioni lineari di sistemi di errori; stima di tutte le possibili sorgenti di errori con significativi tempi di correlazione; uso ottimale di qualunque combinazione di misure esterne.

GENRICH & MINSTER (1991) hanno sviluppato un filtro di Kalman utilizzando al meglio tutte le informazioni fornite dai ricevitori GPS.

Questo può essere rappresentato analiticamente dall'equazione:

$$x(k+1) = F(k+1,k) x(k) + G(k)w(k) + Y(k)u(k)$$

d o v e:

$x(k)$ = vettore di stato al tempo $t(k)$, linearmente dipendente con il vettore di misure $z(k)$

$F(k+1,k)$ = matrice di transizione, assumendo che i processi siano markoviani del primo ordine
fornisce le equazioni di evoluzione del vettore di stato dal tempo $t(k)$ a $t(k+1)$

$w(k)$ = equazione di stato del rumore che influenza il processo

$G(k)$ = matrice che descrive come l'equazione di stato del rumore influenza il vettore di stato

$u(k)$ = vettore in input al processo

$Y(k)$ = matrice che relaziona il vettore di input con il vettore di stato, è definita analogamente a $G(k)$.

Il vettore di stato usato nella procedura sviluppata da GENRICH & MINSTER (1991) è adattato alle informazioni in uscita dai ricevitori GPS:

$$\chi(\kappa) = (\phi, V_N, \lambda, V_E, Z, V_Z, b_{1\phi}, b_{1\lambda}, b_{1Z}, \dots, b_{n\phi}, b_{n\lambda}, b_{nZ})^T$$

dove ϕ , λ , Z , sono la latitudine, longitudine e altezza sul geoide della posizione nave all'istante $t(k)$, rispettivamente, V_N , V_E sono le componenti cartesiane lungo Nord e lungo Est del vettore orizzontale velocità proiettato sul piano tangente al geoide nel punto di coordinate (ϕ, λ) , V_Z è la componente verticale del vettore velocità, $b_{i\phi}$, $b_{i\lambda}$, b_{iZ} , con $(i = 1, \dots, n)$ sono le differenze relative alla posizione che dovrebbe essere ottenuta rispetto ad una costellazione di riferimento.

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. (1976) - *Norme generali per il rilevamento della carta geologica d'Italia alla scala 1:50000*, I Fascicolo. In: Bollettino del Servizio Geologico d' Italia, 97.
- AGIP (1977) - *Temperature sotterranee. Inventario dei dati raccolti durante la ricerca e la produzione di idrocarburi in Italia*. pp. 1930, AGIP.
- ANTONELLI M., FRANCIOSI R., QUERCI A., RONCO G.P., & VEZZANI F. (1988) - *Paleogeographic evolution and structural setting of the Northern side of the Sicily Channel*. Mem. Soc. Geol. It., **41**: 141-157.
- ARGNANI A. (1987) - *The Gela nappes: evidence of accretionary melange in the Maghreb foredeep of Sicily*. Mem. Soc. Geol. It., **38**: 419-428.
- ARGNANI A. (1990) - *The Strait of Sicily rift zone: foreland deformation related to the evolution of a back-arc basin*. Journ. Geodyn., **12**: 311-331.
- ARGNANI A., BERNINI M., DI DIO G.M., PAPANI G., & ROGLEDI S. (1998) - *Stratigraphic record of crustal-scale tectonics in the Quaternary of the Northern Apennines (Italy)*. Il Quaternario, **10**, 595-602.
- ARGNANI A., BONAZZI C., EVANGELISTI D., FAVALI P., FRUGONI F., GASPERINI M., LIGI M., MARANI M., & MELE G. (1996) - *Tettonica dell' Adriatico meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., **51**, 227-237.
- ARGNANI A., CORNINI S., TORELLI L., & ZITELLINI N. (1987) - *Diachronous foredeep-system in the Neogene-Quaternary of the Strait of Sicily*. Mem. Soc. Geol. It., **38**: 407-417.
- ARGNANI A., FAVALI P., FRUGONI F., GASPERINI M., LIGI M., MARANI M., MATTIETTI G. & MELE G. (1993) - *Foreland deformational pattern in the southern Adriatic Sea*. Ann. Geof., **36**: 229-247.
- ARGNANI A. & FRUGONI F. (1997) - *Foreland deformation in Central Adriatic and its bearing on the evolution of the Northern Apennines*. Annali di Geofisica, **40**, 771-780.
- ARGNANI A. & GAMBERI F. (1997) - *Stili strutturali al fronte della catena appenninica nell' Adriatico centrosettentrionale*. Studi Geologici Camerti, **95** (1), 19-25.
- ARGNANI A., MARANI M., SAVELLI C. & GALASSI B. (1995) - *Migrazione del vulcanismo di arco cenozoico nel contesto geodinamico intraorogenco del Mare Tirreno meridionale : un riesame*. In: R. POLINO & R. SACCHI (Eds): Atti del convegno "Rapporti Alpi-Appennino", Accademia Nazionale delle Scienze, Scritti e Documenti, **14**, 236- 275, Roma.
- ARGNANI A. & TRINCARDI F. (1988) - *Paola slope basin: evidence of regional contraction on the Eastern Tyrrhenian margin*. Mem. Soc. Geol. It., **44**: 93-105.
- ASIOLI A., TRINCARDI F., LOWE J.J., & OLDFIELD F. (1999) - *Short-term climate changes from the Central Adriatic basin during the Late-Glacial: comparison with other Mediterranean records and GRIP event stratigraphy*. Journal of Quaternary Science, **14** (4), 373-381.
- AUTODESK, (1988) - *AUTOCAD 10 Reference Manual*.
- BARONE A., FABBRI A., ROSSI S. & SARTORI R. (1983) - *Geological structure and evolution of the marine areas adjacent to the Calabrian arc*. Earth Evolution Sciences, **2**: 207-221.
- BARTOLE R., TORELLI L., MATTEI G., PEIS D., & BRANCOLINI G. (1991) - *Assetto stratigrafico-strutturale del Tirreno settentrionale: stato dell' arte*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1**: 115-140.
- BECCALUVA L., BONATTI E., DUPUY C., FERRARA G., INNOCENTI F., LUCCHINI F., MACERA P., PETRINI R., ROSSI P.L., SERRI G., SEYLER M., & SIENA F. (1990) - *Geochemistry and mineralogy of volcanic rocks from ODP Sites 650, 651, 655, and 654 in the Tyrrhenian Sea*. In: K.A. KASTENS J. MASCLE et alii (Eds.): Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, **107**: 75-92.

- BECCALUVA L., BROTZU P., MACCIOTTA G., MORBIDELLI L., SERRI G. & TRAVERSA G. (1989) - *Cainozoic tectono-magmatic evolution and inferred mantle sources in the Sardo-Tyrrhenian area*. In: A. BORIANI, M. BONAFEDE, G.B. PICCARDO, G.B. VAI (Eds.): *The lithosphere in Italy*, 1229-1248, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- BECCALUVA L., COLTORTI M., GALASSI R., MACCIOTTA G., & SIENA F. (1994) - *The Cainozoic calcalkaline magmatism of the Western Mediterranean and its geodynamic significance*. Boll. Geof. Teor. Appl., 293-329.
- BELL R.E. & WATTS A.B. (1986) - *Evaluation of the BGM-3 Sea gravity meter system onboard R/V Conrad*. Geophysics, **51**: 1480-1493.
- BELLOTTI P., CHIOCCI F.L., MILLI S., TORTORA P., & VALERI P. (1994) - *Sequence stratigraphy and depositional setting of the Tiber delta: integration of high-resolution seismics, well logs and archeological data*. J. Sedim. Res. **B64** (3): 416-432.
- BOCCALETTI M., NICOLICH L., & TORTORICI L. (1984) - *The Calabrian arc and the Ionian Sea in the dynamic evolution of the Central Mediterranean*. Mar. Geol., **66**: 219-245.
- BOMFORD G. (1960) - *Geodesy*. Clarendon press, 593-598, Oxford.
- BORTOLUZZI G. & LIGI M. (1986) - *DIGMAP, a computer program for the acquisition of geographical coordinates from maps in conformal projections*. Computers & Geosciences, **12**, (2): 175-197.
- BOYD, R., SUTER, J., & PENLAND, S. (1989) - *Relation of sequence stratigraphy to modern sedimentary environments*. Geology, **17**: 926-929.
- BROWN, L.F. & FISCHER, W.L. (1977). - *Seismic-Stratigraphic Interpretation of Depositional Systems: Examples from Brazilian Rift and Pull-Apart Basins*. In: C.E. PAYTON (Eds.): *Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration*, A.A.P.G. Mem., **26**: 213-248.
- CARESS D.W. & CHAYES D.N. (1994) - *MB-SYSTEM release 4.1* - Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia Univ., N.Y.
- CASERO P. & ROURE F. (1994) - *Neogene deformations at the Sicilian-North African plate boundary*. In: F. ROURE, (Eds.): *Peri Tethyan platforms*, 27-50, Edition Technip, Parigi.
- CATALANO R. & D' ARGENIO B. (1982) - *Schema geologico della Sicilia*. In: Catalano R., D' Argenio B., (Eds): *Guida alla geologia della Sicilia*, Ist. Geol. Univ. Palermo.
- CATALANO R., D' ARGENIO B. & TORELLI L. (1989). - *From Sardinia Channel to Sicily Strait. A geologic section based on seismic and field data*. In: A. BORIANI, M. BONAFEDE, G.B. PICCARDO, G.B. VAI (Eds.): *The lithosphere in Italy*, 109-127, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- CATI A., SARTORIO D. & VENTURINI S. (1987) - *Carbonate platforms in the subsurface of the Northern Adriatic area*. Mem. Soc. Geol. It., **40**: 295-308.
- CATTANEO A., & TRINCARDI F. (1999) - *The late-Quaternary transgressive record in the Adriatic epicontinental sea: basin widening and facies partitioning*. In: K.BERGMAN & J.SNEDDEN (Eds.): *Isolated Shallow Marine Sand Bodies: Sequence Stratigraphic Analysis and Sedimentological Interpretation*, SEPM Special Publication, **63**, 1-20.
- CELET P. (1977) - *The Dinaric and Aegean arcs: the geology of the Adriatic*. In: A.E.M. NAIRN & W.H. KANES (Eds): *The Ocean Basins and Margins*, **4A**: 215-261, Plenum Press New York.
- CHAPPELL J., & SHACKLETON N.J. (1986) - *Oxygen isotopes and sea level*. Nature, **324**: 137-140.
- CHRISTIE-BLICK N. (1991) - *Onlap, offlap, and the origin of unconformities-bounded depositional sequences*. Mar. Geol. **97**: 35-56.
- CLAERBUT J.F (1985) - *Imaging the Earth's interior*. Sc. Pub., pp. 204, Blackwell

- COLANTONI P., CREMONA C., LIGI M., BORSETTI A.M. & CATI F. (1985) - *The Adventure Bank (off Southwestern Sicily): a present day example of carbonate shelf sedimentation*. Giorn. Geol., **47**, (1-2): 165-180.
- CORREGGIARI A., FIELD M.E., & TRINCARDI F. (1996) - *Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf*. In: M.DE BATIST & P. JACOBS (Eds.): *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*, Geological Society Special Publication, **117**, 155-169.
- CORREGGIARI A., ROVERI M., TAVIANI M., & TRINCARDI F. (1995) - *Drowned barrier-lagoon estuary systems in the Adriatic basin: remnants of the late-Quaternary TST*. 16th IAS European Sedimentological Meeting Aix-les-bains, 24-26 Aprile 1995. p.44
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F. (1992) - *Regressioni "forzate", regressioni "deposizionali" e fenomeni di instabilità in unità progradazionali tardo-quaternarie (Adriatico Centrale)*. Gior. Geol. **54**:19-36
- CURRAY, J.R., (1964). - *Transgressions and regressions*. In: R.L. MILLER, (Eds.): *Papers in Marine Geology*, Shepard Commemorative Volume, 175-203, Macmillan Press.
- DEMAREST J. M. & KRAFT J.C. (1987) - *Stratigraphic record of Quaternary sea levels: implication for more ancient strata*. In: D. NUMMEDAL, O.H. PILKEY & J.D. HOWARD (Eds.), *Sea-Level Fluctuation and Coastal Evolution*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication **41**: 223-240.
- DI GERONIMO I., GHISSETTI F., LENTINI F. & VEZZANI L. (1978) - *Lineamenti neotettonici della Sicilia orientale*. Mem. Soc. Geol. It., **19**: 543-549.
- EVENDEN G.I. (1991) - *Cartographic Projection Procedures for the UNIX Environment*. A user's Manual. USGS OPF-90-284.
- FABBRI A. (1984) - *Mar Ligure e Mar di Sardegna*. In: P. COLANTONI , A. FABBRI, S. ROSSI & R. SARTORI (Eds): *Introduzione alla geologia dei mari italiani*, Pubbl. I.G.M., supplemento al volume **11**: 11-28.
- FABBRI A., GALLIGNANI P. & ZITELLINI N. (1981) - *Geologic evolution of the peri-Tyrrhenian sedimentary basins*. In: F.C. WEZEL (Eds.): *Sedimentary basins of the Mediterranean margins*, 101-126, Tecnoprint, Bologna.
- FAIRBANKS R. G. (1989) - *A 17,000 year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the younger Dryas event and deep-ocean circulation*. Nature **342**: 637-642.
- FANUCCI F., FIRPO M., PICCAZZO M. & MIRABILE L. (1984) - *Le Plio-Quaternaire de la Mar Ligure: epaisseurs et conditions d'accumulation*. Mar. Geol., **55**: 291-303.
- FIELD M.E., & TRINCARDI F. (1991) - *Regressive coastal deposits on Quaternary continental shelves: preservation and legacy*. In: R.H.OSBORNE (Ed.), *From shoreline to abyss*, SEPM Special Publication, **46**, 107-122.
- GALLOWAY W.E. (1989) - *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis, I. Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units*. Am. Ass. Geol. Bull., **73**: 125-142.
- GALLOWAY, W.E., DINGUS, W.F. & PAIGE R.E. (1991) - *Seismic and depositional facies of Paleocene-Eocene Wilcox Group submarine canyon fills, Northwest Gulf Coast, USA*, In: WEIMER, P., and LINK, M.H., (Eds.): *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite System*. 247-271, Springer-Verlag.
- GAMBERI F., & ARGNANI A. (1993). - *Seismostratigraphic analysis of the Neogene basins superposed on the Maghrebien orogen west of the Egadi Islands: preliminary results*. In: Max D. M. & COLANTONI P. (Eds). *Geological development of the Sicilian-Tunisian platform*, 61- 64, UNESCO.
- GAMBERI F., (1994) - *Analisi sismostratigrafica dei bacini neogenici sovrainposti alla catena delle Egadi evoluzione tettonica ed implicazione geodinamiche*. Tesi di Dottorato. Università di Bologna.

- GASPAROTTO G., & SAVELLI C. (1994) - *Mineral chemistry of the calkalkaline lavas from Marsili Seamounts (SouthEast Tyrrhenian Sea): some magmatological and geodynamic considerations*. Boll Geof Teor. Appl., **36**: 309-329.
- GENRICH J.F., & MINSTER J.B. (1991) - *Ship navigation for geophysical application using Kalman - filtered GPS fixes*. Geophysics, **56**: 12, 1961-1970.
- GRASSO M., PEDLEY H.M. & REUTHER C.D., (1985) - *The geology of the Pelagian Islands and their structural setting related to the Pantelleria rift (Central Mediterranean Sea)*. Centro, **1**: 1-19.
- GRIP, GRINLAND ICE-CORE PROJECT MEMBERS (1993) - *Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core*. Nature, **364**: 203-207.
- HAQ, B.U., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R., (1988). - *Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change*. In: C.K. WILGUS *et alii* (Eds.): *Sea Level Change: an Integrated Approach*, SEPM Spec. Publ., **42**: 71-108.
- HARLAND W. B. *et alii* (1989) - *A geological time scale*. pp. 263, Cambridge University Press .
- HELLAND-HANSEN W. & GIELBERG J.G. (1994) - *Conceptual basis and variability in sequence stratigraphy: a different perspective*. Sedimentary Geology, **92**: 31-52
- HERNANDEZ-MOLINA F.J., SOMOZA L., REY J. & POMAR L. (1994) - *Late Pleistocene-Holocene sediments on the Spanish continental shelves: model for very high resolution sequence stratigraphy*. Mar. Geol.: 129-174
- HINZ K., (1974) - *Results of Seismic Refraction and Seismic Reflection Measurements in the Ionian Sea*. Geol. Jahrbuch, **92**: 33-65.
- IBCM (1981) - *International Bathymetric Chart of Mediterranean Sea*, IOC, UK.
- IBCM-G (1989) - *Bouguer Gravity Anomalies*, 1st edition, International Bathymetric Chart of the Mediterranean (IBCM). Head Deopartment of Navigation and Oceanography Ministry of Defence, Leningrad, USSR.
- ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (1986) - *Segni convenzionali per le sezioni della Carta d' Italia alla scala 1: 250000 e norme sul loro uso*. Collezione testi tecnici.
- ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA (1969) - *Tavole per la correzione dei fondali*.
- JOHNSON D. P., KLAPPER G., & SANDBERG C.A. (1985) - *Devonian eustatic fluctuation in Euramerica*. Geol. Soc. Am. Bull. **96**: 567-587.
- KASTENS *et alii* (1988) - *ODP Leg 107 in the Tyrrhenian sea: Insights into passive margin and back-arc basin evolution*. Geol. Soc. Amer. Bull., **100**: 1140-1156.
- KASTENS K. & MASCLE J. (1990) - *The geological evolution of the Tyrrhenian Sea: an introduction to the scientific results of ODP Leg 107*. In: K. KASTENS & J. MASCLE (Eds): *Proceedings of the ODP, Scient. Results*, **107**: 3-26.
- LE DOUARAN L., BURRUS J. & AVEDIK F. (1984) - *Deep structure of the Nort-Western Mediterranean basin: results of a two-ship seismic survey*. Mar. Geol., **55**: 325-345.
- LIGI M. & BORTOLUZZI G. (1989a) - *DATUM, a FORTRAN 77 computer program for datum shift and conversion of geographical coordinates between different cartographic systems*. Computers & Geosciences, **15**, (4): 449-518.
- LIGI M. & BORTOLUZZI G. (1989b) - *PLOTMAP: geological and gepysical applications of good standard quality cartographic software*. Computer & Geosciences, **15**,(4): 519-585.
- LIGI M. (in prep.) - *NAVMAP, un sistema di navigazione su PC per la sismica marina multicanale*. Rapporto Tecnico IGM-CNR, Bologna
- LIMONOV A.F., MARANI M., & GAMBERI F. (1995) - *Seismic Profiling - Marsili Basin*. In: A.F. LIMONOV, N.H. KENYON, M.K. IVANOV & J.M. WOODSIDE (Eds.), *Deep-sea depositional systems of the Western Mediterranean and mud volcanism on the Mediterranean Ridge*, Unesco reports in marine science, **67**, 32-44.

- LOUTIT, T.S., HARDENBOL, J., VAIL, P. & BAUM, G.R. (1988). *Condensed sections, the key to age determination and correlation of continental margin sequences*. In WILGUS C. K., HASTINGS B. S., and others, eds., *Sea level changes - an integrated approach*, SEPM Spec. Publ., **42**, 183-213.
- MALDONADO A. & STANLEY D.I. (1977) - *Lithofacies as a function of depth in the Strait of Sicily*. *Geology*, **2**: 111-117.
- MANTOVANI E., ALBARELLO D., BABBUCCI D. & TAMBURELLI C. (1992) - *Recent geodynamic evolution of the Central Mediterranean region (Tortonian to Present)*. Tipografia senese, Siena, pp 88.
- MARANI M., ARGNANI, A., ROVERI, M. & TRINCARDI, F. (1993). - *Sediment drifts and erosional surfaces in the Central Mediterranean: seismic evidence of bottom-current activity*. *Sedimentary Geology*, **82**: 207-220.
- MARANI M., TAVIANI M., TRINCARDI F., ARGNANI A., BORSETTI A.M. & ZITELLINI N. (1986) - *Pleistocene progradation and postglacial events of the NE Tyrrhenian continental shelf between the Tiber river delta and Capo Circeo*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **36**: 67-89.
- MARANI M. & ZITELLINI N. (1986) - *Rift structures and wrench tectonics along the continental slope between Civitavecchia and C. Circeo*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 453-457.
- MARIANI M. & PRATO R. (1988) - *I bacini neogenici costieri del margine tirrenico: approccio sismico-stratigrafico*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **41**: 519-531.
- MARTINSON D.G., PISIAS N.G., HAYS J.D., IMBRIE J., MOORE T.C. & SHACKLETON N.J. (1988) - *Age dating and the orbital theory of the Ice Ages: development of a high-resolution 0 to 300000 year chronostratigraphy*. *Quat. Res.*, **27**: 1-29.
- MAYNE W.H. (1962) - *Common-reflection-point horizontal data stacking techniques*. *Geophysics*, **27**: 927-938.
- MC QUILLIN R., BACON M., & BARCLAY W. (1979) - *An introduction to seismic interpretation*. Graham & Trotman Ltd., pp. 287, London, UK.
- MEYERHOFF (1966) - *Horizontal stacking and multichannel filtering applied to Common-depth-point seismic data*. *Geophys. Prosp.*, **14**: 441-454.
- MIALL, A.D. (1986) - *Eustatic sea level changes interpreted from seismic stratigraphy: a critique of the methodology with particular reference to the North Sea Jurassic record*. *A.A.P.G. Bull.*, **70**: 131-137.
- MIALL A.D. (1991) - *Stratigraphic sequences and their chronostratigraphic correlation*. *J. Sediment. Petrol.* **61**: 497-505.
- MIALL A.D. (1992) - *Exxon global cycle chart: an event for every occasion?*, *Geology*, **20**: 787-137.
- MITCHUM, R.M.JR., VAIL, P.R. & SANGREE, J.B. (1977). - *Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences*, in PAYTON, C.E. ed., *Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration*. A.A.P.G. Memoir, **26**: 117-133.
- MONGARDI, S. (1994) *Studio sismo-stratigrafico e sedimentologico dei depositi tardo-quadernari sul margine tirrenico orientale (Bacino di Paola, Calabria)*. Tesi di Laurea, Università di Bologna
- MONGARDI S., CORREGGIARI A. & TRINCARDI F. (1995) - *Regional drape deposits in a Quaternary turbidite succession. Inferences from the high-resolution study of the late-Quaternary drape on the sea floor of Paola Basin (Tyrrhenian Sea)*. 16th IAS European Sedimentological Meeting Aix-les-bains, 24-26 Aprile 1995, p. 106.
- MORELLI C., GANTAR G. & PISANI M. (1975) - *Bathymetry, gravity and magnetism in the Strait of Sicily. Oceanography of the Strait of Sicily*. Saclantcen Conf Proc., **7**: 193-207.
- MORLEY C.K. (1986) - *A classification of thrust fronts*. *A.A.P.G. Bull.*, **70**: 371-378.
- MORLOTTI E., SARTORI R., TORELLI L., BARBIERI F., & RAFFI I. (1982) - *Chaotic deposits from the external Calabrian arc (Ionian Sea, Eastern Mediterranean)*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **24**: 261-275.
- MUTTI, E. (1990) - *Relazioni tra stratigrafia sequenziale e tettonica*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **45**: 627-655.

RILEVAMENTO

- MUTTI, E. (1992) - *Turbidite sandstones*, pp. 275 Istituto di Geologia Universita' di Parma and AGIP.
- MUTTONI G., ARGNANI A., KENT D.V., ABRAHAMSEN N., & CIBIN U. (1998) - *Paleomagnetic evidence for Neogene tectonic rotations in the northern Apennines, Italy*. Earth and Planetary Science Letters, 154 (1), 25-40.
- NEWTON R. S. & STEFANON A. (1982) - *Side-scan sonar and subbottom profiling in the North Adriatic Sea*. Mar. Geol., **46**: 279-306.
- NICOLICH R. & DAL PIAZ G.V. (1991) - *Isobate della Moho in Italia*. In: *Structural model of Italy*, 6 fogli 1:500000, Progetto Finalizzato Geodinamica, C.N.R., Roma.
- NUMMEDAL D.E. & SWIFT D.J.P. (1987) - *Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples*. In: D.E. NUMMEDAL, O.H. PILKEY & J.D. HOWARD (Eds.): *Sea-Level Fluctuation and Coastal Evolution*. SEPM Spec. Publ. **41**:241-260
- PATACCA E., SARTORI R. & SCANDONE P. (1992) - *Tyrrhenian basin and Apenninic arcs. Kinematic relations since Late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It., **45**: 425-451.
- PAUTOT G., LE CANN C., CANTELLE A. & MART Y., (1984) - *Morphology and extension of the evaporitic structures of the Liguro-Provençal basin: new Sea-beam data*. Mar. Geol., **55**: 387-409.
- PENITENTI D. (in prep) - *Moduli cartografici in ambiente AUTOCAD per la gestione di dati in coordinate geografiche*. Rapporto Tecnico IGM, Bologna.
- PLINT AG (1988) - *Sharp-based shoreface parasequences and "offshore bars" in the Cardium formation of Alberta; their relationship to relative changes in sea level*. In: C.K. WILGUS et alii (Eds.), *Sea level changes - an integrated approach*, SEPM Spec. Publ., **42**: 357-370.
- PLINT G.A. EYLES N. HEYLES C.H. & WALKER R.G. (1992) - *Control of sea level change* In: R.G. WALKER & N.P. JAMES (Eds.): *Facies model* Geol. Ass. of Canada, 15-25.
- POSAMENTIER H.W. & ALLEN G.P. (1993) - *Variability of the sequence stratigraphic model: effects of local basin factors*. Sedim. Geol. **86**:91-109
- POSAMENTIER, H.W., ERSKINE, R.D., & MITCHUM, R.M.Jr. (1991) - *Models for Submarine-Fan Deposition within a Sequence-Stratigraphic Framework* In: WEIMER, P. & LINK M.H., (Eds.): *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite System*. New York Springer-Verlag, 127-136.
- POSAMENTIER H.W. & JAMES D.P. (1993) - *An overview of the sequence stratigraphic concepts: uses and abuses*. In: H.W. POSAMENTIER, C.P. SUMMERHAYES, B.U. HAQ & G.P. ALLEN (Eds.): *Sequence stratigraphy and facies associations*. Int. Assc. Sedimentol. Spec. Publ., 18: 3-18.
- POSAMENTIER H.W., JAMES D.P., ALLEN G.P. & TESSON M. (1992) - *Forced Regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples, and exploration significance*. A.A.P.G. Bull. **76**:1687-1709
- POSAMENTIER, H.W. & VAIL, P. R. (1988) - *Eustatic control on clastic deposition, II-sequence and systems tract models*. In: C.K. WILGUS, B.S. HASTINGS, et alii, (Eds.): *Sea Level Changes: An Integrated Approach*. SEPM Special Publ., **42**: 125-154.
- REUTHER C.D., BEN-AVRAHAM Z. & GRASSO M. (1993) - *Origin and role of major strike-slip transfers during plate collision in the central Mediterranean*. Terra Nova, **5**: 249-257.
- REHAULT J.P., BOILLOT G. & MAUFFRET A. (1984) - *The Western Mediterranean basin geological evolution*. Mar. Geol. **55**: 447-477.
- RICCI LUCCHI F. (1986) - *The Oligocene to recent foreland basins of the Northern Apennines*. In: P.A. ALLEN and P. HOMEWOOD (Eds.): *Foreland Basins*, Int. Ass. Sediment. Spec. Publ., **8**: 105-139.
- RICCI LUCCHI, F., COLELLA, A., GABBIANELLI, G., ROSSI, S., & NORMARK, W.R. (1984) - *The Crati Submarine Fan, Ionian Sea*. Geo- Marine Letters, **3**: 71-77.

- ROSSI S. (1984) - *Mare Ionio*. In: COLANTONI P., FABBRI A., ROSSI S. & SARTORI R., (Eds): Introduzione alla geologia dei mari italiani, Pubbl. I.G.M., supplemento al volume **11**, 69-80
- ROSSI S. & BORSETTI A.M. (1977) - *Dati preliminari di stratigrafia e di sismica del Mare Ionio Settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., **13**: 251-259.
- ROSSI S. & SARTORI R. (1981) - *Study of the external Calabrian arc in the northern*.
- SANDWELL D.T., SMITH & YALE (1994) - EOS trans. AGU, Fall. 1994 AGU supp.
- SANDWELL D.T. & YALE (1994) - EOS Transactions AGU, Fall 1994 AGU Meeting supplement.
- SARTORI R. (1990) - *The main results of ODP Leg 107 in the Frame of Neogene to recent geology of Perityrrhenian areas*. In: KASTENS K.A., MASCLE J. (Eds): Proceedings of the ODP, Scientific Results, **107**: 715-730.
- SCANDONE P., PATACCA E., RADOICIC R., RYAN W.W.F., CITA M.B., RAWSON M., MILLER E., CHEZAR H., MC KENZIE J. & ROSSI S. (1981) - *Mesozoic and Cenozoic rocks from the Malta Escarpment (Central Mediterranean)*. A.A.P.G. Bull, **65**, (7): 1299-1319.
- SCHWANDER M.M. (1989) - *The southern Adriatic basin, offshore Italy*. In: A.W. BALLY (Eds): A.A.P.G. Atlas of seismic stratigraphy, **3**: 112-115.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1992) - Carta geologica d'Italia - 1:50.000 Guida al rilevamento a cura del CNR Commissione per la Cartografia Geologica Geomorfologica Quad., ser. III, **1**, pp. 203.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1994) - Carta geomorfologica d'Italia - 1:50.000. Guida al rilevamento. Quaderni, ser. III, **4**, pp. 42.
- SHACKLETON N.J. (1977) - *Oxygen isotope and paleomagnetic evidence for early northern hemisphere glaciation*: Nature, **270**: 216-219.
- SWIFT D.J.P. (1975) - *Barrier island genesis: evidence from the Middle Atlantic shelf of North America*. Sedimentary Geology **14**: 1-43.
- TAVIANI, M. & TRINCARDI, F. (1987) *Postglacial buildups on the Eastern Tyrrhenian shelf - attempt of interpretation*. Coll. Intern. Oceanol., Perpignan, CIESM, p. 30.
- TESSON, M., GENSOUS, B., ALLEN, G.P. & RAVENNE, C.H. (1990) - *Late Quaternary deltaic lowstand wedges on the Rhone continental shelf, France* Mar. Geol., **91**: 325-332.
- THORNE, J.A. & SWIFT, D.J.P. (1991) - *Sedimentation on continental margins, VI: a regime model for depositional sequences, their component systems tracts, and bounding surfaces*, In: SWIFT, D.J.P., OERTEL, G.F., TILLMAN, R.W., E THORNE, J.A. (Eds.) *Shelf sand and sandstone bodies*, Int. Ass. of Sediment., Spec. Publ., **14**: 189-255.
- TOMELLERI V., & VETTORE A. (1989) - *Pratica semiampiezza di fusi ellissoidici rotazionali secondo eccentricita' ellisoida quadratica ed approssimazione numerica di coordinate rettilinee gaussiane nella piano-corrispondenza cartografica isogona UTM.*. Riv. Catasto e Serv. tecn. Erar.
- TRINCARDI F. & ARGNANI A. (1990) - *Gela submarine slide: a major basin-wide event in the Plio-Quaternary foredeep of Sicily*. Geo-Mar. Lett., **10**: 13-21.
- TRINCARDI F., ASIOLI A., CATTANEO A., CORREGGIARI A., & LANGONE L. (1986) - *Stratigraphy of the late-Quaternary deposits in the Central Adriatic basin and the record of short-term climatic events*. Memorie Istituto Italiano di Idrobiologia, **55**, 39-70.
- TRINCARDI F., & CORREGGIARI A. (in stampa) - *Muddy forced-regression deposits in the Adriatic basin and the composite nature of Quaternary sea level changes*. In: D.HUNT & D.GAWTHORPE (Eds.), *Sedimentary expression of forced regressions*. Geological Society Special Publication, 154.
- TRINCARDI F., CORREGGIARI A., FIELD M.E., & NORMARK W.R. (1995) - *Turbidite deposition from multiple sediment sources: Quaternary Paola Basin (Eastern Tyrrhenian Sea)*. Journal of Sedimentary Research, **65B**, 469-483.

- TRINCARDI, F., CORREGGIARI A., & ROVERI M. (1994) - . *Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: the Adriatic Semienclosed Basin*. Geo-Mar. Lett., **14**: 41-51.
- TRINCARDI, F. & FIELD, M.E. (1992) - *Collapse and flow of lowstand shelf-margin deposits: an example from the Eastern Tyrrhenian, Italy*. Mar. Geol., **105**: 77-94.
- TRINCARDI, F. & NORMARK, W.R. (1988) - . *Sediment waves on the Tiber prodelta slope: interaction of deltaic sedimentation and currents along shelf*. Geo-Mar. Lett., **8**: 149-157.
- TRINCARDI, F. & ZITELLINI, N., (1987) - *The rifting of the Tyrrhenian basin* Geo-Mar. Lett., **7**: 1-6.
- VAIL P.R., HARDENBOL J. & TODD R.G. (1984) - *Jurassic unconformities, chronostratigraphy and sea-level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy*. In: J.S. SHLEE (Eds.) *Interregional unconformities and hydrocarbon accumulation* Am. Ass. Petr. Geolog. Memoir **36**:129-144.
- VAIL, P.R., MITCHUM, R.M.JR., TODD, R.G., WIDMIER, J.M., THOMPSON, S., SANGREE, J.B. & BUBB, J.N. (1977) - *Seismic stratigraphy and global change of sea level*, In: C.E. PAYTON (Eds): *Seismic Stratigraphy - Application to Hydrocarbon Exploration*, A.A.P.G. Mem., **26**: 49-116.
- VAN EYSINGA F.W.B. (1978) - *Geological Time Table*, 3rd edizione. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- VAN WAGONER J.C., POSAMENTIER H.W., MITCHUM R.M. JR, VAIL P.R., SARG J.F., LOUTIT L.S., & HARDENBOL J. (1988) - *An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions*, In: WILGUS CK, HASTINGS BS & OTHERS (Eds.): *Sea Level Changes-An Integrated Approach* SEPM Spec. Publ. **42**:39-46
- WALKER R.G. (1990) - *Facies modeling and sequence stratigraphy*. J. Sediment. Petrol. **60**: 777-786.
- WELLS D.E. *et alii* (1986) - *Guide to GPS Positioning*. Canadian GPS Associates, 2VV, Fredericton, N.B., Canada.
- WEZEL F. C., MEZZADRI G., CHIARI R., GALLO F., & VERNIA L. (1977) - *Prima descrizione di alcune rocce del substrato del bacino della Sardegna (Mare Tirreno)*. Ateneo Parmense, **13**: 71-92.
- WEZEL F.C., SAVELLI D., BELLAGAMBA M., TRAMONTANA M., & BARTOLE R., (1981) - *Plio-Quaternary depositional style of sedimentary basins along insular Tyrrhenian margins*. In: F.C. WEZEL (Eds.): *Sedimentary basins of the Mediterranean margins*, 239-269, Tecnoprint, Bologna.
- WINNOCK E. (1981) - *Structure du bloc Pelagien*. In: WEZEL F.C. (ed): *Sedimentary basins of the Mediterranean margins*, 445-467, Tecnoprint, Bologna.
- WOODCOCK, N.H. (1979) - *Sizes of submarine slides and their significance*. J. of Struct. Geol., **1**, (2): 137-142.
- YILMAZ O. (1987) - *Seismic Data Processing. Investigation in Geophysics*. S.M.DOHERTY (Eds.): Soc.EXp.Geophys.2, pp.526 Tulsa ,OK.
- ZAGWIJN W.H. (1985) - *An out line of the Quaternary stratigraphy of the Netherlands*. Geologie en Mijnbouw, **64**: 17-24.
- ZAGWIJN W.H. (1989) - *The Netherlands during the Tertiary and the Quaternary: a case history of coastal lowland evolution*. Geologie en Mijnbouw, **68**: 107-120.
- ZAGWIJN W.H. (1979) - *Early and Middle Pleistocene coastlines in the Southern North Sea basin*. In: E. OELE, R.T.E. SHUTTENHELM & A.J. WIGGERS (Eds): *The Quaternary History of the North Sea* , 31-42.
- ZAPPATERA E. (1990): *Regional distribution models of source rocks in the Periadriatic region*. Mem. Soc. Geol. It., **45**: 817-822.
- ZITELLINI N., TRINCARDI F., MARANI M. & FABBRI A. (1986) - *Neogene tectonics of the Northern Tyrrhenian sea*. Giorn., Geol., **48**:25-40