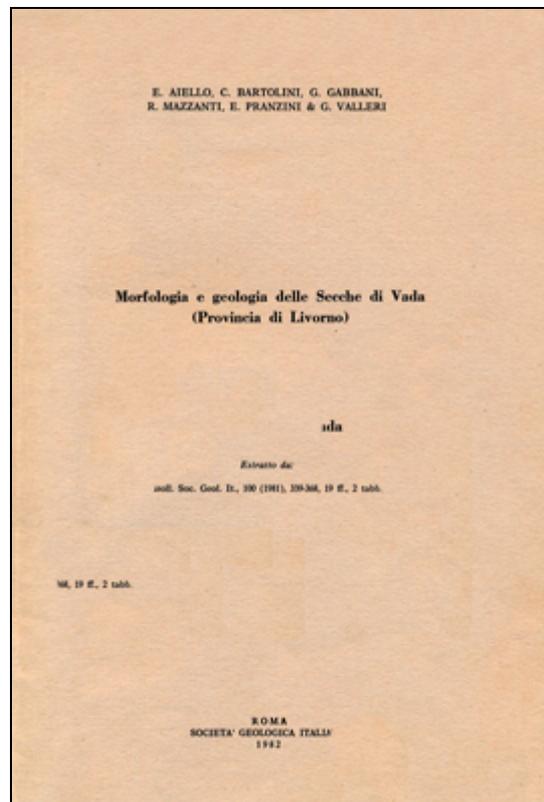


Bollettino Società Geologica Italiana
100 (1981), 339-368, 19 ff., 2 tabb.

MORFOLOGIA E GEOLOGIA DELLE SECCHIE DI VADA (PROVINCIA DI LIVORNO) (*)

Nota dei Soci EROS AIELLO (**),
CARLO BARTOLINI (**),
GIULIANO GABBANI (**),
RENZO MAZZANTI (***),
ENZO PRANZINI (**)
& GIGLIOLA VALLERI (**)



RIASSUNTO

Viene presentato lo studio morfologico e geologico delle Secche di Vada, bassofondo roccioso che si estende a circa 10 Km al largo della Costa Toscana fra Castiglioncello e Cecina a sud di Livorno. Ricordate le modalità impiegate per il rilevamento del fondale e richiamate le conoscenze geologiche generali sul retroterra per facilitare la comprensione delle ipotesi e interpretazioni sulla natura del substrato, viene affrontato lo studio vero e proprio morfologico e geologico.

Dal punto di vista morfologico queste secche formano un vasto promontorio sommerso sul prolungamento della Piana di Vada; il fondale non supera generalmente i - 20 m e giunge quasi ad emergere nelle vicinanze del Faro, circa 10 Km ad occidente di Vada. Il raccordo con la piattaforma circostante (sui lati nord, ovest avviene intorno all'isobata dei - 60 m con un pendio rettilineo assai ben individuabile.

Sul corpo delle secche sono state riconosciute delle zone morfologiche isopiche da terra verso il largo e cioè (secondo la denominazione dei pescatori locali): «I Catini» o fondo con depressioni sub circolari; «Gli Spartiti», caratterizzati da affioramento di rocce stratificate; «Le Ricadute» o piccole scarpate collegate a costruzioni biogeniche del Coralligeno «I Cigli» o scarpate maggiori delimitanti i bordi delle secche. La zona interna delle secche, da circa 2 Km dal Faro fino a circa 1 Km dal litorale, è coperta da un'ampia prateria a Posidonie impiantata su *mattes*.

Per lo studio geologico sono stati eseguiti vari esami al microscopio dei campioni raccolti. E' stato riconosciuto che al fondo a «catini» corrisponde un substrato di «Panchina» del Tirreniano, mentre agli spartiti corrispondono affioramenti di un flysch del Cretaceo superiore, paragonabile con i Flysch ad Helminthoidea della Liguria.

Infine viene indicata la ricostruzione strutturale dell'area delle secche anche in relazione con le zone adiacenti sia in terra sia in mare. Il corpo delle secche sembra traversato più o meno a metà da una faglia diretta circa NNW-SSE (parallela al litorale) che separa, verso est, un Graben riempito di sedimenti marini del Pleistocene inferiore da un Horst, verso ovest, corrispondente agli affioramenti subacquei del flysch del Cretaceo superiore. La «Panchina» del Tirreniano ricopre in trasgressione eustatica più che altro i sedimenti del Pleistocene inferiore e non sembra interessata da movimenti tettonici.

Questa struttura prosegue verso NW ben oltre l'area delle secche fino all'altezza di Quercianella, circa 12 Km a sud di Livorno.

(*) Pubblicazione n. 122 del Centro di Studio per la Geologia dell'Appennino in rapporto alle Geosinclinali Mediterranee.

(**) Istituto di Geologia e Paleontologia - Firenze.

(***) Centro di Studi per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino (CNR.).

TERMINI CHIAVE: Geologia marina, morfologia del fondo, piattaforma continentale, geofisica marina, neotettonica.

INTRODUZIONE

Le Secche di Vada costituiscono un sistema di bassi fondali che si estende fino a circa 10 km al largo del litorale fra Castiglioncello e Cecina. Sono segnalate dal Faro di Vada, posto al centro di una piccola area nella quale le rocce del fondo arrivano quasi ad emergere.

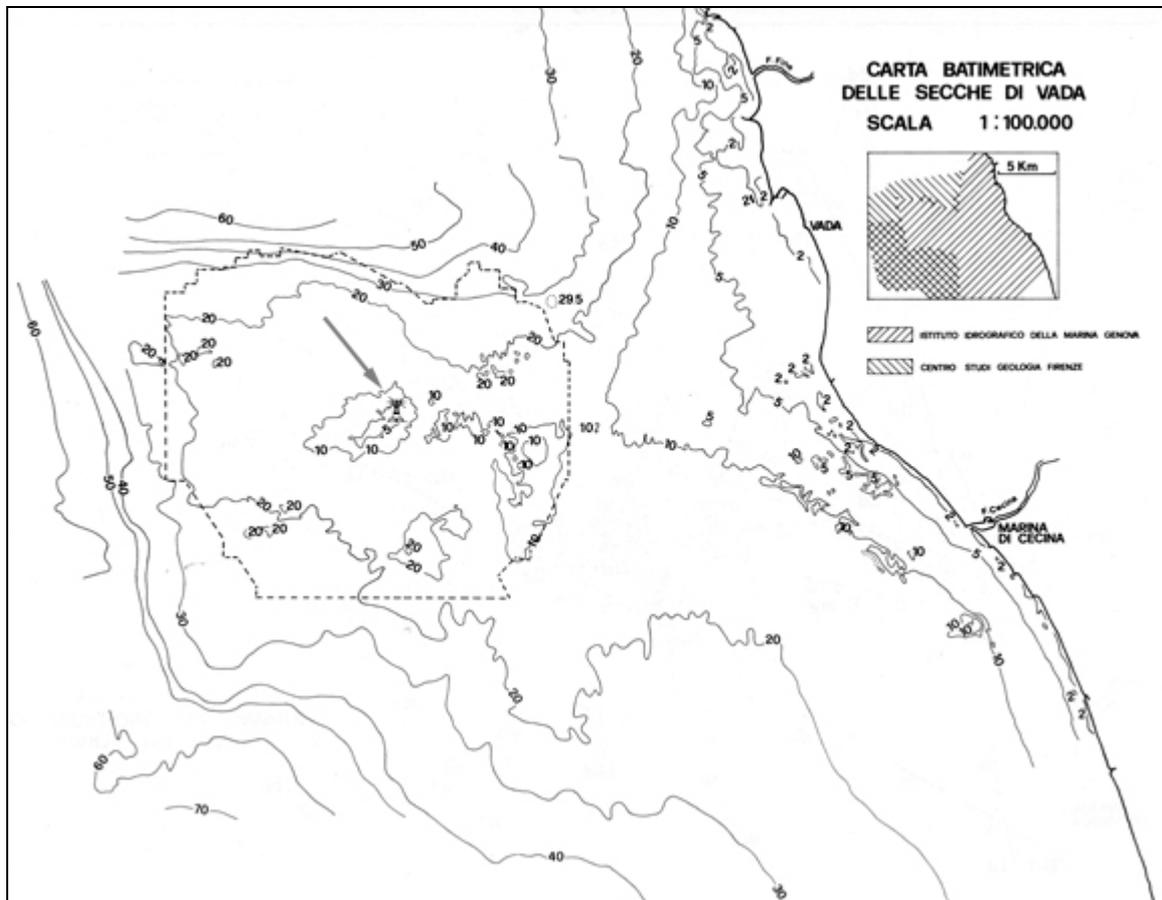


Fig.1

Il litorale prospiciente le Secche è costituito da una costa rocciosa fra Castiglioncello e la Punta Lillatro di Rosignano Solvay e più a sud, da una lunga spiaggia. Questa continua ben oltre Cecina fino a raggiungere la Punta del Molino, all'estremità settentrionale del Promontorio di Piombino. La regolare falcatura di questa spiaggia si interrompe, in corrispondenza della parte centrale e più elevata delle Secche, per formare la Punta Catena e il Capo Cavallo, leggermente protesi verso il mare e delimitanti la Cala di Vada.

La presenza di «Panchina» nei bassi fondali prospicienti queste punte (dove è agevolmente osservabile a mare calmo) e nell'affioramento di Punta Lillatro (MAZZANTI & PAREA, 1979) oltre che in numerosissimi scavi per pozzi e fondazioni nell'abitato e nella campagna di Vada, indica la continuità geologica fra la parte più interna delle Secche e il substrato dell'immediato retroterra. La presenza di un substrato roccioso affiorante su rilievi morfologicamente isolati della piattaforma continentale all'altezza delle Secche è stata messa in luce nel corso di crociere geofisiche e di campionamento effettuate dalla Nave Oceanografica Bannock per il Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini del C.N.R. i cui risultati sono stati recentemente pubblicati (BARTOLINI et al., 1980). Tuttavia finora la letteratura scientifica non riportava alcuna notizia sulla natura del substrato roccioso delle Secche e neppure sul fatto che esso fosse, o meno, in qualche punto affiorante al di sotto dei sedimenti sciolti recenti.

La ridotta profondità dei fondali che caratterizzano la zona ha imposto, per le ricerche in mare, l'impiego di un'imbarcazione di modesto pescaggio, con ciò fortemente limitando la disponibilità di attrezzature. Nel corso di tre campagne condotte a bordo della motobarca Livorno II, gentilmente messa a disposizione dall'Amministrazione Provinciale di Livorno nei mesi di giugno, luglio e ottobre 1979 per complessivi 28 giorni, sono stati impiegati:

- un ecografo ad alta frequenza Raytheon DE-719 B;
- una benna tipo Van Veen.

Le informazioni che sulla natura dei fondali potevano essere fornite da questa semplice attrezzatura sono state opportunamente arricchite ed integrate con le osservazioni e le campionature eseguite da due sommozzatori fino ad un massimo di 42 m di profondità. Queste hanno consentito non solo di conoscere le caratteristiche litologiche delle rocce affioranti sul fondo in numerosi punti, ma anche, in parte, di interpretare, facendo riferimento a situazioni campione, la natura dei fondali osservata sulle circa 90 migliaia di profili registrati.

Per il posizionamento, esclusa la possibilità di rilevamenti ottici in relazione all'estensione dell'area studiata, è stato impiegato il sistema di triangolazione elettronica Mini Range III Motorola (basato sulla misura dei lati del triangolo) e che consente una precisione di qualche metro. Le stazioni ripetitrici a terra sono state ubicate rispettivamente a Rosignano Solvay e a Cecina in modo da coprire efficacemente tutta l'area che si è inteso investigare. La restituzione dei punti nave è stata effettuata graficamente a bordo utilizzando, su una base topografica a scala 1:25.000, una coppia di righe graduate in metri fissate sui corrispondenti cartografici dei punti di stazione a terra e libere di ruotare. Alcuni profili sono stati posizionati, a causa di una temporanea avaria di uno dei due transponders, abbinando ad un rilevamento eseguito con la suddetta apparecchiatura una misura di distanza ottenuta con il radar di bordo della motobarca utilizzata per la campagna. La precisione di questi è stata verificata essere notevolmente inferiore a quella dei profili posizionati integralmente con il sistema Motorola; per questo in fig. 2 (sotto) i due gruppi di profili sono stati distinti con diversa simbologia.

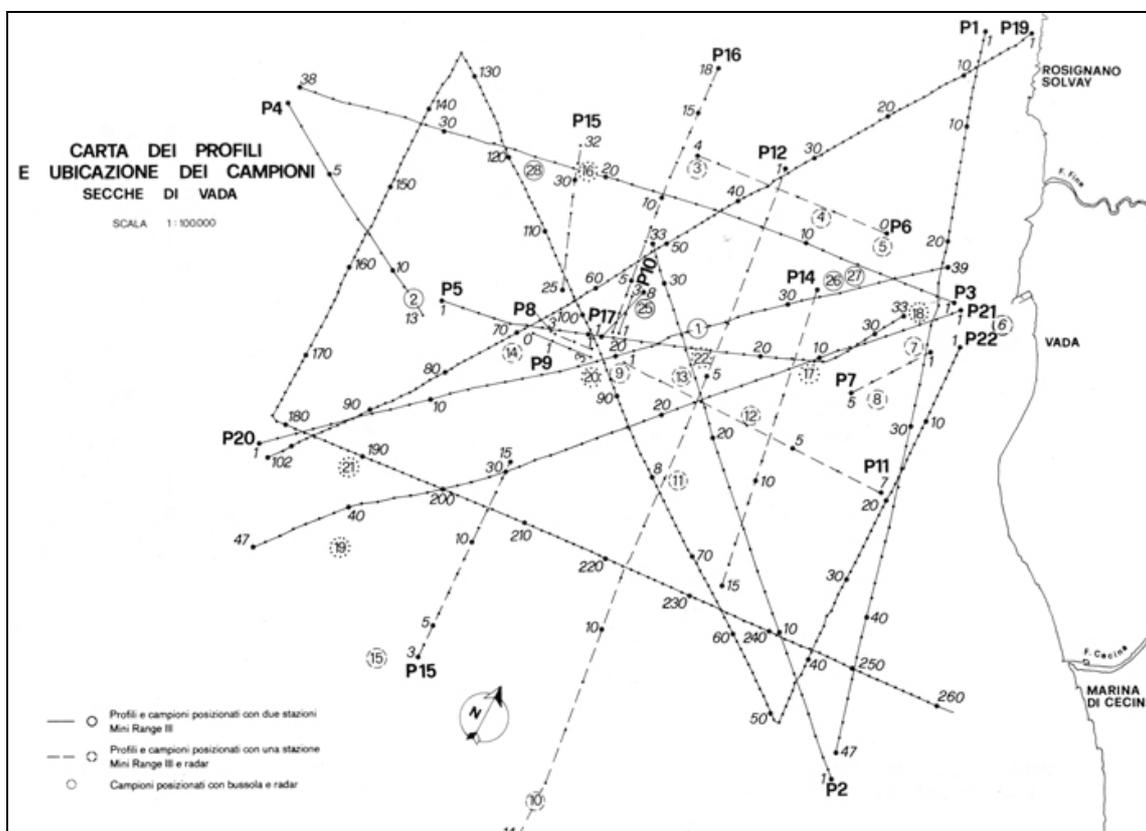


Fig.2

L'ubicazione dei punti nave relativi ai profili del primo gruppo è stata ottenuta con elaborazione elettronica e disegno automatico delle coordinate Motorola alla scala 1:25.000.

Per gli altri profili, tenuto conto della minore precisione di posizionamento, si è ritenuto sufficiente effettuare il tracciato, alla stessa scala, per restituzione grafica manuale.

La restituzione batimetrica di tutti i profili è stata effettuata conservando la scala orizzontale di 1:25.000 e adottando una scala verticale di 1:1.000. Alcuni di questi profili, scelti fra i più espressivi delle caratteristiche morfologiche di dettaglio e d'insieme della zona studiata, sono riportati in fig. 3A e 3B.

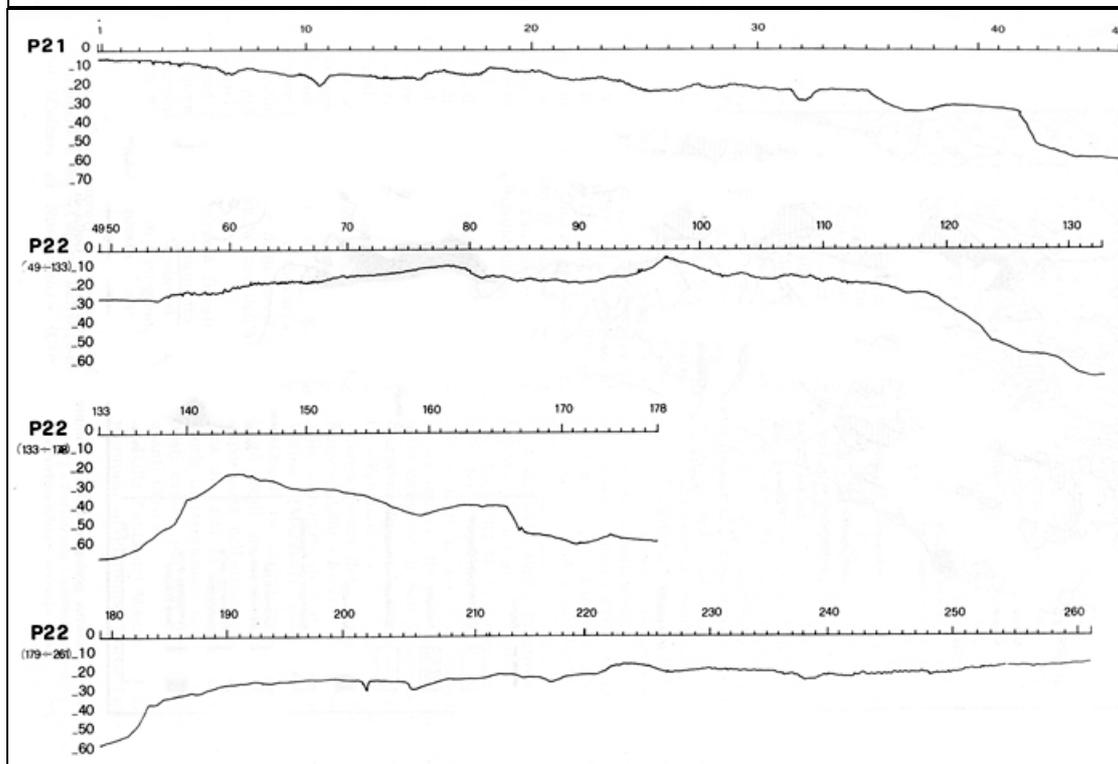
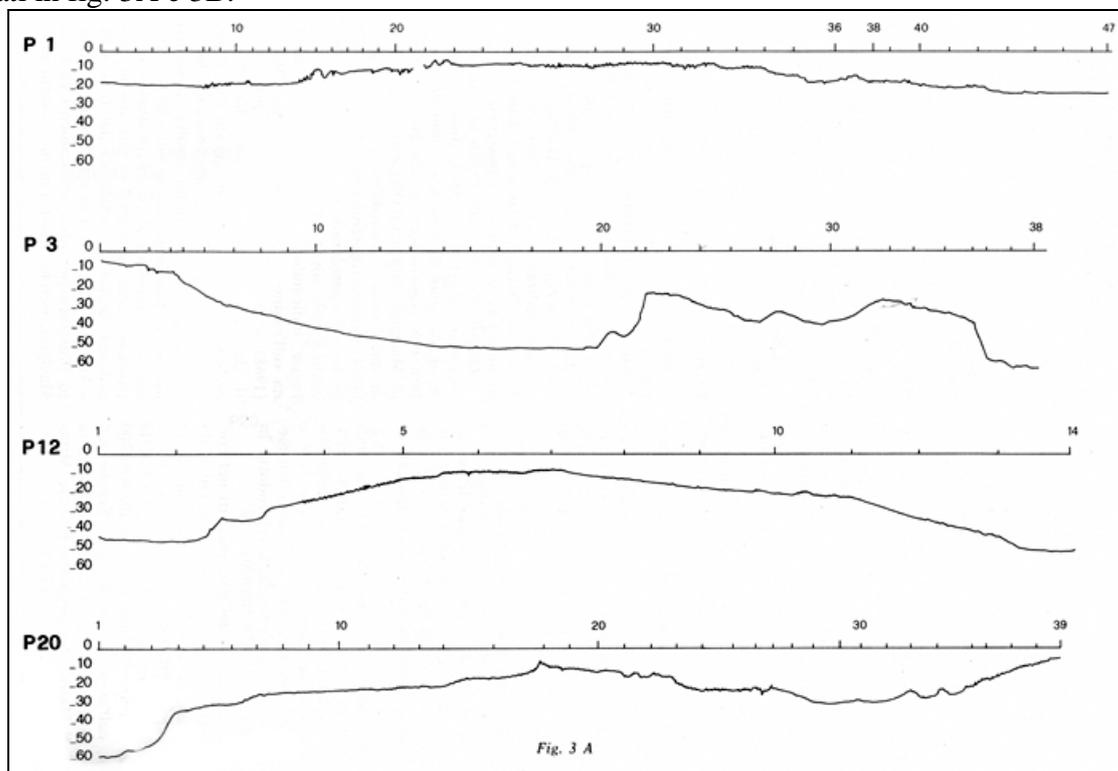


Fig.3 A-B

I dati batimetrici così raccolti sono stati utilizzati per integrare i grafici di scandagliamento dell'Istituto Idrografico della Marina (relativi a rilievi condotti fra 1978 e il 1980) e realizzare così una carta batimetrica di tutta l'area studiata (riprodotta in fig. 1 alla scala di 1: 100.000).

Ad integrazione dei dati raccolti nel corso delle tre campagne di rilievi di cui si dà qui notizia, sono state utilizzate anche le registrazioni ottenute con un *Sub-Botton Profiling System nod. 415 EDO a 3.5 KHz* e con uno *Sparker 305 Teledyne da 800-1000 joule*, nell'area marginale delle Secche nel corso di due crociere del P.F. Oceanografia e Fondi Marini, Subprogetto Risorse Minerarie del CNR. (1977 e 1978).

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO DELL'ENTROTERRA

Numerosi studi, fra i quali alcuni anche recentissimi, sono stati dedicati alla geologia e alla morfologia della zona compresa fra Livorno e Piombino che può essere indicata come l'entroterra, *latu sensu*, delle Secche di Vada.

E' possibile fare il punto sui risultati di questi studi e contemporaneamente indicare le conoscenze su questo entroterra descrivendo brevemente due sezioni geologiche: una, diretta NW-SE, e corrispondente al litorale da Livorno a Piombino; l'altra, diretta SW-NE, e corrispondente al fianco sinistro del tratto inferiore della Val di Fine, dalla foce di questo fiume al ponte della Strada Statale n. 206 (fig. 4).

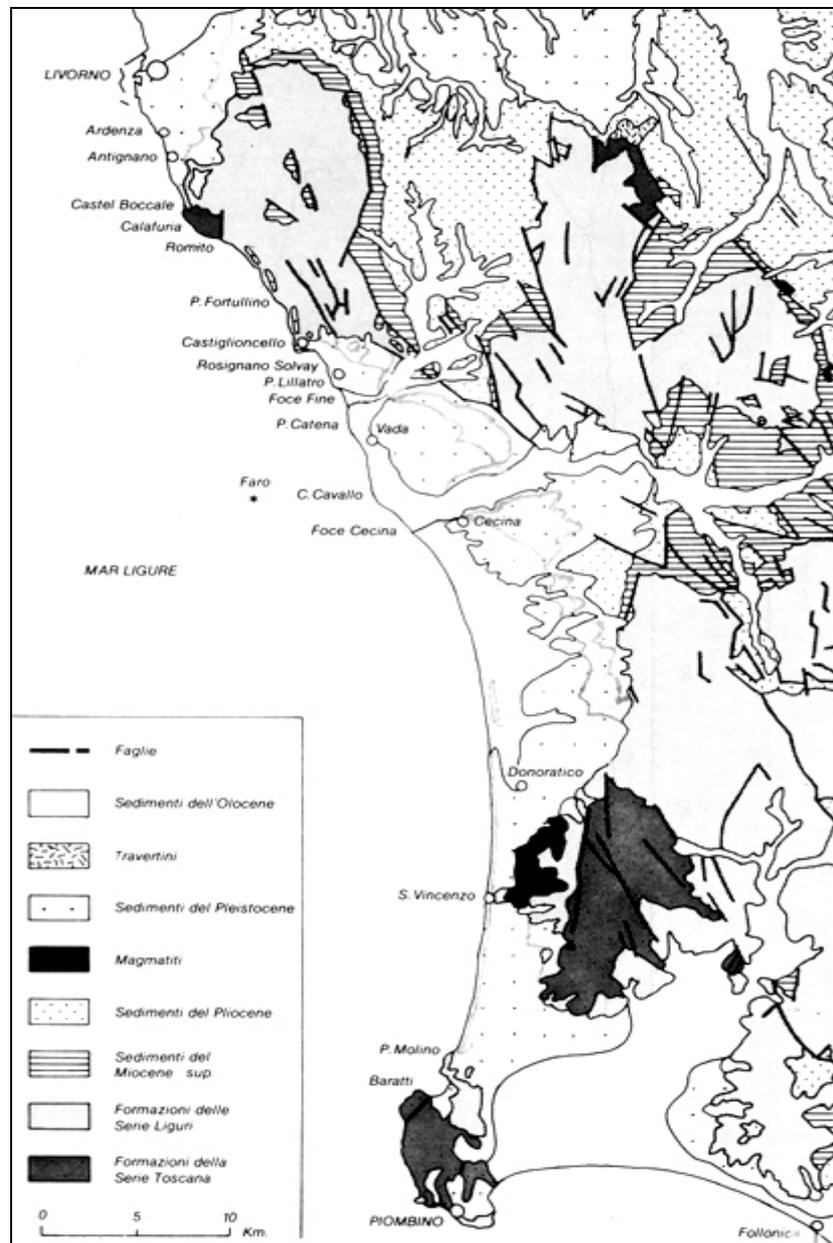


Fig.4 - Schema geologico dell'area compresa fra Livorno e il Golfo di Follonica.

LA SEZIONE FRA LIVORNO E PIOMBINO

In questo contesto interessa iniziare l'esame di questa sezione a partire da circa 3 Km a sud di Livorno, cioè dall'affioramento degli strati tipo «Argille e Calcari», che inizia poco a sud della foce dell'Ardenza. Questi strati sormontano, ancora più a sud, all'altezza del Castel Boccale, la successione sedimentaria che indichiamo come *Flysch* di Calafuria (dal nome della località di maggiore e migliore esposizione).

Questo *flysch* fu attribuito al «Macigno eocenico» da LOTTI (1884); dubitativamente al Macigno, di generica e non documentata età oligo-miocenica, da MERLA (1962); al Macigno datato all'Oligocene, sulla base di una fauna a Lamellibranchi, da TAVANI (1954). Successivamente CONTI & ANDRI (1967) lo hanno considerato come la base stratigrafica delle sovrastanti successioni di tipo ligure, indicandone un'età aptiano (?) - albiana sull'esame di microfacies. Infine DALLAN (1968), sulla base di microfaune provenienti da intercalazioni marnose, ha potuto escludere l'età cretacea di questo *flysch* per la presenza di forme paleogenico-aquitaniene. Questo ultimo studio risolve, a nostro avviso, il problema tanto più che direttamente sovrapposti al *flysch* in questione si trovano, come abbiamo specificato in precedenza, sedimenti sub-liguri del tipo delle «Argille e Calcari». Ciò è conforme a quanto illustrato per altri affioramenti certi di Macigno, perché mostrano al di sotto altri termini della Serie Toscana, secondo quanto è stato documentato in diverse zone a sud dell'Arno (GIANNELLI et al., 1965; LAZZAROTTO & MAZZANTI, 1966 e 1978).

L'assetto tettonico del *Flysch* di Calafuria, malgrado la presenza di pieghe da *slumpings* e di complicazioni minute locali, è nell'insieme riferibile a un'ampia anticlinale ad asse all'incirca appenninico, troncata a SE da una faglia normale che ha portato gli strati di questo stesso *flysch* a diretto contatto con quelli del Complesso ligure delle «Ofioliti e Argille con Calcari palombini». Questa faglia è responsabile del non affioramento sul litorale, e quindi sulla sezione geologica in esame, del Complesso sub-ligure delle «Argille e Calcari», fra il limite meridionale di affioramento del *Flysch* di Calafuria e l'ammasso di ofioliti, radiolariti e argille con calcari palombini del Promontorio del Romito.

A sud di questo promontorio il litorale mostra, fino alla Punta Fortullino, l'affioramento delle «Argille fissili con intercalazioni di calcari silicei (palombini) e di arenarie quarzose», riferite da CERRINA FERONI & MAZZANTI (1966) al Complesso alloctono II o delle «Ofioliti e argille con calcari palombini». Questo complesso è generalmente attribuito al Giurese superiore-Cretaceo inferiore e l'ammasso di ofioliti e di radiolariti del Romito ne forma la parte basale.

Immediatamente a sud della Punta Fortullino affiora, in finestra, un piccolo lembo di «Argille e silts rossi e verdi, radiolariti nere, calcareniti talora con selci nere» di età cretacea superiore e attribuito dagli stessi autori al Complesso I delle formazioni alloctone. Più precisamente riteniamo oggi verosimile che questi strati rappresentino la parte basale del complesso sub-ligure delle «Argille e Calcari», correlabile quindi con parte degli strati che affiorano più a nord fra la foce dell'Ardenza e il Castel Boccale.

A sud di questa piccola finestra tettonica riprende l'ampio affioramento di ofioliti (serpentina e gabbro) che si estende, salvo la Punta Righini di Castiglioncello, fino al Porticciolo di questa stessa località.

La Punta Righini di Castiglioncello è formata da «Conglomerati a cemento calcareo-marnoso» e da «Calcari detritico-organogeni (Calcare di Rosignano)» (CERRINA FERONI & MAZZANTI, 1966), trasgressivi sulle formazioni dell'Alloctono ligure.

Poco a sud del Porticciolo (1) di Castiglioncello, dopo un breve tratto di «Argille e Calcari palombini», inizia, sul litorale prospiciente la ex Villa Casamarina, l'affioramento della «Panchina». Questo sedimento, collegato alla trasgressione tirreniana, è stato di recente esaminato, proprio nel tratto compreso fra Livorno e Rosignano Solvay, da MAZZANTI & PAREA (1979) ai quali si rimanda per l'interpretazione genetica e i particolari sedimentologici.

A livello del mare, in questo tratto al piede meridionale dei Monti Livornesi la «Panchina» affiora appunto dalla Villa Casamarina alla Punta Lillatro di Rosignano Solvay. A nord della Villa

Casamarina la base della «Panchina» si trova man mano più alta fino a raggiungere gli 11-15 m di quota fra Castiglioncello e Quercianella.

Affioramenti ad analoghe quote sono stati riscontrati ai bordi interni delle piane di Rosignano Solvay e di Livorno; questa giacitura non è stata considerata legata a movimenti neotettonici bensì al processo di risalita eustatica della trasgressione tirreniana (si veda l'argomentazione in BARSOTTI et al., 1974 e in MAZZANTI & PAREA, 1979).

A sud della Punta Lillatro di Rosignano Solvay, per un arco di circa 50 Km fino alla Punta del Molino (estremità settentrionale del Promontorio di Piombino) il litorale è formato da una spiaggia praticamente ininterrotta, salvo piccolissimi tratti nelle vicinanze di San Vincenzo. In questi, specialmente con la bassa marea, affiorano la «Panchina» e i sovrastanti livelli dei «*Conglomerati della Foce del Botro delle Rozze*», delle «*Brecce de la Punticella*» e delle «*Arenarie di San Vincenzo-Punta del Molino*» (MAZZANTI et al., 1981).

Questi tre ultimi livelli, malgrado l'esiguità degli spessori, hanno una notevole importanza nell'interpretazione geomorfologica di tutta la zona perché, contenendo scorie di lavorazione del ferro, si sono depositi certamente non prima del V secolo avanti Cristo.

Dalla Punta del Molino per tutto il Promontorio di Piombino (salvo l'interno della piccola Baia di Baratti, occupato da minuscoli affioramenti di «Panchina» e da una sottile spiaggia «a tasca») la sezione in esame continua con gli affioramenti del Macigno della Serie Toscana e del Complesso sub-ligure delle «Argille e Calcari». Qui il riferimento stratigrafico è ben documentato dopo la determinazione di faune a micro e macro Foraminiferi dell'Oligocene medio-superiore del Macigno e di microfacies dell'Eocene negli inclusi olistostromici della parte alta di questa stessa formazione e nella massa del soprastante Complesso alloctono delle «Argille e Calcari» di Poggio al Lupo (GASPERI, 1966 e 1968).

Tutto intorno al Promontorio di Piombino si trovano ancora residui di «Panchina» a testimonianza che questo rilievo durante il Tirreniano era un'isola. Gran parte di questa «Panchina» è tuttavia di origine eolica per cui il significato paleogeografico e neotettonico non è immediato e semplice ma va valutato con estrema attenzione caso per caso.

(1) «Porticciolo» secondo la toponomastica IGM e «Portovecchio» secondo l'uso corrente.

LA SEZIONE FRA LA FOCE DEL FINE E IL PONTE DELLA STRADA STATALE N. 206.

A partire dal mare e dalla spiaggia attuale procedendo verso l'interno lungo questa sezione si può seguire la successione qui sotto delineata.

— Uno stretto cordone dunare.

— Una zona oggi bonificata e in precedenza occupata da paduli e da depositi delle esondazioni del Fine.

— Un terrazzo basso, la cui superficie si eleva impercettibilmente verso l'interno da una quota di circa 6 m fino a quote diverse a seconda dei tratti conservati, comunque non superiori ai 35 m. E' costituito da sabbie rosso-arancio, fini e molto fini, non fossilifere. Da scavi fatti per costruzioni edilizie e per numerosi pozzi è noto che sotto a queste sabbie si trova spesso la «Panchina», fino a uno spessore massimo di 10 m, che a seconda dei luoghi è suddivisa in due livelli da uno strato di sabbie rosse. Questa situazione è analoga a quella descritta per la Piana di Livorno (BARSOTTI et al., 1974), e, più recentemente, per la Piana di Donoratico (MAZZANTI et al., 1981) per cui riteniamo di poter riferire questo sedimento alle «Sabbie di Donoratico». La posizione stratigrafica di queste ultime, nell'ambito di tutta l'area compresa fra Castiglioncello-Guardistallo-San Vincenzo è stata ulteriormente precisata da GALIBERTI et al. (in stampa). Esse sono state attribuite a episodi continentali wùrmiani mentre i livelli sottostanti di «Panchina» sono stati riferiti a episodi tirreniani.

— Una zona occupata da sabbie rosso-scuro che, a partire da sotto i sedimenti del terrazzo precedente si elevano, verso monte, fino a circa 50 m e terminano con una spianata sommitale o terrazzo alto. Queste sabbie sono analoghe per composizione stratigrafica, tipologia litologica e alterazione paleopedologica alle «*Sabbie rosse di Val di Gori*», attribuite al Riss, della vicina zona

di San Vincenzo (MAZZANTI et al., 1981; GALIBERTI et al., in stampa). Esse rappresentano un sedimento di natura ancora non ben precisata, ma senza dubbio continentale.

— Una zona di affioramento dei sedimenti del ciclo marino del Pleistocene inferiore, qui costituiti da sabbie gialle con strati e banchi di arenarie calcarifere e conglomerati. Questo affioramento fu riconosciuto e datato al Calabriano da TAVANI (1954); in seguito GIANNINI (1955, 1962) rilevò e cartografò la grande faglia diretta che giustappone questi strati a quelli dell'Alloctono ligure e del soprastante ciclo sedimentario neoautoctono (Miocene superiore-Pliocene).

— A monte della faglia sopra indicata appare un piccolissimo affioramento di «Argille con Calcari palombini» dell'Alloctono ligure e, ancora più a monte, una bella successione del ciclo sedimentario neoautoctono, immergente a NE e formata dal basso all'alto da: «Calcari di Rosignano», sabbie e marne con livelli tripolacei, formazione gessifera *strictu sensu* (molto ben esposta nelle cave di Migliarino e studiata nel dettaglio da BOSSIO et al., 1978), Argille azzurre del Pliocene inferiore. Tutti gli strati di questa successione sono concordanti anche se si osserva una loro progressiva diminuzione di inclinazione dai più antichi ai più recenti.

La Strada Statale n. 206 è qui impostata su queste argille del Pliocene inferiore; termina così la sezione che ci interessa.

Prima di passare a riassumere e chiarire il significato geologico e morfologico delle due sezioni illustrate occorre notare che nella Piana di Rosignano Solvay (da uno a tre chilometri a nord della seconda sezione qui esaminata) furono eseguite tre perforazioni a carotaggio continuo di circa 300 m ciascuna, a partire dalle «Sabbie di Donoratico» e con quote di impostazione di poco superiori al livello del mare.

Tutte queste perforazioni, dopo un breve spessore di sabbie e di «Panchina» (intorno ai 10 m) hanno incontrato una successione piuttosto monotona di argille sabbiose e sabbie con Arctica islandica fino a fondo pozzo. Il significato stratigrafico di una di queste perforazioni (le altre sono comunque del tutto simili) è stato esposto di recente da GIANNELLI et al. (in stampa) che, sulla base delle indicazioni fornite dallo studio dei Foraminiferi e del Nanno-plancton calcareo, hanno potuto riferirne la parte superiore (da 10,80 a 284 m) all'Emiliano e quella inferiore (da 284 m a fondo pozzo) al Sanerniano, secondo la recente suddivisione biostratigrafica del Pleistocene inferiore proposta da RUGGERI & SPROVIERI (1977).

Occorre ancora ricordare che analoghe successioni (circa 10 m di «Panchina» e, più al di sotto, argille) sono state incontrate da 9 sondaggi eseguiti prima della costruzione lungo il tracciato del Pontile dell'Etilene di rimpetto a Vada. Questi sondaggi hanno raggiunto quote varie fra i 20 e i 40 m e hanno documentato uniformità di struttura geologica lungo i circa 2 Km di fondali sui quali è poggiato il pontile.

IL SIGNIFICATO MORFOLOGICO E GEOLOGICO DELLE DUE SEZIONI ILLUSTRATE E LE INDICAZIONI CHE SE NE POSSONO TRARRE PER LA CONOSCENZA DEL SUBSTRATO DELLE SECCHIE DI VADA.

Nelle due sezioni illustrate si possono riconoscere molte delle caratteristiche geologiche della Toscana a sud dell'Arno.

La presenza di un *flysch* rappresentante il tetto della Serie Toscana (*Flysch* di Calafuria dei Monti Livornesi e Macigno del Promontorio di Piombino).

La sovrapposizione al *flysch* precedente del Complesso sub-ligure delle «Argille e Calcari» e, a questo, del Complesso Ligure delle «Ofioliti e Argille con Calcari palombini».

Non compare, invece, il Complesso del «*Flysch del Cretaceo superiore*» (GIANNELLI et al., 1965) che normalmente costituisce grosse scaglie fra i due precedenti. Questa mancanza, sicura nella parte per ora nota in dettaglio dei Monti Livornesi, può, nel Promontorio di Piombino, essere semplicemente la conseguenza di una profonda asportazione erosiva. Infatti in questo promontorio non si sono conservati sedimenti soprastanti il Complesso delle «Argille e Calcari».

Le formazioni e i complessi qui sopra nominati con le loro pieghe, scagliature e raddoppi, mostrano di aver partecipato alle fasi parossimali della tettonica appenninica. Non così i sedimenti del ciclo neoautoctono, legati alle sole fasi tardive, postparossimali. La deposizione dei sedimenti di questo ciclo è avvenuta in fosse tettoniche, limitate e determinate da faglie di distensione.

E' questo il caso della faglia indicata lungo la seconda sezione qui descritta. La deposizione dei sedimenti del Pleistocene inferiore è stata chiaramente messa in relazione con l'attività di questa faglia (GIANNINI, 1955, 1962). La fossa tettonica determinata, sul fianco orientale, dall'attività di questa faglia e di altre ad essa collegate si estende da Castiglioncello e Rosignano Marittimo ai dintorni di Guardistallo, probabilmente fino a San Vincenzo. Lo sviluppo di questa fossa tettonica è stato senza dubbio un elemento importantissimo nel modellamento morfologico di tutta la zona qui in esame. Tanto più se si considera che sembra sia stato parzialmente indipendente e diverso dai lineamenti delle fosse in sprofondamento durante il Pliocene inferiore-medio iniziale e nel Tortonianiano superiore-Messinianiano (GIANNELLI et al., in stampa). In questo senso la maggior parte della morfologia di questa area va considerata di impostazione molto recente, non anteriore al Pleistocene inferiore, anche se è ovvio che alcuni isolati elementi possono essere più antichi, magari risalenti alle fasi di sprofondamento delle fosse o al sollevamento epirogenetico generale iniziato a Pliocene medio inoltrato e proseguito per tutto il Pliocene superiore (COSTANTINI et al., 1981). Di recente è stato anche precisato che l'attività di queste faglie non ha interessato i sedimenti attribuiti (GALIBERTI et al., in stampa) al Mindel e/o Mindel Riss. Un sollevamento epirogenetico si è sviluppato in tutta l'area dalla fine della deposizione dei «Conglomerati di Bolgheri» (probabile Siciliano, non presenti nelle sezioni qui considerate) (GALIBERTI et al., in stampa; COSTANTINI et al., 1981) fin dopo la sedimentazione delle «Sabbie rosse di Val di Gori».

Questi dati e la situazione messa in evidenza dai tre sondaggi della Piana di Rosignano Solvay, situati in vicinanza del litorale e nei quali, ripetiamo, sopra le argille sabbiose dell'Emiliano furono trovati (per circa 10 m) solo livelli di «Panchina» e di sabbie riferibili verosimilmente a fasi tirreniano-würmiane, assicurano che nel sottosuolo delle Secche di Vada è sommamente improbabile la presenza di sedimenti posteriori all'Emiliano e precedenti a queste ultime fasi sedimentarie.

Probabile invece è la presenza di sedimenti collegati con le fasi regressive würmiane e trasgressive versiliane. Di queste ultime sono state trovate testimonianze lungo il litorale di San Vincenzo, documentate dall'abbondanza di scorie di fusione del ferro di età etrusca (MAZZANTI et al., 1981).

MORFOLOGIA

Nelle grandi linee le Secche di Vada costituiscono un promontorio sommerso quasi pianeggiante sui profili orientati est-ovest (cfr. profili 21 e 22, *fix* 179-261, **Fig. 3**) e leggermente convesso sui profili meridionali (cfr. profilo 12, **Fig. 3**), a profondità generalmente inferiori ai 20 metri; il raccordo con la piattaforma circostante nei lati a N, W e S avviene intorno all'isobata dei 60 metri (cfr. profili 3, 12, 21, 22, **Fig. 3**); nel lato a E le Secche formano il prolungamento sommerso della Piana di Vada.

La parte della piattaforma continentale che contorna le Secche presenta maggiore pendenza a nord che a sud, dove si risente l'effetto degli apporti del F. Cecina; ciò risulta dall'andamento convesso della isobata dei 20 m che evidenzia la parte distale del cono sedimentario costruito allo sbocco in mare di detto corso d'acqua. Un analogo andamento caratterizzava anche le isobate minori sui rilievi dell'Istituto Idrografico della Marina (1883); attualmente tali isobate sono invece pressoché parallele alla costa a seguito della diminuzione dell'apporto solido del F. Cecina (AIELLO et al., 1980). Ad est del Faro, le Secche presentano una fascia di fondali a minor profondità sulla congiungente di quest'ultimo con il Capo Cavallo; ad ovest formano una dorsale allungata NNW-SSE che ha il fianco occidentale assai nettamente delineato da una lunga e diritta scarpata (il «ciglio di fuori» dei pescatori locali) e che corre a circa 12 Km dal litorale.

Verso NW le Secche si prolungano in una dorsale progressivamente degradante verso il largo. La disponibilità di rilievi recentissimi a scala 1:10.000 dell'I.I.M. per la zona centrale delle Secche ha consentito un'analisi dettagliata della morfologia dell'area compresa entro la linea tratteggiata

riportata in **Fig. 1**; tale area corrisponde al Grafico n. 1 «Vada» dei rilievi eseguiti dalla Nave Magnaghi nel giugno-luglio 1980. In detto grafico le profondità sono approssimate al decimetro. L'estrema complessità di quest'ultima area mal si adatta ad una rappresentazione cartografica a grande scala a mezzo di isobate, il cui tracciato risulterebbe infatti in molti casi aleatorio. Per questo l'analisi morfologica dell'area è stata condotta attraverso uno studio delle frequenze dei valori di profondità riportati sui grafici I.I.M. raggruppati in classi di ampiezza di un metro. I punti quotati presenti nell'area investigata (35,650 Km²) sono 4.478. Ogni punto la cui profondità è determinata con l'approssimazione di 10 cm, risulta pertanto rappresentativo in media di un quadrato di 89 m di lato. L'istogramma di frequenza delle profondità ha la moda principale a 18-19 m ed una moda secondaria ben distinta da questa a 8-10 m.

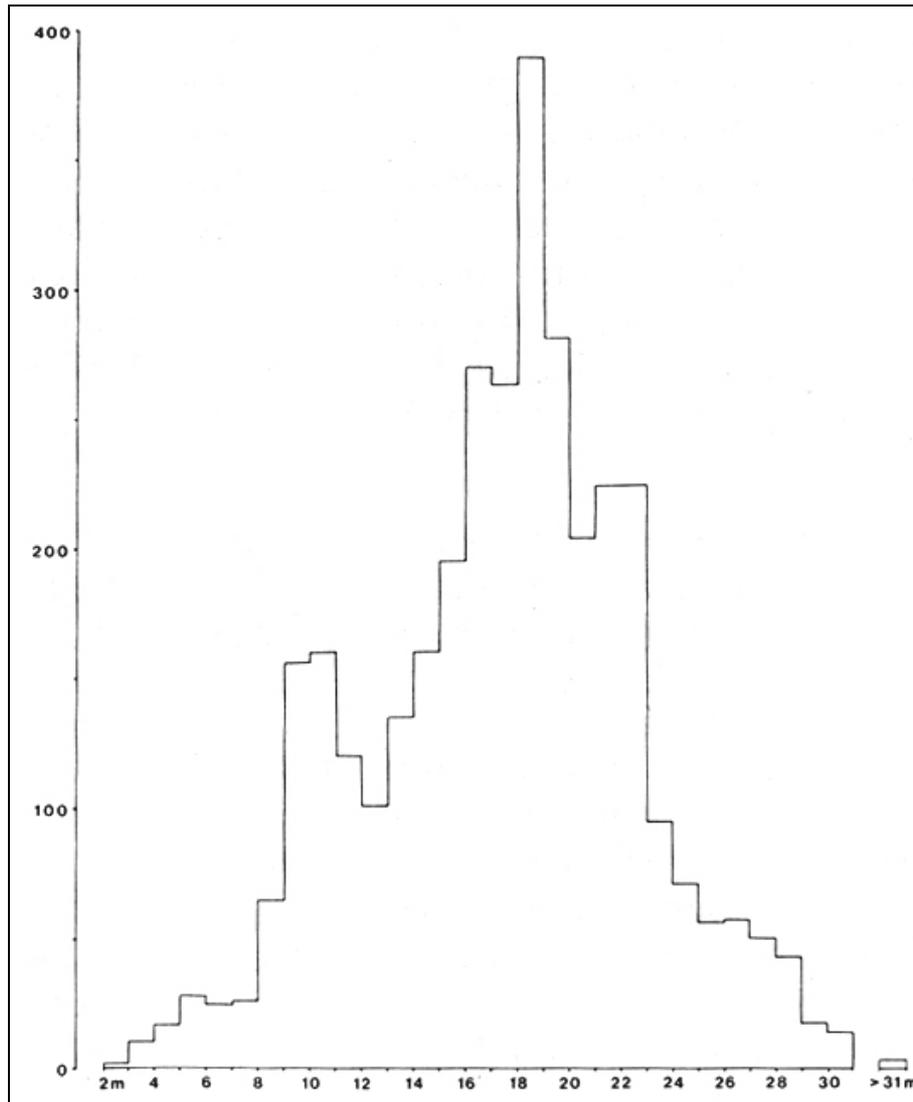


Fig.5 – Istogramma di frequenza delle aree ipsografiche relative alla zona indicata in fig. 1.

Nell'interpretare il diagramma è opportuno tener conto del fatto che i risultati risentono dei limiti necessariamente imposti all'area analizzata. Così, se questa avesse potuto essere leggermente più estesa verso est (ciò che non è stato possibile per la più scarsa densità dei profili in tale zona) si sarebbe ottenuto un incremento delle frequenze per le profondità di 10-12 m fino probabilmente a colmare il minimo dei 12-13 m. L'estensione verso sud avrebbe viceversa incrementato la moda principale. Infine l'estensione verso ovest avrebbe reso meno brusca la caduta oltre i 23 m. Al di là di queste indeterminazioni il dato che emerge è l'elevato sviluppo di superfici comprese fra i 16 e i 20 m ed in particolare fra i 18 e i 19 m. Si è quindi provveduto a definire la distribuzione

areale di tali superfici al fine di facilitarne l'interpretazione genetica.

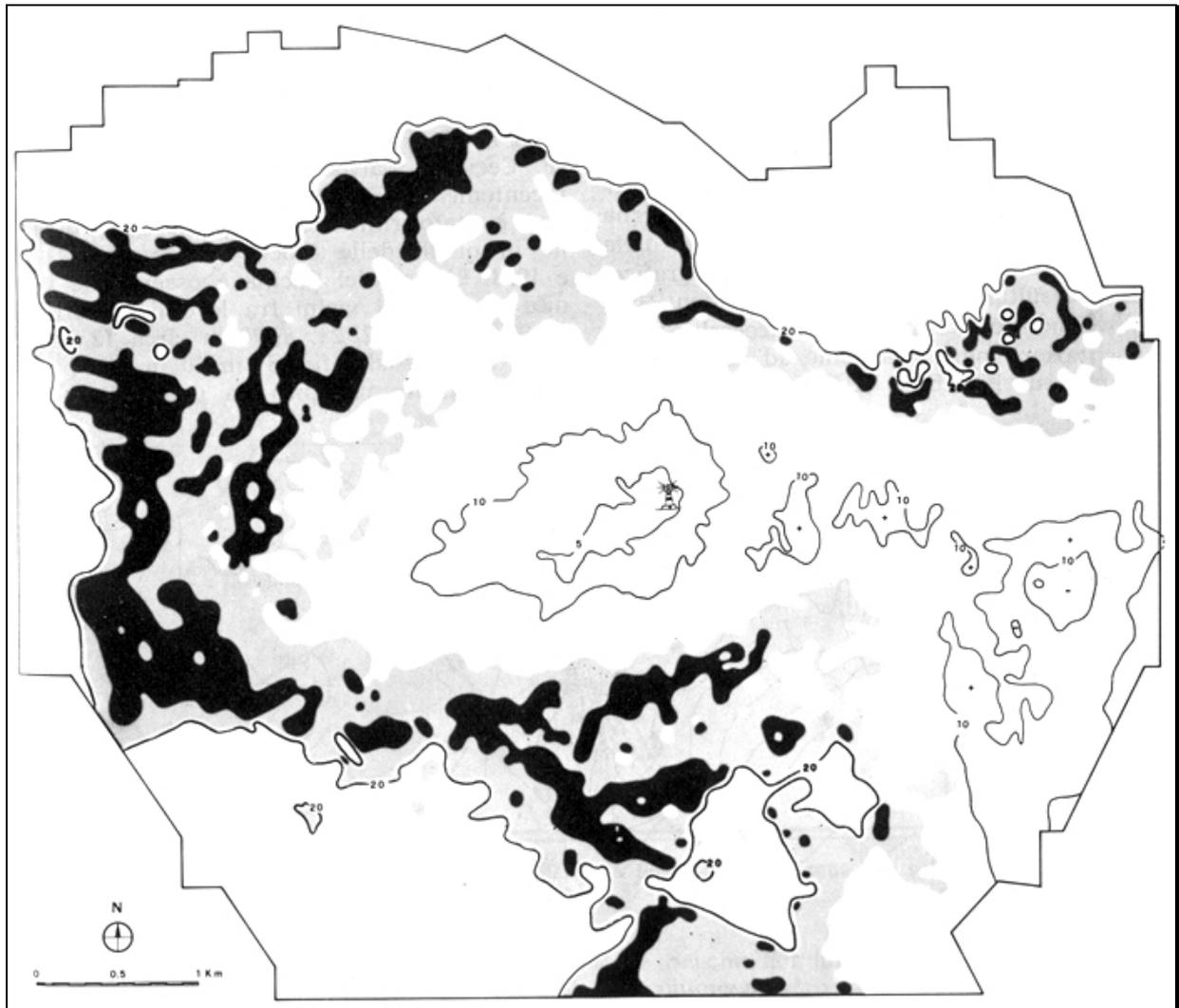


Fig.6 – Carta ipsografica relativa alla zona indicata in fig. 1. In nero sono rappresentate le aree la cui profondità è compresa fra 18 e 19 m; in grigio quella compresa fra i 17 e i 20 m.

La loro continuità attorno alla parte centrale e più elevata delle Secche, associata alla loro notevole estensione areale suggerisce che esse possano costituire un'antica piattaforma d'abrasione marina (probabilmente tirreniana). Al modellamento di quest'ultima dovrebbe essere rimasta estranea la parte oggi meno profonda delle Secche (circa al di sopra dei — 10 m di quota) che sarebbe stata modellata nelle fasi successive sia di erosione subaerea (wurm) che di nuova abrasione marina (Versiliano).

Va ricordato tuttavia che i precedenti studi sulle linee di riva della trasgressione versiliana (SEGRE, 1969; BARLETTA et al., 1976) nel Mar Tirreno non hanno messo in evidenza uno stazionamento del livello marino alle profondità da noi indicate.

Una caratteristica morfologica particolare di alcuni tratti della parte più interna della piattaforma toscana è costituita dalla presenza di tracce di reticolo idrografico. Esse risultano particolarmente evidenti laddove non oblitrate dalla successiva sedimentazione olocenica come ad esempio nei Canale di Piombino (BIANCHI, 1943) e sui fondali prospicienti i Monti Livornesi (SEGRE, 1955; MAZZANTI, 1979).

Nella zona studiata alcune tracce di un possibile reticolo idrografico su substrato roccioso sono state individuate nella parte meridionale delle Secche fra i 15 e i 70 m di profondità. Esse sono state messe in evidenza dalle batimetriche di equidistanza 5 m tracciate in quest'area sulla base dei rilievi

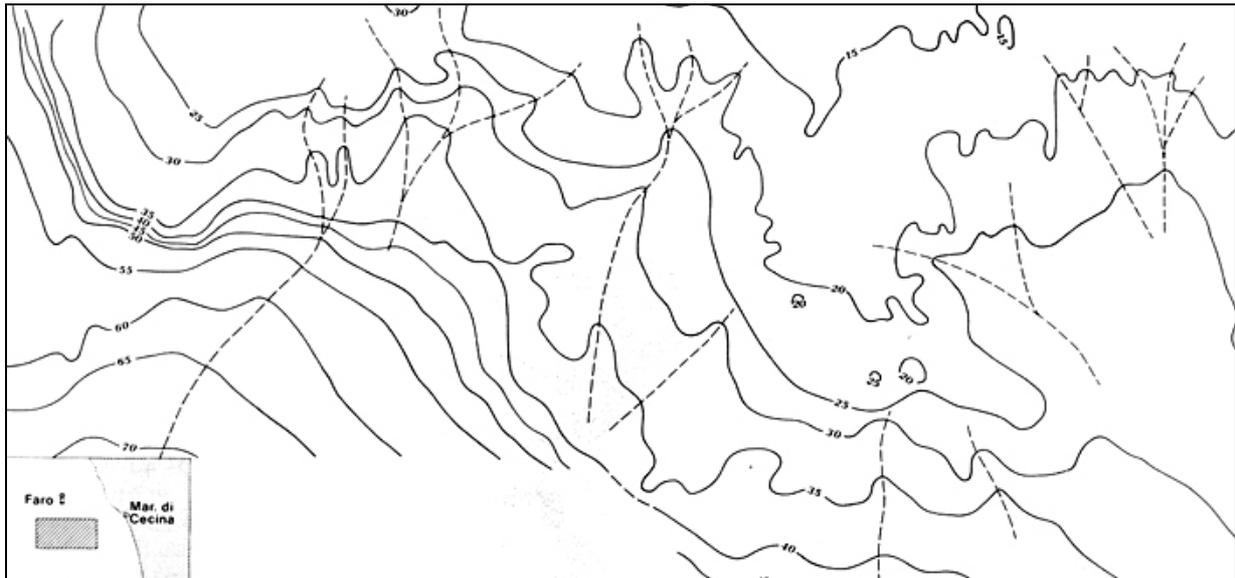


Fig.7 – Carta batimetrica relativa ad una porzione delle Secche di Vada nella quale sono presenti tracce di reticolo idrografico sommerso

Una di queste vallecole appare evidente anche su due dei profili batimetrici da noi eseguiti (profilo 21, *fix* 32 e profilo 22, *fix* 202, fig. 3). Conformemente a quella che doveva essere la morfologia delle Secche nel corso della regressione wùrmiana il reticolo appare parzialmente radiale. Mancano però indizi di tale reticolo sui lati occidentale e settentrionale delle Secche.

La morfologia attuale conserva anche tracce evidenti dei due corsi d'acqua di maggior rilievo che sfociano rispettivamente a nord (F. Fine) e a sud delle Secche (F. Cecina). L'alveo sommerso del primo, recentemente segnalato da MAZZANTI (1979) non è stato rintracciato nei nostri profili nè in quelli delle crociere Bannock 1977 e 1978. L'alveo del Cecina è osservabile in due punti assai vicini fra loro del profilo SBP3/1978 (*fix* 22-23; 69-70) a circa 12 Km dalla foce attuale

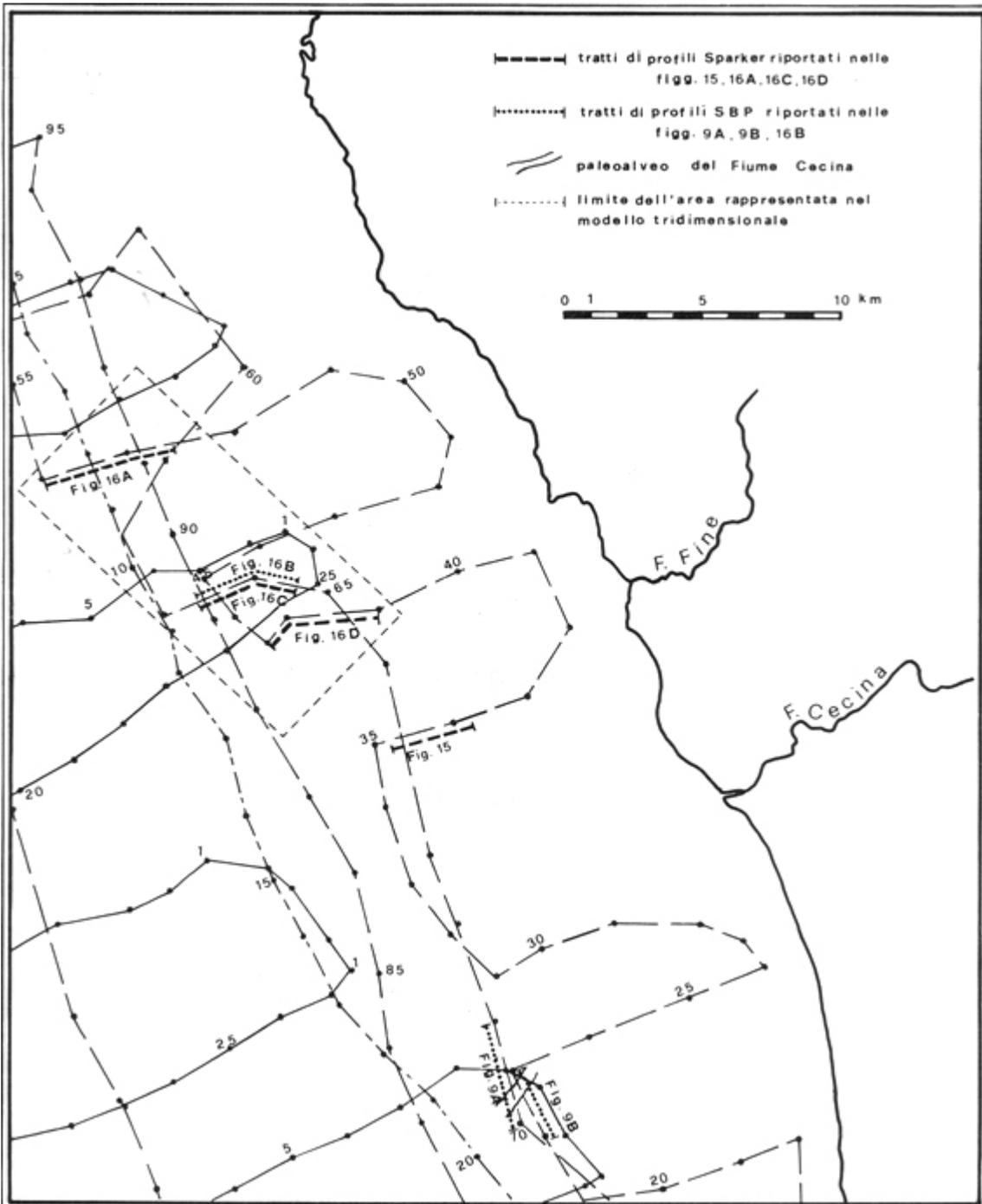


Fig.8 – Profili eseguiti nel corso delle crociere Bannock 1977 e 1978 nella zona limitrofa rispetto alle Secche di Vada (da BARTOLINI et al., 1979, modificato).

in 60 m d'acqua. L'alveo risulta riempito da una coltre di circa 15 m di spessore, costituita da sedimenti fini olocenici.

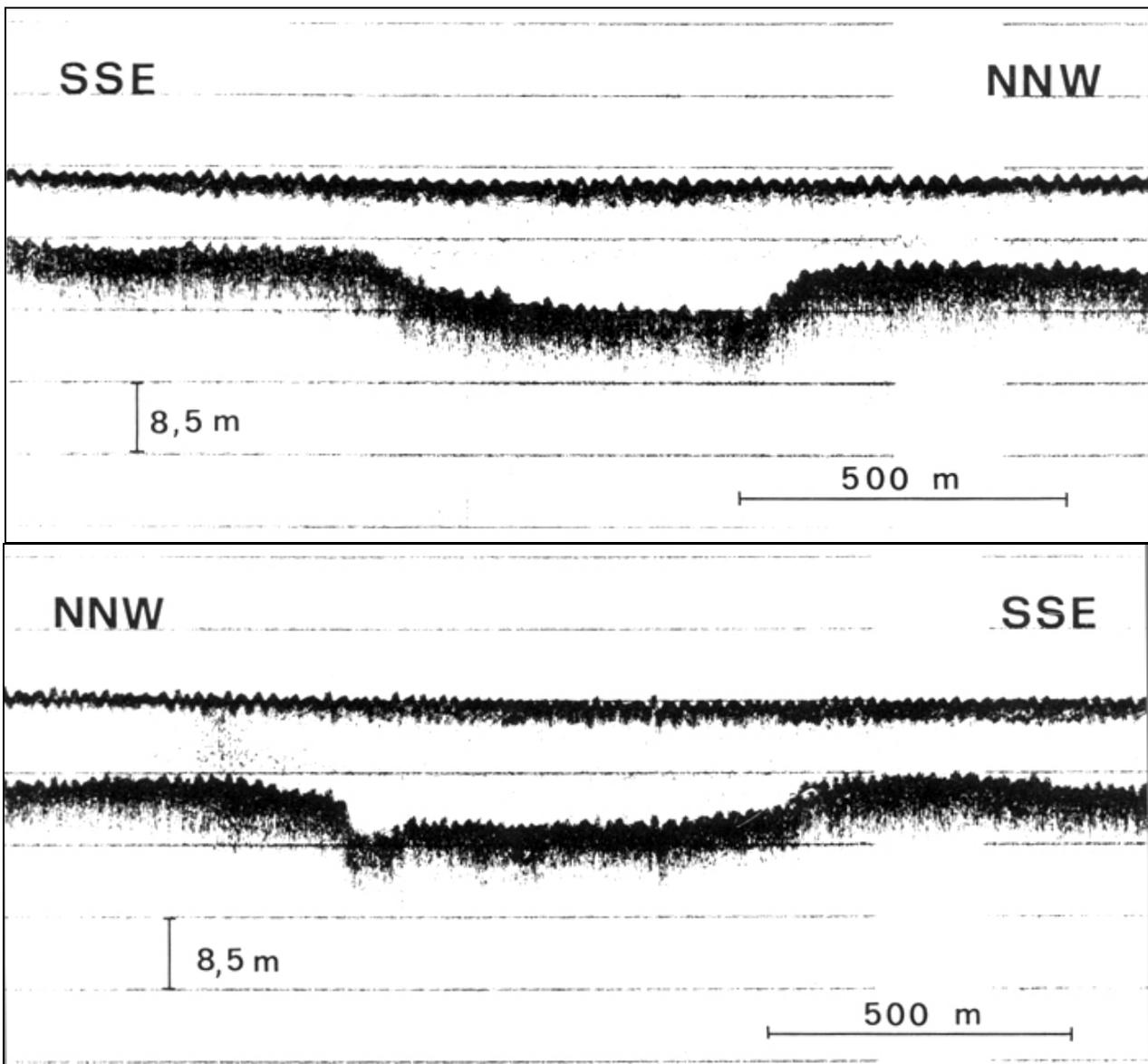


Fig.9a A – B - Tratti di profili SBP relativi al paleoalveo del F. Cecina, a 60 in di profondità.

Alle osservazioni sulla morfologia sopra esposte, che riguardano la conformazione delle Secche nel loro insieme, se ne devono aggiungere altre, che pur riferendosi a singoli dettagli, meritano di essere citate perché possono venire utili nel tentativo di definire la natura delle rocce del substrato.

MAZZANTI & PAREA (1979) hanno messo in evidenza alcune caratteristiche di erosione subacquea («marmitte» di erosione, derivate da forme subaeree «vaschette di corrosione» della zona infratidale) su «Panchina» del vicino litorale di Rosignano Solvay. Il riconoscimento di forme con uguali caratteristiche («marmitte slabbrate», «solchi ortogonali al litorale») in aree poco profonde delle Secche di Vada indica la presenza dello stesso substrato roccioso e di analoghe morfogenesi. E' il caso del fondale chiamato «I Catini» (fig. 10)

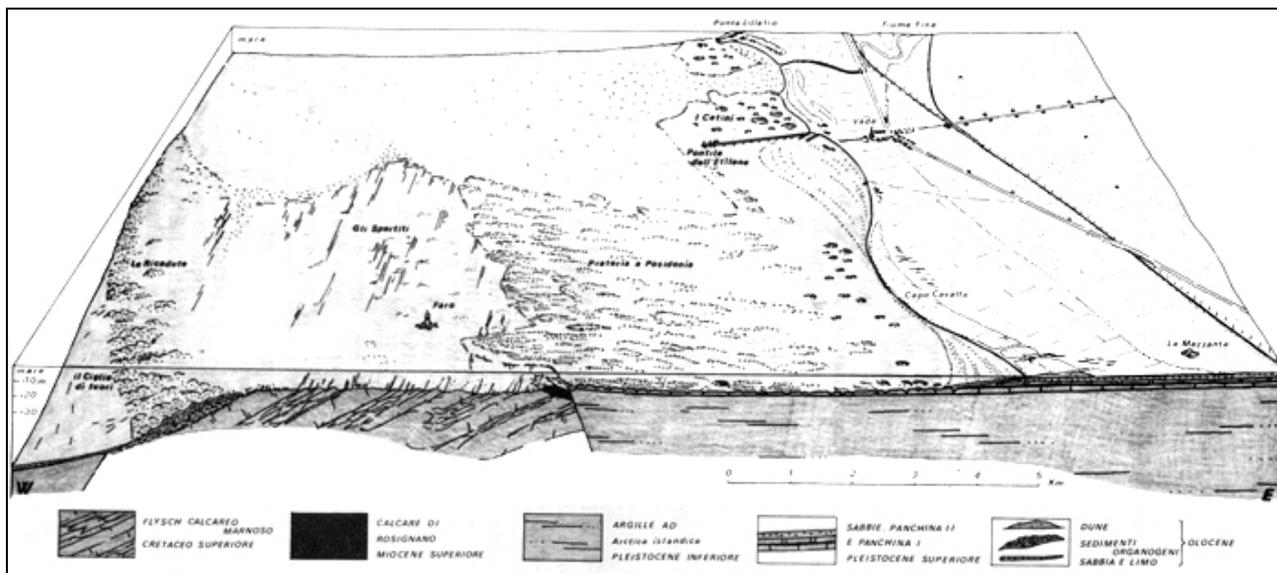
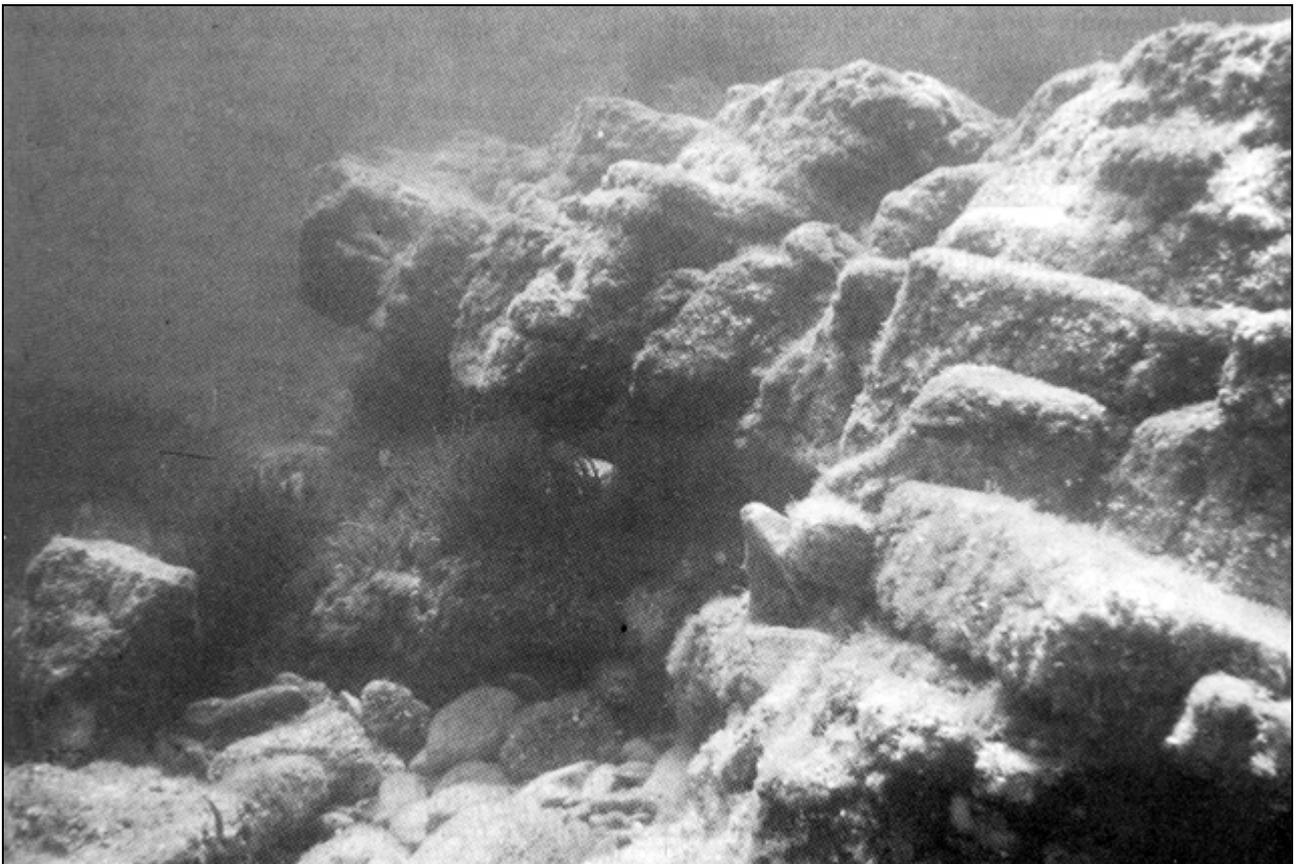
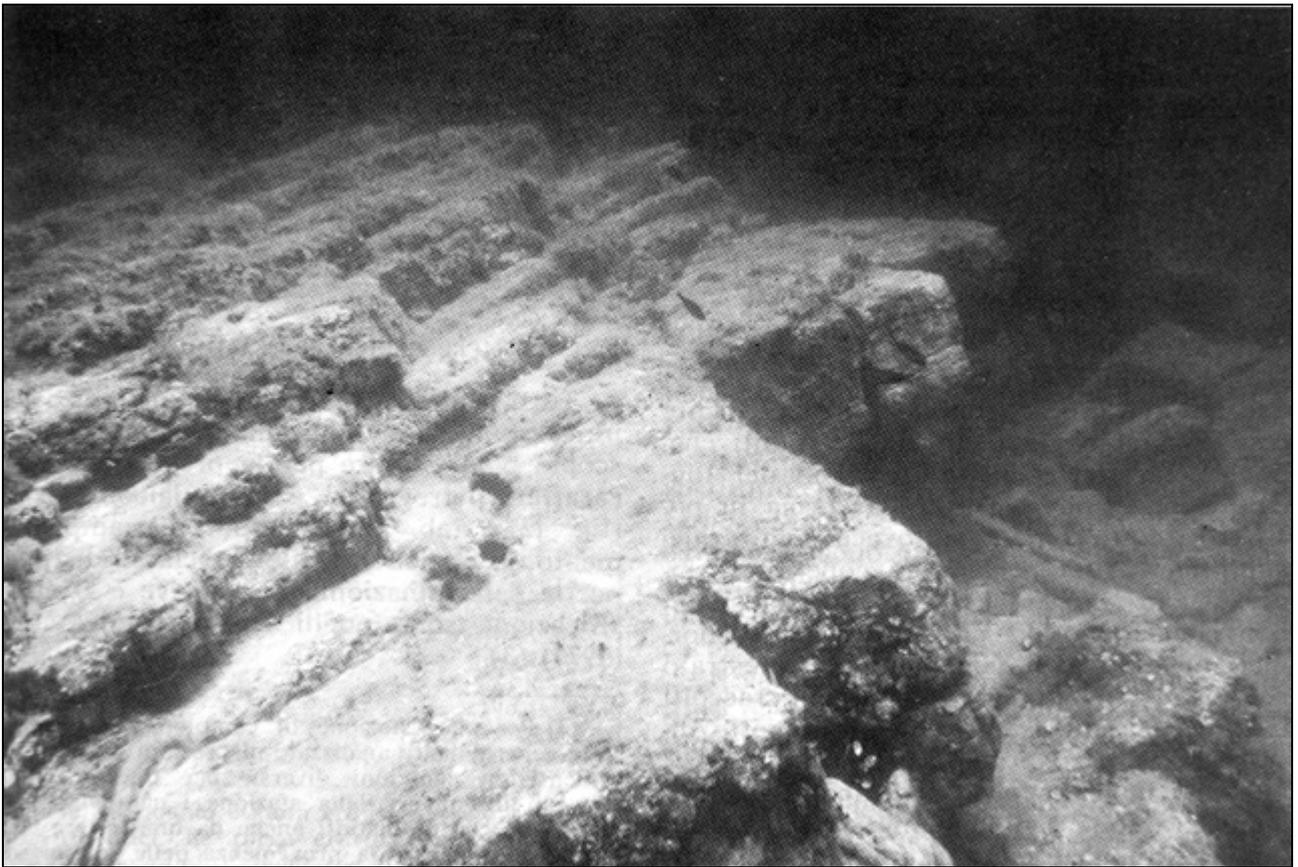


Fig.10 - Stereogramma relativo alla parte centro-settentrionale delle Secche di Vada ed al loro immediato entroterra. In grigio chiaro il fondo marino; in grigio scuro la sezione geologica frontale.

nell'area prospiciente la Punta Catena e di parte del fondale prospiciente il Capo Cavallo (2). L'esame dei campioni confermerà, come vedremo, questa considerazione. Questo metodo d'indagine è particolarmente utile, sia per le difficoltà della raccolta dal fondo di numerosi campioni di roccia, sia e soprattutto perché queste morfologie si mantengono spesso leggibili malgrado la roccia stessa sia sempre ricoperta almeno da un velo di incrostazioni biogeniche e malgrado un frequente parziale ricoprimento detritico. D'altra parte, visto che l'origine prima delle «marmitte» va ricercata in processi carsici (MAZZANTI & PAREA, 1979) non c'è dubbio che di tutte le rocce la cui presenza è stata indicata come più probabile nel substrato delle Secche, sia proprio la «Panchina» quella che più si presta allo sviluppo di un simile carsismo superficiale. Procedendo più verso il largo, sempre sul corpo delle Secche, il fondale si approfondisce dolcemente, si fanno più rare le forme chiaramente riferibili a «marmitte» mentre compare e diventa sempre più fitto il ricoprimento della prateria a Posidonie. Alla base di quest'ultima si trova un manto di *mattes*, o sedimenti detritici fini infeltriti dai rizomi e frammenti delle Posidonie morte, che nascondono la roccia viva (fig. 19a). Avvicinandosi al Faro il fondale risale e la prateria a Posidonie diventa meno fitta fino a ridursi a qualche ciuffo isolato o a sparire completamente. E' evidente che la grande energia del moto ondoso in questo tratto del fondale esposto in prima linea alle mareggiate non permette la formazione delle *mattes*, indispensabile substrato detritico-organico per il prosperare delle Posidonie. Probabilmente anche le correnti, che sono sempre assai forti su questo bassofondo isolato al largo, contribuiscono a tenere il fondale stesso sgombro da detriti e da folti ricoprimenti vegetali. Nelle vicinanze del Faro compare quella morfologia del fondo chiamata dai pescatori locali «gli Spartiti»; termine che allude, anche se verosimilmente senza consapevolezza, all'affioramento di rocce stratificate con il geometrismo degli allineamenti delle testate degli strati che «spartono» (cioè dividono) il fondo.



Figg. 11 - 12 - Aspetti de "gli Spartiti " ad ovest del Faro di Vada in corrispondenza della stazione di campionamento n. 9 (cfr. fig. 2). Si tratta di affioramento del Flysch calcareo-marnoso del Cretaceo superiore.

A occidente della spianata de «gli Spartiti » il fondo «ricade» (ancora secondo la terminologia locale), cioè iniziano quelle piccole scarpate (o «Ricadute») che marcano l'approfondimento del fondale da circa la batimetrica 20 a quella 60, e che nell'insieme formano «il Ciglio di fuori» (fig. 19e) o morfologia relativamente inclinata fra il pianoro roccioso delle Secche e le ampie distese ricoperte di sedimenti detritici fini del largo (fig. 19f).

Le «Ricadute», specie nel fianco SW del «Ciglio di fuori» sono collegate allo sviluppo di depositi biogenici del «Coralligeno»; è per la presenza di questo ricco rivestimento organogeno recente che è assai difficile arrivare al prelievo delle rocce che costituiscono il substrato di questa morfologia relativamente più ripida (fig. 19d).

Queste, ridotte all'essenziale, sono le zone morfologicamente isopiche che sembrano riconoscibili lungo una sezione «trasversale» che da terra, all'altezza di Vada, passi tutte le Secche attraverso il Faro fino oltre il «Ciglio di fuori», o limite esterno delle Secche stesse.

Più complicata è la descrizione delle variazioni morfologiche del fondo delle Secche in senso «longitudinale » o parallelo al litorale.

Innanzitutto è evidente che un'unica sezione non può bastare neanche per una ricostruzione ridotta ad un essenziale schematismo, data la conformazione delle Secche e l'orientazione grosso modo appenninica delle strutture.

La ricerca di zone isopiche in questa direzione è anche complicata dalla facilità con cui vi si possono incontrare più volte le medesime profondità per il fatto che le sezioni longitudinali sono

subparallele rispetto alle incisioni delle paleovalli aperte sui fianchi settentrionale e meridionale delle Secche.

Non possedendo gli elementi analitici per uno studio che richiederebbe un minuto dettaglio, diciamo solo che in senso «longitudinale» risulta in genere assai agevole la delimitazione delle Secche rispetto alle zone più profonde coperte dai sedimenti sciolti. Ciò è mostrato sia dai rilievi ecografici e sismici sia dall'osservazione subacquea, favorita dalla possibilità di riconoscere in questi ultimi le strutture sedimentarie tipiche come increspature di fondo ecc.

(2) In questo fondale compaiono sia le «marmitte» (forme subcircolari del diametro delle decine di dm) sia forme simili ma di maggiori dimensioni (intorno alle decine di metri) cioè i «catini» veri e propri. Questi ultimi, indicati per la primavolta con questo termine da FIERRO et al.(1969), sono stati osservati in affioramento nel grande scavo del bacino di carenaggio del porto di Livorno da BARSOTTI et al. (1974) che li hanno interpretati come forme di erosione subacquea.

Più recentemente le stesse forme sono state reinterpretate, in

analogia con l'origine prima del sistema «vaschette-marmitte », come di origine carsica da GIANNELLI et al. (in stampa).

TABELLA 1
CARATTERISTICHE DEI CAMPIONI
DI SEDIMENTI SCIOLTI

N. Campione	Percentuale > di 60 μ	Osservazioni
1	56,14	prev. biogenico
3	25,07	prev. clastico
4	3,12	prev. biogenico
6	97,08	prev. clastico
10	60,12	prev. biogenico
15	43,23	prev. clastico
20	99,20	prev. biogenico
21	97,24	prev. biogenico
22	92,44	prev. biogenico
23	91,81	prev. clastico
24	96,03	prev. biogenico
25	96,92	prev. biogenico
26	52,85	prev. biogenico
27	83,19	prev. biogenico

GEOLOGIA

RACCOLTA DEI DATI

Lo studio geologico del substrato delle Secche è stato affrontato principalmente con la campionatura diretta dei punti che, per le caratteristiche ecografiche dei fondali, apparivano costituiti da roccia in posto. Tuttavia, come è stato accennato, quest'ultima risulta per lo più coperta da incrostazioni biogeniche che comunemente non consentono di raggiungere, con i normali mezzi di campionamento, il substrato roccioso. Dei numerosi campioni raccolti (fig. 2) solo quelli provenienti da sette diverse stazioni sono stati pertanto sottoposti all'esame microscopico. I

campioni di sedimento raccolti con la benna hanno subito una preliminare setacciatura per la determinazione del rapporto sabbia/silt+argilla. I risultati delle analisi sono riportate in tab. 1. Alcune indicazioni sulla struttura dell'area studiata sono state poi ottenute dall'esame dei profili sismici ed ecografici del P.F. Oceanografia e Fondi Marini del C.N.R. (1977-1978). I profili Sparker relativi alla zona delimitata in fig. 8 sono stati in particolare utilizzati per studiare le caratteristiche di un'importante discontinuità strutturale situata a NW delle Secche.

ESAME MICROSCOPICO DEI CAMPIONI

Tutti i litotipi raccolti nel corso delle immersioni sono stati analizzati al microscopio polarizzatore per la precisazione dei caratteri petrografici e micro paleontologici (**Fig.13** e tab. 2). I metodi di campionamento in sezione sottile, le classi distinte le determinazioni quantitative e la classificazione sono quelli riportati in AIELLO (1975) (3).

(3) Per ogni stazione di campionamento sono state generalmente analizzate più sezioni sottili provenienti da campioni diversi; per questo, oltre che con il numero della stazione i campioni studiati sono contraddistinti anche da una lettera utilizzata per indicare la provenienza delle sezioni da frammenti rocciosi diversi. Un suffisso numerico è stato aggiunto nei casi in cui più di una sezione sottile è stata ricavata dallo stesso frammento roccioso.

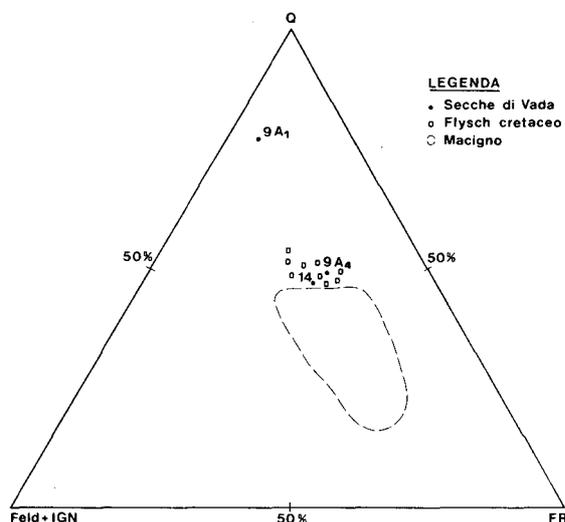


Fig. 13 - *Composizione delle arenarie affioranti presso il Faro di Vada.*

Sono riportate anche, per confronto, le composizioni del Macigno (AIELLO & MANETTI, in preparazione) e dei Flysch cretacei (AIELLO et al., 1979). Q = quarzo + selce; Feld + IGN = feldspati e frammenti di rocce eruttive; FR = frammenti litici.

TABELLA 2
COMPOSIZIONE MINERALOGICO-PETROGRAFICA
DELLE ARENARIE DELLE SECHE DI VADA

Campione	6C *	9A1	9A4	14
Quarzo singolo + Selce	—	76.0	50.8	47.6
Quarzo policristallino	—	—	12.6	20.4
K-Feldspato + Albite	—	17.2	11.4	18.3
Plagioclasti	—	4.9	6.3	5.2
Frammenti di rocce erutt.	3.4	—	1.1	—
Frammenti di rocce metam.	7.0	—	—	1.6
Frammenti di rocce sedim.	56.3	—	—	—
Carbonati (escluso bioclasti)	—	—	7.4	2.6
Bioclasti	19.5	—	—	—
Miche e Cloriti	—	0.9	10.3	4.1
Altri	1.7	—	0.1	0.2
Totale	100.0	100.0	100.0	100.0

- L'analisi modale è stata effettuata solo sui frammenti litici. Le rocce eruttive sono rappresentate dalle ofioliti; nelle rocce sedimentarie sono compresi i Calcari a Spicole e a Calpionelle (31.6%) e le Arenarie e Siltiti (36.8%).

Il campione 6C è una calcarenite biogenica di ambiente litorale, costituita da materiali terrigeni clastici, a quarzo prevalente e resti di organismi (Foraminiferi, Lamellibranchi, Gasteropodi, Alghe calcaree, Echinidi).

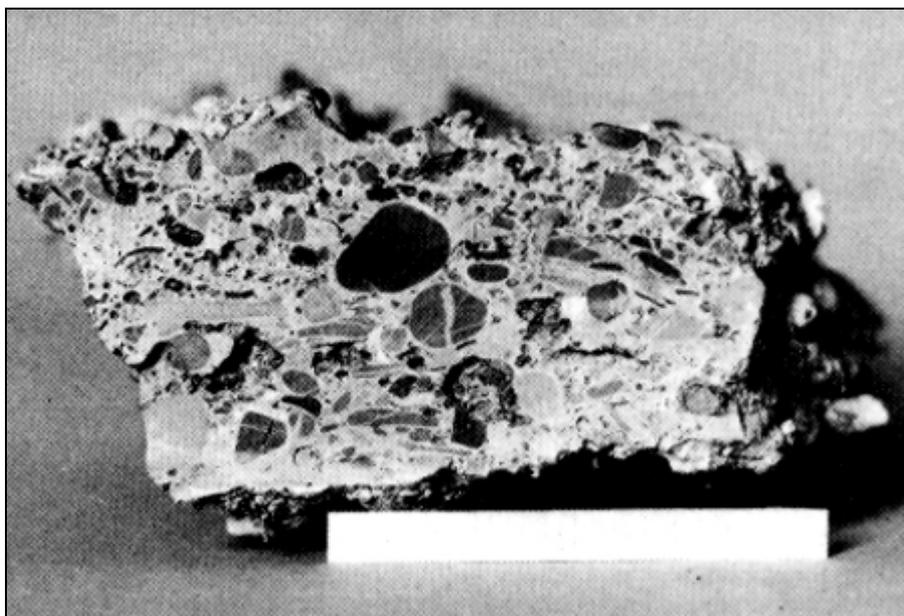


Fig.14 – «Panchina» tirreniana in facies conglomeratica (campione 6C).

Gli elementi clastici sono eterodimensionali e mostrano orli periferici di carbonato di calcio di modesto spessore (20 ÷ 50). Gli spazi intergranulari sono riempiti da cemento microsparitico e spatico non uniforme. La composizione, assai simile a quella descritta da MAZZANTI & PAREA (1979), riflette anche quella delle sabbie della spiaggia attuale (vedi per cfr. i campioni C8/C9 [estate] e C20/C2 [primavera] in AIELLO et al, 1979).

Il Campione 9/A₁ è un'arenaria sterile a grana molto fine (diametro medio apparente 25) a composizione quarzoso-micacea (v. tab. 2 e fig. 13) e a cemento carbonatico e fillosilicatico. A causa della grana molto fine e per la mancanza di microfacies l'attribuzione stratigrafica rimane indeterminata.

I campioni 9/A2 e 9/A3 sono costituiti da un calcare micritico siltoso-argilloso con microfaune ad Heterohelicidae e qualche Globotruncana bicarenata. L'età è dunque compresa entro il Cretaceo superiore (Turoniano-Senoniano).

Il campione 9/A4 è un'arenaria a grana fine (diametro medio apparente 5 μ) mostrante una disposizione delle miche in letti orientati. Tra gli elementi chiari predomina il quarzo, seguito in maniera subordinata dai feldspati. Il cemento è in prevalenza fillosilicatico, più raramente carbonatico (fig. 13 e tab. 2). Questo campione è risultato sterile.

Il campione 11 è un calcare biogenico costituito in prevalenza da frammenti di Lithotanium e da noduli algali. Subordinatamente sono presenti radioli di Echinidi, Briozoi, Foraminiferi (Rotalidi ed Elphidium) ed elementi terrigeni quarzosi e micacci.

Il campione 13, come pure il 25, è costituito da sabbie calcaree debolmente cementate ricche di bioclasti (Foraminiferi, fra cui Globigerinidae, Echinidi e Alghe calcaree).

Il campione 14 è un'arenaria a grana fine (diametro medio apparente -100) a quarzo mono e policristallino prevalente e, subordinatamente, a feldspato (tab. 2). Il cemento è fillosilicatico.

I campioni 17B1 e 17B2 sono calcareniti biogeniche di ambiente litorale, analoghe al campione 6C, già descritto, per il contenuto in materiali terrigeni clastici; la parte biogenica è data da abbondanti resti di Lithotharnnium e da frammenti di Briozoi, entrambi assenti nel campione 6C, da gusci di Gasteropodi e Miliolidi e da radioli di Echinidi.

La calcarenite è mal classata; i granuli presentano un orlo di carbonato di calcio, mentre gli spazi intergranulari sono riempiti in maniera difforme da cemento microsparitico. Attorno agli elementi costituiti da frammenti di Echinidi si osservano strutture sintassiali.

Un primo gruppo di campioni relativamente omogenei dal punto di vista della composizione, costituito dal 6C, dal 17B1 e dal 17B2, è riferibile alla « Panchina » tirreniana (fig. 14).

I campioni 9A₁, 9A₂, 9A₃, 9A₄ e 14 sono stati confrontati dal punto di vista della composizione (fig. 13 e tab. 2) con alcune arenarie dell'Appennino settentrionale, avendo avuto cura di assumere i dati relativi a campioni di diametro medio apparente analogo, per evidenti ragioni di omogeneità. In base a tale confronto si è potuta escludere l'appartenenza al Macigno; questo presenta infatti un minore contenuto di quarzo ed un più elevato tenore di frammenti di rocce metamorfiche. Inoltre nel Macigno, il plagioclasio è più abbondante rispetto al K-feldspato, mentre nelle arenarie delle Secche di Vada si verifica il contrario. La Pietraforte e la Formazione di Sillano, d'altra parte, oltre a caratteristiche differenti nel tipo di cemento, mostrano, un elevato contenuto in carbonati di calcio e magnesio, il prevalere dei plagioclasti sul K-feldspato ed una maggiore frequenza percentuale di frammenti rocciosi metamorfici e sedimentari rispetto a quanto si è potuto verificare nelle arenarie da noi analizzate. Inoltre, la frequenza complessiva dei feldspati è decisamente minore rispetto a quella delle arenarie delle Secche di Vada.

La composizione del gruppo di campioni qui considerati mostra invece notevoli analogie con quelli di alcune unità dell'Appennino settentrionale e della Liguria occidentale (AIELLO et al., 1975). Nello stesso campo (fig. 13) delle arenarie delle Secche di Vada ricadono infatti le arenarie dei *flysch* cretacei elbani, dei *flysch* a *Helminthoidea* della Liguria occidentale (VANOSSI 1965), le arenarie di Montecatini, Monte Cantiere, Gombola, Montefiorino e Monghidoro, che avrebbero pertanto una provenienza comune dal Massiccio Corso-Sardo (v. anche PAREA, 1965; ABBATE & SAGRI, 1970). Per le considerazioni sopra esposte i campioni 9A₁, 9A₂, 9A₃, 9A₄ e 14 vengono assegnati al Gruppo dei *Flysch* cretacei (GIANNINI et al., 1972) tanto più che il contenuto micropaleontologico dei calcari micritici siltoso-argillosi (9/A2 e 9/A3) alternati alle arenarie fini dalle quali questi campioni provengono è in buon accordo con un'età cretacea.

Il campione SV 11 ha una composizione analoga a quella del calcare di Rosignano di età messiniana.

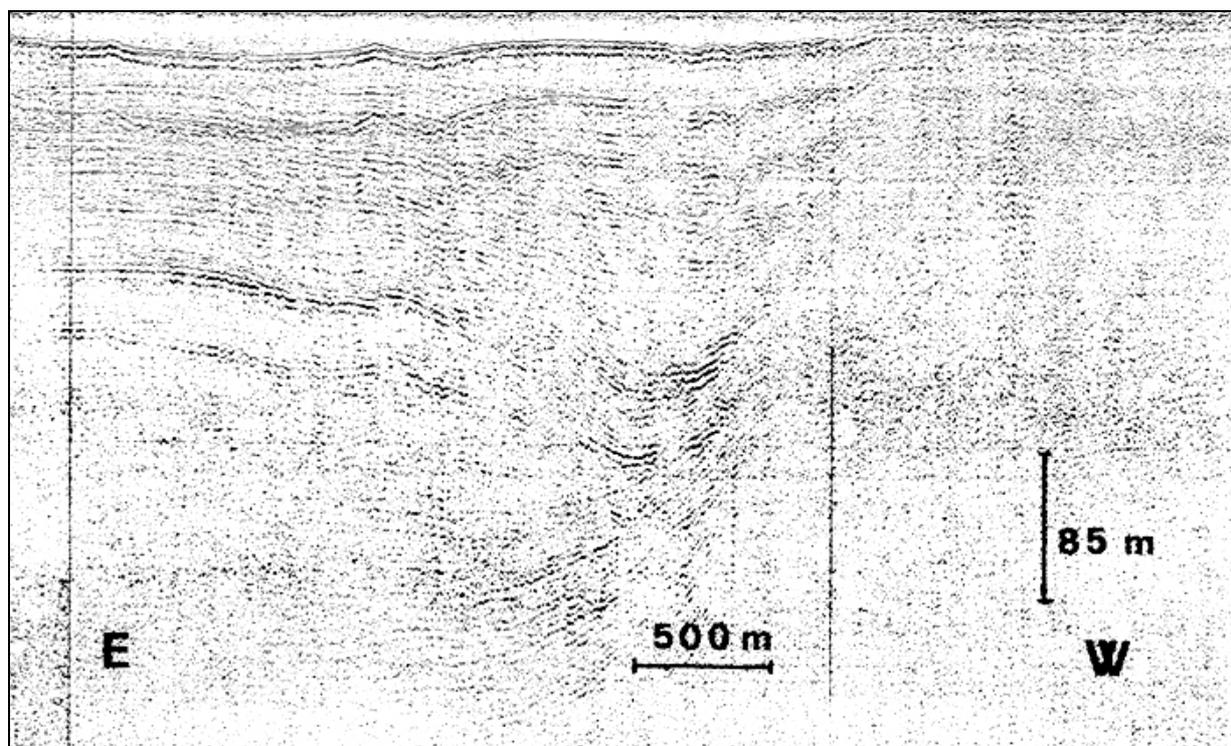
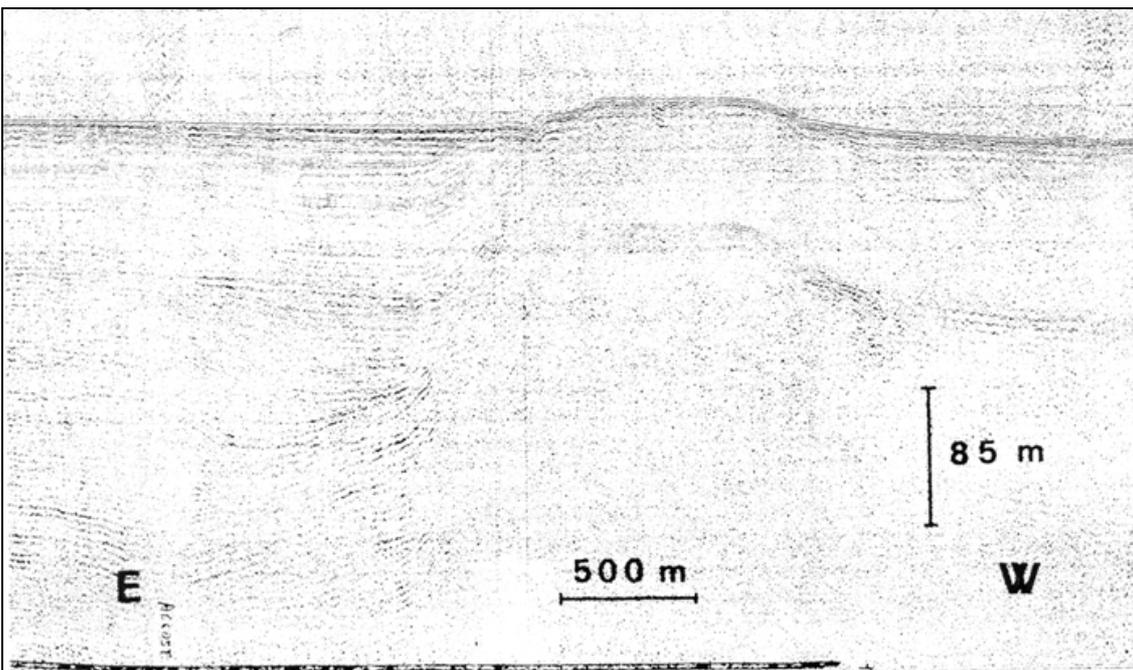
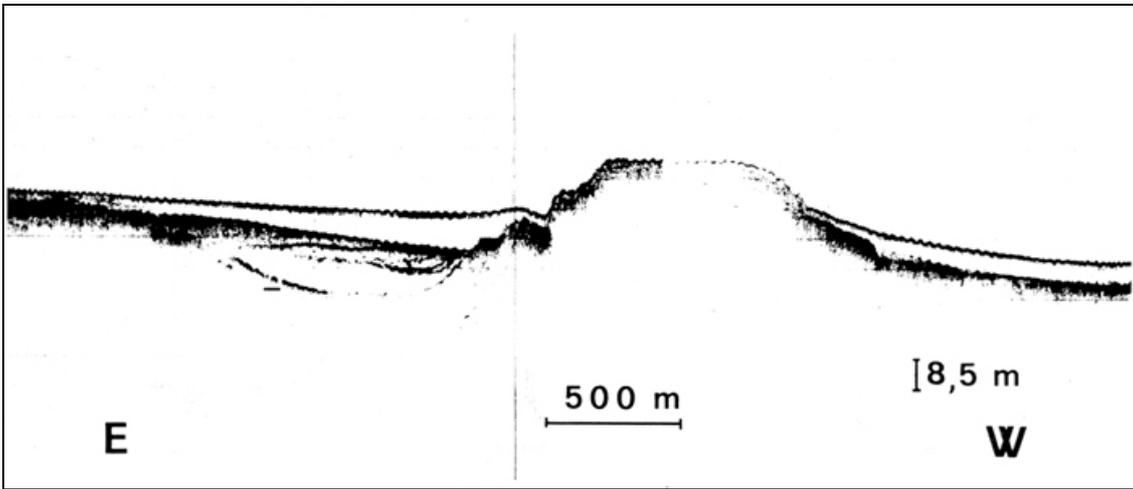
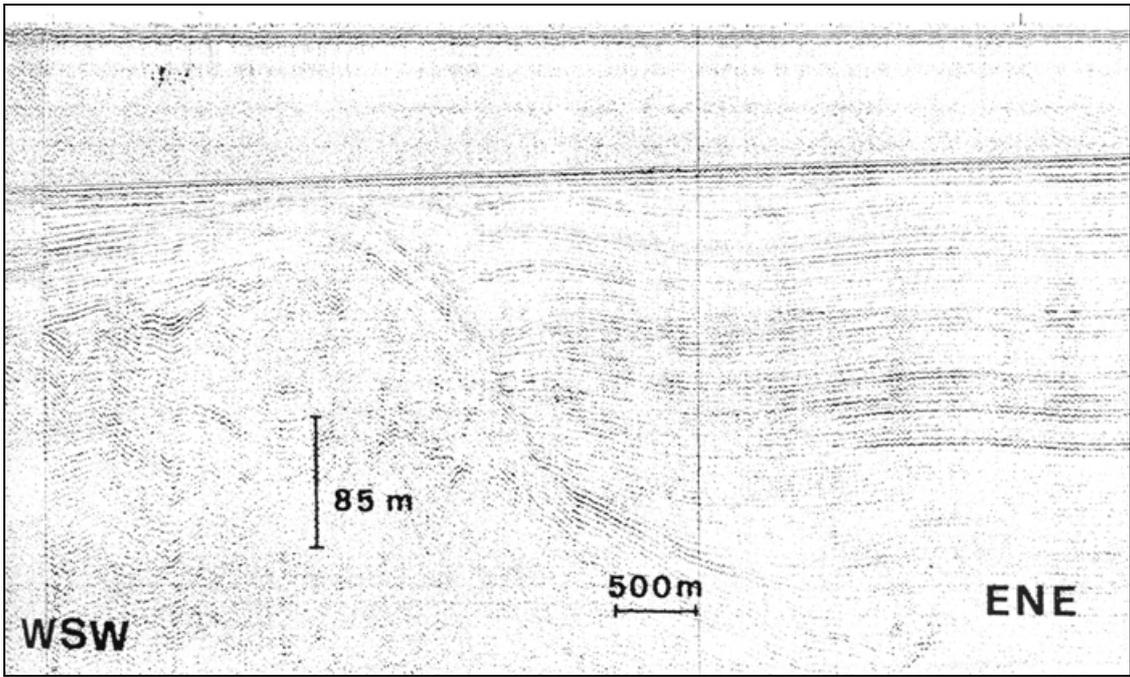


Fig. 15 – Profilo Sparker attraverso la faglia di direzione NNW-SSE che, ad est del Faro, mette a contatto il *Flysch* calcareo marnoso del Cretaceo superiore con la serie neautoctona. Per l'ubicazione del profilo vedi fig. 8.



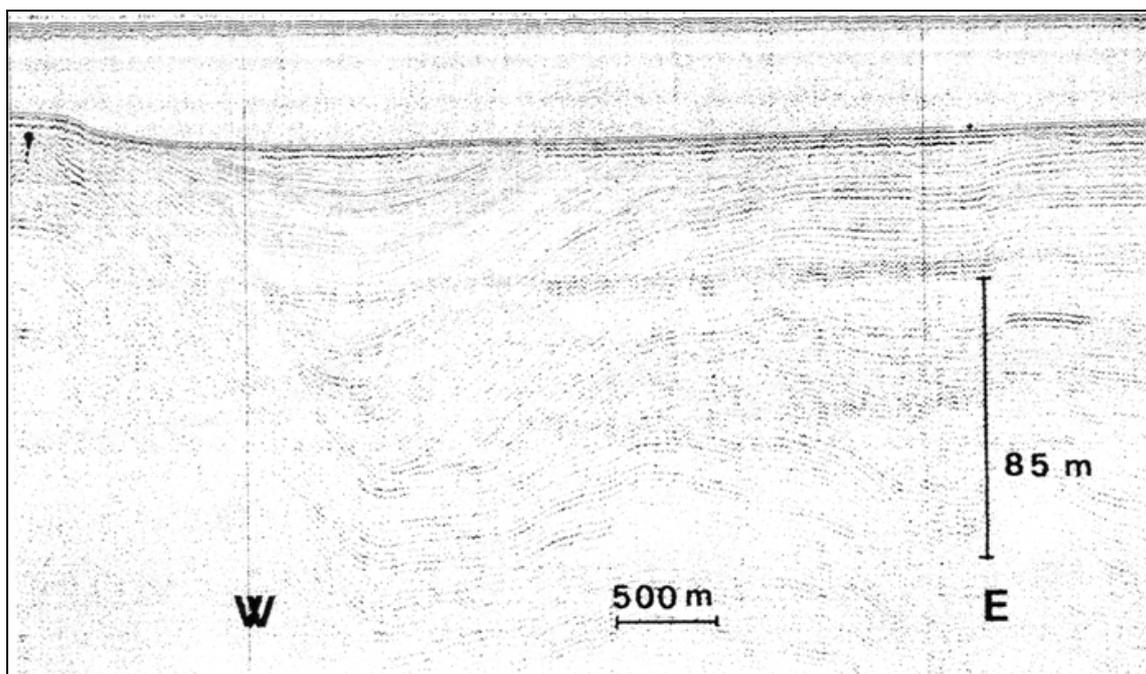


Fig. 16 A – B – C – D - Profili Sparker (A, C, D) e SBP (B) relativi all'importante dislocazione tettonica che delimita verso ovest la parte settentrionale del Graben delle Secche di Vada. I profili rappresentati in figura sono fra quelli utilizzati per il modello di fig. 17. Per l'ubicazione vedi fig. 8.

INTERPRETAZIONE STRUTTURALE

Dopo le notizie esposte nei capitoli precedenti è possibile tentare una ricostruzione della struttura geologica del substrato delle Secche.

Per quanto visibile sui fondali prospicienti il litorale (zone de «I Catini» e di «Capo Cavallo») la presenza della «Panchina» è sicura nella Fascia dei primi 500 m da terra. Inoltre le perforazioni effettuate per il Pontile dell'Etilene ne documentano l'esistenza fino a circa 2 Km ai largo.

L'analisi dei profili ecografici consente di delimitare con una certa precisione l'andamento del limite esterno della «Panchina» in corrispondenza delle Secche (fig. 10) che segue un allineamento diretto circa NNW-SSE, situato fra 1 e 2 Km ad est del Faro. Ciò è in accordo anche con il maggiore sviluppo e densità della prateria a Posidonie su quei fondali.

Non ci sono dubbi che questa «Panchina» formi un'estesa placca su gran parte della zona interna delle Secche, in continuazione con quella affiorante, o abbondantemente nota nel sottosuolo, delle campagne di Rosignano Solvay e Vada. La leggerissima inclinazione (1° circa) verso il mare di questa placca è ricollegabile non con fatti neotettonici, bensì con la risalita del livello del mare durante la trasgressione tirreniana. Questa si è sviluppata in due episodi intercalati da una fase regressiva (due banchi di «Panchina» con un banco di sabbia continentale intercalato (fig. 10). Il modellamento carsico de «I Catini» assicura che questa «Panchina» è stata emersa nelle fasi wrmiane e quindi non può essere confusa con simili livelli olocenici collegati con lo sviluppo della trasgressione versiliana.

Nella zona del Faro sono visibili le migliori esposizioni del *Flysch* calcareo-marnoso del Cretaceo superiore. L'andamento degli strati, per quanto è possibile seguire nella frammentarietà degli affioramenti, sembra piuttosto omogeneo con direzione NNE-SSW e immersione circa a WSW. Questa direzione risulta sia dalle poche misure direttamente eseguite con la bussola, sia, e maggiormente, dall'andamento delle aree ipsometriche della carta di fig. 6. L'omogeneità delle direzioni, tuttavia, non è sufficiente a escludere la possibilità di una giacitura in scaglie embricate e rovesciate che sappiamo tipica degli affioramenti di questo *flysch* (per es. zona di Frassine in LAZZAROTTO & MAZZANTI, 1964).

Questa formazione costituisce il corpo centrale delle Secche ed è probabile (come è suggerito inoltre dall'andamento delle aree ipsometriche di fig. 6) si trovi anche fino al «Ciglio di fuori» dove per altro è nascosta dall'abbondanza dei ricoprimenti organogeni. Verso l'interno delle Secche è parzialmente ricoperta dal banco di «Panchina».

D'altra parte è noto dai pozzi di Rosignano Solvay, di Vada e da quelli per il Pontile dell'Etilene che sotto alla «Panchina» si trovano banchi di argilla. Quest'ultima indicazione è particolarmente preziosa perché assicura della presenza di questa argilla fino a circa 2 Km da terra nel bel mezzo della zona interna delle Secche.

In genere le grandi estensioni di «Panchina» (per es. la Piana di Livorno, la Piana di Rosignano Solvay, la Piana di Donoratico) corrispondono a un substrato formato da sedimenti facilmente erodibili come le argille plioceniche o pleistoceniche, mentre su substrati meno erodibili (formazioni dell'Alloctono ligure e, ancor più, alcune delle formazioni della Serie toscana) lo sviluppo della trasgressione tirreniana, e quindi della «Panchina», fu di gran lunga minore (per es.: zona di Quercianella nei Monti Livornesi, margini del Promontorio di Piombino). L'ampia placca di «Panchina» della zona di Vada e delle sue Secche suggerisce quindi che al di sotto siano presenti, più o meno completamente, banchi di argilla. Poiché la «Panchina» sembra estendersi sulle Secche fino a circa 1-2 Km dal Faro è probabile che presso a poco fino a quel punto sia presente nel sottosuolo l'argilla che potrebbe così giungere fino a contatto diretto con il *Flysch* del Cretaceo superiore. Numerosi elementi indicano che questo contatto corrisponde ad una faglia diretta.

Innanzitutto per quanto appare nella fig. 19b, c e nella fig. 15; quest'ultima relativa a un tratto di profilo Sparker ubicato circa 1 Km a nord del Faro e intersecante questa struttura. In secondo luogo perché intorno a 1,5 Km all'interno del Faro la morfologia del fondale marca un restringimento delle Secche lungo un allineamento NNW-SSE, (fig. 1 e 6) direzione piuttosto frequente delle faglie di distensione di attività recente (per es. di alcuni tratti della grande faglia di Rosignano Marittimo, attiva per tutto il Pleistocene inferiore); del resto questa direzione di gran parte del limite interno delle Secche, verso 1,5 Km dal Faro, contrasta con la direzione prevalente NNE-SSW degli strati del *Flysch* calcareo-marnoso che, se non avessero il margine orientale coincidente con questa faglia, dovrebbero determinare nella morfologia un allineamento NNE-SSW e non NNW-SSE come nella realtà. Infine perché la presenza di un contatto per faglia fra il *Flysch* del Cretaceo superiore e le argille del Pleistocene inferiore rende molto bene ragione anche del fatto che queste ultime, malgrado siano praticamente orizzontali, hanno una potenza di almeno 300 m nel sottosuolo di Rosignano Solvay; un simile spessore di sedimenti in mancanza di questa faglia sarebbe mal spiegabile, data l'orizzontalità degli strati, nel bacino relativamente ristretto che si estende da circa 1,5 Km ad oriente del Faro fino al piede della collina di Rosignano Marittimo. In altre parole questo bacino sarebbe delimitato non solo dalla ben nota faglia che corre sul fianco orientale (appunto sotto Rosignano Marittimo) ma anche da un'altra faglia, questa qui esaminata, situata sul lato occidentale a circa 1,5 Km ad est del Faro.

Anche il «Ciglio di fuori» ha una direzione chiaramente NNW-SSE (figg. 6-10) per cui vien fatto di collegarlo con la presenza di un'altra faglia di distensione. Nell'insieme la struttura della metà occidentale delle Secche corrisponde a un Horst, messo in evidenza dagli affioramenti del *Flysch* del Cretaceo superiore e del piccolo affioramento del Calcarea di Rosignano.

La metà orientale delle Secche corrisponde invece al Graben, riempito di argille del Pleistocene inferiore, che prosegue nell'entroterra sotto le piane di Rosignano Solvay e di Vada fino alla faglia di Rosignano Marittimo.

A nord delle Secche questo Graben si prolunga per circa 15 Km ancora con direzione appenninica; esso è delimitato, sul fianco orientale, da un allineamento tettonico (una o più faglie dirette) parallelo alla costa fra Castiglioncello e Castel Boccale (MAZZANTI, 1979) (4) e, sul fianco occidentale, da un altro allineamento tettonico parallelo al precedente (e anch'esso formato da una o più faglie) le cui caratteristiche sono rappresentate nelle figg. 16 A-D e nel modello tridimensionale di fig. 17.

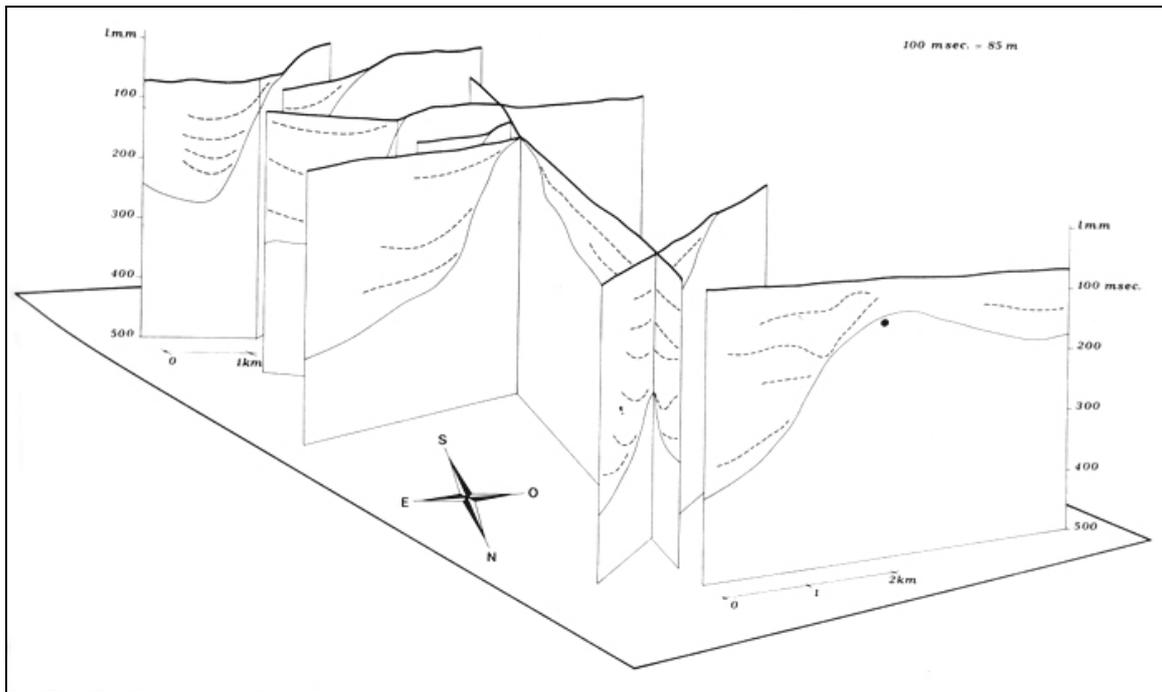


Fig.17 – Modello tridimensionale relativo ai fondali e all'orizzonte e della zona, indicata in fig. 8, centrata sull'allineamento tettonico che costituisce il bordo occidentale del Graben delle Secche di Vada. Alcuni orizzonti intermedi, riportati sulle sezioni, indicano il tipo di deformazioni subite dalla serie pleistocenica. Il modello deriva dalla riproduzione fotografica di tratti di profili Sparker riportati su lastre di plexiglass. L'angolo di presa è quello che consente la migliore identificazione delle strutture.

Gli allineamenti tettonici sia del fianco orientale sia dell'occidentale, malgrado una prevalente direzione appenninica, non sono continui ma presentano dei tratti ad andamento trasversale; uno di questi corrisponde al bordo settentrionale delle Secche (fig. 1). Questo Graben risulta anche dalla carta delle isocronopache dell'orizzonte c (fig. 18);

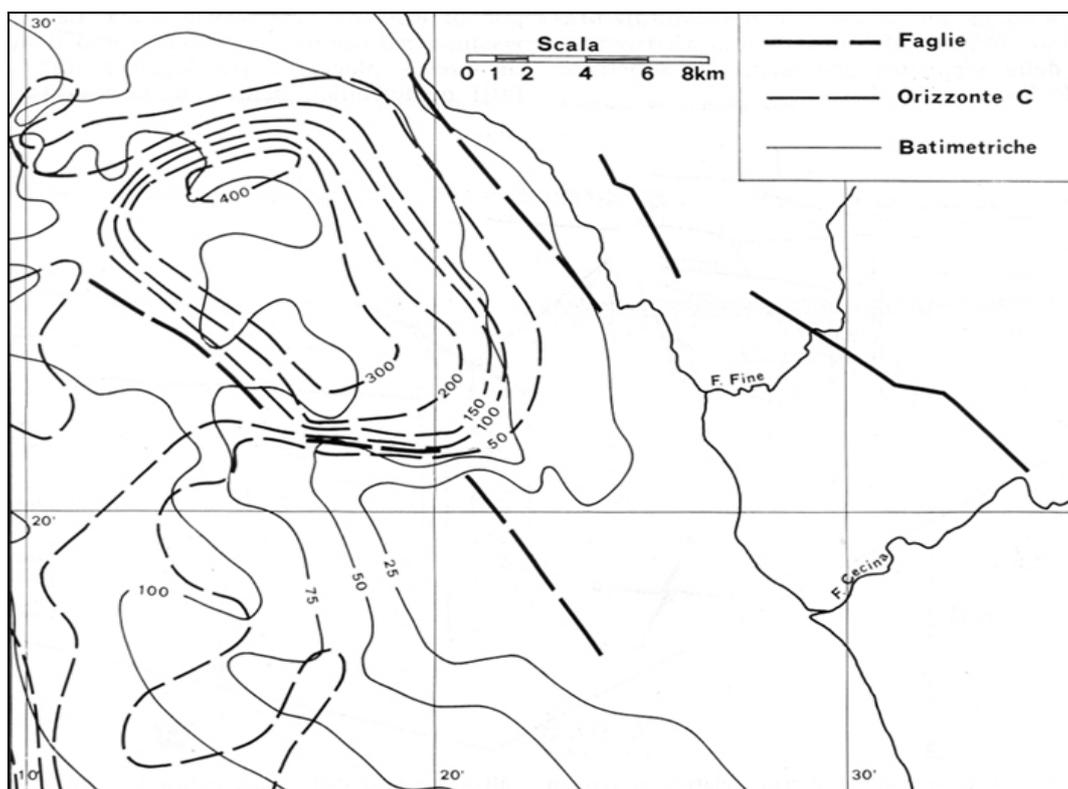


Fig.18 – Carta dell'orizzonte c (isocronopache rispetto al fondo in m/sec) in corrispondenza del Graben delle Secche di Vada (da BARTOLINI et al., 1979, modificato) e relative principali linee tettoniche. Nella stessa figura è riportata, per confronto, anche la faglia di Rosignano.

quest'ultimo, in corrispondenza dell'asse strutturale, si trova circa 300 m al di sotto del fondo del mare. Poiché è noto che nello stesso Graben questo spessore di sedimenti corrisponde alla successione del Pleistocene inferiore nel sottosuolo di Rosignano se ne può trarre al tempo stesso utili indicazioni sull'età del riempimento sedimentario del Graben stesso e sul significato stratigrafico dell'orizzonte c. Quest'ultimo, sul quale finora non era disponibile alcun riferimento stratigrafico, potrebbe quindi corrispondere alla base della trasgressione del Pleistocene inferiore.



Fig.19 A - Il fondo a Posidonia tra il Faro e il litorale



Fig.19 B - Il «ciglio interno» delle Secche (versante settentrionale), in roccia quasi priva di incrostazioni organiche, corrisponde a uno specchio di faglia

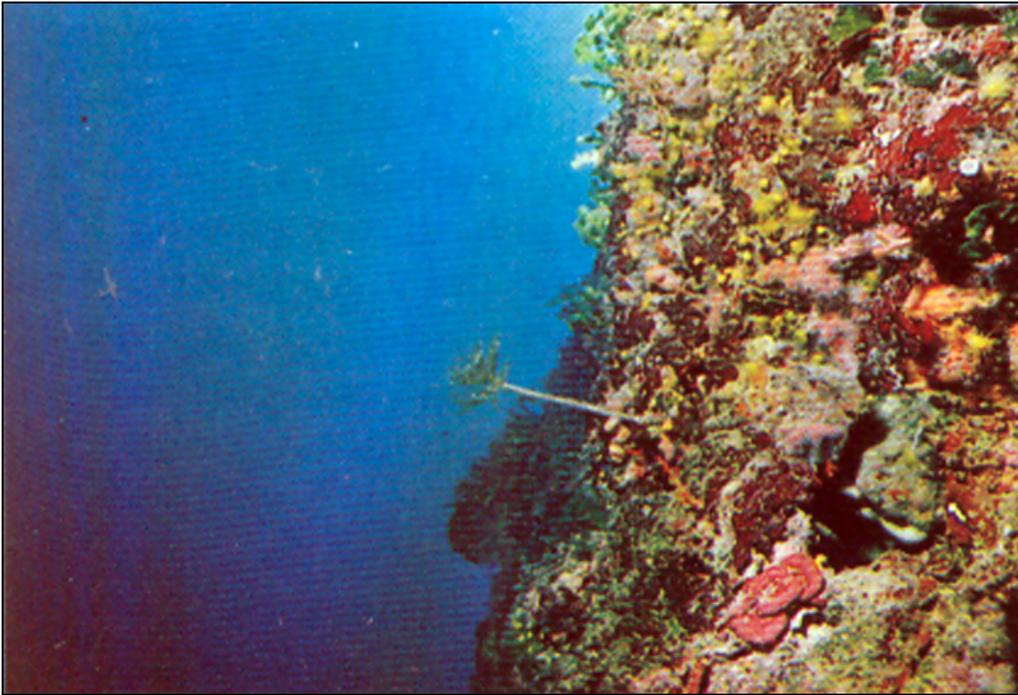


Fig.19 c - Altra visione del ciglio interno, qui ricoperto da incrostazioni del coralligeno



Fig.19 D - Gli Strati del Flysch calcareo marnoso affioranti lungo il «ciglio di fuori» abbondantemente ricoperti dalle incrostazioni organiche del coralligeno

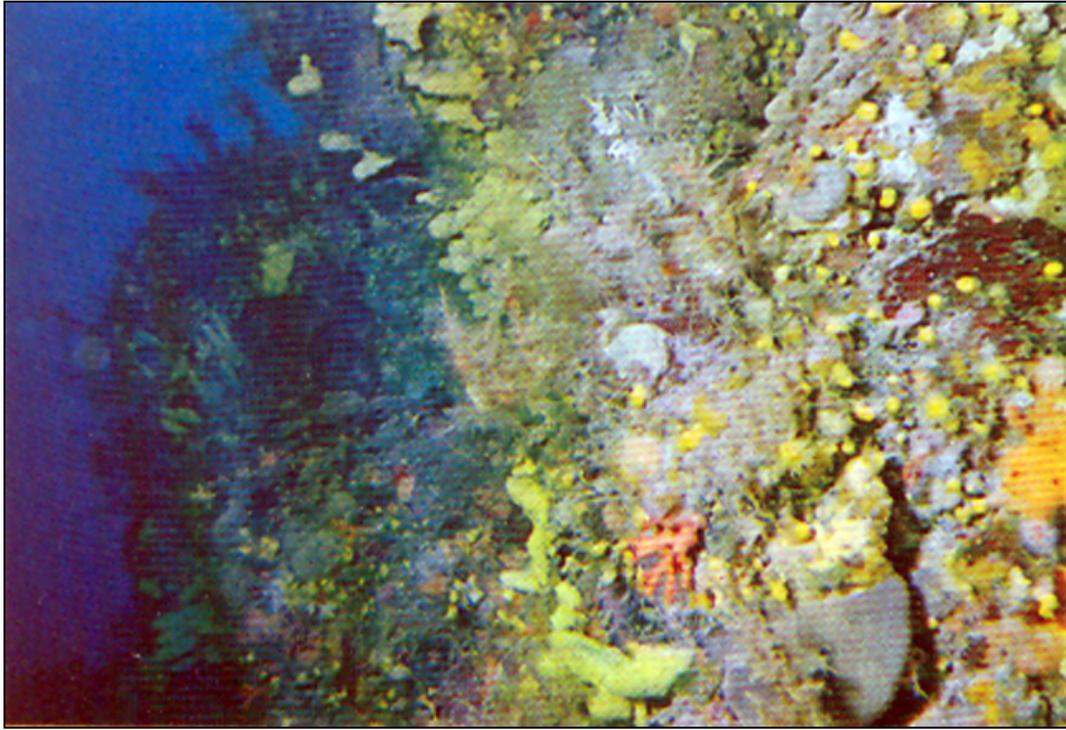


Fig.19 E - Il «ciglio di fuori» completamente ricoperto da incrostazioni organiche del coralligeno

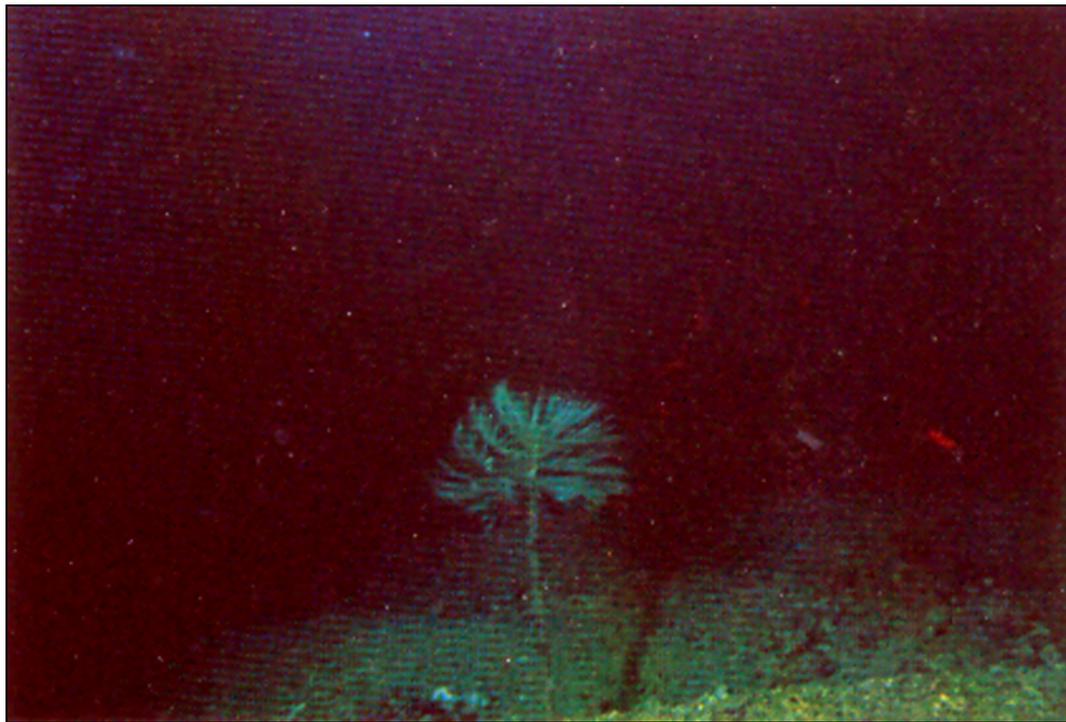


Fig.19 F - Il fondo sabbioso (oltre i 50 m di profondità) alla base del «ciglio di fuori» mostra ampie increspature da corrente.

(4) Questo allineamento tettonico è stato ipotizzato non tanto perché risulti direttamente da una morfologia rettilinea della costa fra Castiglioncello e Castel Boccale, bensì per la considerazione che le attuali irregolarità (golfi e promontori) si possono sicuramente mettere in relazione con l'erosione differenziale operata dal mare sopra i diversi litotipi affioranti sulla costa stessa. Così il Macigno di Calafuria è più prominente rispetto al Calcare di Rosignano del Promontorio di Castiglioncello; questo è più prominente rispetto alle ofioliti della zona a nord di Castiglioncello e del Promontorio del Romito, a loro volta più prominenti rispetto agli affioramenti costieri di Argille e Calcari palombini. L'erosione differenziale è ben evidenziata anche dallo sviluppo della trasgressione tirreniana i cui sedimenti si trovano molto più all'interno quando il substrato è formato da Argille e Calcari palombini, meno all'interno quando è formato da ofioliti e Calcare di Rosignano mentre sono pressoché assenti sul Macigno.

Considerato poi che lo sprofondamento del Graben è riferibile al Pleistocene inferiore (COSTANTINI et al., 1980) si può considerare con questo iniziata l'erosione differenziale che ha portato all'attuale conformazione costiera.

RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento all'Amministrazione Provinciale di Livorno che ha cortesemente messo a disposizione il Livorno II con il suo equipaggio (Sigg. CEI, BOMBARA, CECCARINI, MARCONI, MAZZOSI, OLMORISI) così consentendo l'effettuazione della ricerca.

Si ringraziano anche i Sigg. L. CERTINI del Centro di Studio per la Geologia dell'Appennino di Firenze che utilizzando il materiale subacqueo del C.R.A.L.-C.N.R. di Firenze ha contribuito alla raccolta dei campioni e il Sig. SANTINI di Cecina che ha ospitato nella sua villa una delle due stazioni Motorola. Un ringraziamento particolare viene infine rivolto alla Prof. L. DALLAN che ha eseguito le determinazioni micropaleontologiche.

Questo lavoro era già stato presentato alla S.G.I. quando il Sig. D. POTESTÀ, del Circolo subacqueo Il Calamaro di Castiglioncello, ci ha fornito le belle diapositive di fig. 19, scelte nella abbondantissima sua raccolta, frutto di tre anni di appassionata ricerca e di una trentennale attività nelle Secche di Vada; esprimiamo anche all'amico POTESTÀ i nostri più sentiti ringraziamenti per il suo importante contributo a questa ricerca.

Manoscritto pervenuto il 15 luglio 1981

Ultime bozze restituite il 15 gennaio 1982

OPERE CITATE

ABBATE E. & SAGRI M. (1970) - The eugeosynclinal sequences. In G. Sestini (Editor). Development of the Northern Apennines Geosyncline. Sed. Geol., 4.

ATELLO E. (1975) - Le arenarie dell'Aveto, di Petriagnacola e di M. Senario (Appennino settentrionale). Osservazioni sedimentologiche e petrografiche. Boll. Soc. Geol. Ital., 94.

AIELLO E., BARTOLINI C., CONEDERA C. & PRANZINI E. (1979) - L'erosione del litorale livornese e le sue cause. Provincia di Livorno, 42 pp.

AIELLO E., BRUNI P. & SAGRI M. (1979) - Depositi canalizzati nei flysch cretacei dell'isola d'Elba. Boll. Soc. Geol. Ital., 96.

BARLETTA S., BARTOLINI C., CASELLI G., DEL BONO G. L. & REGINI E. (1976) - Morfologia dei fondali prospicienti le coste dell'isola d'Elba orientale fra la Rada di Portoferraio e il Golfo Stella. Boll. Soc. Geol. It., 95.

BARTOLINI C., FANUCCI F., GABBANI G., Rossi S., VALLERI G. & LENA R. (1979) - Studio della piattaforma continentale medio-tirrenica per la ricerca di sabbie metallifere: 2) Dall'Isola d'Elba a Livorno. Boll. Soc. Geol. Ital., 98.

BARSOTTI G., FEDERICI P. R., GIANNELLI L., MAZZANTI R. & SALVATORINI G. (1974) - Studio del Quaternario livornese, con particolare riferimento alla stratigrafia e alle faune delle formazioni del Bacino di carenaggio della Torre del Fanale. Mem. Soc. Geol. Ital., 13.

BIANCHI E. (1943) - Alcuni effetti delle oscillazioni costatiche del livello marino sulla morfologia dell'Elba Orientale. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., 52.

BOSSIO A., ESTEBAN M., GIANNELLI L., LONGINELLI A., MAZZANTI R., MAZZEI R., RICCI LUCCHI F. & SALVATORINI G. (1978) - Some aspects of the Upper Miocene in Tuscany. Messinian Seminar, n. 4, IGCP Project n. 96 (Roma, October 1978). Ed. Pacini, Pisa.

CERRINA FERONI A. & MAZZANTI R. (1966) - Geologia della parte meridionale dei Monti Livornesi in Toscana. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., 73.

CONTI S. & ANDRI E. (1967) - Sulla geologia dei Monti Livornesi e suoi riferimenti nel quadro più generale dell'Appennino settentrionale. Atti Ist. Geol. Univ. Genova, 4 (2).

COSTANTINI A., GANDIN A., GUASPARRI G., MAZZANTI R., LAZZAROTTO A. & SANDRELLI F. (1981) - *Neotettonica dei Fogli: 111 Livorno - 112 Volterra - 113 Castelfiorentino - 119 Massa Marittima - 120 Siena - 121 Montepulciano - 126 Isola d'Elba - 127 Piombino - 128 Grosseto - 129 S. Flora*. Sta in: Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. Pubbl. n. 356 del Progetto Finalizzato Geodinamica - Sottoprogetto Neotettonica - CNR.