

LE SPIAGGE ITALIANE IN EROSIONE E LE ANTISTANTI VALLI SOTTOMARINE

Abitati litoranei, strade costiere ordinarie o ferrate, argini marini a presidio di comprensori di bonifica, talvolta con quote altimetriche al disotto del livello medio del mare, colonie elioterapiche marine e centri balneari, complessi industriali che attingono la materia prima dalle stesse sabbie o dal fondo e sottofondo antistante, oleodotti e cavi telefonici sottomarini — sorti in corrispondenza di litorali sabbiosi più o meno sottili e cioè costituiti prevalentemente da arene di tenue grossezza e degradanti verso mare con più o meno dolce pendio — destano spesso legittime preoccupazioni per la loro valida difesa dall'erosione marina.

Somme notevoli vengono spese annualmente per tentarne la difesa, in genere effettuata a mezzo di pennelli, presso che perpendicolari all'andamento della linea di battaglia, o di strutture aderenti ovvero di scogliere frangiflutti staccate, parallelamente all'antistante battaglia, oppure a mezzo di palificate o di gabbioni di fascine elastiche vegetali o metalliche, ma non sempre con risultati positivi e talvolta, anzi, con conseguenze sconcertanti, addirittura impreviste, spesso controproducenti e perfino catastrofiche.

La diagnosi esatta della fase di regime di queste spiagge smarginate non si presenta invero sempre agevole, specie se in assenza di periodici rilevamenti ad alta densità di quote batimetriche ed estesi sufficientemente sino a comprendervi al largo l'ugnatura dell'antistante piattaforma litorale (continentale o insulare) e quindi il rimedio che si finisce per escogitare, spesso per di più sospinti dalla necessità di soluzioni impellenti, in genere riveste i caratteri dell'empirismo, adducendo ad espedienti di compromesso che, oltre a lasciare sostanzialmente insoluti i problemi posti in essere da circostanze di critica emergenza, ingenerano un diffi-

dente pessimismo verso la sedimentologia marina (*deep sea research* degli oceanografi americani) applicata alle costruzioni marittime.

Poderose organizzazioni scientifiche, dotate di mezzi cospicui, quali la *Royal Commission on Coast Erosion* in Gran Bretagna, il *Beach Erosion Board* negli Stati Uniti d'America, il *C.O.E.C.* (*Comité central d'Océanographie et d'étude des côtes*) in Francia, costituito nel periodo postbellico, sono sorte appunto per svolgere sistematiche ricerche, definite con carattere di contingente interdipendenza dal Thoulet « cherologiche », atte a suggerire i mezzi più razionali per combattere efficientemente la pregiudizievole distruzione dell'orlo marginale emerso di molte zone di terraferma, dovuta all'aggressività erosiva, spesso recidivante, del mare.

In Italia, questo genere d'indagini sistematiche era stato affidato alla *Commissione di studi sul regime dei litorali del Regno*, istituita per iniziativa del Ministero dei Lavori Pubblici con D.M. 29 giugno 1935 e « incaricata di procedere a sistematici studi sul regime dei litorali del Regno, in rapporto principalmente alla corrosione ed ai protendimenti delle spiagge » (1).

Questa Commissione — che redasse, e pubblicò nel fascicolo n. 5 (maggio) del 1937 degli « *Annali dei Lavori Pubblici* (già *Giornale del Genio Civile*) », la *Carta batilitologica della piattaforma litorale italiana* (2) — ebbe ad operare praticamente solo nel periodo prebellico e particolarmente fino a quando i suoi membri non superarono il numero di sette.

Superato pletoricamente, in progresso di tempo, questo numero, la predetta Commissione ha cessato di operare, forse, come è stato sospettato, non sappiamo con quanto e con quale fondamento, in omaggio al precetto di Massimo d'Azeglio: « Da un pezzo e per esperienze fatte io non credo nelle commissioni. Quando ero ministro, se volevo che non si facesse un affare, ne incaricavo una commissione numerosa. Eccovi la regola: commissione

(1) Cfr. « *Boll. Uff. del Min. dei LL. PP.* », 1935, n. 27, 21 sett., pp. 2070-2071; v. anche: ASSOCIAZIONE NAZIONALE IDROVIE, NAVIGAZIONE, PORTI, *Atti del Primo Congresso Nazionale dei Porti* (Napoli, 26-30 settembre 1948), alla p. 447.

(2) A. D'ARRIGO, *Attualità di Luigi Ferdinando Marsili*, in « *Giorn. del Genio Civile* (già *Ann. dei LL. PP.*) », 1958, fasc. 5, pp. 303-307.

di tre, qualche volta conclude; di sette quasi mai. Dal sette in su, mai e poi mai » (3).

In verità, tuttavia, bisogna convenire che la Geologia sottomarina — pur avendo avuto il retaggio scientifico di una gloriosa tradizione proprio in Italia, essendosene magistralmente occupati, da par loro, addirittura Leonardo da Vinci, Luigi Ferdinando Marsili, Pietro Paleocapa, Alessandro Cialdi e Paolo Cornaglia, per non citare che i maggiori — non è oggi, purtroppo, conoscenza molto diffusa nello stesso campo dei tecnici che si occupano di opere marittime e meno ancora coltivata da noi, nonostante l'importanza per il nostro Paese delle ricerche d'idrocarburi in mare, della pesca e delle costruzioni marittime, e non costituisce peraltro neanche materia specifica d'insegnamento superiore, com'è divenuta invece in Francia, auspice Jacques Bourcart, all'*École des Hautes Études* della Sorbona, ed in America, per iniziativa di P. Francis Shepard, all'Università californiana di La Jolla.

Tuttavia, nel 1887 — un quarantennio dopo la segnalazione del Pareto (1846) sulla presenza della valle sottomarina della Polcevera ed un triennio dopo la segnalazione del Forel (1884) sulla presenza di solchi sublacustri nelle zone frontali dei grandi delta dei laghi svizzeri — a conclusione delle elaborazioni comparative morfopsammografiche, di cui alla relazione « Sugli insabbiamenti del porto nuovo di Bari », redatta a Roma l'8 novembre 1887, il Direttore Generale delle Opere Marittime, che allora era Paolo Cornaglia (1835-1895) — ingegnere del Genio Civile, prescelto dal ministro Silvio Spaventa a reggere la Divisione dei Porti e Fari al Ministero dei Lavori Pubblici — faceva acutamente rilevare altresì come la genesi dell'anomala erosione delle spiagge marine sottili, in genere invece soggette a progressivo interrimento, venisse ad operarsi specificamente « per via di canali sottomarini, trasversali alla riva stessa » (4).

La ricostruzione delle direttrici assiali delle predette infos-

(3) Cfr. *Il contributo della fisiografia tecnica italiana alla concretazione definitiva del progetto esecutivo del Canale di Suez*, in « Ann. del LL. PP. (glà Giorn. del Genio Civile) », 1941, n. 7, pp. 541-569.

(4) P. CORNAGLIA, *Sul regime delle spiagge e sulla regolazione dei porti*. Torino, Stamp. Reale della Ditta G. B. Paravia, 1891.

sature, in veneto denominate *fuose*, veniva effettuata a mezzo del tracciamento delle isobate a minima equidistanza, poiché « prima di progettare qualsiasi opera — come al riguardo precisava il Cornaglia (*op. cit.*, pp. 424-425) — bisogna studiar bene per così dire la *fisica del luogo* dove si ha da operare, principalmente dal punto di vista delle acque e del terreno; e per conoscerla, nel presente caso, uno dei dati migliori è la forma e posizione del fondo. A rappresentare però il fondo non basta una rete di sonde, sia pure estesa e fitta; imperocché nel loro complesso da sé sole esse sono *mute*: occorrono ancora le curve di livello, col mezzo delle quali poter afferrare a colpo d'occhio l'andamento del fondo, tanto nel suo assieme come nelle varie sue parti, e poterne apprezzare per quanto si può il regime ».

Così, ad esempio, a Marina di Massa (5), mentre il tracciamento delle isobate con l'equidistanza di un metro non pone in evidenza accentuati particolari di anomalie morfografiche a patente caratterizzazione immediata, il tracciamento invece delle isobate con equidistanza di *cm* 20, e meglio ancora di *cm* 10, rivela nitidamente cospicui relitti morfologici di vortici destrorsi, al largo della Colonia della Maternità e Infanzia, ricadenti in fondali da *m* 14 a *m* 15 (massimo fondale di rilevamento nel 1949); al largo della Colonia della Fiat, della Via di Avenza e della Via Cadorna i vortici ricadono in fondali da *m* 5 a *m* 6, e da *m* 4 a *m* 5, poi, ricadono quelli ubicati a circa *m* 300 a ponente della Colonia della Fiat, mentre in fondali da *m* 6 a *m* 7 ricadono i vortici, sempre destrorsi, al largo del T. Carrione. Tracce morfologiche di valli e di vallecole sottomarine sono messe in chiara evidenza al largo della Via di Avenza, del T. Avello, della Colonia della Fiat, ecc. Le valli sottomarine della Versilia, con i loro filoni di ramificazione arborescente, sono nettamente ricostruibili per altro dalla Carta nautica n. 3 (« Da Portofino al Gombo ») dell'Istituto Idrografico della Marina Militare Italiana e fanno capo al grandioso *canyon* sottomarino antistante a Marina di Carrara,

(5) MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, SERVIZIO ESCAVAZIONE PORTI MARITTIMI, *Rilievi batimetrici eseguiti dalla m/n « Paolo Cornaglia » dal 16 luglio al 10 settembre 1949 della zona compresa tra Punta Bianca e Marina di Massa. Scala 1:5000; massima quota scandagliata: m 15; equidistanza delle isobate: m 1.*

ricadente, nella sua configurazione più macroscopica (6), in fondali da *m* 14 a *m* 24, ubicato a mezzogiorno del subfilone dell'Entella, in corrispondenza della spiaggia di Chiavari (7), al limitare orientale del grande ventaglio arborescente di *canyons* sottomarini del Golfo di Genova, immediatamente a sud di Punta Corvo, estremo limite orientale del predetto golfo.

Jacques Bourcart (8) ritiene che il Golfo di Genova e la Versilia, sino alla Corsica, costituiscano la zona avvallata (*cuvette*, *fosse intracontinentale*) di un'onda gravifica — la sinclinale dei geologi — d'epoca miocenica, emergente in parte nella zona continentale corso-ligure, e pliocenica, ricoprente, quanto meno nella sua parte orientale, un ampio zoccolo di scisti, fanghi cioè trasformati in scisti dalla pressione.

Joh. Walther aveva ritenuto per altro che lo zoccolo continentale costituisse una vera e propria onda gravifica, formata da un'anticlinale — che, se cupoliforme e non fratturata, può risultare sede di giacimenti d'idrocarburi — più o meno coricata, seguita, verso il largo, da una sinclinale: il fianco dell'anticlinale non sarebbe altro, in ultima analisi, che la piattaforma continentale, la cui ugnatura, coincidente con il ciglio della sottostante scarpa, corrisponderebbe alla cerniera dell'anticlinale, mentre il piede della scarpa dello zoccolo continentale corrisponderebbe invece alla cerniera della geosinclinale. A. Wegener ri-

(6) I tratti di valli sottomarine, ubicate a sud di Chiavari, rese evidenti nell'indicata Carta nautica n. 3 (« Da Portofino al Gombo »), a mezzo del tracciamento delle isobate, risultano precisamente antistanti rispettivamente a:

s = <i>m</i> -58	Moneglia	ricadendo in fondali da <i>m</i> 1000 a <i>m</i> 0				
	Corniglia	»	»	»	»	» 600 » » 100
	Campiglia	»	»	»	»	» 1500 » » 400
	Tellaro	»	»	»	»	» 21 » » 15
	Punta Bianca	»	»	»	»	» 500 » » 16
	Foce della Magra	»	»	»	»	» 500 » » 14
s = <i>m</i> -27	Marina di Carrara	»	»	»	»	» 24 » » 14
s = <i>m</i> -14	Marina di Massa	»	»	»	»	» 21 » » 13
s = <i>m</i> -21	Forte del Marmi	»	»	»	»	» 21 » » 14
s = <i>m</i> -13	Viareggio	»	»	»	»	» 21 » » 12

dove *s* rappresenta il massimo fondale raggiunto dalla sabbia sul fondo marino.

(7) A. D'ARRIGO, *Le caratteristiche fisiografiche del Porto di Genova*, in « Boll. Uff. del Consorzio autonomo del Porto di Genova », 1955, n. 4, pp. 195-210; ID., *La difesa foranea del Porto di Genova*, in « Riv. di Ingegneria », 1955, pp. 1082-1092.

(8) J. BOURCART, *Problèmes de Géologie sous-marine*. Parigi, Masson, 1958. Cfr. pp. 46-53.

tiene la scarpa dello zoccolo continentale come l'orlo, il margine, la slabbratura di distacco tra i continenti che sono stati separati dalla deriva gravifica — provocata dal galleggiamento della crosta terrestre siliaca, avente la densità dei nostri graniti, più leggera, sulla massa del *sima* (= silicati + magnesio), avente la densità delle lave basaltiche, assai viscosa — e pensa che la piattaforma costituisca uno degli orli superstiti della crosta terrestre continentale non sprofondata, dopo il distacco.

Francis P. Shepard e Maurice Ewing ritengono invece che la piattaforma continentale — costituita prevalentemente da materiali clastici leggeri, e cioè aventi densità minore di 2,7 (densità che i materiali continentali non superano) — si saldi alla sinclinale successiva, costituita da materiale più pesante (densità maggiore di 3): il confine di queste due parti dell'onda gravifica (cresta = anticlinale + cavo = sinclinale) rappresenterebbe per così dire una frattura e cioè una soluzione di continuità vera e propria della litosfera.

Luigi De Marchi e Ramiro Fabiani ritengono che la piattaforma litorale italiana rappresenti un tardo relitto dell'antico litorale del piano geologico tirreniano, inerente all'epoca pleistocenica: saremmo quindi nell'ambito dell'interpretazione geologica del Bourcart sulla cosiddetta « regressione romana ».

Un decennio prima del lavoro originale del Bourcart (9), in cui, per la prima volta, la presenza della flessura continentale veniva correlata alla genesi morfografica dei depositi clastici della piattaforma continentale, sulla rivista del nostro Ministero dei Lavori Pubblici (10) veniva rilevata la natura di roccia viva, anzi presumibilmente basaltica, della scarpa dello zoccolo subacqueo dell'Etna, al largo del porto di Catania, in fondali di *m* 250.

Nel 1932 l'Imbò (11), a mezzo di accuratissime analisi di prospezioni sismiche che incontravano il substrato a « nucleo

(9) J. BOURCART, *La marge continentale. Essai sur les régressions et transgressions*, in « Bull. Soc. Géol. de France », t. VIII, 1938, pp. 393-474.

(10) A. D'ARRIGO, *Regime della Plaia di Catania e migrazioni della foce del Simeto*, in « Ann. del LL. PP. (già Giorn. del Genio Civile) », 1929, pp. 894-895 e tav. f. t. XXI.

(11) G. IMBO', *Ricerche preliminari sulla distribuzione delle formazioni geologiche del basamento etneo*, in « Atti della Acc. Gioenia di Sc. Nat. in Catania », S. V. vol. XIX (1932).

basaltico », riteneva di poter già ricostruire la successione degli strati nel basamento del massimo vulcano dell'Europa per uno spessore almeno di circa *m* 4500 nel sedimentario di argille e sabbie pleistoceniche, spessore cioè avente pressoché lo stesso ordine di grandezza della massima profondità del Mediterraneo, la quale ricade antistante e proprio al largo del predetto basamento subacqueo etneo.

Nel dominio dell'Etna, la grandiosa Valle del Bove si continua poi, in corrispondenza proprio della spiaggia di Riposto — classica oramai purtroppo, al pari di quella di Chiavari, per l'accentuata erosione marina ultrasecolare — nel macroscopico *canyon* sottomarino antistante. Quivi, la profondità dell'ugnatura dello zoccolo litorale raggiunge infatti il fondale di *m* 3800, mentre in corrispondenza del limite meridionale del bacino del Simeto, la profondità dell'ugnatura del predetto zoccolo è limitata a *m* 2000 (Po: *m* 1200; Tevere: *m* 1000; Gela: *m* 800; Arno: *m* 400).

Per quanto concerne in particolare il regime fisiografico delle spiagge della Versilia, il Bourcart ricorda che « Alberto Carlo Blanc a décrit le remplissage sur le continent par des vases et des sables plus récents de la cuvette de la Versilia. Il semble donc s'être effectué au cours d'une dernière *transgression* pour laquelle il a proposé le nom de *versilienne*. Elle est probablement contemporaine de la transgression flandrienne de l'Atlantique. La remontée de la mer dans le cours inférieur des fleuves y est moins facile à observer: la plupart des fleuves méditerranéens ayant un delta ».

Fa eccezione a questa caratteristica fisiografica generale degli apparati fociali del Mediterraneo proprio la zona settentrionale della Versilia, dove appunto la foce della Magra presenta invece configurazione non deltizia, ma estuariale, e dove Arturo Issel avrebbe raccolto, anzi, la testimonianza « che sia ora ben visibile da una villa di Trebbiano (borgo situato poco lungi dalla riva destra della Magra) la Torre medievale del Castello d'Arcola, che era pochi anni addietro nascosta da un colle interposto » (12).

(12) A. ISSEL, *L'evoluzione delle rive marine in Liguria*, in « Boll. Soc. Geogr. Ital. », 1911, pp. 1085-1113; pp. 1204-1234; pp. 1315-1344; pp. 1430-1454.

Giovanni Capellini (13) ha ricordato altresì la tradizione secondo la quale « si passava altra volta dal Tino al Tinetto senza barca, ma bensì sopra scogli che formavano un ponte naturale fra le due isolette ».

Lo stesso Capellini riteneva che la catena orientale del Golfo di La Spezia fosse stata in parte e temporaneamente sommersa per oltre *m* 200, rispetto alla quota altimetrica attuale, durante il periodo paleolitico, che è quanto dire alla fine del Quaternario (14).

Il litorale della Toscana, esteso dalla foce della Magra all'Argentario e inserito pertanto fra quello ligure e il laziale, presenta uno sviluppo complessivo di chilometri lineari 578 (15) — costituendo il 6,74 % dell'intero sviluppo litorale italiano — così suddiviso, rispettivamente: *km* 238 di spiagge sabbiose — il 7,26 % rispetto all'intero sviluppo di spiagge italiane — e *km* 340 di coste, ossia il 6,42 % dello sviluppo complessivo di coste italiane.

La piattaforma litorale toscana (16) comprende una superficie di *kmq* 10.436 — e cioè l'8 % dell'intera superficie della piattaforma italiana — raggiungendo così *kmq* 18 di platea per ogni *km* di sviluppo litoraneo (media nazionale: 17,5 *kmq/km*).

La superficie della piattaforma litorale toscana risulta più che doppia di quella del Lazio — il quale su 300 *km* di sviluppo litoraneo ha una piattaforma di *kmq* 4405 (*kmq* 14,7/*km*) — e più che settupla di quella della Liguria, la quale su 343 *km* di sviluppo presenta una piattaforma di appena *kmq* 1404, corrispondenti a soli *kmq* 4 di platea subacquea antistante per ogni *km* di sviluppo litoraneo (17).

(13) G. CAPELLINI, *L'azione distruggitrice del mare nella costa dirupata dell'Arpaia a Portovenere e nelle vicine isole*, in « Mem. della R. Acc. delle Sc. dell'Istit. di Bologna », Ser. VI, vol. III, 1906.

(14) G. CAPELLINI, *Rubble-drift e breccia ossifera nell'Isola Palmaria e nei dintorni del Golfo della Spezia*. Bologna, 1895.

(15) Cfr. « Ann. dell'Ist. Cener. di Stat. », S. VI, vol. 37, 1936, alle pp. 133-155.

(16) COMMISSIONE DI STUDI SUL REGIME DEI LITORALI DEL REGNO. L. MANFREDONIA, *Cenni illustrativi sulla Carta Generale batilitologica della piattaforma litorale italiana*. Roma, Ministero LL. PP., 1937. (Estratto di pp. 15).

(17) A. D'ARRIGO, *La platea pescosa in Sicilia. Caratteristiche fisico-economiche della pesca nelle regioni italiane*, in « Annuario "Mediterranea" 1950 » (Palermo, I. R. E. S., 1950), pp. 310-311.

VARIAZIONI DELLA PENDENZA MEDIA PEREQUATA DEL PROFILO SUBACQUEO DELLA SPIAGGIA
DI MARINA DI MASSA, DAL 1846 AL 1949

Anno dei rilevamenti	Isobata - 5		Isobata - 10		Isobata - 15		Isobata - 20	
	Distanza dall'anti- stante battigia	Pendenza relativa	Distanza dall'anti- stante battigia	Pendenza relativa	Distanza dall'anti- stante battigia	Pendenza relativa	Distanza dall'anti- stante battigia	Pendenza relativa
1846	m 400	0° 42' 58"	m 1000	0° 34' 23"	m 3500 ÷ 4000 (canyon)	0° 14' 44" 0° 12' 54"	m 10.000	0° 6' 53"
1882	m 400	0° 42' 58"	m 1000	0° 34' 23"	m 4200 ÷ 6000 (canyon)	0° 12' 16" 0° 8' 36"	m 11.000	0° 6' 15"
1949	m 1375	0° 12' 30"	m 4250	0° 8' 5"	m 8500 ÷ 10.500	0° 6' 4" 0° 4' 55"	?	?
1882	Isobata - 50		Isobata - 100 Ugnatura della piattaforma continentale					
	m 19.380	0° 8' 52"	m 24.888	0° 13' 49"				

La pendenza media della piattaforma litorale toscana varia dai 5' (Capo Calamita: Isola d'Elba) ai 24' (Foce dell'Ombrone) — media pendenza della piattaforma litorale mondiale 7' (sec. Shepard) — mentre quella contigua, a mezzogiorno, del Lazio varia invece dai 15' (Tombolo della Feniglia) ai 51' (Promontorio Circeo) e quella contigua, a settentrione, della Liguria varia dagli 11' (Capo S. Lorenzo) ai 36°11' (Capo Noli).

La piattaforma litorale antistante a Marina di Massa, desu-
mibile solo dai rilevamenti del 1882 — rilevamenti non più, per la
zona al largo, aggiornati ulteriormente sinora — presenta una
ampiezza di circa 25 km ed una pendenza media di circa 14'.

Inoltre, per Marina di Massa (18) sono rilevabili le distanze
delle isobate dall'antistante linea di battigia, a datare dal 1846
al 1949, riportate nello specchio alla pagina che precede.

Consegue, dai dati del precedente quadro riassuntivo, come
la spiaggia di Marina di Massa, pur essendo divenuta sempre più
sottile, e cioè a pendenza sempre più dolce, quanto meno dal
1882 al 1949 (data degli ultimi rilievi qui elaborati), mostri che
la sua estrema battigia è risultata patentemente sconvolta ed
erosa: conferma meridiana quindi di quanto il Cornaglia aveva
già osservato e cioè che nelle spiagge sottili — a differenza
di quanto si verifica in quelle profonde, ossia a pendenza accen-
tuatamente ripida — l'erosione non si effettua sempre a causa
dell'aumentato declivio della piattaforma, e cioè per regimazione
presso che laminare delle correnti litoranee, bensì anche « per
via di canali sottomarini (*canyons*), *trasversali alla riva stessa* »,
con direzione assiale risultante, nel caso in esame, pressoché
coincidente con quella della traversia locale (libeccio) e con regi-
mazione, come abbiamo già rilevato, turbolenta e vorticosa, spe-
cie nelle immediate vicinanze del molo sottoflutto di Marina di
Carrara.

(18) D. ALBANI, *Nuove osservazioni sulle variazioni di spiaggia del litorale della Versilia*. Sta in « Studi geografici in onore di Antonio Renato Toniolo » (Milano, G. Principato, 1952), pp. 5-43. Cfr. pure A. D'ARRIGO, *L'evoluzione fisiografica e le caratteristiche del regime batilitologico della piattaforma litorale toscana*. Fig. 3: « Variazioni morfologiche del litorale compreso da La Spezia a Livorno, intercorse dal 1846 al 1882 ». Sta in « Atti del Congr. Nazion. dei Porti in Livorno (24-27 giugno 1950) », vol. I, p. II (Livorno, Poligr. Belforte, 1950), pp. 555-571. Si veda anche « La Marina Mercantile », 1950, pp. 318-320.

E' noto come nel settembre del 1957 l'erosione progressiva della spiaggia abbia distrutto la via litoranea tra Marina di Massa e Marina di Carrara, le installazioni delle colonie marine delle province di Torino, Siena, Parma, di quelle della Edison, della Fiat e di altri enti.

Si è anche presunto che la *causa causarum* di questi malanni fosse da imputare solo ed esclusivamente all'opera dell'uomo, e cioè alla costruzione dei moli di difesa del porto di Marina di Carrara.

Ora, senza volere escludere che la costruzione delle predette opere aggettanti a Marina di Carrara abbia potuto reattivamente influire sul regime della spiaggia di Marina di Massa, accentuandone la fase erosiva, sta di fatto che i grandiosi *canyons* sottomarini antistanti, di cui ci siamo occupati minutamente nelle pagine precedenti, sono stati rilevati dalla Marina Militare italiana assai prima della costruzione del porto di Marina di Carrara e quindi alla loro presenza soprattutto va attribuita la causa prima del dissesto lamentato e dello sconcerto di regime osservato.

Non va negletto, a questo proposito, come in merito alle valli sottomarine dal 19 al 23 aprile del 1955 si sia svolto alla Sorbona un convegno d'insigni cultori di geologia sottomarina, per iniziativa del Prof. Jacques Bourcart e sotto gli auspici della Facoltà di Scienze della Sorbona, dell'*École Pratique des Hautes Études du Centre National de la Recherche Scientifique* e del *Centre National de Recherches et d'Études Océanographiques* (19).

Nella disamina circa l'origine dei grandi solchi sottomarini, e soprattutto circa le cause della loro sottrazione al colmamento per sedimentazione, e cioè al loro mantenimento configurativo avvallato, in questo convegno è stato ricordato che Daly nel 1936 ne aveva attribuito la formazione e la persistenza morfologica alle cosiddette correnti torbide. Nel corso delle intense e violente mareggiate, come pure soprattutto a causa dei maremoti, enor-

(19) *Ministère de la Défense Nationale, Secrétariat d'État à la Marine, Comité Central d'Océanographie et d'étude des côtes (C. O. E. C.)*, in « Bull. d'Inform. », 1955, n. 8 (Parigi, Servizio Centrale Idrografico), pp. 331-369.

mi masse di sedimenti verrebbero per così dire « zappati » e, messi in sospensione, poi fluitati.

Sarebbe quindi il deflusso di queste masse fluidificate quello che provocherebbe poi cospicue frane sottomarine (20) e la conseguente erosione.

E' stato sollevato altresì, nel predetto convegno, il problema della profondità massima alla quale viene a essere risentita ancora sensibilmente l'azione morfologica del mare sui sedimenti del fondo.

Già nel 1936, in una monografia pubblicata dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (21), veniva rilevato che i sedimenti sciolti venivano spazzati, mettendo a nudo la roccia viva, in fondali di *m* 315, in corrispondenza dello zoccolo sottomarino dell'Etna.

Quivi infatti la R. N. idrografica « Marsigli », nella campagna oceanografica del 1922-23, nella Stazione 96, a ben 650 *m* di profondità aveva misurato una corrente della velocità di 25 *cm/sec* e cioè una velocità sufficiente a rimuovere non solo il fango, bensì gli stessi granelli di sabbia del fondo marino. Il Bourcart ricorda altresì che la nave idrografica « Michael Sars » ebbe a misurare, a sud delle Azzorre, a *m* 732 di profondità, proprio la stessa velocità di 25 *cm/sec*.

Per altro Maurice Ewing nel 1952 ebbe a rilevare che la rottura dei cavi sottomarini al largo del Labrador, in corrispondenza del Grande Banco di Terranova, sarebbe avvenuta sotto l'azione di frane sottomarine provocate dal terremoto del 1929, in occasione del quale si sarebbe avuta l'insorgenza di correnti torbide, dotate della enorme velocità di 100 *km/h*, e cioè di circa 28 *m/sec*, avente un ordine di grandezza centuplo cioè di quella misurata dalla « Marsigli » nel Mediterraneo e dalla « Michael Sars » nell'Atlantico in assenza di perturbazioni sismiche.

Inoltre, anche a volerci limitare soltanto ad un mare chiuso, come il Mediterraneo, risulta significativo, per il nostro assunto,

(20) E. BENEÒ, *Accumuli terziari da risedimentazione (olistostroma) nell'Appennino Centrale e frane sottomarine*, in « Boll. Serv. Geol. d'Italia », 1956, volume LXXXVIII, pp. 291-321.

(21) A. D'ARRIGO, *Ricerche sul regime dei litorali nel Mediterraneo*. Roma, C.N.R. (Comit. per la Geografia-Comit. per l'Ingegneria), 1936, p. 115.

rilevare come dallo *habitat* della fauna abissale rigettata lungo le spiagge marine in occasione dei maremoti — fauna proveniente da fondali di *m* 1000 e di *m* 2000, spiaggiata lungo il litorale di Nizza nel maremoto del 23 febbraio 1887; da fondali di *m* 500 e di *m* 600 lungo la spiaggia della Plaia di Catania nel maremoto del 28 dicembre 1908 (22) — e dai cavi telegrafici sottomarini riscontrati rotti — in fondali di *m* 1100 e di *m* 1200 sul cavo Milazzo-Lipari, e pertanto sotto una pressione superiore a 110 kg/cm^2 , con una resistenza di circa 6 *tonn* alla rottura per trazione, nel maremoto dell'8 settembre 1905 ed in quello del 28 dicembre 1908 (23) — viene a desumersi irrefragabilmente un'azione dinamica del mare ancora sufficientemente sensibile a grandi fondali, tale comunque da mantenere escavate le predette valli sottomarine, che rivestono pertanto un potere di concentrazione energetica, e quindi di massimo travaglio erosivo, in corrispondenza delle spiagge antistanti alle loro estreme intestature litoranee.

Nel 1921, il Prof. Luigi De Marchi aveva fatto rilevare la presenza e la sussistenza morfologica, tuttora, di grandiose valli sottomarine nell'alto Adriatico, ritenute tracce di solchi fluviali rimontanti all'epoca glaciale.

Il De Marchi, con l'ausilio delle infittite quote batimetriche rilevate dalle marine militari italiana ed austro-ungarica, ebbe a ricostruire le isobate del fondo marino e quindi i tracciati assiali delle predette principali valli sottomarine (24).

(22) M. CONDORELLI FRANCAVIGLIA, *Impressioni e ricordi del terremoto calabro-siculo del 28 dicembre 1908*, Catania, Tip. Roma, Fratelli Perrotta, 1909. (Estratto di pp. 20).

(23) GIOV. PLATANIA, *Il maremoto dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908*, in « Boll. Soc. Sismol. Ital. », 1909. (Estratto di pp. 92).

(24) Dalle carte nautiche n. 38 (« Dal Po di Goro a Punta Tagliamento »), 1950-53, n. 37 (« Da Pesaro al Po di Goro »), 1953-54, n. 45 (« Dal Po di Goro a Pesaro », 1901-1931, n. 259 (« Dalle Isole Tremiti ad Ancona e Zara », 1901) e n. 261 (« Da Ancona a Fiume »), 1896-1928, a mezzo del tracciamento delle isobate e delle normali condotte assialmente alle curve di livello presentanti la concavità rivolta

Queste vallate, all'epoca glaciale presunte subaeree, sarebbero divenute attualmente sottomarine a causa di bradisismi, del « calo », proprio dei terreni alluvionali, specie se molto umici (« quorosi »), nonché della progressiva elevazione del livello medio del mare, in dipendenza delle torbide terrigene immessevi e della fusione dei ghiacciai (25).

Dalle accurate elaborazioni mareografiche del Polli (26) emerge, infatti, un graduale aumento del livello medio di tutti i

verso il largo, sono resi evidenti, nell'ordine progressivo diretto da sud verso nord, i seguenti tratti di valli sottomarine, antistanti rispettivamente a:

Foce del Fiume Fortore	da m	-65 a -10
» » » Biferno	» »	-75 » -20
» » » Trigno	» »	-30 » -10
Vastó (già Istonio)	» »	-80 » -40
Foce del Fiume Pescara	» »	-200 » -20
Grottammare	» »	-40 » -20
Porto S. Elpidio	» »	-80 » -20
Foce del Fiume Musone	» »	-100 » -20
Numana	» »	-60 » -15
Ancona	» »	-65 » -15
Falconara	» »	-50 » -20
Senigallia	» »	-35 » -20
Pesaro	» »	-70 » -25
Cattolica	» »	-60 » -10
Bellarìa	» »	-40 » -9
Foce del Fiume Savio	» »	-45 » -15
Porto Garibaldi, 2 km a sud	» »	-15 » -8
Foce del Po di Primaro, 3 km a nord	» »	-17 » -8
Porto Bianco	» »	-60 » -8
Foce del Po di Goro	» »	-35 » -15
» » » delle Tolle	» »	-39 » -25
» » » della Busa del Bastimento	» »	-35 » -25
» » » Pilla	» »	-35 » -25
Punta della Maestra, a sud	» »	-38 » -28
Porto Caleri	» »	-28 » -21
» Fossone (Foce dell'Adige)	» »	-33 » -22
Pellestrina	» »	-25 » -19
Portocanale di Chloggia	» »	-34 » -19
» » Malamocco	» »	-18 » -10
» » Lido, Spiaggia del Cavallino	» »	-30 » -10
Da Cortellazzo (Foce del Piave) al portocanale di Lido: canyon parallelo al litorale	» »	-22 » -17
Caorle	» »	-19 » -16

(25) L. DE MARCHI, *Variazioni del livello dell'Adriatico in corrispondenza con le espansioni glaciali*, in « Atti Soc. Ital. Progr. Sc. (Trieste, settembre 1921) » e in « Atti dell'Acc. Scient. Veneto-Trentino-Istria », S. III, voll. XII-XIII, 1922, pp. 3-15; ID., *Variazioni di spiaggia in corrispondenza a variazioni di clima*, « Mem. dell'Ist. Geol. R. Università di Padova », vol. VIII, 1930, pp. 12.

(26) S. POLLI, *Il graduale aumento del livello del mare lungo le coste italiane*, in « Geofisica pura e applicata », vol. 25, 1953, pp. 123-129.

mari, nella misura, attualmente, di circa undici centimetri per secolo: sarebbero i ghiacciai delle zone polari che darebbero il maggior contributo all'innalzamento del livello medio marino.

L'arretramento della fronte dei ghiacciai avviene tuttora in maniera molto visibile e per la massima parte dei ghiacciai di tutta la Terra, ai nostri tempi, è dell'ordine di una ventina di metri l'anno.

Così, anche l'*habitat* della fauna marina tende a spostarsi, rimontando, sempre più, verso nord. Il fenomeno sembra attendibilmente correlato, in parallelo, all'aumentata intensità della radiazione solare.

Infatti, da misure di alta precisione, eseguite da un ventennio presso l'Osservatorio « Montezuma », nel Cile, particolarmente attrezzato per questo genere di ricerche, risulterebbe un aumento graduale del valore della costante solare, cioè dell'energia termica irradiata dal sole, del 0,001% circa per decennio. Valore apparentemente appena apprezzabile, ma sufficiente a spiegare forse i lenti, ma progressivi effetti sul nostro pianeta.

I solchi delle valli sottomarine in genere non giungono con le loro intestature sino alla linea di battigia attuale, per i noti fenomeni della sedimentazione litoranea: le loro tracce, nell'Adriatico, appaiono in genere oblitee a causa della rimozione e del conguaglio operato dal moto ondoso in fondali modesti e su spiagge molto sottili.

Il Cialdi (27) ebbe per altro a documentare come i flutti delle ordinarie mareggiate « zappino » sensibilmente il fondo dell'Adriatico sino in fondali di una quarantina di metri circa.

Né l'erosione, che avrebbe scavato o mantenuto morfologicamente tuttora persistenti le valli sottomarine nel Mediterraneo, risulta limitata soltanto al fondo marino costituito da sciolti sedimenti, più o meno sottili, bensì si estende pure alle valli sottomarine scavate in piena roccia viva compatta — attraverso gli scisti nel *canyon* di Cassidagne a Cassis in Provenza, nel granito nei *canyons* di Stoechades e di Saint-Tropez, nelle marne piacentiane a Cannes

(27) A. CIALDI, *Sul moto ondoso del mare e su le correnti di esso, specialmente su quelle littorali*. Roma, Tipogr. Belle Arti, 1866. Cfr. pp. 541-555.

ed a Nizza — roccia nudata di sedimenti perché appunto tormentata e spazzata periodicamente dall'azione dinamica del mare (moto ondoso provocato dal vento, correnti di marea o di deriva per cause alinotermiche, correnti torbide di origine sismica, ecc.).

Infatti, nel Canale di Sicilia, la formazione basaltica dell'Isola Ferdinandea — sorta nel luglio del 1831, in seguito ad un'eruzione sottomarina, che ne accumulò il materiale di formazione neovulcanica sino alla quota di m 65 sopra il livello medio del mare — è stata ridotta dall'erosione marina all'odierno Banco Graham, ricco di grandiosi *canyons*.

Nel 1835, cioè quattro anni appena dopo la sua formazione, l'isola appariva completamente scomparsa, erosa sino in fondali minimi di m 3 (Swinburne), mentre nel 1925 (rilievi batimetrici della R.N. « Magnaghi ») si presentava ancora più erosa (minimo fondale: m 8).

Nel Golfo di Catania, ad Ognina, la roccia viva lavica della Secca di Vincenzo — denominata *Vincenzo Shoal* nei rilievi dell'Ammiragliato inglese — è stata riscontrata dalla nave idrografica « Hydra » nel 1867 in fondale minimo di m 12,80, mentre tale fondale risultava ridotto dalla replezione marina a m 9,00 nel 1888 (rilievi della R.N. « Washington »).

Al largo ed a mezzogiorno del Capo Taormina la roccia viva compatta, nuda di materiali sedimentari, è stata rilevata peraltro, come abbiamo già ricordato, in fondali di m 315.

I prodotti dell'erosione sottomarina, unitamente a quelli provenienti dalla degradazione terrestre subaerea, finiscono poi per essere depositati nelle zone di minima agitazione, e cioè tra valle e valle sottomarina, ossia nelle zone che il Bourcart denomina *interfluves* e cioè « intervallive », le cui spiagge antistanti tendono pertanto a protendersi, sempre più, per accumulo alimentare e spesso anzi sopralimentare d'interrimenti d'origine potamogena e talassogena, oppure provenienti dai prodotti e sottoprodotti stessi dell'erosione del litorale antistante o latistante ai *canyons*.

Le analisi psammologiche fanno spesso luce, a mezzo della identificazione dei minerali caratteristici, e quindi provvidamente caratterizzatori, sulla provenienza stessa dei sedimenti delle zone

intervallive sottomarine e di quelle emerse delle spiagge antistanti. La prima elaborazione sistematica di sedimentologia cheologica dei fondi marini italiani risale al 1909 ed è dovuta al Prof. Francesco Salmojrighi, il quale ebbe ad iniziare questo genere di ricerche con l'esame dei saggi di fondo, estratti dai grappini dei cavi telegrafici sottomarini italiani, fornitigli dall'Ing. Emanuele Jona della Società Pirelli di Milano (28).

I saggi di fondo furono prelevati dalla nave « Città di Milano », dal novembre 1901 al febbraio 1909, in occasione della riparazione dei cavi congiungenti La Maddalena al continente italiano, Ustica a Palermo, Palermo a Napoli, Panaria a Stromboli, Reggio a Messina ed Otranto a Valona.

Degna di rilievo appare, dall'esame di questi 22 saggi, la presenza di ghiaie e ciottoli — tanto ellissoidali quanto discoidali (29), con diametro variabile da *cm* 1 a *cm* 5 — raccolti nel 1904 a circa mezzo chilometro dal litorale siculo ed in fondali di *m* 150, riscontrata sul cavo Reggio-Messina (Gazzi-Gallico), ghiaie e ciottoli costituiti da gneiss e micascisti, con subordinati graniti e pegmatiti, cioè in piena concordanza petrografica con la costituzione dei Monti Peloritani e che, secondo il De Stefani, proverrebbero appunto dalle conoidi dei corsi d'acqua aventi bacino idrografico ricadente nei Peloritani, refluitivi dalle correnti di marea, alle quali sarebbe dovuta altresì la morfolitogenesi del porto naturale di Messina.

Altro saggio, riscontrato lungo lo stesso cavo, alla mede-

(28) F. SALMOJRIGHI, *Di alcuni saggi di fondo dei nostri mari*, in « Rend. R. Istit. di Sc. e Lett. », S. II, vol. XLII, 1909, p. 698.

(29) La configurazione ellissoidale dei ciottoli è caratteristica del trasporto di correnti unidirezionali continue, mentre la forma discoidale risulta tipicamente modellata dalla *volutatio*, e cioè dal lavoro abrasivo, lungo il fondo impresso discontinuamente dal moto ondoso, nelle fasi alterne di va e viene, a denti di sega, per le quali si determina un moto diretto verso la riva in corrispondenza della cresta dell'onda ed un moto inverso, verso il largo, in corrispondenza del cavo dell'onda. Cfr. A. STOPPANI, *Note ad un corso annuale di Geologia dettate per uso degli ingegneri allievi del Reale Istituto Tecnico Superiore di Milano*, P. I, *Dinamica terrestre*. Milano, G. Bernardoni, 1866 (si veda a p. 79); ID., *Corso di Geologia*. Milano, Bernardoni e Brigola, 1871 (si veda alle pp. 122-135); ID., *L'ambra nella storia e nella geologia*. Milano, Dumolard, 1886 (si veda a p. 6); A. CAILLEUX, *Distinction des galets marins et fluviaux*, in « Bull. Soc. Géol. de France », S. V, t. XIII, fasc. 4-6, 1938, pp. 125-138.

sima distanza del precedente, ma dal litorale calabro, ed alla profondità di *m* 73, è costituito da sabbia, che, nella qualità e proporzioni dei suoi componenti, denota chiara invece la provenienza dai graniti, gneiss e micascisti dell'Aspromonte.

E' notevole rilevare, inoltre, come il cavo dal quale provenivano i predetti saggi fu trovato talmente interrto, da dover essere in parte abbandonato.

Il Salmojraghi concludeva così che i saggi dello Stretto di Messina — il cui fondo è solcato da due principali *canyons* che fanno capo alla sella sottomarina Punta Pezzo-Ganzirri — provengono dalla degradazione subaerea delle rocce cristalline dei bacini dell'Aspromonte e dei Peloritani.

I saggi estratti ad oriente delle Bocche di Bonifacio, prelevati in fondali variabili da *m* 242 a *m* 750, su di un allineamento lungo *km* 17,8 e posto ad una distanza media di circa *km* 47 dall'asse dello stretto che separa la Corsica dalla Sardegna, presentano una composizione litologica che rispecchia la costituzione granitica di quelle coste e contengono inoltre minerali caratteristici che sono propri della Corsica.

I saggi raccolti nelle adiacenze del fondo sottomarino delle isole di Ustica e di Panaria presentano minerali esclusivamente di origine vulcanica, e corrispondono ai componenti caratteristici dei basalti e delle andesiti dell'una e dell'altra isola.

In definitiva, il Salmojraghi concludeva assai attendibilmente, in questa sua prima nota di geologia sottomarina comparata, come « colla imperfetta conoscenza che noi abbiamo dei movimenti — riserva perfettamente valida a tutt'oggi —, che tante e svariate cause impartono alle masse liquide, non possiamo valutare i risultati dell'azione dispersiva finale sui materiali detritici, portati dai fiumi od elaborati sulle coste, verso l'alto mare. *Anzi può darsi che, inversamente, la conoscenza del modo, con cui si distribuiscono questi materiali in alto mare, sia destinata a dar luce alla conoscenza dei movimenti delle acque* ».

In seguito al precitato studio magistrale dei saggi di fondo marino raccolti dalla « Città di Milano », il Prof. Arturo Issel affidava allo stesso Salmojraghi i saggi raccolti dalla R. N. idrografica « Washington » nella campagna del 1882. Abbiamo così la

seconda pregevole memoria (30) nella quale il Salmojrighi esamina i risultati di psammografia comparata, ottenuti dall'esame di 8 saggi prelevati dal fondo marino dell'Ionio ad oriente di Capo Passero ed uno estratto a metà circa tra la Sicilia e la Sardegna.

Notevole si presentò il risultato di tali analisi, secondo le quali la parte più ricca di sabbie del fondo marino, nell'area scandagliata ad oriente di Capo Passero, constava principalmente di due categorie di minerali caratteristici e cioè di minerali di rocce neovulcaniche e di minerali di rocce intrusive e scistoso-cristalline.

A questa seconda memoria seguiva, pubblicato postumo a cura del Prof. Ettore Artini, l'ultimo studio del Salmojrighi (31), in cui venivano esaminati i risultati delle analisi di 15 saggi, estratti su una linea retta dall'Isola d'Elba al Capo S. Vito e di 17 saggi prelevati, pure su di una linea retta, dall'Isola di Tavolara all'Isola di Montecristo.

I saggi di fondo della zona centrale del Tirreno, secondo questi risultati sarebbero riferibili, nei riguardi della loro provenienza, alle coste della Corsica, caratteristica di queste ultime risultando l'esistenza degli anfiboli azzurri ed in genere quella del gruppo di minerali provenienti da rocce intrusive acide e da scisti cristallini, con rilevante frequenza degli epidoti, mentre poi l'augite, lo spinello, il granato melanite ed anche il sanidino, accennerebbero ad una provenienza laziale. Con l'avvicinarsi al litorale, gli elementi terrigeni prevalgono, e precisamente i minerali vulcanici di provenienza laziale prevalgono procedendo verso SE, mentre quelli di provenienza dalle rocce cristalline sardo-corse prevalgono procedendo verso NO.

A nessuno può sfuggire l'importanza di questi risultati anche ai fini pratici della razionale progettazione delle opere marittime, sia per la difesa dall'erosione delle spiagge, provocandone ad arte possibilmente il ripascimento, come pure per quella dagli interimenti perniciosi più propriamente portuali.

(30) F. SALMOJRAGHI, *Saggi di fondo di mare raccolti dal R. Piroscapo « Washington » nella campagna idrografica del 1882. Nota I^a*, in « Rend. R. Istit. Lombardo di Sc. e Lett. », S. II, vol. XLIII, 1910, p. 432.

(31) F. SALMOJRAGHI, *Saggi di fondo di mare raccolti dal R. Piroscapo « Washington » nella campagna idrografica del 1882. Nota II^a* (postuma), in « Rend. R. Istit. Lombardo di Sc. e Lett. », S. II, vol. XLIV, 1911, p. 951.

Dopo la morte del Salmojrighi, il Prof. Italo Chelussi (32) esaminava altri 55 saggi di fondo raccolti in diverse campagne idrografiche dalle navi della nostra Marina Militare, pervenendo alle conclusioni che seguono.

Prescindendo dal quarzo, dai feldspati e dai carbonati, esisterebbe in generale molta maggiore affinità nella composizione mineralogica tra i fondi di mare e le sabbie del litorale più prossimo ai punti di prelevamento, di quanto non ne sussista invece tra le sabbie litorali e le rocce della costa e dei bacini dell'entroterra.

Così, ad esempio, la pianura grossetana presenta, caratteristici delle proprie sabbie e terre, anfiboli azzurri, cianite, stauro-lite, granato, minerali che non si ritrovano tuttavia nelle rocce eoceniche di sedimento dei bacini che la circondano. La relativa abbondanza dell'augite verde, trovata nei saggi del Tirreno meridionale, indizierebbe quale presumibile provenienza il litorale calabro-campano, le cui spiagge si presentano quasi ovunque ricchissime di questo minerale.

Nel Golfo di Taranto si presenterebbero poi fondi marini ricchi d'anfibolo azzurro — di presumibile provenienza padana — e di pirosseno verde, di probabile origine pugliese.

Nei riguardi poi delle ricerche sulla provenienza delle sabbie emerse dei nostri litorali, il Salmojrighi ebbe pure ad occuparsi, a scopo comparativo, di due tipi di sabbia prelevati a Porto Corsini ed a Porto S. Giorgio, ritenendo di origine padana la sabbia di Sansego nel Carnaro, come pure quella della Dalmazia, nonché quella di Cherso e di Barcola, presso Trieste.

Secondo i risultati poi delle analisi psammografiche del Chelussi, le sabbie delle spiagge dell'Adriatico, da Porto Corsini sino a Silvi, sul litorale teramano degli Abruzzi — al largo del quale

(32) I. CHELUSSI, *Di alcuni saggi di fondo del Mediterraneo*, in « Boll. Soc. Geol. Ital. », vol. XXI, 1912, p. 79; ID., *Studio petrografico di alcune sabbie marine del litorale ionico e di quello tirrenico*, ibid., vol. XXXI, 1912, pp. 259-278; ID., *Nuove ricerche petrografiche sopra alcuni fondi di mare del Mediterraneo*, ibid., vol. XXXII, 1913, p. 143; ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA R. MARINA, *Introduzione al Portolano delle coste d'Italia*. Genova, 1911. Cfr. nel capitolo II: « Cenni intorno al litorali italiani considerati dal punto di vista geologico » (capitolo redatto da Arturo Issel), a p. 169; A. D'ARRIGO, *Premessa geofisica alla ricerca di Sibari*. Napoli, L'Arte Tipografica, 1959, pp. 192. Cfr., nel cap. XX: « Caratteristiche batilitologiche della piattaforma continentale della Piana di Sibari », le pp. 123-127.

ricade, in fondali di *m* 115, l'ugnatura della piattaforma continentale del Mare Adriatico, che raggiunge invece la profondità di *m* 137 in corrispondenza dell'antistante litorale dalmata, mentre arriva alla profondità di *m* 159 precisamente là dove la predetta linea d'ugnatura presenta più spiccato l'apice di massimo ingolfamento, e cioè pressoché sulla mezzzeria delle due opposte sponde adriatiche, se bene più prossima a quella dalmata — presentano composizione mineralogica (glaucofane, staurolite, cianite, cloritoide, epidoto) di caratteristici « elementi padani » e possono provenire tanto dalle deiezioni del Po, quanto dalle torbide dei corsi d'acqua del versante orientale dell'Appennino, sfocianti nell'Adriatico, dopo aver attraversato sedimenti elveziani e tortoniani, ricchi dei ricordati elementi e, secondo il Chelussi, in massima parte dal primo ed in minima dai secondi.

Da Silvi a Torino di Sangro gli elementi padani tendono a diminuire sensibilmente e si constata invece una notevole preponderanza del pirosseno verde (augite).

Da Casalbordino, poco dopo Torino di Sangro, fino a Termoli, il Chelussi ha riscontrato nelle sabbie delle spiagge adriatiche la scomparsa degli elementi padani. Anche l'augite vi si riscontra in diminuzione, sia nella quantità come pure nelle dimensioni individuali di ogni granellino, pur mantenendosi sempre elemento preponderante.

Le sabbie delle spiagge del Gargano presentano quale elemento preponderante, oltre ai carbonati, l'augite verde bottiglia.

A sud del Gargano, fra Trinitapoli e Bisceglie, le sabbie delle spiagge si depauperano del loro tenore di carbonati e risultano quasi esclusivamente costituite da minerali pirossenici (augite verde e verde chiara, passante a diopside): gli elementi padani vi compariscono in via del tutto eccezionale.

E' noto che l'augite è il minerale caratteristico per eccellenza delle sabbie atesine. All'Adige vi perviene dai melafiri e dalle porfiriti augitiche dei bacini del Trentino. L'augite si riscontra pure, come abbiamo già ricordato, nelle sabbie delle spiagge adriatiche più settentrionali, però mai in tale quantità da costituire la quasi totalità delle sabbie, come si verifica nei litorali sopra indicati.

R. Ludwig (33) ha rilevato come presso Barletta le onde del mare avessero spiaggiato sabbia ferromagnetica, proveniente dall'erosione « che il fiume Ofanto arreca ai terreni vulcanici, del Vulture. Questa sabbia forma uno strato che s'incontra per una grande estensione sul fondo marino e sulla spiaggia ».

Ad analoga conclusione perveniva il Cornaglia stesso, nei riguardi dell'origine e della provenienza delle materie d'interimento a Bari (« nel cui porto nuovo — come scriveva — ben abbondanti si rinvenivano le sabbie vulcaniche del Vulture in valle d'Ofanto, la quale sbocca in mare a km. 90 circa a ponente di Bari ») in base alle analisi petrografiche effettuate dal Prof. Lorenzo Bucca e dall'Ing. P. Zezi.

Ma il Chelussi ha confutato tale ipotesi, non essendogli sembrato persuasivo, e quindi attendibile, che la formazione delle sabbie delle spiagge pugliesi fosse dovuta alle torbide fluitate ed immerse in mare dall'Ofanto, che le avrebbe erose dalle rocce del Vulture, l'unico vulcano del versante orientale dell'Appennino, a causa dell'abbondanza, in tali sabbie, dell'augite (pirosseno verde) a nord del promontorio del Gargano, e per l'assenza di minerali caratteristici, come la haüyna, la leucite, la noseana nonché, invece, per la presenza, nelle sabbie delle predette spiagge, di glaucofane e di staurolite, che non possono trovarsi per contro in rocce neovulcaniche, quali risultano invero precisamente quelle del Vulture.

Concludeva quindi il Chelussi (34) che « per conseguenza, per queste sabbie e per quelle della costa pugliese la loro *origine è da ricercarsi nel mare*. E la cosa non può sembrare inverosimile, quando si pensi alla poca profondità del Golfo di Manfredonia, in cui la linea dei 10 metri si porta a più di 3 miglia dalla costa, quella dei 20 fino a 50 metri anche a 40 chilometri, e quando si consideri che il vento più forte dell'Adriatico, la *Bora*, spirava da NE e da NNE, per cui il flutto di fondo, la cui azione va oltre i 40 metri (Cialdi), agisce sopra una grandissima estensione

(33) R. LUDWIG, *Geologische Bilder aus Italien*, in « Bull. Soc. Imp. des Nat. de Moscou », vol. XLVIII, 1874.

(34) I. CHELUSSI *Contribuzioni alla psammografia dei litorali italiani*, in « Boll. Soc. Geol. Ital. », vol. XXX, 1911, p. 201.

e rigetta alla riva i detriti di una roccia prevalentemente pirossenica; la quale, insieme ad altre rocce eruttive nonché a rocce di sedimento, si estendeva, come dimostrano i lavori del De Stefano, del Viola, del Martelli e dei geologi tedeschi, dalle coste dalmate a quelle pugliesi, e i cui avanzi sarebbero le isole di Lissa, lo Scoglio Melisello, lo Scoglio Pomo e la Punta delle Pietre Nere, presso il Lago di Lesina, a nord del Gargano ».

Da Scilla sino a Napoli, le sabbie litorali risultano prevalentemente costituite da pirosseno verde, magnetite ed ilmenite. Da Napoli fino a Civitavecchia, non v'è nessuno dei 18 campioni, analizzati dall'Uzielli (35), che non contenga l'augite e, molti di essi, anche magnetite, ilmenite e zircone. Risultano pure ricchissime di augite e di minerali magnetici anche le sabbie del litorale toscano (Follonica, Torre Mozza, Albegna, Tombolo della Giannella).

Da Follonica, risalendo il litorale fino a Ventimiglia, le sabbie delle spiagge non contengono quasi più il pirosseno e la magnetite, anzi moltissime di esse ne sono del tutto carenti.

Concludeva quindi il Chelussi come a settentrione, in corrispondenza dei due litorali adriatico e ligure-toscano, predominano, nelle sabbie litoranee, minerali caratteristici delle Alpi, specialmente delle Alpi Occidentali, mentre nei litorali meridionali, fatte poche eccezioni, prevalgono sabbie nelle quali gli elementi principali risultano l'augite verde anzitutto e poi la magnetite, l'ilmenite ed i plagioclasti basici.

Il limite tra sabbie pirosseniche — elementi caratteristici di rocce neovulcaniche — a sud, e sabbie ad elementi alpini, a nord, può essere approssimativamente ubicato un po' a mezzogiorno del parallelo di 43° , presso che all'altezza, nell'Adriatico, della linea d'ugnatura della piattaforma continentale, com'è stata precedentemente identificata, e, nel Tirreno, in corrispondenza dell'Arcipelago Toscano.

(35) G. UZIELLI, *Sopra lo zircone della costa tirrena*, in « Atti R. Acc. Lincei », P. II, vol. III, S. 2, 1876, pp. 862-877.

Riepilogando, salvo rare eccezioni — in presenza, ad es., di sensibili correnti di marea (Stretto di Messina (36) : nel Tirreno, rasente il litorale calabro, da Palmi a Villa S. Giovanni, e nello Ionio, al largo del litorale siculo da S. Agata al Faro di Capo Peloro; Litorale Veneto, dalla foce del Piave al portocanale di Lido), in corrispondenza dei filoni delle quali tende a modellarsi lo sviluppo longitudinale principale e quello trasversale secondario dei relativi *canyons* — i filoni e subfiloni assiali di *thalweg*, nei mari italiani almeno, risultano in genere ad andamento trasversale, e cioè perpendicolare al litorale antistante alla loro intestatura, diretti così sensibilmente secondo la traversia locale principale. Rappresentano pertanto guide obbligate e vie naturali di più facilitato accesso — perché sedi appunto di maggiori concentrazioni energetiche (*cascading* del Cooper, *upwelling* o *montée d'eaux profondes* del Bourcart, provocata dal *mistral* in Provenza) — alle masse acquee in movimento.

Attraverso le predette valli, le acque tendono quindi ad incanalarsi e ad ingolfarsi sempre più, facendo convergere e perciò intensificando la loro azione dinamica di risulta, in corrispondenza appunto delle zone di spiaggia antistanti, che risultano pertanto quelle, *caeteribus paribus*, costituzionalmente più vulnerate o più vulnerabili — *loci minoris resistentiae* — e di conseguenza quelle più criticamente erose.

E' questo il motivo precipuo dell'insuccesso, conseguito nei grandi centri balneari delle spiagge di Long Beach in California, di Deauville, e di Le Zoute nel Belgio, dove il tentativo di stabilizzarvi artificialmente le sabbie, fattevi refluire in corrispondenza della battaglia smagrita, non è riuscito ad impedire l'asportazione per successiva periodica erosione marina.

Infatti, persistendo sempre la via aperta, attraverso l'intestatura dell'antistante *canyon*, al libero ingresso delle acque aggressive, l'erosione non può che ripetersi recidivamente, sia nei riguardi della sabbia naturalmente depositatasi — per espansione delle

(36) Per quanto concerne in particolare lo Stretto di Messina, il tracciamento dei *canyons* principali — ad andamento longitudinale e cioè parallelo al litorale — e di quelli secondari — ad andamento trasversale, ossia perpendicolari al litorale antistante — ramificantisi dai primi, si trova riprodotto nella fig. 3, a p. 58 del fasc. 10 della « Rivista Marittima », 1954.

zone intervallari contigue, specie durante le piccole mareggiate, profilo d'equilibrio sottile permettendo — come pure nei riguardi della sabbia artificialmente refluitavi.

L'esatta ubicazione e le caratteristiche configurative di ricostruzione morfografica delle direttrici assiali di *thalweg* sottomarino (canaliformi trasversali, oppure longitudinali, ovvero vorticiiformi) risultano quindi elementi di primo piano, basilari per la razionale diagnosi genetica delle caratteristiche erosive patologiche, più o meno cronicizzate o tendenti fatalmente a cronicizzarsi, delle spiagge smagrite, in vista delle prospettive terapeutiche più appropriate.

Da quanto è stato premesso verrebbero a conseguirne, in conclusione, nuove proficue prospettive, ai fini dell'efficiente economia delle opere di difesa delle spiagge dall'erosione marina, prospettive intese a sbarrare, possibilmente, la via d'infilata più diretta alle acque aggressive, o quanto meno a sviarne la direttrice verso i contigui *interfluves* latitanti sottomarini.

Quando ciò, per motivi di particolare fisiografia locale, dovesse presentare difficoltà notevoli, dal punto di vista esecutivo, sarebbe comunque sempre consigliabile procurare che le opere di difesa, onde evitarne il pericoloso scalzamento del piede, risultino ubicate non solo a congrua distanza dalla battigia e dall'intestatura del *canyon*, ma altresì sufficientemente al largo delle zone reattive vorticose, tendendo ad ostacolare così, quanto più possibile, la via diretta d'infilata alle acque di massima aggressività, assai prima però che possa essere raggiunta la riva o le stesse strutture di protezione. Queste ultime, in ogni caso, conviene che restino sempre correlate all'effettiva ubicazione dei filoni assiali, evitando o quanto meno attenuando la concentrazione energetica più pericolosa, cercando di stornare, disperdere, dissipare quanto più possibile il vivo dell'energia cinetica distruttiva.

Per la spiaggia compresa tra Marina di Carrara e Marina di Massa, ad es., il pericolo maggiore sarebbe rappresentato — se ancora sussistente la batimetria dell'ultimo rilievo dell'Istituto Idrografico della Marina Militare, precedentemente ricordato — dal *canyon* (nonché dalle sue diramazioni arborescenti laterali),

morfograficamente pronunciatissimo, ricadente tra l'isobata dei *m* 14 e quella dei *m* 24, la cui intestatura rimane ubicata a circa 7 *km* dalla riva (carta nautica n. 3: « Da Portofino al Gombo »).

SUMMARY. — After a short introduction on the aspects of the sea-erosion and on the research made to avoid its consequences, even in Italy, the A. hints at the presence of submarine canyons off some of the Italian coasts, canyons which, being the natural ways for the water currents, and the centre of the most powerful energy, are the principal causes of the stages of the erosion in the corresponding beach. The A. dwells on the different types of rocks in which such underwater valleys are excavated, on the characters and origin of the sediment existing between valley and valley and in the areas emerging on the corresponding beaches. Eventually he suggests a systematic observation, periodically brought up to date, of the position of the morpholithological characteristics of the submarine canyons, in the coast platform, in order to provide a more effective defence, with suitable protecting works for the beach attacked by the sea.