

Boll. Soc. Geol. It., 96 (1977), 457-489, 26 ff., 1 tav.

## **EROSIONE DELLA «PANCHINA» SUI LITORALI DI LIVORNO E DI ROSIGNANO**

**Nota dei Soci RENZO MAZZANTI (\*) & GIAN CLEMENTE PAREA (\*\*)**

*(presentata a Roma nella Seduta scientifica del 1° luglio 1977)*

(\*) Centro di studi per la Geologia Strutturale e dinamica dell'Appennino (CNR).

(\*\*) Istituto di Paleontologia Università di Modena.

Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto Finalizzato Conservazione del Suolo del CNR, Subprogetto Dinamico dei Litorali Pubblicazione n. 9 (contratto di ricerca 77.00739.87 responsabile prof. M. Tongiorgi e contratto di ricerca 76.00768.87 responsabile prof. G. C. Parea.

Dopo un inquadramento geografico e geologico delle successioni stratigrafiche del Pleistocene sup. e dell'Olocene affioranti lungo la costa compresa fra Livorno e Rosignano, vengono esaminate brevemente le caratteristiche sedimentologiche della « Panchina » (Beach rock degli Autori anglosassoni).

Molto importanti per l'effetto che hanno sulle forme d'erosione sono risultate alcune particolari strutture diagenetiche: le «concrezioni suborizzontali» e le «concrezioni verticali». Le prime sono messe in relazione con le acque della falda freatica in lento deflusso verso il mare entro la porzione basale dei sedimenti che daranno la «Panchina»; le seconde con le acque piovane percolanti attraverso la parte superiore degli stessi sedimenti durante la discesa verso la falda freatica.

Lo studio delle forme di erosione presenti nella «Panchina» sul litorale esaminato ha permesso di riconoscere, fra il limite massimo raggiunto dai marosi di tempesta e il limite verso il largo degli affioramenti di questa roccia nel fondale marino, tre distinte fasce fisiografiche. Queste fasce, da terra verso mare, sono: la «fascia a superficie spugnosa» e la « fascia a vaschette di corrosione» nella zona supratidale; la spianata intertidale a marmitte» o « il solco di battente» che corrispondono alla zona intertidale; la fascia a superficie irregolare e marmitte slabbrate» e la « fascia a solchi ortogonali al litorale» nella zona infratidale.

## INTRODUZIONE E STUDI PRECEDENTI

Questa nota rientra nell'attività delle Unità Operative di Modena e di Pisa del Programma Speciale Conservazione del Suolo del CNR Sottoprogetto Dinamica Litorali. Essa rappresenta un primo contributo all'esame dei litorali rocciosi, o parzialmente rocciosi, dopo gli studi che sono stati dedicati all'equilibrio che regola l'avanzamento, la stabilità o l'arretramento dei litorali sabbiosi. La «Panchina» (*Beach rock* degli Autori anglosassoni) dei litorali di Livorno e di Rosignano si presta particolarmente bene allo studio delle forme d'erosione che ne caratterizzano la superficie e dei rapporti fra queste ultime e le strutture sedimentarie e diagenetiche.

Dall'esame comparativo di queste forme, limitatamente ai litorali studiati, abbiamo dedotto l'esistenza di un preciso ordine di sviluppo. Ci proponiamo quindi di verificare in futuro questo risultato su altri litorali a «Panchina» per vedere se sia possibile generalizzare le conclusioni cui siamo giunti.

La superficie della parte emersa della «Panchina» dei litorali esaminati presenta «tubuli» d'erosione, «vacuoli» e «vaschette» di corrosione; la superficie della parte compresa nella zona intertidale presenta «marmitte» di abrasione, «spianata intertidale » e «solco di battente» di erosione chimica e meccanica; la superficie della parte compresa nella zona infratidale presenta solo forme di abrasione e cioè «marmitte slabbrate» e «solchi ortogonali al litorale». Inoltre l'intera forma planimetrica di questi litorali e quella dei fondali marini immediatamente antistanti hanno, come vedremo, un preciso significato.

Non abbiamo trovato, malgrado le ricerche, monografie moderne con studi rivolti particolarmente alle spianate intertidali del litorale italiano. Anche la trattatistica italiana e straniera è piuttosto evasiva sul preciso meccanismo di sviluppo di questa caratteristica forma di erosione. Alcuni Autori mettono particolarmente in evidenza l'azione abrasiva di sabbia e ghiaia mosse dalla forza dei flutti e dei frangenti; altri considerano prevalente l'azione di soluzione dell'acqua di mare; altri ancora ritengono molto importante l'attacco degli organismi.

Il solco di battente è strettamente legato, dal punto di vista genetico, alla spianata intertidale in quanto quest'ultima si sviluppa proprio per l'approfondimento di questo solco verso il retroterra. CAROBENE, nel suo studio che riguarda questa forma d'erosione nel Golfo di Orosei in Sardegna, fornisce numerosi dati e misure e afferma che, pur condizionata da fattori geografici e morfologici, «L'attività del mare contribuisce alla formazione dei solchi per via meccanica, chimica e biologica» (CAROBENE 1972, p. 591).

Trattando dell'erosione marina sulle coste, KUENEN passa criticamente in rassegna le conoscenze e le opinioni sull'argomento e, sulla base di osservazioni fatte da lui e da altri sulle coste dell'Indonesia, afferma:

*«The foregoing discussion shows definitely that the marine erosion of elevated coral limestone is effected almost entirely by chemical solution»*

Dall'esame della letteratura e da nostre osservazioni dirette è apparso che gli Autori hanno utilizzato il termine «marmitta» per cavità molto differenti come forma, aspetto e quindi, presumibilmente, come genesi.

Lungo la stessa costa studiata le cavità presenti nella zona di «Panchina» emersa sono risultate notevolmente diverse da quelle della zona intertidale o da quelle della infratidale.

Situazioni simili a quelle di Livorno e di Rosignano sono state da noi osservate lungo le coste a «Panchina» di Civitavecchia, di Sferracavallo (a NW di Palermo), di Porto Cesareo nella Penisola Salentina e di Alghero e del Sinis in Sardegna.

Per quanto ci è riuscito ricavare dalla bibliografia riteniamo che le marmitte descritte nell'Isola di Pianosa da CREMA (1920) siano completamente paragonabili a quelle qui studiate.

PADALINO (1968) illustra marmitte di vario tipo sulla Costa Verde, nella Sardegna sud-occidentale; alcune di esse sono esattamente analoghe a quelle che emergono lungo la costa di Livorno e di Rosignano. Questo Autore cita anche marmitte subacquee i cui orli vengono progressivamente slabbrati e smembrati dall'erosione marina, ma non fa un'esplicita distinzione fra la genesi di quelle subaeree e di quelle subacquee. Infatti accomuna tutte le marmitte della Costa Verde e ritiene che esse *«siano formate principalmente per opera della sabbia e dei ciottoli mossi dall'azione vorticoso del mare, senza tuttavia escludere un ampliamento di quelle cavità preesistenti ed attualmente visibili come impronte di fondo nell'arenaria continentale»* (1968, p. 13 dell'estratto).

I solchi ortogonali al litorale infine, trovandosi su fondali di un paio di metri, non sono osservabili da terra. Per quanto riguarda i litorali italiani ci risulta che sono stati citati solo da PADALINO (1968) lungo la Costa Verde. Questo Autore scrive a proposito del litorale a N di Punta Rocca Bunconis: *«Qui le forme subacquee di erosione marina sono per la maggior parte rappresentate da canali originatisi dalla fusione di preesistenti marmitte, che si possono ancora osservare a pochi metri dalla linea di riva. Man mano che ci si allontana dalla battigia, l'orlo delle marmitte, a contorno come sempre subcircolare, si smembra fino al completo annullamento dei setti divisorii fra cavità e cavità, con conseguente formazione di canali allungati in direzione WNW, cioè normale alla linea di spiaggia»* (PADALINO 1968, p. 8 e 9 dell'estratto). Questo Autore non si esprime esplicitamente sul modo di formazione di queste particolari forme di erosione.

## INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

Nel tratto costiero tra Livorno e Rosignano (fig. 1, A) la successione stratigrafica del Pleistocene sup., di cui la «Panchina» costituisce il membro inferiore, forma una coltre, dello spessore medio di circa 4 m, che si appoggia sopra una superficie di trasgressione che dal livello del mare, in corrispondenza della foce del T. Ardenza, si eleva progressivamente fino a raggiungere la quota di 15 m, presso la foce del Rio Maroccone. A S di questa località, fino a Quercianella, non è più rintracciabile; ricompare, ancora più a S, fino al promontorio di Castiglioncello a quote di 11-15 m; si inclina quindi leggermente verso SE per poi raggiungere di nuovo il livello del mare all'altezza di V.la» Casamarina (nella Piana di Rosignano) (fig.1, A).

Tra la foce del T. Ardenza e la V.la Casamarina (a parte qualche tratto dove manca per erosione) la superficie di trasgressione su cui poggia la «Panchina» forma un terrazzo che sovrasta la falesia attuale, più o meno elevata, ma sempre formata da rocce pre-quaternarie. Fra queste due località la «Panchina» affiora in tutto il suo spessore per cui sono favorite le osservazioni stratigrafiche. A N e a S delle medesime località, rispettivamente fra la foce del T. Ardenza e la Terrazza Mascagni (nella Piana di Livorno) (fig. 1, B) e fra la V.la Casamarina e la Punta Lillatro (nella Piana di Rosignano) (fig. 1, C) si imposta sulla «Panchina» il litorale attuale con una costa bassa. In questa

situazione è possibile esaminare le forme dovute all'erosione marina nella zona emersa, in quella intertidale e in quella sommersa.

## IL PLEISTOCENE SUP. DELLA COSTA DI LIVORNO

Le successioni stratigrafiche del Pleistocene sup. della zona costiera della Piana di Livorno possono essere schematizzate nel modo seguente:

S. Stefano ai Lupi	Ponte Girante	Torre del Fanale
(da BACCI et Alii, 1939)	(da CATERINI in APPELIUS, 1871)	(da BARSOTTI et Alii, 1974)
(per l'ubicazione si veda la fig. 1, A)	(per l'ubicazione si veda la fig. 1, B)	(per l'ubicazione si veda la fig. 1, B)
<i>h - sabbia leggermente argillosa che termina con un suolo a industria musteriana;</i>		
<i>g - sabbia eolica finissima arrossata e ben stratificata;</i>		
<i>f - sabbia grossolana di duna arrossata;</i>		
<i>e - piccole ghiaie con stratificazione incrociata;</i>		
<i>d - sabbia arrossata con fauna salmastra;</i>		
<i>c - panchina irregolarmente cementata;</i>	<i>c - panchina;</i>	<i>c - panchina superiore;</i>
<i>b - argilla continentale;</i>	<i>b - limo lacustre;</i>	<i>b - argilla torbosa nera al tetto di limo salmastro;</i>
<i>a - sabbie grigie sempre più grossolane verso il basso e strati di ciottoli</i>	<i>a - marne biancastre con ciottoli di calcare alberese;</i>	<i>a - panchina inferiore con conglomerato alla base.</i>

Il conglomerato di base (livello a) alla Torre del Fanale contiene una ricca fauna a Molluschi che è stata attribuita al primo dei tre episodi trasgressivi del Tirreniano riconosciuti nel Mediterraneo.

Il livello b contiene polline di Conifere montane a S. Stefano ai Lupi ed è stato attribuito al primo episodio continentale intertirreniano alla Torre del Fanale. Questo livello non è continuo e nella stessa sezione della Torre del Fanale se ne poteva chiaramente osservare la forma lenticolare.

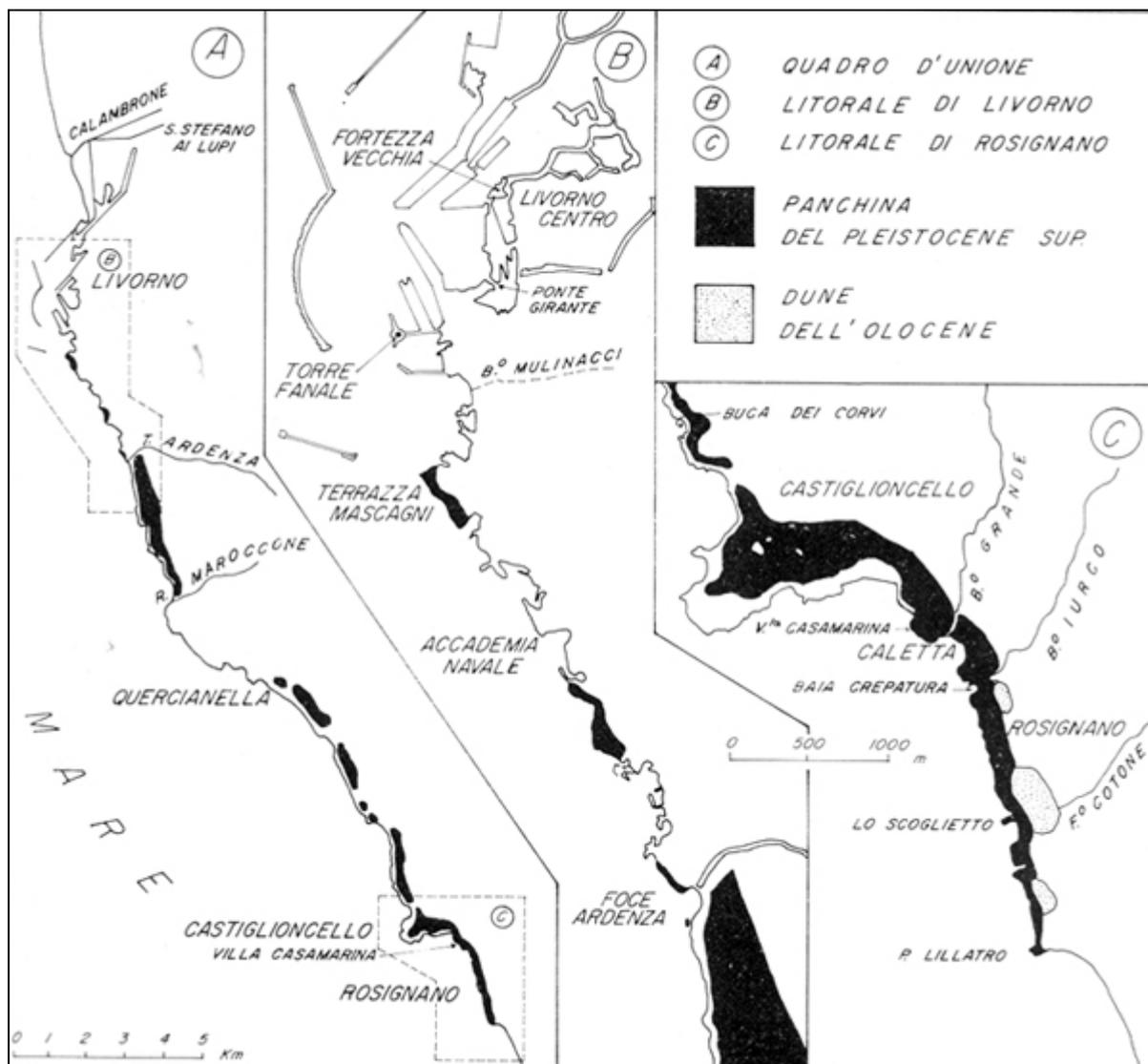
Il livello e ha fornito a S. Stefano ai Lupi una fauna di spiaggia, non indicativa dal punto di vista cronologico; è verosimile rappresenti il secondo episodio trasgressivo del Tirreniano.

I livelli da d ad h di S. Stefano ai Lupi sono stati tutti attribuiti a facies continentali; quelli inferiori possono corrispondere a fasi tardive intertirreniane, mentre quello superiore è senza dubbio attribuibile a una fase del Würm.

Questi livelli sabbiosi di colore rosso-bruno si estendono su tutta la Piana di Livorno dove hanno fornito la matrice dei suoli attuali e sono profondamente alterati dalle lavorazioni agricole. Lungo il litorale sono stati completamente asportati dall'azione dei frangenti di tempesta e delle acque meteoriche dilavanti e incanalate che hanno messo a nudo la sottostante «Panchina».

## IL PLEISTOCENE SUP. TRA ARDENZA E V.la CASAMARINA

La serie del Pleistocene sup. nel tratto a costa alta fra la foce del T. Ardenza e la V.la Casamarina è stata oggetto in passato di numerosi studi da parte di BLANC (1935 e 1953), MALATESTA (1943 e 1951), OTTMANN (1954), CERRINA FERONI & MAZZANTI (1966). L'OTTMANN presenta le tre sezioni riprodotte in fig. 2 che compendiano la situazione stratigrafica di questo tratto.



**Fig.1** - Carta degli affioramenti del Pleistocene sup. e dell'Olocene nel litorale fra Livorno e Rosignano.

Il livello 2) alla Buca dei Corvi contiene una ricca fauna a Molluschi attribuita al Tirreniano da BLANC fin dal 1935. Gli strati superiori a questo livello sono stati considerati tutti in serie e di tipo continentale da OTTMANN che li ha attribuiti a varie fasi del Wùrm.

Tuttavia le stesse sezioni I e II di fig. 2 mostrano due falesie a diversi livelli (una sui 10 e l'altra sui 15 m), mentre da una nostra ricognizione *in loco* sono sorti dubbi sulla natura eolica, e forse anche continentale, della « Dunes II » di OTTMANN. Non si può escludere che una revisione della stratigrafia di queste località permetta il riconoscimento di due fasi tirreniane e, probabilmente, l'attribuzione all'Intertirreniano della « Dunes II » di OTTMANN, in conformità con la serie generale della Piana di Livorno.

#### IL PLEISTOCENE SUP. DELLA COSTA DI ROSIGNANO

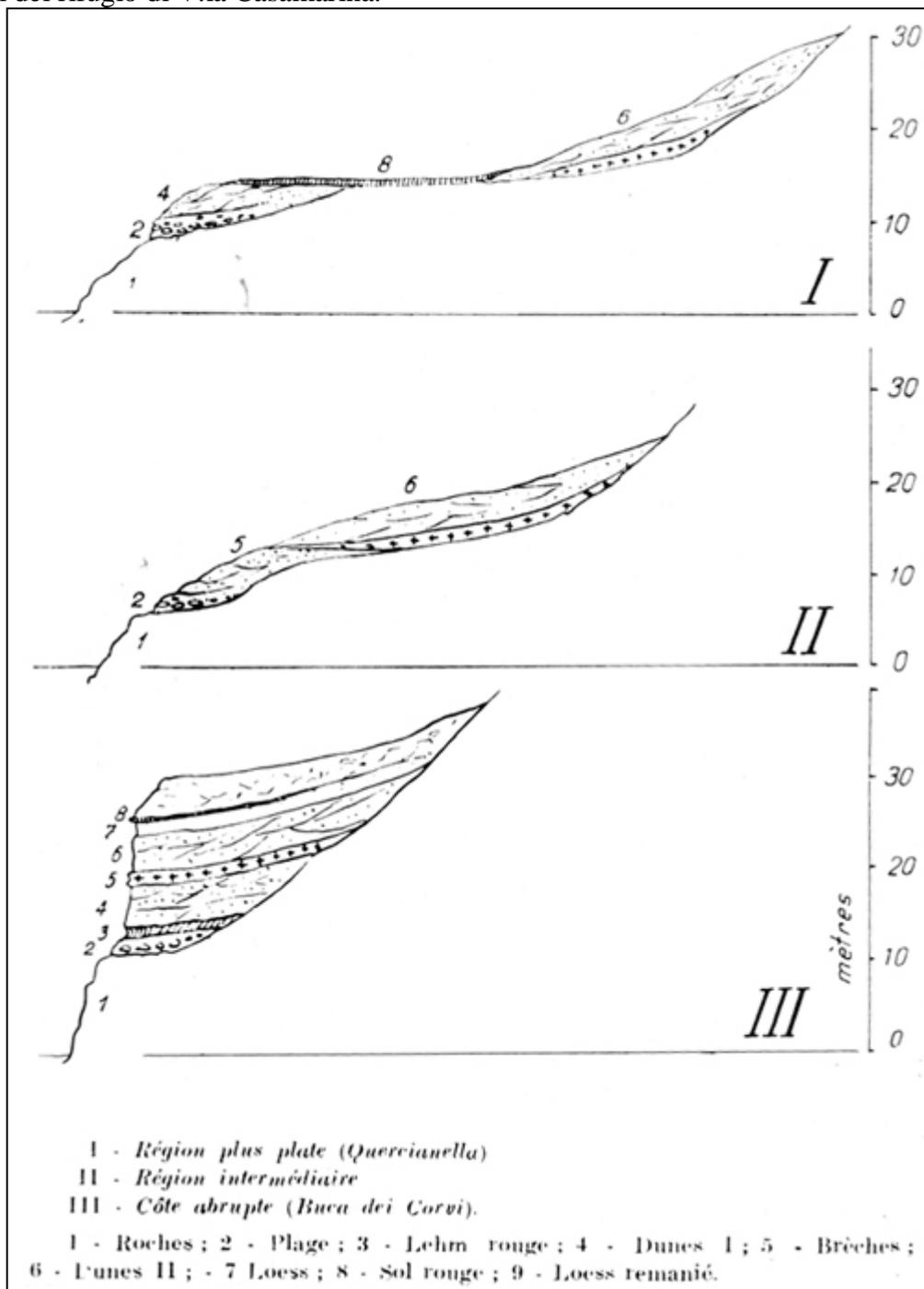
Nella Piana di Rosignano è mancata finora l'apertura di una enorme cava (quale quella della Torre del Fanale per il bacino di carenaggio di Livorno) che facilitasse le osservazioni di buone sezioni nel Pleistocene sup. In più, il rinvenimento da parte di MALATESTA (1951) di *Terebratula ampulla* in un sedimento calcareo-arenaceo-sabbioso del rifugio antiaereo di V.la Casamarina ha fatto nascere l'equivoco che gli affioramenti di «Panchina» del litorale di Rosignano appartenessero al Calabriano.

In tale equivoco sono caduti sia l'OTTMANN (1954) che CERRINA FERONI & MAZZANTI (1966) che hanno cartografato questa «Panchina» come calabriana, attribuendo invece al Tirreniano

e al Würm le sabbie rosso-brune che la ricoprono. Ulteriori conoscenze, che derivano dai dati (ancora inediti) delle stratigrafie di numerosi sondaggi, eseguiti di recente nella Piana di Rosignano, e da nuove escursioni di campagna di uno degli scriventi (MAZZANTI), permettono di chiarire questo problema anche se il rifugio della V.la Casamarina è ormai inaccessibile.

La stratigrafia della Piana di Rosignano corrisponde esattamente a quella della Piana di Livorno con una «Panchina» che affiora sul litorale e che appoggia sulla superficie di trasgressione tirreniana ed è sormontata da sabbie rosso-brune evidentemente würmiane. Non è neppure da escludere, come suggerirebbero le stratigrafie di alcuni pozzi della zona di Vada (circa 4 Km a SE di Rosignano), la presenza, in alcune località, di due livelli di «Panchina» separati da una fase intertirreniana.

L'equivoco ai quale abbiamo accennato in precedenza è dovuto al fatto che nel substrato della «Panchina» tirreniana gli strati calabriani (ricchi di faune tipiche a Molluschi) sono costituiti, oltre che da una facies argillosa ben riconoscibile, anche da una facies calcareo-arenaceo-sabbiosa molto facilmente confondibile con la «Panchina» tirreniana stessa e che doveva formare la parte inferiore delle pareti del rifugio di V.la Casamarina.



*Fig.2 - Tre sezioni di OTTMANN (1954) nel Pleistocene compreso tra Ardenza e Villa Casamarina.*



*Fig. 3 - Concrezioni intrasedimentarie suborizzontali alla base della « Panchina » della Buca dei Corvi.*

#### ELEMENTI OLOCENICI DEL LITORALE

L'impianto del litorale attuale è legato alla trasgressione versiliana (o fiandriana a seconda degli Autori). Sui particolari di questa trasgressione sussistono ancora notevoli incertezze e talora compaiono elementi apparentemente contraddittori, dovuti, a nostro avviso, alla difficoltà di valutare nelle variazioni delle linee di riva le entità derivanti dalla subsidenza, dalla epirogenesi, dagli apporti fluviali e dai movimenti eustatici più recenti.

I paduli della parte settentrionale della Piana di Livorno sono il risultato dell'evoluzione in lidi emersi di una serie di barre che, dalle bocche del F.so Calambrone e dell'Arno, raggiungevano il promontorio di «Panchina» sul quale fu costruita la Fortezza Vecchia di Livorno (fig. 1, B). In tutta quest'area dai tempi protostorici ed etruscoromani ad oggi il litorale è andato continuamente avanzando fino a quando l'imponente attività umana, con la costruzione di moli e il taglio di darsene e canali, non ha superato in velocità e ampiezza il processo naturale stesso (BARSOTTI et Altri, 1974; MAZZANTI, 1975 con bibl.).



*Fig. 4 - Concrezioni intrasedimentarie suborizzontali alla base della « Panchina » di V.la Casamarina.*

Il tratto di costa bassa impostato nella «Panchina» tra la Fortezza Vecchia di Livorno e la foce del T. Ardenza sembra fosse privo di dune oloceniche. Esso doveva presentare una fascia emersa di «Panchina» ricoperta, oltre il limite dei marosi di tempesta, dalle sabbie rosso-brune del Würm, ammantate da folti boschi di Leccio. Di questa disposizione, vista la estrema urbanizzazione di tutta quest'area, non rimane che una traccia nei parchi privati delle poche ville settecentesche e ottocentesche che ancora non siano stati sventrati per costruirvi grandi caseggiati, in linea con i criteri attuali di utilizzazione del Territorio. Sulla ghirlanda di scogli di «Panchina», che dovevano estendersi nella zona intertidale, sono state fondate le basi di cemento dei moli di stabilimenti balneari e di minuscoli porticcioli. Un'idea dei corsi d'acqua che sfociavano in piccole baie in questo tratto di costa può ottenersi individuando gli scarichi a mare delle fogne maggiori.

Il tratto di litorale a falesia che dal T. Ardenza si estende fino alla V.1a Casamarina, se pure in lenta retrocessione per l'azione imponente dei marosi delle traversie di Libeccio, di Scirocco e di Ponente, che lo investono in pieno quasi per tutta la sua lunghezza, non sembra abbia subito notevoli mutamenti almeno dai tempi protostorici ed etrusco-romani. Fanno fede di ciò gli innumerevoli frammenti di terraglie e di corredi nautici etruschi e romani che sono stati trovati, e talora ancora si rinvengono, fin sotto costa in questa zona.

Anche il tratto di litorale fra V.1a Casamarina e Punta Lillatro, costituito da «Panchina», non sembra aver mutato in tempi recenti. Solo a monte della zona raggiunta dai marosi di tempesta, al di sopra della «Panchina» e delle sabbie rosso-brune würmiane, si trovavano fino a circa 20 anni fa (osservazioni dirette di MAZZANTI) alcune dune di sabbia grigia olocenica, ricoperte da una vegetazione di rada macchia a Ginepro coccolone. Gran parte di queste dune fu asportata per costruire un nuovo quartiere; piccoli residui di quelle più meridionali sono ancora visibili.

Migliore è invece, nei confronti della zona di Livorno, la conservazione del litorale di «Panchina» e dei fondali antistanti, che mantengono ancora l'assetto naturale ad eccezione della Baia di Caletta, semichiusa da una lunga diga parallela e costellata di piccoli moli trasversali, e della bassa scogliera a N della foce del F.so Cotone. munita di un muretto parallelo di cemento.

Tutte queste opere sono state costruite per intrappolare la sabbia apportata dalle mareggiate sulle spiagge ciottolose esistenti o per ricoprire di un sottile strato di sabbia alcune aree della bassa scogliera di «Panchina». Sembra che il risultato sia positivo, a parte la violenta deturpazione che è stata inferta all'estetica del paesaggio e il costo dell'annuo ripascimento artificiale delle spiagge.

### **CENNI SULLE CARATTERISTICHE PETROGRAFICHE E SEDIMENTOLOGICHE DELLA «PANCHINA»**

In tutta la zona considerata la «Panchina» è costituita da sabbie a grana media e grossolana a diverso grado di cementazione. Fa eccezione la zona a S dell'Accademia Navale di Livorno, dove, in una matrice arenacea, compaiono molte lenti di conglomerati con ciottoli di varie dimensioni. La sabbia è composta prevalentemente da granuli carbonatici bioclastici cui è associata una frazione non carbonatica di importanza variabile, ma che non supera mai un terzo del totale.

I clasti carbonatici sono costituiti essenzialmente da Foraminiferi e da frammenti di Alghe calcaree e di gusci di Lamellibranchi, Gasteropodi, Echinodermi ecc.

I clasti non carbonatici sono essenzialmente costituiti da granuli monocristallini o policristallini di quarzo e da granuli di selce. Minerali femici provenienti dalle Ofioliti sono piuttosto frequenti in alcuni campioni e assenti in altri. I feldspati sono sempre accessori.



*Fig.5 – Concrezioni intrasedimentarie verticali al tetto della «Panchina di Rosignano»; è visibile nell'alto della foto il passaggio alle Sabbie rosso-brune.*

I granuli non carbonatici non superano le dimensioni della sabbia media; quelli bioclastici possono anche superare le dimensioni della sabbia grossolana.

Per quanto riguarda la forma, l'eterogeneità dei granuli è grandissima: benché prevalgano, specialmente fra i carbonatici, gli elementi arrotondati (nel senso di POWERS, 1953) sono presenti anche granuli da subangolosi a molto arrotondati.

Il cemento, che costituisce da un quarto a metà della roccia, è calcitico, essenzialmente spatico. La distribuzione del cemento non è uniforme sia a grande sia a piccola scala per cui la roccia ha un aspetto spugnoso e vacuolare in grande e poroso nel dettaglio. Nella «Panchina» sono visibili strutture sedimentarie come lamine pianoparallele, lamine oblique, piste di fossatori e impronte di radici, di solito mascherate ma talvolta messe in risalto dall'inomogeneità della cementazione. La tessitura di questa roccia, il tipo delle laminazioni ed il loro assetto sono caratteristici dei sedimenti di spiaggia sia emersa sia sommersa e, in parte, della duna immediatamente retrostante.

La «Panchina», come è già stato accennato, è cementata in modo irregolare e discontinuo, tuttavia sono chiaramente riconoscibili nel suo insieme due livelli che si differenziano nettamente per la struttura. Il livello inferiore è caratterizzato dalla presenza delle «concrezioni intrasedimentarie suborizzontali»; il livello superiore è invece caratterizzato dalle «concrezioni intrasedimentarie verticali» (tav. 1)

Le concrezioni intrasedimentarie suborizzontali sono corpi arenacei a sezione trasversale circolare, ellittica o variamente irregolare, talora anastomizzati e tutti allungati in direzione del mare con inclinazione debolissima. Ne risulta una struttura d'insieme a marcato allineamento ortogonale a quella che doveva essere la linea di riva al momento in cui avveniva la cementazione. Dove quest'ultima è completa le singole concrezioni non sono più distinguibili e la roccia appare massiccia; esistono anche zone a cementazione intermedia con concrezioni più o meno evidenti. Le concrezioni intrasedimentarie verticali sono corpi arenacei analoghi ai precedenti dai quali si distinguono nettamente per essere allungati in direzione verticale, per una minore uniformità di cementazione, per le dimensioni molto minori e per una complessità notevolmente maggiore delle sezioni trasversali.

Anche questo tipo di struttura è più evidente dove la cementazione è meno omogenea e completa ossia dove le concrezioni sono più rade. La roccia si presenta quasi compatta e omogenea ed è appena riconoscibile una tessitura d'insieme con andamento generale verticale dove le concrezioni sono molto fitte.



**Fig.6** – *Piste di fossatori e concrezioni intrasedimentarie suborizzontali che interferiscono vicendevolmente nella «Panchina» del litorale di Baia Caletta. La fotografia ha asse verticale.*

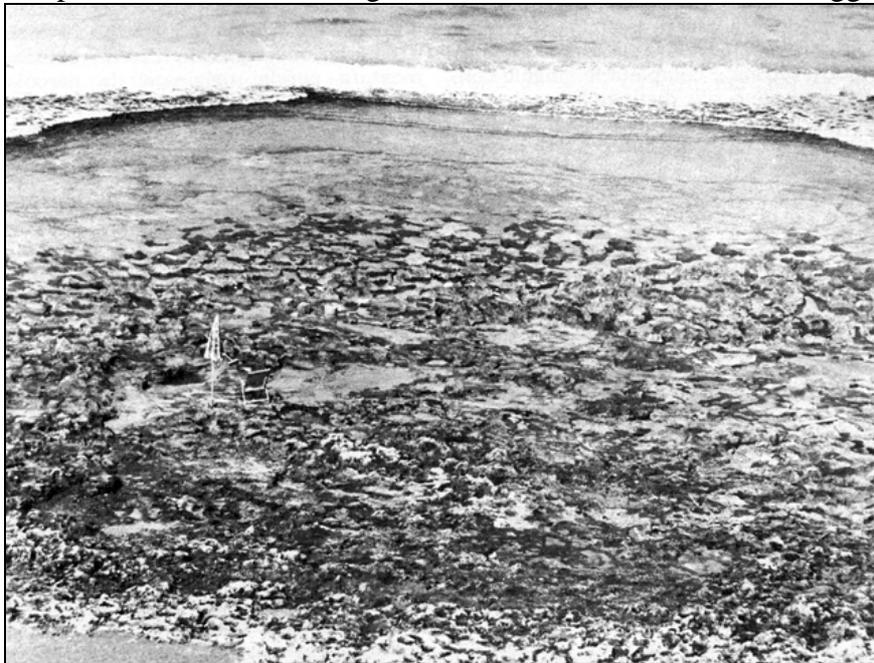
Per l'interpretazione di questi due tipi di strutture riteniamo molto significativo il fatto che siano nettamente orientate. Ciò implica che il cemento sia stato deposto da acque che fluivano, sia pur lentamente, attraverso il sedimento e non da acque di impregnazione in condizioni statiche. In particolare le concrezioni ad andamento suborizzontale devono essere connesse con le acque della falda freatica che, attraverso la parte basale delle sabbie di spiaggia, defluivano verso il mare sopra la spianata intagliata dalla trasgressione tirreniana sul substrato impermeabile (argille calabrianne e localmente «argiloscisti con calcari palombini» del Giurese sup. - Cretaceo inf.). Le concrezioni ad andamento verticale possono essere state formate dalle acque piovane durante il loro lento movimento di percolazione attraverso il pacco di sabbie sovrastanti la falda freatica. Le acque piovane, prima di raggiungere la saturazione in carbonati ed essere quindi in grado di formare concrezioni, dovevano attraversare un certo spessore di sabbia che generalmente si è conservato incoerente al di sopra della «Panchina» a concrezioni verticali. Il maggiore grado di cementazione della «Panchina» a concrezioni suborizzontali può essere collegato col fatto che durante la diagenesi essa si trovò continuamente immersa nella falda freatica. La «Panchina» a concrezioni verticali, invece, è meno cementata perché originata da percolazioni temporanee legate ai soli periodi piovosi. Inoltre le acque della falda avevano maggiori possibilità di arricchirsi di carbonati potendo percorrere distanze anche grandi attraverso altri sedimenti prima di arrivare in corrispondenza dell'attuale «Panchina».

Da quanto esposto in queste ultime pagine risulta che le strutture riconoscibili nella «Panchina» si possono raggruppare dal punto di vista genetico in due categorie: strutture sedimentarie e strutture diagenetiche. Strutture sedimentarie sono i vari tipi di lamine, le piste di fossatori e le impronte delle radici; strutture diagenetiche sono le concrezioni suborizzontali e verticali. Tutte queste strutture possono aver interferito reciprocamente in quanto le strutture sedimentarie possono aver condizionato in modo più o meno accentuato il deflusso dell'acqua e quindi la formazione di quelle diagenetiche. La diagenesi a sua volta può aver variamente mascherato o messo in evidenza le preesistenti strutture sedimentarie.

### **DESCRIZIONE NEI PARTICOLARI DELLE FORME D'EROSIONE**

Nell'introduzione abbiamo già accennato che sopra gli affioramenti di «Panchina» lungo le coste di Livorno e di Rosignano si osservano forme d'erosione di vari tipi. Queste sono distribuite lungo fasce disposte parallelamente al litorale per cui si può dedurre che abbiano precisi rapporti con l'attività e con il livello del mare. Si possono riconoscere tre zone (tav. 1 e fig. 7):

- Zona supratidale; nella quale la «Panchina» è esposta all'azione delle acque meteoriche (dilavanti e incanalate) e delle acque marine (spruzzi portati dal vento e marosi durante le burrasche maggiori);
- Zona intertidale; nella quale la «Panchina» è ogni giorno alternativamente inondata e abbandonata per il fluire della marea e sottoposta all'azione dei frangenti di tutte le mareggiate;
- Zona infratidale; nella quale la «Panchina» fa parte del fondale marino ed è, quindi, sempre sommersa e poco esposta all'azione dei frangenti eccettuato che durante le mareggiate.



**Fig.7** – *Visione d'insieme delle forme d'erosione sul litorale a «Panchina di Rosignano»; dal basso all'alto della foto sono riconoscibili: la fascia a superficie spugnosa, la fascia a vaschette di corrosione, la spianata intertidale e marmitte d'abrasione semi-inondata dai flutti.*

## ZONA SUPRATIDALE

Due fasce a morfologia diversa, allungate parallelamente al litorale, sono ben distinguibili sulla «Panchina» in questa zona:

- la «fascia a superficie spugnosa» (fig. 8), per le piccole cavità («tubuli») che ne intersecano fittamente la parte superficiale; si estende a partire dal limite rivolto «a terra» dell'affioramento costiero di «Panchina»
- la «fascia a vaschette di corrosione» (fig. 9), per le cavità maggiori e più rade, che chiamiamo «vaschette» per analogia con quelle carsiche (BELLONI, 1970, p. 36), si estende sul lato rivolto «a mare» dell'affioramento costiero di «Panchina» fino alla spianata di abrasione intertidale.

### *Fascia a superficie spugnosa*

In questa fascia, della quale già abbiamo indicato la posizione, la «Panchina» si presenta fittamente cariata da una miriade di piccole cavità strette (non oltre 2 cm) e profonde (alcuni cm): i «tubuli» (fig. 10), di solito anastomizzati e a prevalente allungamento verticale.

A questa tessitura generale della parte superficiale della roccia si accompagna in genere un ulteriore modellamento a creste sporgenti e piccole aree incavate con dislivelli non superiori ai 20-30 cm (fig. 10).

Questa fascia ha in genere un'a larghezza di una decina di metri e si presenta nell'insieme molto omogenea; essa compare sempre e solo in corrispondenza della «Panchina» a concrezioni verticali e vi si sviluppa una vegetazione molto rada, talora ridotta a rarissimi pulvini.

Nel litorale prospiciente la V.la Casamarina abbiamo osservato esclusivamente la presenza dell'Ombrellifera *Crithmum maritimum* LINNEO e della Plumbaginacea *Limonium articulatum* LOIS. Questa associazione alofila e rupicola di Critmo-Staticeto si è potuta mantenere così pura per la presenza, sopra le sabbie rosso-brune immediatamente al ridosso, del folto bosco di Leccio del Parco di V.la Casamarina (da circa 10 anni purtroppo ampiamente sventrato per la costruzione di decine di palazzette).

Più a S. per l'antica presenza delle dune oloceniche oggi asportate o semi-ricoperte da costruzioni, alle specie del Critmo-Staticeto rupicolo se ne aggiungono altre psammofile e sempre spiccatamente alofile quali la Poligonacea *Polygonum maritimum* LINNEO, la Papaveracea *Glaucium luteum* SCOP., la Crocifera *Cakile maritima* Scop., la Ombrellifera *Eryngium maritimum* LINNEO, la Plantaginacea *Plantago maritima* LINNEO e, sul bassissimo promontorio di Punta Lillatro frequentemente inondato da acque salse, la Chenopodiacea *Salicornia fruticosa* LINNEO.



**Fig.8** – Fascia a superficie spugnosa con le cavità che iniziano ad evolversi in vaschette di corrosione.

Da quanto precede si può dedurre che la fascia a superficie spugnosa, se pure sotto l'azione costante della salsedine, è raggiunta solo dagli spruzzi durante le mareggiate di media intensità e sporadicamente dai marosi di tempesta che arrivano ad espandersi in occasione di mareggiate del tutto eccezionali. A queste ultime e allo scorrere delle acque superficiali dilavanti era dovuta, prima dell'attuale « urbanizzazione », l'asportazione della sabbia rosso-bruna wùrmiana lungo quelle frazioni di litorale che non presentavano le dune oloceniche (litorali di Livorno e di V.la Casamarina). Questo fenomeno di erosione, anche se irreversibile, doveva essere comunque estremamente lento per la tenace difesa offerta, in tempi preistorici, dalla originaria foresta e, in tempi più recenti, dai boschi di Leccio che si affacciavano su questi litorali fino a pochi anni fa. Nei tratti di litorale al cui interno si estendevano le dune oloceniche le mareggiate eccezionali potevano scaltarle alla base nelle fasi di crescita e ripascerle almeno parzialmente nelle fasi finali, coinvolgendo anche queste ingenti riserve di materiale sabbioso nel complesso equilibrio di questo tratto di costa. Oggi attraverso l'orlo a monte della fascia a superficie spugnosa, cioè attraverso il limite fisiografico superiore della costiera marina, non avvengono più scambi di sedimenti col paesaggio interno per la costruzione di una « muraglia » pressoché continua. Ciò porta certamente ad un maggior deficit di materiale a disposizione delle onde aumentando quindi l'erodibilità globale del tratto di costa studiata. Il ripascimento artificiale frequentemente operato dai bagnini locali nelle piccole « spiagge a tasca » di questo tratto di litorale tende, anche se inconsciamente, a colmare questo deficit.



**Fig.9** - Fascia a vaschette di corrosione; alcune delle quali coalescenti per erosione dei setti divisorii.

### *Fascia a vaschette di corrosione*

Il limite verso mare di questa fascia corrisponde al livello di massima marea ed è piuttosto netto; il limite verso terra, con la fascia a superficie spugnosa, è invece assai sfumato. Esiste infatti una zona di transizione larga 2 o 3 m nella quale cominciano a delinearsi delle cavità generalmente piccole, poco profonde e di forma molto irregolare (fig. 8).



**fig. 11** — Profilo verticale di una vaschetta di corrosione tipica. E' visibile, fra le lettere A e B, un bordino aggettante che sovrasta un piccolo solco orizzontale che orla tutta la vaschetta al margine del fondo.

La forma di queste cavità si regolarizza più verso mare fino a divenire rotonda e a fondo piatto, fino ad assumere cioè quella tipica delle vaschette (fig. 9).

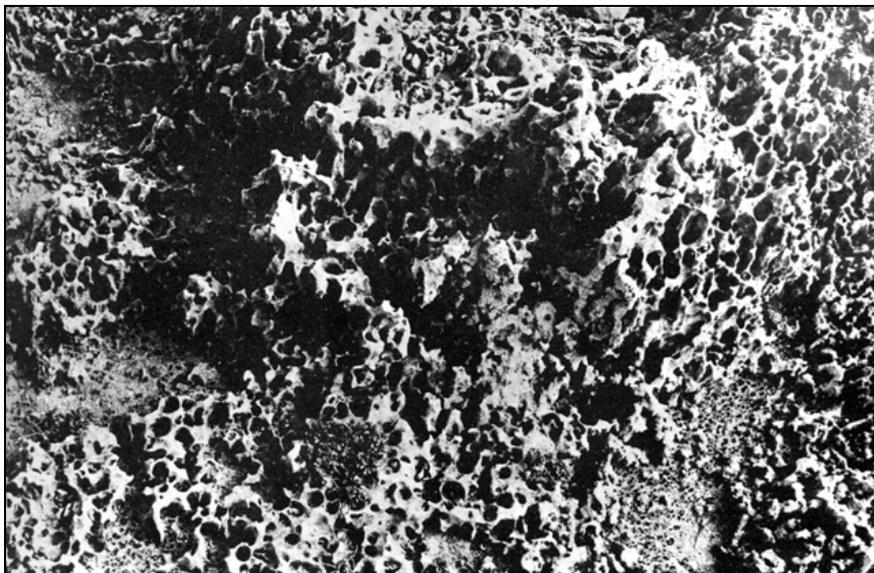
Questa evoluzione porta a vaschette con diametri e profondità massime che non superano i 50 cm in quelle più regolari, cioè a pianta circolare o sub-circolare e sezione verticale come quella di fig. 11. Assai frequenti sono forme doppie (fig. 12) o plurime (fig. 13) dovute all'erosione dei setti divisorii di vaschette adiacenti. Ne risultano «vasche» a forma complessa, di dimensioni orizzontali anche molto maggiori rispetto a quelle delle vaschette

singole ma non per questo sensibilmente più profonde.

Il fondo delle vaschette è generalmente piatto o a forma di scodella molto svasata o di cono molto ottuso; i fondi delle vaschette composite sono generalmente piatti ma vi si possono aprire buche circolari più fonde (figg. 12, 13, 14 e 15) oppure solchi risultanti dall'unione di più buche singole (fig. 14). I fondi a cono prevalgono nella parte «a terra» di questa fascia; quelli compositi nella parte «a mare».

Sia le pareti interne sia quelle dei setti divisorii con le altre vaschette sono cesellate da minuti vacuoli (figg. 9, 12, 13, 14 e 15), da non confondersi coi tubuli presenti nella fascia a superficie spugnosa (fig. 10) perché non più profondi di 1 cm e generalmente assai svasati e perché completamente mancanti di una qualunque direzione preferenziale di orientamento. Al contrario il fondo delle vaschette, al di sotto di un bordino aggettante che sovrasta un solco orizzontale più o meno marcato che orla a pochi centimetri di altezza l'interno delle vaschette stesse (figg. 12, 13 e 15), è generalmente liscio e non presenta questi vacuoli che assai raramente.

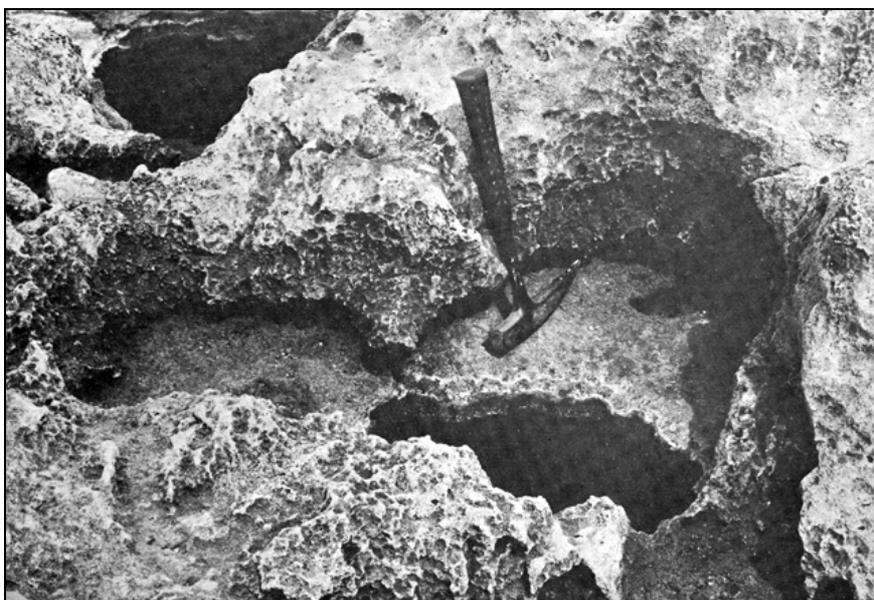
La fascia a vaschette ha, in genere, una larghezza di circa 20 m ed è impostata sempre in «Panchina» a concrezioni intrasedimentarie verticali. Dove l'erosione è arrivata a mettere a nudo la sottostante «Panchina» a concrezioni suborizzontali le cavità alla superficie di quest'ultima possono mancare del tutto come nel litorale della Baia Caletta. Possono anche assumere, come nel litorale a S dell'Accademia Navale di Livorno, forme estremamente irregolari che però sono meno frequenti e non mostrano lo sviluppo normale che caratterizza le vaschette sulla «Panchina» a concrezioni verticali.



**Fig.10** - Visione particolare della fascia a superficie spugnosa con i « tubuli, vuoti, le creste sporgenti e le piccole aree incavate risultanti dalla messa a nudo della superficie superiore della « Panchina»

Nessuna associazione vegetale macroscopica compare in questa fascia ma sulle pareti delle vaschette e delle creste che le separano abbiamo rintracciato la presenza di un velo uniforme di microscopiche Cianofitiche e Clorofitiche coccoidi isolate o in colonie. Sul fondo delle vaschette, ove il velo algale assume l'aspetto di un feltro mucillagginoso impregnato e a volte ricoperto da detriti fini, della classe del limo, sono presenti essenzialmente Cianofitiche in colonie filamentose aggregate a Diatomee.

Una fauna oligotipica di forme sessili di derivazione marina, costituita essenzialmente dal Balanomorfo *Chthamalus stellatus* POLI e dal Gasteropode *Littorina neritoides* (LINNEO) (1) compare specialmente verso il limite a mare più frequentemente inondato di questa fascia a vaschette.



**Fig.12** - Vasca di corrosione derivata dall'unione di due elementi per erosione del setto separatore. E ben visibile il bordino aggettante al di sopra del solco orizzontale che si modella al margine del livello piatto e liscio sul quale si apre, sull'elemento di destra, una buca che rappresenta l'ulteriore evoluzione di quest'ultimo. Si osservino i vacuoli sulle pareti della vaschetta e nei setti divisorii con le altre

Tutte queste vaschette trattengono l'acqua dolce delle piogge e molte di esse anche quella salata delle mareggiate; queste acque si possono mescolare nelle proporzioni più diverse e la loro salinità dipenderà anche dal prolungarsi dei periodi di evaporazione. Si origina un tipico ambiente di «pozze temporanee di scogliera» (fig. 16).

La fascia a vaschette corrisponde quindi alla zona della scogliera spazzata dai marosi anche delle tempeste medie e comunque raggiunta sempre dagli spruzzi di onde di limitata altezza. Tutta la superficie rocciosa di questa fascia è costantemente ed intensamente soggetta all'azione della salsedine.

(1) Non stiamo qui a prendere in considerazione le altre specie animali, sia terrestri, sia marine, che pur frequentando queste marmitte, non si attaccano alle pareti e quindi non possono avere nessuna influenza sull'evoluzione di queste ultime.

## ZONA INTERTIDALE

Entro i livelli dell'alta e della bassa marea la «Panchina», che si immerge in mare con una inclinazione minima di  $1^{\circ}$ - $2^{\circ}$ , si presenta ampiamente abrasa e livellata in una spianata ad inclinazione appena percettibile verso mare (fig. 17). Dove la massa di «Panchina» è più potente le onde hanno scavato una parete alta fino a circa 4 m, a picco sul mare e si è sviluppato un marcato solco di battente al di sopra del livello di bassa marea (fig. 18).

### *Spianata intertidale a marmitte*

Questa spianata compare quasi ovunque, eccettuato che all'interno delle piccole baie, occupate da minuscole «spiagge a tasca» (pocket beach) (Caletta, Crepatura, Acquaviva di Livorno prima della costruzione del « Lungomare »); è più estesa ed evidente nel litorale di Rosignano a partire dalla punta a S della Baia Crepatura fino alla Punta Lillatro. In questo tratto infatti il declivio



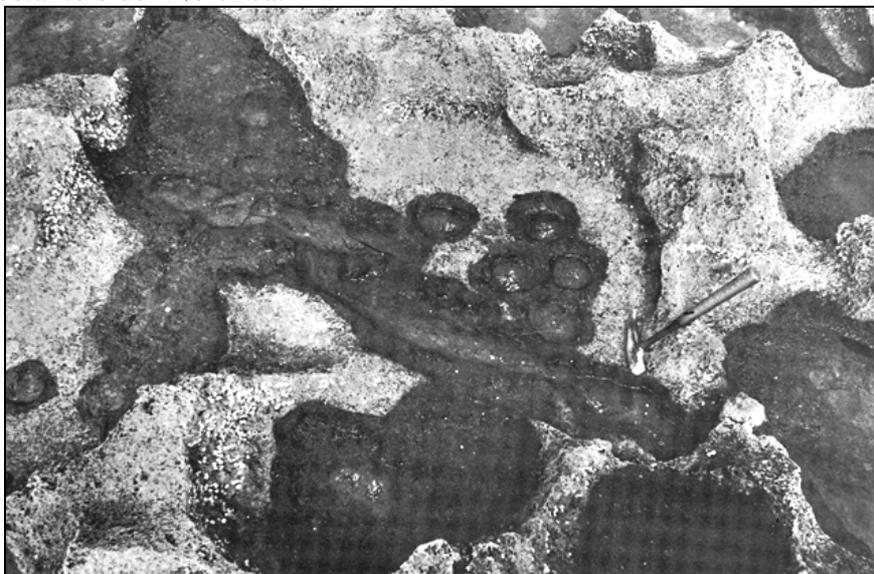
**Fig.13** - Vasca di corrosione risultante dall'unione di più vaschette per erosione dei setti divisorii. Anche qui sono ben visibili: il bordino aggettante sul solco orizzontale al margine del livello piatto e liscio; due buche che si aprono al di sotto di questo livello; incrostazioni anulari bianche di sale intorno a una di queste buche e i vacuoli sopra le pareti e sui setti divisorii delle vaschette.

particolarmente dolce della superficie superiore della «Panchina» ha permesso un ampio sviluppo della spianata di abrasione intertidale che si estende sotto forma di nastro sinuoso fra una baia e

l'altra con una larghezza compresa fra i 10 e i 20 m (figg. 7 e 17). In qualche tratto la larghezza della spianata può eccezionalmente superare i 50 m.

Di fronte alla V.la Casamarina, dove il declivio della superficie superiore della «Panchina» è più ripido, la spianata di abrasione intertidale è più frammentaria e la sua larghezza si riduce in media a 2 o 3 m (fig.19).

L'escursione massima del livello marino nelle maree sizigiali è di 30 cm sulle coste di Livorno e di Rosignano ed entro tale dislivello è contenuta la spianata intertidale. Questa non cambia sensibilmente di inclinazione (circa 1°) al variare dell'ampiezza trasversale al litorale in modo che la pendenza è costante e del 2% circa.



**Fig.14** - Vasca di corrosione composta dall'unione di più vaschette. Sul fondo, attualmente inondato, sono visibili più buche, due delle quali hanno forma di solchi allungati risultanti dall'unione di più buche.

Il raccordo verso terra della spianata con la fascia a vaschette è invece vario. Dove è molto estesa, la spianata coincide senza rottura di pendio con il piano che possiamo idealmente tracciare per raccordare i fondi piatti delle vaschette nella adiacente fascia a vaschette. Le creste e i piccoli setti divisorii che separano queste ultime vengono smantellati e abrasi in modo che la spianata si estende verso terra con regolarità e uniformemente (fig. 20). Nei tratti, invece, dove la spianata è stretta compare uno scalino assai netto fra quest'ultima e il piano che, nel retroterra costituito dalla fascia a vaschette, possiamo immaginare raccordi i fondi piatti di queste ultime (fig. 19).

La spianata d'abrasione è una superficie liscia ma presenta in molte località un gran numero di cavità cilindriche, o derivate dall'unione di più cavità cilindriche, vere e proprie marmitte, sparse a caso o allineate lungo fratture della «Panchina» (fig. 17).

Queste marmitte, che contengono ciottoli di varie dimensioni sul fondo piatto, si distinguono nettamente dalle vaschette della zona supratidale per avere il bordo superiore piano e non frastagliato, per la profondità generalmente maggiore e per la forma delle pareti verticale e strapiombante e non svasata verso l'alto (fig. 21).

La spianata intertidale è ampiamente ricoperta da una vegetazione algale diversa a seconda che si consideri la superficie vera e propria della spianata o l'interno delle marmitte che la perforano. Sulla superficie della spianata d'abrasione compare un'associazione di Alghe verdi, specialmente vicino agli sfoci di acque dolci; abbiamo notato (2): *Ulva rigida* C. AGARDH, *Enteromorpha linza* (LINNEO), *E. intestinalis* (LINNEO), *Cladophora* sp. (prevalente). A questa massa filamentosa e viscosa si aggiungono *Lithophyllum incrustans* PHILIPPI e Cianoficce, capaci di fissare finissimi detriti organici e inorganici in un feltro alto fino a 1 cm nella parte meno frequentemente sommersa e rivolta verso terra. Nel fondo delle marmitte, che formano qui «pozze perenni di marea», temporaneamente isolate o sempre comunicanti col mare, compaiono le prime Alghe brune del genere *Cystoseira* e la caratteristica e facilmente riconoscibile *Padina pavonia* (LINNEO).

Al limite inferiore dell'intertidale le Alghe brune, con l'associazione a *Cystoseira* e *Padina*, diventano predominanti anche sulla spianata di abrasione. Dentro alle marmitte cominciano ad apparire le Alghe rosse delle specie *Polysiphonia sertularioides* (GRAT.) e *Corallina mediterranea* ARESCH; quest'ultima diventa prevalente dalla profondità di circa 50-60 cm.

La fauna sessile è ancora assai oligotipica sulla spianata di abrasione: Gasteropodi, specialmente la *Patella coerulea* LINNEO; Lamellibranchi, della specie *Mytilus galloprovincialis* LAMARCK, presente al limite della zona infratidale; e ancora Cirripedi e il Celenterato *Actinia equina* LINNEO, che si annida negli anfratti del fondo delle pozze.

(2) Ci preme qui ringraziare vivamente i proff. G. SARTORI dell'Istituto di Botanica dell'Università di Firenze e P. MEDEGHINI BONATTI dell'Istituto di Botanica dell'Università di Modena per le gentili informazioni e consigli riguardanti le alghe e per la discussione e la lettura critica della parte di questo lavoro che riguarda le erbe e le alghe.

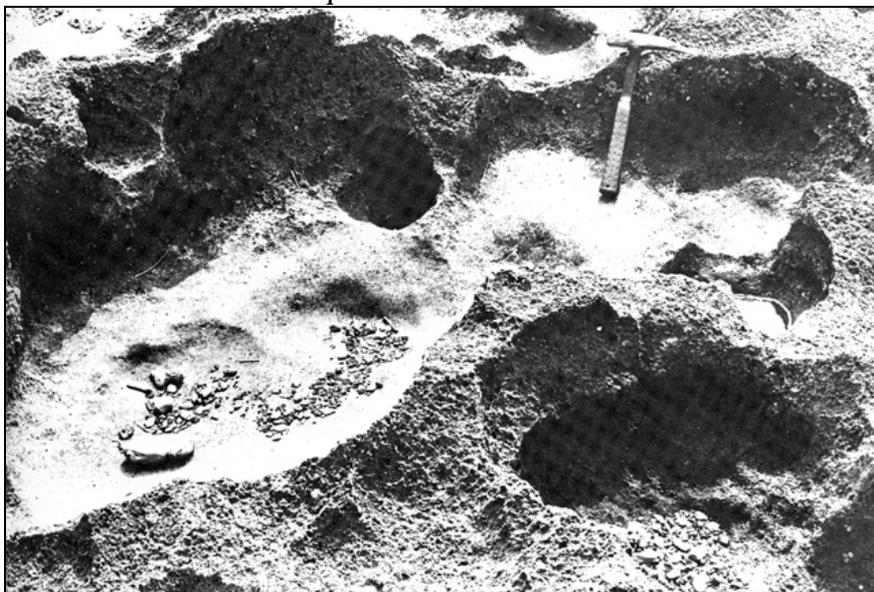
### *Solco di battente*

Un netto solco di battente orla ininterrottamente la parete settentrionale e quella meridionale di «Panchina» ai bordi della stretta insenatura a N della Baia Crepatura (fig. 18); un altro segmento di solco, assai meno sviluppato, compare nell'angolo interno, di NE, di quest'ultima baia.

La fig. 22 rappresenta il profilo tipo di questo solco. Secondo la nomenclatura adottata da CAROBENE (1972) le caratteristiche morfometriche del solco della insenatura a N della Baia Crepatura nel suo aspetto più tipico si possono così riassumere:

- altezza del solco: 80 cm;
- altezza della volta: 65 cm;
- altezza del punto di massima rientranza sulla base: 16 cm;
- profondità del solco: 60 cm;
- larghezza della base: 40 cm.

Questi valori risultano dalla misura di un solo profilo, giudicato ad occhio come il più rappresentativo, e non dalla media delle misure di più profili che, a nostro avviso, non sarebbe comunque più indicativa della norma di questa forma.



**Fig.15** - Vasca di corrosione composta dall'unione di più vaschette. Sul fondo, in parte lisciato dai ciottoli che lo ingombrano, si vedono aprirsi due buche che possono derivare da vaschette preesistenti più strette e fonde di quelle che, unendosi per allargamento, hanno finito per inglobarle.

Sarà bene tuttavia tenere presente che in alcuni punti particolari e limitati il profilo del solco di battente, a causa di fratture o variazioni litologiche ha forme e dimensioni che si discostano anche di molto da quelle sopra riportate.

Sul litorale studiato, il solco di battente, a differenza di quello descritto da CAROBENE (1972), è privo di piattaforma organogena ed è popolato da una associazione vegetale ed animale simile a quella che compare sulla spianata di abrasione intertidale precedentemente descritta. Può essere inoltre opportuno notare che il solco di battente della insenatura a N di Baia Crepatura si trova a 60-80 cm da un fondo costituito da ghiaino incoerente e sabbia grossolana.

## ZONA INFRATIDALE

Al di sotto del livello di bassa marea la «Panchina» normalmente si immerge in mare con debole pendenza fino alla profondità di 2 o 3 m dove viene sepolta da sedimenti incoerenti di varia granulometria; in corrispondenza dei fianchi delle baie maggiori termina invece bruscamente, troncata a picco su sedimenti incoerenti, con uno scalino più o meno pronunciato.

In generale la superficie della parte infratidale della «Panchina» si immerge in mare con una inclinazione leggermente maggiore di quella della spianata di abrasione (tav. 1) dalla quale è talvolta divisa da uno scalino o da una piccola rottura di pendio. Spesso però l'aumento di inclinazione è progressivo e difficilmente percepibile sul posto se non si effettuano meticolose misure.



**Fig. 16** - Vasche e vaschette di corrosione inondate dopo una burrasca di mare e di pioggia formano un tipico ambiente di pozze temporanee di scogliera.

Nella fascia più vicina alla riva della zona infratidale la «Panchina» presenta una superficie piuttosto irregolare e cosparsa di marmitte più o meno slabbrate e coalescenti in modo casuale. Nella fascia più lontana dal litorale invece, a cominciare da fondali di un paio di metri, la «Panchina» appare incisa da profondi solchi subparalleli orientati nell'insieme ortogonalmente al litorale.

Per quanto riguarda la fauna, nella zona infratidale aumentano le forme sessili: Celenterati, Tunicati, Spugne e specialmente l'Echinoderma *Paracentrotus lividus* LAMARCK. Nelle associazioni vegetali prevalgono le Alghe rosse, specialmente la *Corallina mediterranea* ARESCH e sono molto diffuse le Alghe brune con i generi *Cystoseira* e *Padina*.

### *Fascia a superficie irregolare e marmitte slabbrate*

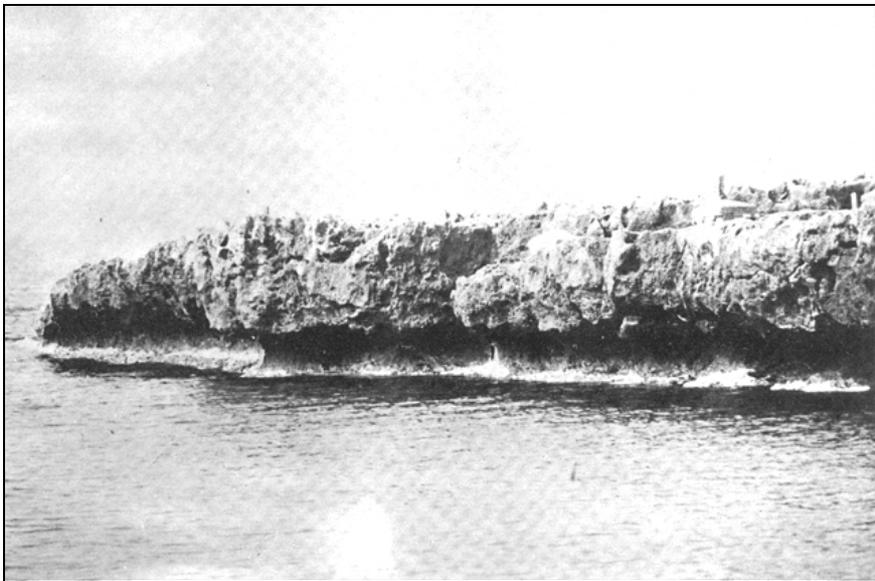
Il fondale marino a «Panchina» immediatamente al di sotto del livello di bassa marea presenta caratteristiche analoghe a quelle della spianata di abrasione della zona intertidale. Verso il largo però le marmitte tendono a slabbrarsi (fig. 23) e, specialmente oltre una profondità di circa 1 m, a fondersi fra di loro come già abbiamo visto avvenire nella zona supratidale per le vaschette. Ancora

più verso il largo, salvo allineamenti dovuti a fessurazioni nella «Panchina», tendono principalmente a fondersi quelle marmitte che si trovano lungo le perpendicolari al litorale (fig. 24). Tutte le marmitte contengono al fondo ciottoli e ghiaietto ben arrotondati e, sopra le pareti, molti individui della specie *Paracentrotus lividus* che, come è noto, modellano le piccole cavità nelle quali si annidano.



**Fig. 17** - Spianata intertidale a marmitte in bassa marea nel litorale a « Panchina» di Rosignano. I solchi allungati corrispondono a linee di fessurazione della « Panchina», lungo le quali le marmitte si riuniscono.

Nell'insieme in questa fascia si può notare che la spianata di abrasione è quasi completamente sostituita da una superficie più irregolare perché le marmitte allargandosi si sono unite e, con lo slabbrarsi, hanno perso quell'angolo netto che in corrispondenza dell'orlo superiore le caratterizza così bene nella zona intertidale.



**Fig.18**– Solco di battente in bassa marea nel litorale a Panchina » della Stretta insenatura a N. di Baia Crepatura

Il fondale marino in questa fascia non si eleva quindi mai al di sopra della spianata di abrasione della contigua (verso terra) zona intertidale e non conserva che rari relitti di questa spianata essendo variamente incavato al di sotto.

*Fascia a solchi ortogonali al litorale*

Su fondali di circa 2 m, cioè generalmente ad una cinquantina di metri dalla battigia, la «Panchina» inizia a presentare dei solchi lunghi diversi metri, larghi fra 50 e 100 cm e profondi anche più di 1 m (figg.24, 25 e 26). Questi solchi hanno pareti sinuose che appaiono formate dalla coalescenza di più marmitte allineate ortogonalmente al litorale e contengono sul fondo, assai piatto, ghiaietto e blocchi variamente smussati e di diverse dimensioni.

In questa fascia si verificano anche rotture e traslazioni di grossi blocchi di «Panchina» del fondo per molti dei quali è chiaramente riconoscibile la superficie di distacco e lo spostamento.

## DISTRIBUZIONE DELLE SABBIE E DELLE GHIAIE SULLA COSTA

Materiali detritici si trovano sparsi in varia misura sopra gli affioramenti di «Panchina» delle tre fasce descritte in precedenza. La loro disposizione è fortemente influenzata dallo stato del mare e attualmente, per la grande urbanizzazione avvenuta nell'ultimo decennio, dai manufatti umani. Le dimensioni dei detriti dipendono invece dal tipo di apporto solido dei Corsi d'acqua che sfociano nei vari tratti di costa e dalla inclinazione della «Panchina» stessa. Per le dimensioni e la distribuzione dei detriti si possono distinguere le seguenti aree geografiche:

- 1) zona del litorale di Livorno;
- 2) zona del litorale compreso fra V.la Casamarina e l'estremità meridionale della Baia Crepatura;
- 3) zona del litorale compreso fra l'estremità meridionale della Baia Crepatura e la Punta Lillatro.

Per la prima zona non è possibile alcuna osservazione al riguardo a causa dell'estrema urbanizzazione.

Il litorale della seconda zona riceve, e verosimilmente ha ricevuto più in abbondanza in qualche periodo passato, una notevole quantità di ciottoli dal Botro Grande e dal Botro Turco. Questi ciottoli, misti a sabbia grossolana, formano le spiagge e il fondo delle baie di Caletta e di Crepatura. Si trovano abbondanti, ancora misti a sabbia, all'interno dei canali e delle marmitte intertidali e infratidali. Compaiono ancora, in genere senza sabbia e piuttosto sparsi o isolati, nella fascia a vaschette.



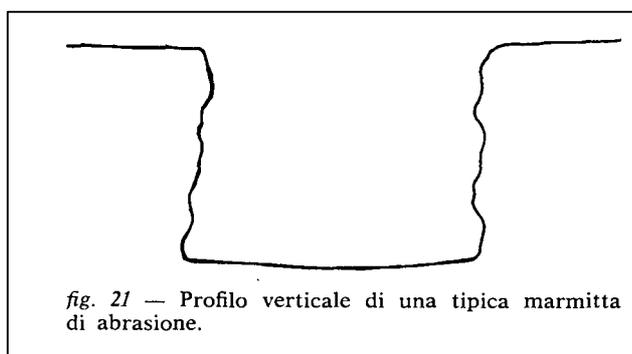
**Fig.19** – Spianata di abrasione in bassa marea sulla costa a declivio relativamente «ripido» della «Panchina» prospiciente la V.la Casamarina. In primo piano è ben visibile la fascia a vaschette.

La fascia a superficie spugnosa è completamente priva di detriti nei dintorni di V.la Casamarina, dove l'inclinazione della superficie superiore della «Panchina», e quindi della scogliera, è relativamente forte; è invece totalmente ricoperta da ciottoli e sabbia in corrispondenza dell'estremità meridionale della Baia Crepatura, dove la «Panchina» è meno acclive. Il limite verso terra di questa fascia è comunque sempre interessato da manufatti umani e cioè da muri paralleli alla costa per sostegno di strade o per delimitazione di proprietà.

Nel tratto di costa compreso tra le baie di Caletta e di Crepatura è possibile osservare come questo materiale detritico in alcuni casi sia cementato e costituisca un conglomerato a matrice sabbiosa apparentemente molto simile alla «Panchina» del substrato. Il riconoscimento della natura secondaria di questo conglomerato e della sua formazione più recente, nei confronti della «Panchina», è legato alla considerazione che si trova prevalentemente a riempire le vaschette aperte nella «Panchina» stessa ma mai all'interno della massa di quest'ultima.



**Fig.20** – Spianata di abrasione in alta marea sulla costa a dolcissimo declivio della « Panchina» prospiciente Rosignano Solvay. Il passaggio fra fascia a vaschette e spianata di abrasione è assai sfumato.



**fig. 21** — Profilo verticale di una tipica marmitta di abrasione.

Il litorale della terza zona è soggetto agli apporti solidi sabbiosi del Botro Cotone. Qualche ciottolo può ancora provenire, specialmente nel settore più settentrionale, dalla foce del Botro Jurco, data la traversia prevalente di Maestrale. Altri ciottoli possono provenire dal disfacimento dell'antistante fondale marino di «Panchina»; altri, ancora, per apporto umano. Comunque i detriti di questa terza zona sono caratterizzati da rarità di ciottoli e abbondanza di sabbia. Questa compare specialmente nella parte verso terra

della fascia a superficie spugnosa e proviene, oltre che dal fondale antistante, dal disfacimento delle sabbie rosso-brune del tetto della «Panchina» e dall'erosione del piede delle dune oloceniche che esistevano fino a circa 20 anni fa.

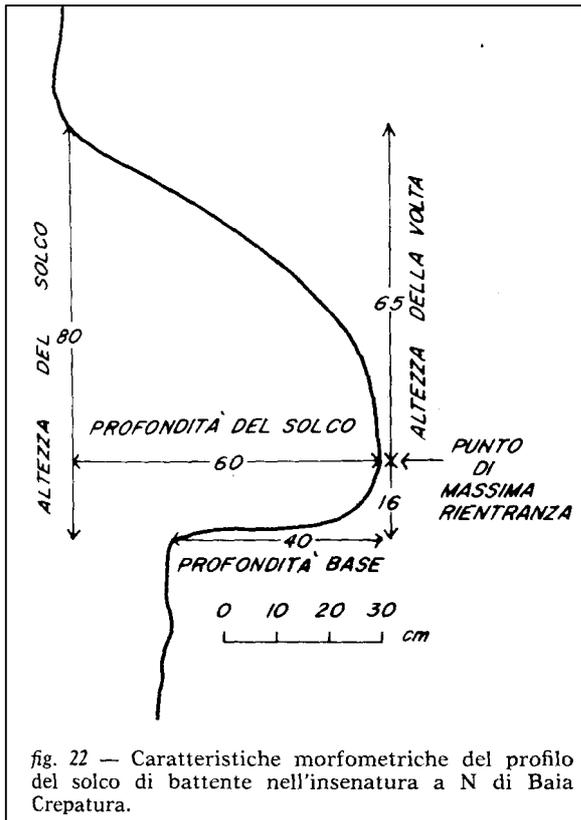
## DESCRIZIONE DELLA FORMA GENERALE DEL LITORALE

I due tratti di litorale formati da «Panchina» che si estendono fra la Fortezza Vecchia di Livorno e la foce del T. Ardenza e fra la V.la Casamarina di Rosignano e la Punta Lillatro con gli antistanti fondali marini presentano caratteristiche morfologiche d'insieme del tutto analoghe. Gli affioramenti di «Panchina» formano tante «punte» che si protendono verso il mare di una decina di metri in media ogni 100 m e alle quali si intercalano altrettante deboli «concavità» della costa che risulta così a piccole falcature anche nei tratti «grosso modo» rettilinei. I fondali antistanti a questi tratti sono anch'essi di «Panchina» fino a circa 2 m di profondità; più oltre cominciano i sedimenti detritici attuali.

Piccole baie si aprono in corrispondenza delle foci del Botro Jurco (Baia Crepatura e stretta insenatura a N della stessa), del Fosso Cotone (Baia dello Scoglietto) nel litorale di Rosignano e del

T. Ardenza (Baia di Ardenza) nel litorale di Livorno. In quest'ultimo altre baie simili dovevano

aprirsi prima dell'attuale urbanizzazione in corrispondenza della foce del Rio Maggiore (Accademia Navale), di S. Jacopo d'Acquaviva e dell'antico Botro Mulinacci (ormai ridotto a fogna) poco a N della Terrazza Mascagni. La parte centrale di queste baie è (od era) occupata da minuscole «spiagge a tasca» in origine assai ciottolose. I fondali di queste baie sono occupati da ciottoli e sabbia che si estendono fin sotto i loro fianchi, in corrispondenza dei quali la «Panchina» riappare, spesso con un gradino morfologico («ciglio» dei pescatori locali).



### ORIGINE ED EVOLUZIONE DELLE FORME DI EROSIONE

Cercheremo ora di spiegare l'origine e l'evoluzione delle diverse forme d'erosione già descritte, tenendo presenti le numerose indicazioni contenute nei capitoli precedenti.

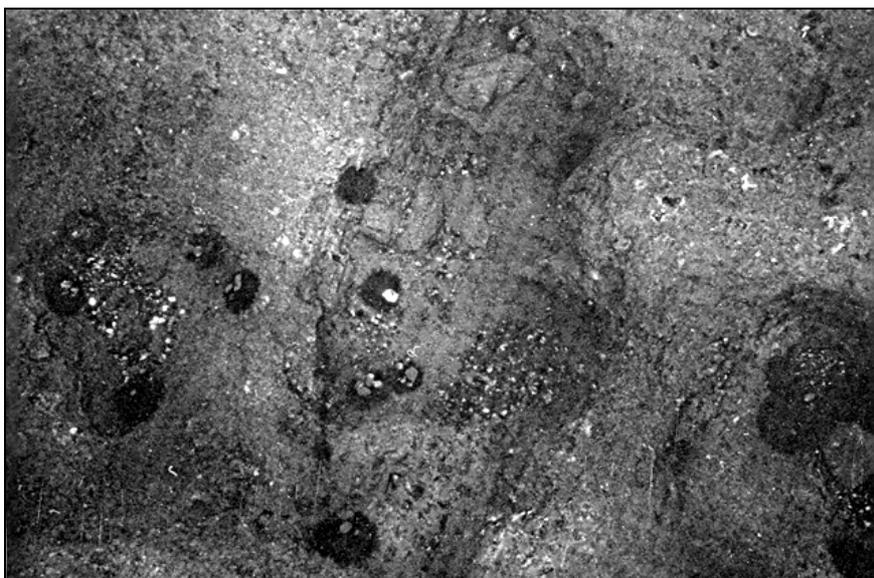
#### *Superficie spugnosa*

Questa forma risulta in primo luogo dal denudamento della superficie superiore della massa di «Panchina» per l'asportazione dei sedimenti superiori della serie (sabbie rosso-brune würmiane, suolo e dune oloceniche) che operano agevolmente le acque dilavanti o incanalate e i marosi di tempeste eccezionali.

La superficie superiore della «Panchina», per il meccanismo di cementazione diagenetica cui abbiamo già accennato, non va immaginata liscia e regolare bensì ondulata da creste sporgenti e piccole aree incavate (fig. 5) e, nel dettaglio, fittamente cosparsa dalla miriade di concrezioni intrasedimentarie verticali. Queste ultime, una volta tolta via la sabbia meno (o non) cementata che le circonda, si presentano come tanti «bastoncini rocciosi» anastomizzati e saldati in mille modi, ma prevalentemente secondo un allungamento verticale. I vuoti fra questi bastoncini di roccia sono i «tubuli» ai quali abbiamo già accennato. La formazione di queste cavità può dipendere, oltre che dalla asportazione della sabbia che le riempiva, anche dalla dissoluzione di porzioni di roccia a cemento meno resistente.

La dissoluzione è operata certamente dalle acque piovane, ma non si può escludere un'azione, sia pure minore, degli spruzzi delle onde.

Come si può rilevare dalle figg. 8 e 10 le cavità di questa superficie spugnosa incominciano a raccogliere acqua e detriti fini e danno l'avvio allo sviluppo delle vaschette.



**Fig.23** – Marmitte slabbrate e coalescenti della zona infratidale. Questa fotografia, come le altre subacquee, sono state gentilmente riprese da ROBERTO MAGRETTI del Club Archeologico Subacqueo di Vada.

#### *Vaschette di corrosione*

Le vaschette di corrosione rappresentano la naturale evoluzione delle cavità presenti sulla fascia a superficie spugnosa della «Panchina».

L'acqua piovana e quella degli spruzzi delle onde durante le mareggiate si raccolgono nelle cavità esistenti sulla superficie della «Panchina» e tendono ad allargarle e approfondirle perché possono esercitare una azione solvente sulla roccia che, come composizione globale, è prevalentemente calcarea. Ciò è indicato dall'aspetto della superficie delle vaschette e delle creste e setti intermedi fra queste ultime che è scabro e cosparso di piccole cavità e vacuoli poco profondi (figg. 9 e 12-16), tipici di una superficie aggredita dalla corrosione.

FOLK (1973) ha indicato nel fitocarsismo l'origine di superfici a cellette analoghe ai vacuoli da noi descritti. Benché l'aspetto sia effettivamente molto simile e vi sia un velo di Alghe unicellulari aderente alla roccia, non abbiamo rinvenuto tracce di Alghe endolitiche. Perciò le Alghe non possono essere ritenute direttamente responsabili della corrosione della roccia anche se possono agire indirettamente sulla sua dissoluzione modificando col loro metabolismo le caratteristiche chimiche del velo di acqua che aderisce alla superficie della roccia stessa.

Inoltre bisogna tenere presente che lo sviluppo dei vacuoli, del tipo di quelli che si possono osservare nella fig. 12, è influenzato dalle irregolarità di cementazione della «Panchina». Se questa fosse un calcare omogeneo la superficie delle creste che separano le vaschette sarebbe scanalata nel senso della massima pendenza come avviene tutte le volte che le acque piovane aggrediscono un calcare puro. Una tendenza alla formazione di solchi si può intravedere in alcuni punti della fig. 12 ma è evidentemente ostacolata dalla inomogeneità della roccia.



*Fig.24 - Nel fondo a superficie irregolare, in questo caso ampiamente ricoperto di Alghe, si scorgono diverse marmitte slabbrate e più o meno erose; solo quelle allineate perpendicolarmente al litorale si uniscono a formare il solco al centro della fotografia.*

Un carattere peculiare di queste vaschette, come di tutte quelle che si formano per azione delle acque piovane sui calcari, è di estendersi più in larghezza che in profondità. Confrontando le figg. 8 e 9, che rappresentano stadi successivi di sviluppo delle vaschette di corrosione, risulta chiaramente che l'allargamento prevale sull'approfondimento e altrettanto si deduce esaminando la sezione tipica delle vaschette tracciata in fig. 11 od osservando la fig. 13.

La presenza del solco orizzontale che circonda la base di moltissime vaschette al di sotto di un bordino aggettante (fig. 11) dimostra che l'allargamento avviene più in prossimità del fondo che non lungo le pareti. Ciò è dovuto al fatto che queste ultime vengono aggredite dall'acqua che vi scorre solo durante le piogge o le mareggiate, al contrario il fondo è sommerso per molti giorni dell'anno.

Risulta anche evidente che l'acqua raccolta nelle vaschette agisce più intensamente sulle porzioni sommerse dei bordi che sul fondo di esse; se non fosse così il fondo di ogni vaschetta dovrebbe assumere una forma semisferica e non appiattita come una scodella.

BELLONI & OROMBELLI (1970) hanno dimostrato che nelle vaschette di corrosione carsica l'allargamento prevale sull'approfondimento. Questi Autori, in accordo con altri, ritengono che l'accumulo di residuo insolubile sul fondo delle vaschette ne rallenti la dissoluzione.

Inoltre BELLONI (1970), con un'accurata serie di misure, ha messo in evidenza che il chimismo dell'acqua delle vaschette muta continuamente dal dì alla notte e con la piovosità e, in più, che si verifica una sensibile diversità fra il chimismo dell'acqua in prossimità della superficie e quello dell'acqua che lambisce il fondo con un salto brusco che avviene nei pressi di quest'ultimo.

In generale dai dati pubblicati dai predetti Autori si può dedurre che l'acqua ha un pH sempre più basso di notte che durante il dì e che nei periodi poco piovosi, quando l'evaporazione concentra l'acqua, il pH è in genere debolmente acido e l'acidità aumenta dal fondo alla superficie.

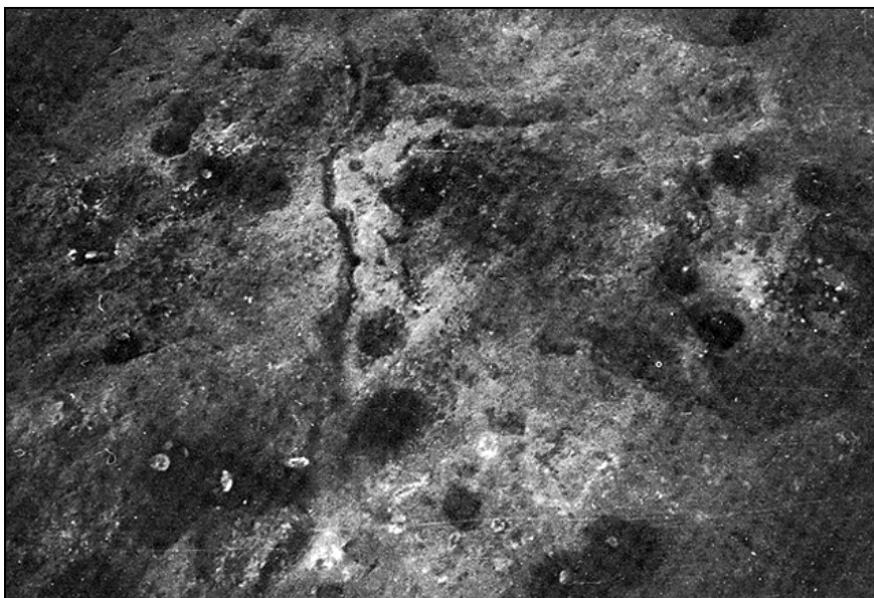
La situazione è più complessa per vaschette piene di acqua marina o mista; DAVIES & KINSEY (1973) in pozze impostate su «Beach rock» sulla costa di Heron Island hanno trovato variazioni di pH fra la notte e il dì, però sempre nell'ambito della basicità (pH fra 8,3-8,4 e 7,3-9,5). Ammesso che i dati di DAVIES & KINSEY siano estrapolabili al litorale della Toscana, non sembra pensabile che acque con livelli bassi o intermedi di basicità possano attaccare attivamente il calcare. E' tuttavia possibile che un certo effetto solvente sia esercitato dal ricambio dell'acqua raccolta nelle vaschette, cosa che si effettua con una certa frequenza in quelle più vicine al litorale.

In conclusione, dalle considerazioni e dai dati fin qui esposti, si può trarre che il velo di Alghe, di depositi solubili e di detriti insolubili che ricopre il fondo delle vaschette ne rallenti drasticamente la dissoluzione. Al contrario gli scambi di gas con l'atmosfera e quelli legati alla fotosintesi rendono particolarmente attiva la parte superficiale dell'acqua delle vaschette facilitandone l'allargamento. Nel caso di totale essiccamento è possibile che il sale che cristallizza abbia un non trascurabile azione disgregatrice sulla roccia che è sempre piuttosto porosa.

Il fatto che le vaschette si allarghino più di quanto si approfondiscono spiega la coalescenza di molte di esse (figg. 9 e 12-16)

Le buche che si aprono in genere al fondo di alcune vaschette più prossime al litorale (figg. 12-15) possono dipendere dall'allargamento e coalescenza di una o più vaschette adiacenti situate in origine a livelli leggermente diversi, oppure da inomogeneità della roccia dovute a variazioni di cementazione o da, quando siano tutte allineate, da fessurazioni che concentrano le azioni erosive (fig 14).

Le onde, quando accumulano ciottoli e sabbia entro le vaschette, li fanno muovere in modo vorticoso levigando il fondo e la base delle pareti ed eliminando o riducendo fortemente il tipico bordino aggettante (fig. 15). In questi casi le vaschette tendono a diventare vere e proprie marmitte di abrasione.



**Fig.25** - Superficie irregolare del fondale a Panchina ». Si notino la fessura centrale e le piccole cavità nelle quali si annidano gli Echinidi della specie *Paracentrotus lividus*.

#### *Spianata intertidale e solco di battente*

L'azione erosiva del mare si dimostra particolarmente efficiente entro i livelli dell'alta e della bassa marea. Evidentemente l'azione più intensa è esercitata dall'onda che batte sulla riva ed il variare di livello del mare distribuisce appunto questa azione su tutto lo spessore della zona intertidale.

Su di una costa rocciosa in dolce pendio, come è appunto buona parte della costa a «Panchina» considerata, lo spostamento in senso verticale della linea lungo la quale si esercita l'erosione più intensa produce una notevole migrazione verso mare e verso terra di detta linea. In questo modo l'azione erosiva si esercita su di una fascia, di larghezza varia in relazione all'inclinazione locale della costa, in corrispondenza della quale si verrà a formare la spianata intertidale.

Su di una costa rocciosa molto ripida, verticale o anche strapiombante, l'azione delle onde produce un solco che si sviluppa generalmente al di sopra del livello di bassa marea.

Rielaborando le interessanti misure pubblicate per il Golfo di Orosei (CAROBENE, 1972) si può ricavare che fra tutti i parametri utilizzati dal suddetto Autore (quali la profondità della base del solco, la profondità del solco, l'altezza del solco, l'altezza della volta e l'altezza del punto di

massima rientranza) (fig. 22) è proprio l'ultimo quello che varia meno da un caso all'altro e presenta quindi il più ridotto scarto quadratico medio. Infatti l'altezza del punto di massima rientranza del solco risulta di 16 cm in media per i solchi impostati su calcari organogeni impuri con un pari a 4, mentre nei calcari puri l'altezza media è di 17 cm con un o pari a 3. Tutti gli altri parametri mostrano uno scarto quadratico medio circa quattro volte più grande.



**Fig.26** - Solco ortogonale al litorale nel fondale a «Panchina».

Da queste considerazioni, e dal fatto che anche nella insenatura a N di Baia Crepatura l'altezza del punto di massima rientranza del solco è di 16 cm, risulta che l'unico parametro relativamente costante nel Golfo di Orosei ha lo stesso valore sul Litorale Toscano. L'ampiezza del solco di battente è legata all'escursione della marea che è sensibilmente uguale sulle due coste. Se il punto più fondo del solco coincide con il livello medio della marea (NEWELL & RIGBY, 1957, pag. 62; KAYE, 1957, pag. 41) o con quello delle alte maree (KUENEN, 1950, pag. 435) è questione ancora dibattuta e non sono state fatte da noi misurazioni precise in merito.

Tutti gli altri parametri variano evidentemente sotto l'influsso di altri fattori, quali l'altezza delle onde, la resistenza della roccia, l'assetto iniziale della parete ecc.

Dall'insieme delle osservazioni fatte e fin qui esposte riteniamo che la spianata intertidale ed il solco di battente siano due aspetti diversi di uno stesso fenomeno.

La spianata intertidale non sarebbe altro, secondo il nostro modo di vedere, che la metà inferiore del solco di battente la cui metà superiore mancherebbe per l'assenza della roccia nella quale possa essere scavata.

La maggiore ampiezza che generalmente presenta la spianata intertidale sarebbe semplicemente dovuta alla minor quantità di roccia da asportare per ottenere la forma in questione. Con un ragionamento analogo è possibile spiegare la minore ampiezza che presenta la spianata dove la costa a «Panchina» è più ripida. Infatti, data una certa escursione di marea, il volume di materiale che deve essere asportato perchè sia incisa profondamente una spianata stretta, in modo da diminuire fortemente la pendenza di una costa a «Panchina» che si immerge ripida in mare, è sensibilmente uguale a quello che deve essere asportato per incidere superficialmente una spianata larga su una costa a «Panchina» fin dall'origine a dolce pendio.

Per quanto riguarda l'influenza del tipo litologico sullo sviluppo del solco di battente si ha, dalla bibliografia, che questa forma è ben sviluppata nei calcari ma non compare nei basalti del Golfo di Orosei (CAROBENE, 1972, pag. 591) e, ancora, è ben sviluppata nei calcari corallini ma non nei tufi di Togian presso Celebes (KUENEN, 1950, pag. 436).

Dalle misure pubblicate da CAROBENE (1972, pag. 586) risulta che nel Golfo di Orosei il solco di battente è profondo 140 +180 cm nei calcari organogeni leggermente marnosi, mentre è profondo

60 ÷ 90 cm nei calcari puri. Ciò è verosimilmente dovuto ad una diversa solubilità oltre ad una eventuale differente propensione all'attacco da parte di organismi perforanti.

Nel caso del Golfo di Orosei non è pensabile che una sensibile azione meccanica si aggiunga a quella chimica. Infatti la profondità del fondale lungo la costa rocciosa a picco impedisce in pratica che materiali incoerenti del fondo possano essere scagliati dalle onde contro la roccia con funzione di abrasivo.

E' interessante notare che il solco di battente della insenatura a N di Baia Crepatura si trova a meno di 1 m da un fondale sabbioso-ghiaioso e non presenta differenze significative rispetto a quelli descritti da CAROBENE nel Golfo di Orosei. Ciò suggerisce che l'eventuale azione abrasiva, esercitata dai materiali clastici mossi dalle onde nella insenatura a N di Baia Crepatura durante le mareggiate, non modifica sensibilmente la forma del solco.

Dalle considerazioni e dai dati fin qui esposti risulta, come già ha messo in evidenza KUENEN (1950, pag. 437), che l'erosione marina sulle coste rocciose calcaree è in gran parte dovuta alla dissoluzione. Questo ultimo Autore fa inoltre notare che non vi è accordo sulla possibilità dell'acqua marina di superficie di sciogliere le rocce carbonatiche. Tuttavia di fatto la dissoluzione avviene e ciò può probabilmente verificarsi grazie al costante rinnovo del solvente prodotto dal vento, dalle onde e dalle correnti. A questo proposito KAYE (1957) ha mostrato che la turbolenza ed il movimento del solvente sono fattori di notevole importanza nella dissoluzione del calcare. Questo Autore ritiene che le acque marine superficiali siano di tempo in tempo leggermente sottosature rispetto al CaCO<sub>3</sub> e che la conseguente azione solvente sul calcare sia fortemente esaltata nella zona di agitazione delle onde.

Ammesso questo modo di attacco, si spiega come mai il solco sia inciso nella zona intertidale e perchè, in particolare, la parte più profondamente incisa del solco stesso si trovi in prossimità del livello medio delle alte maree. Quest'ultima quota infatti è quella in cui si ha il maggior numero di movimenti del solvente; al di sotto della minima marea non si ha un frequente ricambio dell'acqua, specialmente se il moto ondoso è di ampiezza limitata, mentre, al di sopra, arrivano solo gli spruzzi delle onde più alte con frequenza inversamente proporzionale all'altezza.

Per quanto riguarda la spianata intertidale è possibile che l'azione abrasiva di sabbie e ghiaie, ove disponibili, abbia una certa importanza dato che, come vedremo più oltre, questi clastici hanno importanza decisiva nella perforazione delle marmitte.

#### *Marmitte della spianata intertidale*

La superficie della spianata intertidale non è sempre piana, spesso rimangono in essa cavità costituite dai fondi delle vaschette più profonde o di marmitte che si formano in corrispondenza di zone della «Panchina» meno cementate.

Il flutto battente e la risacca, fluendo e rifluendo sulla spianata, formano dei vortici entro queste cavità. I ciottoli, ovunque siano disponibili, tendono ad essere intrappolati nelle cavità e vorticando con l'acqua le approfondiscono e scavano marmitte cilindriche, cioè a pianta rotonda e pareti verticali o leggermente strapiombanti che sono già state descritte.

Come risulta evidente dalla fig. 17 le marmitte di questo tipo si possono allineare lungo le fessure esistenti nella «Panchina» e, fondendosi l'una all'altra, possono originare serie allungate di più individui coalescenti.

Non tutta la spianata intertidale è perforata dalle marmitte. Ciò dipende, evidentemente, dal fatto che in alcuni tratti del litorale l'abrasione, che ha intagliato la spianata stessa, è avvenuta più in profondità del livello raggiunto dai fondi delle vaschette quando queste si estendevano nell'area adesso occupata dalla zona intertidale.

#### *Marmitte slabbrate e superficie irregolare*

Sulla parte sempre sommersa della «Panchina» le onde delle mareggiate si frangono con azione erosiva che si spinge a profondità diverse e che agisce con forza varia a seconda delle loro altezze.

Il flusso e riflusso dell'acqua marina in questa fascia dipende dall'intensità delle burrasche ed è molto più irregolare e saltuario che non quello che investe la zona intertidale che risente delle maree oltre che delle burrasche. Anche l'azione delle correnti litoranee potrebbe influenzare parzialmente il moto del mare in questa fascia.

Tutte queste coincidenze giocano a favore di una minor regolarità dei movimenti sul fondo dei ciottoli e delle sabbie che allargano le marmitte e le cavità esistenti. La maggior massa d'acqua che entra in gioco e la maggior energia dei moti vorticosi possono agevolmente sollevare i ciottoli, anche grandi, del fondo delle marmitte e quindi svolgere azione di abrasione anche sui loro orli che si slabbrano. Un'azione analoga, nel senso di operare verso una maggiore irregolarità del fondale, viene svolta anche dai molti individui di *Paracentrotus lividus* che, nei loro percorsi più o meno circolari per procurarsi il cibo, tornano sempre al solito posto e finiscono per favorire in qualche modo l'approfondimento delle cavità nelle quali si annidano (fig. 25).

Procedendo verso il largo le marmitte slabbrate contengono ciottoli sempre più grossi e tendono a fondersi in modo da formare cavità allungate in senso perpendicolare alla costa (fig. 26).

### *Solchi ortogonali al litorale*

Su fondali di circa 2 m buona parte delle marmitte sono smembrate o fuse fra di loro a formare solchi dalle pareti sinuose che indicano la loro origine da coalescenza di più marmitte (figg. 24 e 26).

Le pareti di questi solchi sono molto più lisce presso il fondo che nelle parti superiori, i blocchi che vi si trovano arrivano a dimensioni di 30-40 cm e mostrano gli spigoli sensibilmente smussati. Pareti e fondi sono inoltre ricoperti di Alghe per periodi assai lunghi (fig. 24) e ciò può sembrare in contrasto con le caratteristiche elencate qui sopra. Ma questa contraddizione non sussiste se si considera che, per la profondità dei solchi e le dimensioni dei ciottoli che contengono, solo le onde di mareggiate eccezionali o molto forti possono agire su questo tratto di fondale di «Panchina». In tal caso è verosimile che l'energia del moto ondoso sia sufficiente a muovere con violenza ciottoli e massi di dimensioni notevoli.

A conferma di quanto detto facciamo notare che la fascia con i solchi descritti corrisponde proprio alla linea dei frangenti delle mareggiate più violente. In corrispondenza di tale linea devono verificarsi forti movimenti d'acqua verso terra e verso il largo, ciò che spiega l'orientamento dei solchi.

Una volta abbozzati, e in ciò ha importanza la preesistenza delle marmitte (anche se in parte slabbrate e semidemolite), questi solchi non possono che accentuarsi e approfondirsi poiché i clastici si raccolgono solo al loro fondo mentre sui rilievi fra un solco e l'altro non possono rimanere materiali capaci di agire da abrasivo.

La formazione di solchi perpendicolari ai fronti d'onda dominanti, e approssimativamente alla costa, sembra essere un fatto abbastanza comune lungo i litorali impostati su rocce coerenti ma non molto resistenti dal punto di vista meccanico come la «Panchina».

Solchi analoghi, situati in una posizione simile rispetto all'orientamento e all'altezza delle onde di burrasca, sono caratteristici di tutte le barriere coralline e sono ben sviluppati lungo i loro margini esposti ai venti dominanti (MAXWELL, 1968, pag. 110). Solchi di questo tipo sono figurati da: GVIRTZMAN et Alii (1977, tav. 2, fig. 4) per le scogliere del Mar Rosso; MAXWELL (1968, fig. 80) e BENNET (1971, pag. 45 e 48) per la Grande Barriera Australiana; CHEVALIER et Alii (1969, tav. 2), BROUSSE et Alii (1974, fig. 49) per isole ed atolli delle Tuamotu; NEWELL & RIGAY (1957, tav. 1, fig. 2 e fig. 22) per le Bahamas ed infine sono stati osservati da uno di noi (PAREA) in alcune diapositive proiettate dal dott. PURDY durante una conferenza sulla sedimentazione calcarea attuale lungo la costa dell'Honduras Britannico.

## **EVOLUZIONE MORFOLOGICA GENERALE DEL LITORALE**

L'elemento più caratteristico della forma dei litorali a «Panchina» di Livorno e di Rosignano, che, come abbiamo visto, possiamo considerare equivalenti, è dato dalla posizione delle piccole baie in corrispondenza dei corsi d'acqua relativamente più importanti che vi sfociano.

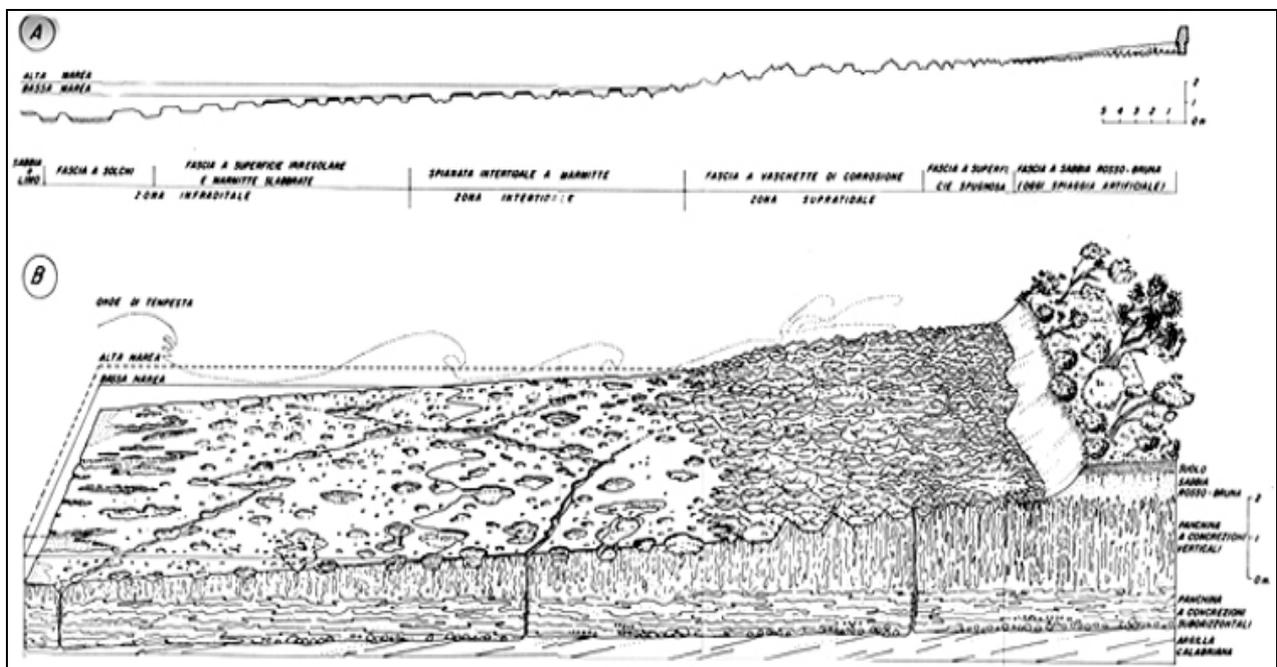
A questo aspetto morfologico si aggiunge la mancanza, o il minore spessore, della «Panchina» nei fondali delle baie, che risulta da quanto abbiamo osservato nel precedente capitolo di descrizione delle forme generali del litorale, e l'esistenza di «cigli» sommersi che prolungano i lati delle baie stesse. Tutti questi argomenti indicano che le piccole baie corrispondono a tratti di valli sommerse, come era già stato intuito da BLANC (1935) e dalla MELINOSSI (1935), chiaramente indicato per l'area dei fondali delle Secche della Meloria da SEGRE (1955) e ripreso poi da BARSOTTI et Alii (1974) in un contesto più generale.

I litorali di «Panchina» di Livorno e di Rosignano vanno quindi classificati come «di sommersione» anche se in realtà questo carattere non ha un grande risalto per la dolcezza del declivio della costa e perché i piccoli corsi d'acqua che vi sfociano sono a questa perfettamente normali.

Quanto poi all'origine di questa sommersione non vi son dubbi che vada attribuita in gran parte all'innalzamento del livello del mare che è stato registrato su tutte le coste durante l'Olocene; rimane tuttavia da valutare se non esista anche una componente di leggero sprofondamento delle terre, specialmente delle due piane di Livorno e di Rosignano, come le maggiori quote cui si trova il terrazzo tirreniano al centro della costa alta dei Monti Livornesi potrebbero suggerire (BARSOTTI et Alii, 1974).

Abbiamo visto che le forme presenti nella zona infratidale rappresentano l'evoluzione di quelle della zona intertidale e queste ultime l'evoluzione di quelle della zona supratidale. Ciò sta ad indicare che questa successione di forme è stata prodotta da un mare in trasgressione.

La lettura di queste forme ed il riconoscimento del loro stato di sviluppo sembra quindi possa indicare se un litorale a «Panchina» si trova in una fase di sommersione o di emersione fermo restando il concetto che, trattandosi di coste rocciose; questi movimenti possono essere estremamente lenti nei confronti di quanto avviene lungo le spiagge.



Tav. I

Manoscritto consegnato il 1° giugno 1977.

Ultime bozze restituite il 19 giugno 1978.

## OPERE CITATE

- APPELIUS F. L. (1871) - *Catalogo delle conchiglie fossili del Livornese desunto dalle collezioni e manoscritti del defunto G.B. Caterini*. Tipografia Nistri, Pisa.
- BACCI A., MALATESTA A. & TONGIORGI E. (1939) - *Di una formazione glaciale rissiana riscontrata a Livorno nei sedimenti della facies costruttiva del ciclo tirreniano*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Proc. Verb., 48 (5), 74-85.
- BARSOTT G., FEDERICI P. R., GIANNELLI L., MAZZANTI R. & SALVATORINI G. (1974) - *Studio del Quaternario livornese, con particolare riferimento alla stratigrafia ed alle faune delle formazioni del Bacino di carenaggio della Torre del Fanale*. Mem. Soc. Geol. It., 13, 425-495, 4 tt., 10 ff., 2 tabb.
- BELLONI S. (1970) - *Alcune osservazioni sulle acque e sui depositi di fondo delle « vaschette di corrosione (Kamenitza) della località Borgo Grotta Gigante (Carso Triestino)*. Atti e Mem. Commiss. Grotte E. Boegan «, 9 (1969), 33-62, 12 ff.
- BELLONI S. & OROMBELLI G. (1970) - *Osservazioni e misure su alcuni tipi morfologici nei campi solcati del Carso Triestino*. Atti Soc. Ital. Sci. Nat., 110 (4), 317-372, 8 tt., 26 ff.
- BENNET I. (1971) - *The Great Barrier Reef*. Ed. Lansdowne Press, Pty. Ltd., Melbourne, 183 pp.
- BLANC A. C. (1935) - *Le dune fossili di Castiglioncello e la regressione marina post tirreniana*. Riv. Geogr. It., 42, 7-14, 7 ff.
- BLANC A. C. (1953) - *Excursion à Castiglioncello*. IVe Congrès INQUA. Roma-Pisa, 1953, Roma.
- BROUSSE R., CHEVALIER J. P., DENIZOT M. & SALVAT B. (1974) - *Étude géomorphologique des îles Gambier*. Cahiers du Pacifique, n. 18, torno I, 9-120, 55 ff., 18 tt.
- CAROBENE L. (1972) - *Osservazioni sui solchi di battente attuali e antichi nel Golfo di Orosei in Sardegna*. Bol. Soc. Geol. It., 91 (3), 583-601, 2 tt., 9 ff.
- CERRINA FERONI A. & MAZZANTI R. (1966) - *Geologia della parte meridionale dei Monti Livornesi in Toscana*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., ser. A, 73, 412-466, 4 tt., 18 ff., 1 carta geol.
- CHEVALIER J. P., DENIZOT M., MOUGIN J. L., PISSESS Y. & SALVAT B. (1969) - *Étude géomorphologique et bionomique de l'atoll de Mururoa (Tuamotu)*. Cahiers du Pacifique, n. 12, 2-144, 62 ff., 24 tt.
- CREMA C. (1920) - *Fenomeni d'erosione sulle coste dell'Isola di Pianosa nel Mar Tirreno*. Bol. R. Soc. Geogr. It., 6 (1), 116-122, 3 tt.
- DAVIES P. J. & KINSEY D. W. (1973) - *Organic and Inorganic factors in recent beach-rock formation, Heron Island, Great Barrier Reef*. Journ. Sed. Petr., 43 (1), 58-81, 9 ff.
- DEGLI INNOCENTI G. (1926) - *Cavità di erosione marina sulle coste della Sardegna*. Bol. Soc. Geol. It., 45 (2), 169-174, 6 ff.
- Foix R. L., ROBERTS H. H. & MOORE C. H. (1973) - *Black Phytokarst from Hell, Cayman Islands, British West Indies*. Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 2351-2360, 12 ff.
- GVIRTZMAN G., BUCHBINDER B., SNEH A., NIR Y. & FRIEDMAN G. M. (1977) - *Morphology of the Red Sea fringing reefs: a result of the erosional pattern of the last-glacial low-stand sea level and the following holocene recolonization*. Mem. B.R.G.M. n. 89, 480-491, 4 ff., 2 tt.
- KAYE C. A. (1957) - *The effect of solvent motion on limestone solution*. Journ. Geol., 65 (1), 35-46, 4 ff.
- KUENEN P. H. (1950) - *Marine Geology*. John Wiley & Sons Inc., New York, 568 pp.
- MALATESTA A. (1943) - *Le formazioni pleistoceniche del Livornese*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., ser. A, 51, 145-206, 22 ff.
- MALATESTA A. (1951) - *Il Calabriano fra Castiglioncello e Rosignano (Livorno)*. Bol. Serv. Geol. It., 73 (2), 173-183, 1 t., 1 f.
- MAXWELL W. G. H. (1968) - *Atlas of the Great Barrier Reef*. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 258 pp., 166 ff.
- MAZZANTI R. (1975) - *I fossi di Livorno nello studio geomorfologico e paleogeografico del substrato e nell'esame dello sviluppo storico*. « Livorno sanitaria », 1 (4), 9 pp., 2 tt., 5 ff.
- MELINOSSI R. (1934) - *Marmite d'erosione nella costa livornese*. Riv. Geogr. It., 41 (3), 177-184, 5 ff.
- NEWELL N. D. & RIGBY J. K. (1957) - *Geological studies on the Great Bahamas Bank*, in: Regional aspects of carbonate deposition. Soc. Econ. Pal. et Miner. Spec. Pubbi. n. 5, 15-79, 21 tt., 22 ff.
- OTTMANN F. (1954) - *Le Quaternaire dans la region de Quercianella-Rosignano (Livorno)*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., ser. A, 61, 249-258, 1 t., 3 ff.
- PADALINO G. (1968) - *Sopra alcune particolari forme di erosione marina nelle arenarie quaternarie della Costa Verde*. Remi. Semin. Fac. Sci. Univ. Cagliari, 38 (1-2), 15 pp., 9 ff.
- POWERS M. P. (1953) - *A new roundness scale for sedimentary particles*. Journ. Sed. Petr., 23, 117-119, 1 f.
- SEGRE A. G. (1955) - *Nota sulla idrografia continentale e marina*. Foglio 111 Livorno. Note illustrative Carta Geologica d'Italia, Roma.
- VITA-FINZI C. & CORNELIUS P. F. S. (1973) - *Cliff sapping by molluscs in Oman*. Journ. Sed. Petr., 43 (1), 31-32, 2 ff.