

ALBERTO ANTONIAZZI

LO STATO ATTUALE DELLE RICERCHE
SUL FENOMENO DELL'EROSIONE MARINA
NEL LITORALE FORLIVESE

Estratto da *Studi Romagnoli*, XX (1969)

FAENZA - FRATELLI LEGA - EDITORI

ALBERTO ANTONIAZZI

LO STATO ATTUALE DELLE RICERCHE
SUL FENOMENO DELL'EROSIONE MARINA
NEL LITORALE FORLIVESE

PREMESSA

Il presente studio riguarda il litorale forlivese, cioè la parte meridionale dell'ampio arco costiero romagnolo esteso per circa 43 chilometri tra La Tagliata al confine con la provincia di Ravenna e la foce del torrente Tavollo al confine con la provincia di Pesaro. Volendo, tuttavia, tener conto delle principali fonti di sedimenti per la spiaggia forlivese, le ricerche sono state estese al litorale ravennate fino alla foce del fiume Savio e a quello pesarese fino alla foce del fiume Foglia. Viene così considerato un tratto costiero lungo circa 70 chilometri.

Il litorale romagnolo-marchigiano studiato è formato da una costa bassa, con una spiaggia quasi esclusivamente sabbiosa, nel tratto tra la foce del fiume Savio e quella del torrente Tavollo (Cattolica), e da una costa alta a falesia, con una spiaggia quasi esclusivamente ghiaiosa, tra le foci del Tavollo e del fiume Foglia (Pesaro). La costa bassa appartiene alla Romagna, quella alta alle Marche.

Secondo una stima, basata su un lavoro recente (1), solo il 46% circa della spiaggia lungo questo litorale attualmente è stabile o in protendimento, mentre il 29% è soggetto a fatti

(1) A. ANTONIAZZI, *Lineamenti granulometrici e calcimetrici della spiaggia emersa e sottomarina lungo il litorale romagnolo-marchigiano tra le foci dei fiumi Savio e Foglia*, in « Boll. Mens. Camera Comm. di Forlì », 1971, n. 6, pp. 73-82.

erosivi di varia intensità e il 25% è protetto da scogliere frangiflutto o da altre opere di difesa.

Questi dati schematici consentono una chiara intuizione delle vive preoccupazioni destinate, direttamente o indirettamente, dall'erosione marina nelle popolazioni dei prestigiosi centri balneari romagnoli.

IMPORTANZA DEL TURISMO BALNEARE

Il turismo balneare incide in misura fondamentale nella vita economica e sociale della provincia di Forlì e rappresenta la risorsa fondamentale delle popolazioni della riviera. Il tratto costiero esteso da Cesenatico a Cattolica è, infatti, meta di un flusso turistico imponente, che nel dopoguerra ha rivelato un ritmo di sviluppo superiore ad ogni altra zona della penisola (2). Questo ha determinato la costituzione di un patrimonio di oltre 81.000 camere, delle quali oltre 41.000 alberghiere, pari a quasi al 98% delle camere disponibili negli alberghi, pensioni e locande dell'intera provincia di Forlì. Si tratta di un patrimonio alberghiero di rilievo anche su scala nazionale e un tentativo di stima del capitale investito fa raggiungere cifre vertiginose.

Dal punto di vista commerciale è rilevabile il fatto che oltre il 48% delle licenze di commercio fisso e ambulante e per pubblici esercizi della provincia di Forlì riguarda i comuni della riviera. Attribuendo, poi, alle popolazioni dei comuni lungo la spiaggia gli stessi consumi per persona riscontrati nel comune di Forlì ed attribuendo ai turisti i maggiori consumi riscontrati nell'area litoranea si ha che, ad esempio, il turismo assorbe il 28% del totale annuo dei consumi di carne nella provincia di Forlì; il 40% del consumo di liquori e il 44% dei consumi di vino e di bevande non alcoliche.

La stessa popolazione dei comuni del litorale forlivese ha subito nel decennio 1958-1968 un incremento di oltre 47.000 unità, un incremento quasi uguale a quello verificatosi, nello stesso periodo, nell'intero territorio provinciale. Questo ha fatto sì che la popolazione residente nei comuni della riviera passasse dal 28 al 34% del totale provinciale.

(2) I dati citati sono stati gentilmente forniti dall'Ufficio Studi della Camera di Commercio di Forlì. Quando non è indicata una data diversa si riferiscono al 1968.

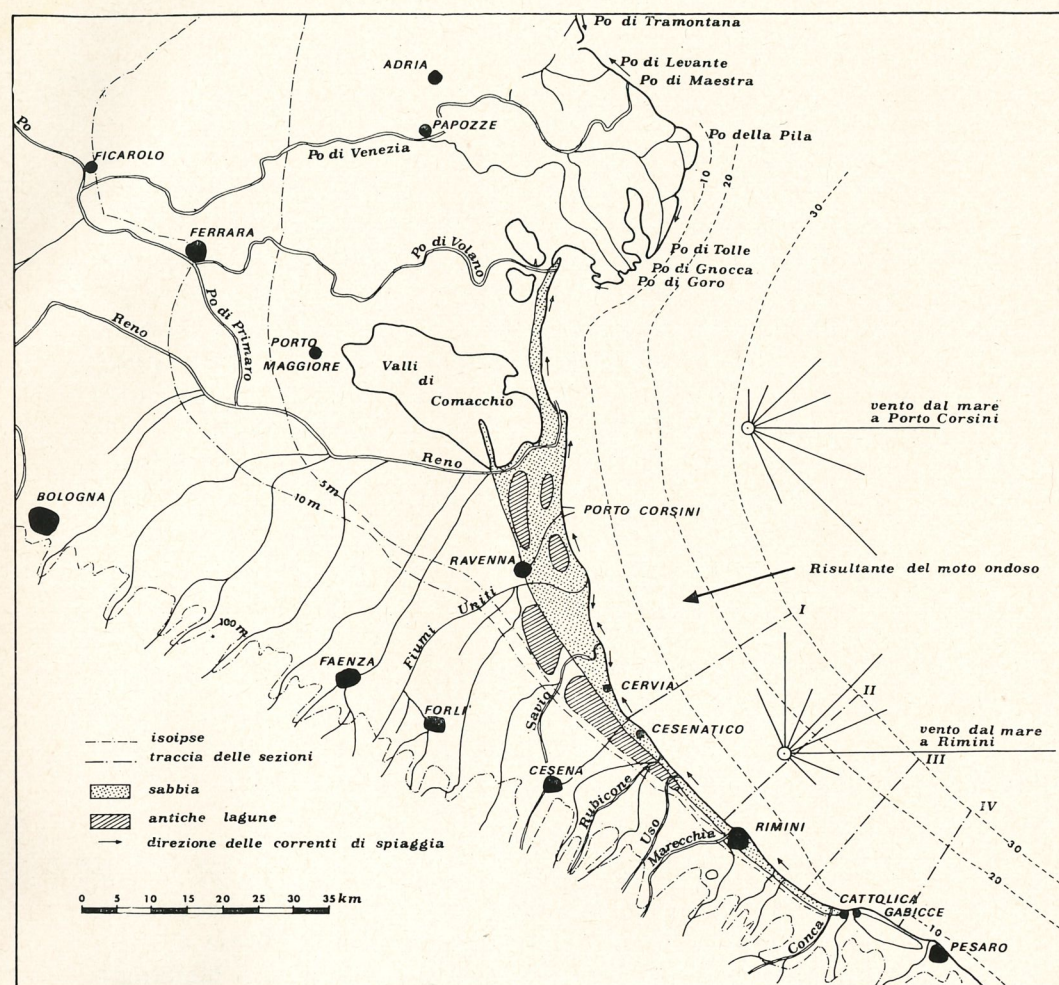


Fig. 1 — Situazione della costa romagnola.
(Ridisegnato da DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit.)

L'incidenza del turismo balneare sull'economia della provincia di Forlì è, quindi, determinante sia per l'apporto di valuta nazionale ed estera, sia come mercato di sbocco di produzioni agricole ed industriali locali e nazionali, sia a causa dell'assorbimento di manodopera.

Quanto esposto fa chiaramente intendere il valore dei tre chilometri quadrati scarsi di spiaggia emersa utilizzata o utilizzabile a scopo balneare, distribuiti come una fascia continua, ma di profondità variabile, lungo i quasi 43 chilometri del litorale forlivese.

LE EROSIONI NELLA SPIAGGIA FORLIVESE

L'erosione delle spiagge forlivesi ad opera del mare è un fatto del nostro secolo. Il Borghi (3) nel 1938 concludeva il suo fondamentale studio sulle variazioni della linea di costa nel litorale forlivese affermando che « per tutto il secolo scorso [la costa] ha continuato in generale ad avanzare in misura più o meno lenta, salvo qualche limitato arretramento localizzato ».

Nel 1938, secondo questo studio, le erosioni erano praticamente concentrate nei tratti di costa tra il territorio di Gatteo e di Igea Marina, tra Viserba e il porto di Rimini, nel litorale di Misano. Oggi (4) quasi tutti i comuni della riviera forlivese sono direttamente interessati, anche se in diversa misura, dal problema delle erosioni marine, che si sono andate estendendo ed aggravando progressivamente, impoverendo la spiaggia, minacciando abitati, danneggiando la viabilità litoranea, distruggendo edifici e provocando la realizzazione di opere di difesa, come le scogliere frangiflutto, che hanno profondamente modificato certi tratti del nostro paesaggio marino.

LE RICERCHE SULL'EROSIONE MARINA

Nel dopoguerra, in concomitanza con l'aggravarsi, l'estendersi e lo spostarsi dei fenomeni di erosione marina nel litorale forlivese, fiorirono, generalmente con prospettive molto particolaristiche, iniziative locali per realizzare opere di difesa e, qualche volta, per promuovere studi sulle cause dei fatti lamentati. Contemporaneamente si accesero polemiche circa gli effetti che le opere costruite o progettate su un tratto di costa avevano provocato o potevano provocare nei tratti limitrofi. Vi furono anche iniziative di maggior respiro, come quella presa a Cesenatico nel 1963, che portò alla costituzione di un « Comitato per la difesa del litorale romagnolo-marchigiano » tendente a superare i particolarismi e ad impostare lo studio e la difesa delle spiagge emerse in modo unitario e armonico. Queste iniziative non riuscirono che in minima parte a conseguire le mete proposte,

(3) G. BORGI, *Le spiagge romagnole da Cervia a Gabicce*, in *Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane - VII: Le spiagge padane*, C.N.R., Roma 1938, p. 119.

(4) A. ANTONIAZZI, *Lo stato attuale delle conoscenze sui fenomeni di erosione marina nel litorale forlivese*, in « Boll. Mens. Camera Comm. di Forlì », 1967, n. 6, pp. 72-104; n. 7, pp. 39-58.

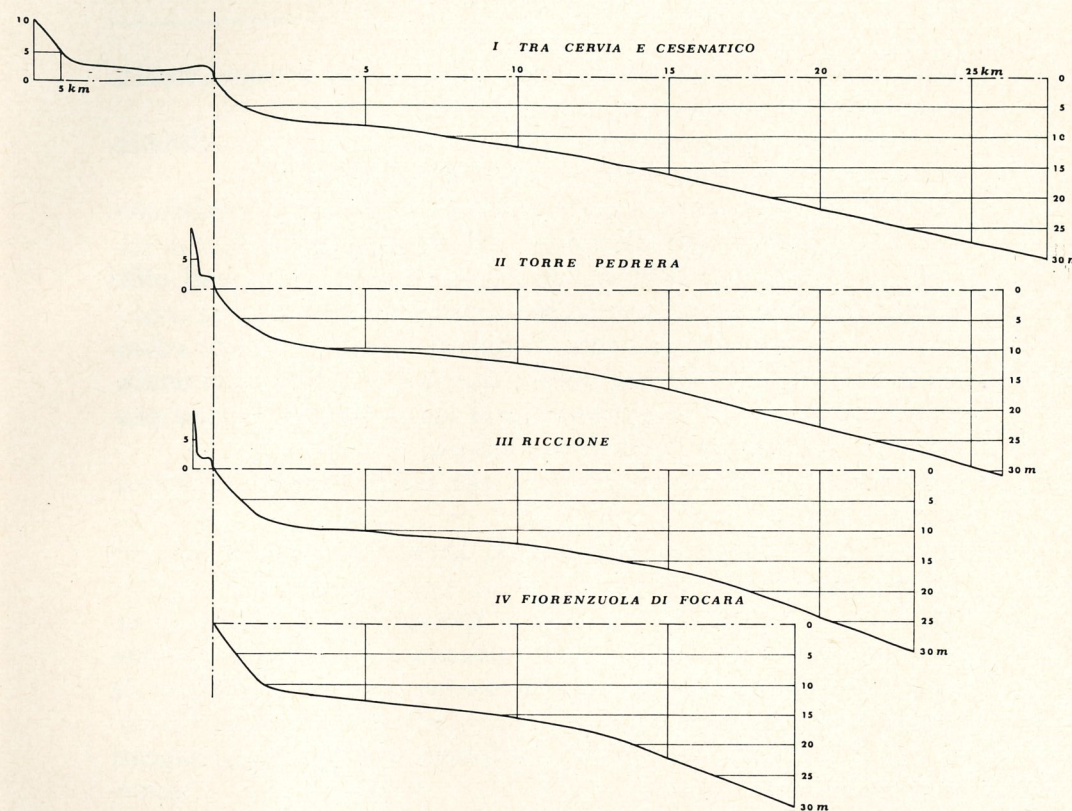


Fig. 2 — Andamento dei fondali lungo le quattro sezioni indicate nella figura n. 1. (Ridisegnato da DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit.)

tuttavia sensibilizzarono l'opinione pubblica e gli enti al problema.

Nell'aprile del 1965 Evaristo Zambelli, presidente della Camera di Commercio di Forlì, si fece promotore di un apposito comitato con lo scopo di promuovere un organico programma di ricerche sulle cause del fenomeno in continuo aggravamento delle erosioni marine e sui possibili rimedi. Alla presidenza di questo comitato fu chiamato Giancarlo D'Orazio, che nel maggio del 1964, nella sua qualità di presidente dell'Azienda Autonoma di Soggiorno di Riccione, aveva illustrato, nel Convegno di studi sui « Problemi del turismo in Romagna », le linee d'azione successivamente fatte proprie dal comitato costituito presso la Camera di Commercio forlivese (5). In quel convegno aveva in-

(5) A far parte di questo Comitato furono chiamati, tra gli altri, l'ingegnere capo del Genio Civile Opere Marittime di Ravenna Franco Finzi, il prof. Tino Lipparini del Servizio Geologico d'Italia, l'ing. Luciano Ravaglia e lo scrivente.

fatti precisato le dimensioni del problema delle erosioni marine e le difficoltà inerenti:

— alla mancanza di una precisa regolamentazione che permetta un'azione controllata ed efficiente sugli arenili;

— alla mancanza di dati riguardo a molti fenomeni che concorrono a determinare l'erosione delle spiagge;

— ai non ben definiti limiti di competenza fra i vari uffici pubblici, che agiscono con scarsa coordinazione tra loro;

— al fatto che le opere di difesa vengono studiate ed attuate per iniziativa di enti locali, con loro aggravio economico, e, se arrecano qualche giovamento al luogo stesso, possono provocare nocimento alle località contigue.

Sulla base di questa analisi e per far fronte alla situazione aveva proposto:

a) un piano di lavoro e di spesa per i rilievi e le ricerche occorrenti;

b) un piano di lavoro e di spesa relativo a prove di laboratorio o al naturale riguardanti più mezzi di difesa atti a combattere l'erosione e, nel contempo, tali da non deturpare la spiaggia;

c) alcuni emendamenti ed integrazioni alle leggi vigenti che riguardano il settore.

Dopo alcune riunioni iniziali, che servirono per impostare correttamente la propria azione, la commissione di studio costituita presso la Camera di Commercio di Forlì, ai cui lavori aveva presenziato anche il compianto prof. Umberto Toschi, direttore dell'Istituto di Geografia dell'Università di Bologna, affidò al prof. Tino Lipparini l'incarico di una prima indagine.

Alla fine dell'estate del 1965 il prof. Tino Lipparini svolgeva una « Relazione preliminare sulle prime indagini sull'erosione di alcuni tratti di spiaggia del litorale romagnolo », in cui:

a) sottolineava la validità delle ricerche e delle conclusioni del Borghi circa le cause dell'erosione marina, affermando che « è fin troppo evidente che là dove sono costruiti, o prolungati i moli (Cesenatico, Rimini, Cattolica) la spiaggia a sud dell'opera ha largamente guadagnato sul mare, mentre la costa a nord, privata del naturale ripascimento, è entrata in fase di arretramento per il prevalere dell'azione erosiva del mare » e concludeva con le parole del Borghi « se l'opera dell'uomo non avesse alterato il regime dei bacini fluviali e la libera evoluzione della linea di spiaggia ... non si sarebbero avute le accentuate perdite

delle spiagge a ponente dei porti di Rimini e di Cesenatico »;

b) esaminava poi i risultati ottenuti dalle varie opere di difesa sperimentate nei tratti di erosione;

c) proponeva, infine, di ripetere le misure topografiche effettuate dal Borghi nel 1938 per ottenere un bilancio obiettivo dei successivi accrescimenti e regressioni della spiaggia.

Dopo questa attività iniziale, per difficoltà di vario genere, i lavori della commissione di studio procedettero assai lentamente fino a che le violente mareggiate del novembre 1966, e i loro effetti sugli arenili e sulle opere litoranee nel Forlivese, non posero nuovamente in primo piano i problemi dell'erosione marina.

Il prof. Tino Lipparini, non potendo partecipare per vari impegni improrogabili ai lavori della commissione, molto gentilmente, fece il mio nome per proporre ulteriori indagini per uno studio approfondito dei fenomeni di erosione marina. Fu così che la commissione giunse nella determinazione di fare il punto sulla situazione mediante la raccolta e l'elaborazione di tutti gli elementi reperibili e facilmente rilevabili sul fenomeno; in modo da impostare, su questa base, senza ulteriori incertezze e dispersioni, le ricerche e le sperimentazioni necessarie per giungere ad un razionale ed organico sistema di interventi difensivi sul litorale.

Lo schema di studio prevedeva la ricerca di elementi atti a puntualizzare:

a) i lineamenti geomorfologici fondamentali della costa;

b) il dinamismo atmosferico e talassografico che caratterizza il litorale;

c) le variazioni progressive della linea di spiaggia;

d) il movimento dei materiali lungo la spiaggia;

e) le cause delle variazioni in atto (6).

Un ulteriore contributo all'unitarietà e all'organicità degli studi sull'erosione marina venne dal coordinamento tra l'attività della commissione istituita presso la Camera di Commercio forlivese e le ricerche su questo fenomeno, che il presidente dell'Ente Provinciale per il Turismo di Forlì Mario Pari, giustamente

(6) Nel dicembre del 1966 mi fu affidato, dalla Camera di Commercio forlivese il compito di coordinatore delle indagini sull'erosione marina. La messe di materiali raccolta, mediante una serie di richieste ad enti, istituti specializzati, comuni ecc. fu veramente abbondante ed imprevista e concerneva pubblicazioni, studi, foto aeree, rilievi aerofotogrammetrici, relazioni idrauliche, progetti di difesa, stati d'opere ecc. Una prima relazione sul materiale raccolto fu svolta nel febbraio 1967 durante una riunione della commissione presso la sede camerale di Forlì.

preoccupato dall'aggravarsi dei fenomeni erosivi, aveva affidato autonomamente al Laboratorio Idraulico di Delft (Olanda), un istituto di provata esperienza circa i problemi della lotta dell'uomo contro il mare.

Nell'aprile del 1967, per la cortesia del Presidente dell'Ente Provinciale per il Turismo di Forlì, ebbi modo di incontrare, accompagnare nei rilievi lungo il litorale forlivese ed avere ampi scambi di idee con l'ingegnere Eco Wiebe Bijker, allora vice direttore del Laboratorio Idraulico di Delft e attualmente docente di Ingegneria costiera presso l'Università tecnologica di Delft. Questi scambi di idee e di informazioni continuarono per corrispondenza e mi dettero la conferma della sostanziale validità dello schema di ricerca impostato dalla commissione della Camera di Commercio forlivese.

Alla fine del giugno 1967 ho sottoposto alla commissione tecnica la sintesi, pubblicata successivamente a cura della Camera di Commercio (7), degli elementi raccolti sulla situazione del litorale forlivese, cercando di fornire un quadro d'insieme valido soprattutto per stabilire i limiti delle conoscenze disponibili sul problema e per impostare concretamente un organico programma di studi, di ricerche e di progettazioni per la difesa della spiaggia, che si è proposto:

- la prevenzione dell'erosione marina dei tratti di spiaggia non ancora colpiti e il miglioramento di quelli già impoveriti;
- la manutenzione e il miglioramento dei porti locali ad uso peschereccio e turistico.

L'attuazione del programma è stata articolata nei seguenti tre punti:

I) raccolta ed elaborazione dei dati facilmente reperibili o rapidamente rilevabili in modo da ottenere un quadro, il più possibile organico, accurato ed aggiornato della situazione del litorale forlivese;

II) raccolta ed elaborazione dei dati necessari alla progettazione di un coordinato sistema di opere e di interventi difensivi lungo la costa forlivese;

III) progetto di difesa e di sistemazione del litorale.

Nella seconda metà del 1968, è pervenuta all'Ente Provinciale per il Turismo di Forlì una relazione preliminare del Labo-

(7) ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.

ratorio Idraulico di Delft (8), con varie considerazioni interessanti e con la richiesta di particolari approfondimenti del programma di indagini previsto. Tale relazione si è rivelata particolarmente utile in quanto è risultata complementare ed integrativa, specie sul piano dell'elaborazione tecnica dei dati, di quella da me presentata (9).

Con l'acquisizione di questi due lavori si è conclusa la prima parte del programma di studi. Il secondo tempo è in corso: alcune ricerche sono già completate, altre sono in attuazione. La realizzazione del terzo tempo, quello conclusivo del programma, dipende dal completamento di questa seconda fase (10).

Da qualche anno, infine, con scopi di conoscenza generale, è ripresa in modo incisivo l'attività del Consiglio Nazionale delle Ricerche sui problemi dei litorali. Vari istituti universitari hanno ottenuto finanziamenti per ricerche di carattere geomorfologico e talassografico anche sulle nostre coste. Questo ha notevolmente alleggerito il peso dei programmi che gravavano sugli enti locali, specie in merito ai rilievi di precisione dell'andamento dei fondali e alla registrazione del moto ondoso in mare aperto.

Terminata l'esposizione, per così dire, cronologica dei problemi posti dall'erosione marina nel litorale forlivese e, dopo aver accennato all'impostazione ed allo stato attuale delle ricerche (11), pare opportuna una breve sintesi delle conoscenze acquisite sul fenomeno.

GEOMORFOLOGIA COSTIERA

Nel litorale in esame la linea di costa descrive un ampio arco, il cui andamento è così schematizzabile: NNO-SSE tra la foce del fiume Savio e Cervia; NO-SE tra Cervia e Cattolica; quasi E-O nei pressi di Gabicce; ONO-ESE tra Castel di Mezzo e Pesaro.

(8) DELFT HYDRAULICS LABORATORY NETHERLANDS, *The Coast of the Province of Forlì*. R 429, June 1968. Di questo rapporto, ancora inedito, saranno qui pubblicati vari stralci per gentile concessione del presidente dell'Ente Provinciale per il Turismo di Forlì Mario Pari, per conto del quale Ente il Laboratorio di Delft eseguì la ricerca.

(9) ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.

(10) L'azione concorde della Camera di Commercio e dell'Ente Provinciale per il Turismo di Forlì ha consentito l'attuazione di una parte notevole del programma di ricerche previsto.

(11) La valorosa attività di singoli ricercatori, che non si è mai spenta, verrà citata di volta in volta nelle parti successive di questo lavoro.

Esaminando piú particolareggiatamente i singoli tratti dell'arco litoraneo, la situazione si rivela piú complessa di quanto descritto, in quanto la linea di costa è articolata da dolci prominenze, in corrispondenza delle foci fluviali, e da deboli e ampie insenature tra una foce e l'altra. Fa eccezione il tratto di costa alta tra Gabicce e Pesaro.

In particolare si possono osservare, procedendo da nord verso sud: il dolce delta del fiume Savio; una insenatura quasi impercettibile tra le foci dei fiumi Savio e Marecchia, interrotta dalla discontinuità della battigia a N e a S del porto canale di Cesenatico; il delta del fiume Marecchia con la discontinuità della linea di costa a N e a S del porto canale; l'insenatura di Riccione-Cattolica; la costa alta, infine, delle Marche.

Nel litorale romagnolo, come fa osservare il Toschi, « il contatto fra le terre emerse e il mare avviene lungo una costa bassa. Dalla parte di terra essa è costituita da una larga spiaggia sabbiosa, che sale lentissima fino ad una serie di basse formazioni dunose (dove sono conservate). Dalla parte del mare la stessa lieve pendenza prosegue, lasciando solo posto ad un velo di acque sottili, pur variando fra scanni e fosse, del resto appena sensibili, fino a notevole distanza » (12). Nel litorale marchigiano un rilievo collinare litoraneo, alto 150-200 metri, si raccorda con una ripida falesia al mare. Una sottile fascia di ghiaia marca il contatto tra la terra e l'acqua.

Nel litorale fra la foce del fiume Savio e Pesaro, in particolare, si notano, procedendo dalla battigia verso l'interno:

a) una spiaggia sabbiosa, disposta come una fascia continua, che si assottiglia nella parte meridionale del litorale, dove dà luogo ad una spiaggia ghiaiosa poco estesa;

b) una successione di lidi e spiagge morte, che si restringe, procedendo dalla foce del Savio a quella del Rubicone, per poi procedere come un nastro continuo fino a Cattolica;

c) un'area triangolare, che si assottiglia e chiude a sud di Cesenatico, in cui figurano lagune morte che in parte ospitano le saline di Cervia;

d) un'area allungata di alluvioni terrazzate, che si restringe verso sud fino a dare luogo alla collina litoranea pesarese e che, a sud di Bellaria, è terrazzata verso il mare da un'erta scarpata di pochi metri, corrispondente ad una antica linea di spiaggia;

(12) U. TOSCHI, *Emilia-Romagna*, Torino 1961, p. 65.

e) una collina arenacea e argillosa, che, ancora interna nel cesenate, giunge direttamente a perpendicolo sulla spiaggia ghiaiosa nel Pesarese (13).

Procedendo dalla battigia verso il largo la pendenza dei fondali si accresce scendendo da Cervia verso Pesaro. Infatti l'isobata di —10 metri dista oltre sette chilometri dalla costa nella zona di Cervia-Cesenatico, si avvicina a meno di quattro chilometri nel Riminese e raggiunge distanze anche inferiori ad un chilometro e mezzo nel Pesarese. La pendenza media dei fondali, rispetto a questa isobata (14), sale così dall'1,3% al 7%.

Nella figura 1 è rappresentata la situazione della costa romagnola secondo un disegno schematico allegato al citato rapporto del Laboratorio Idraulico di Delft.

I CORSI D'ACQUA

I principali corsi d'acqua, che si gettano nel mare lungo il litorale considerato e il cui trasporto solido può essere importante come fonte di sedimenti per la spiaggia, sono: il Savio, il Pisciatello, il Rubicone, l'Uso, il Marecchia, l'Ausa, il Marano, il Melo, l'Agina, il Conca, il Ventena, il Tavollo e il Foglia. Vediamo ora alcune caratteristiche dei bacini imbriferi di questi corsi d'acqua.

Fiume Savio — Nasce dal M. Castelvecchio (m 1.254). Il suo bacino è di 605 km². A monte di S. Piero in Bagno questo bacino è interessato dalle alternanze di arenarie e marne stratificate nella formazione marnoso-arenacea (Elveziano-Tortoniano) e dalle marne di Verghereto (Tortoniano); in via subordinata sono presenti il complesso caotico prevalentemente argilloso delle « argille scagliose » con esotici arenacei tipo macigno del Paleogene. Tra S. Piero in Bagno e Mercato Saraceno predomina la formazione marnoso-arenacea; solo sul versante destro del fiume si presentano le « argille scagliose » con vari esotici, nel tratto tra Sarsina e Strigara. A valle di Mercato Saraceno prevalgono rocce marnoso-argillose con limitate intercalazioni gessifere fino a Borello, rocce arenacee messiniane fino a Cesena. Il fiume, suc-

(13) Si veda in proposito la carta geomorfologica del litorale forlivese, in ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.

(14) Questi dati sono stati ricavati dalla Carta nautica in scala 1:100.000 dell'Istituto Idrografico della Marina.

cessivamente, scorre nelle alluvioni della pianura. Una ristretta fascia di alluvioni terrazzate accompagna il letto fluviale dalla zona montana fino a Cesena.

Torrente Pisciatello — Questo corso d'acqua trae origine dai colli di Strigara (m 509) e affluisce nel Rubicone a circa due chilometri dal mare. Il suo bacino imbrifero di circa 42 km² riguarda rocce arenacee del Messiniano in collina e alluvioni quaternarie in pianura.

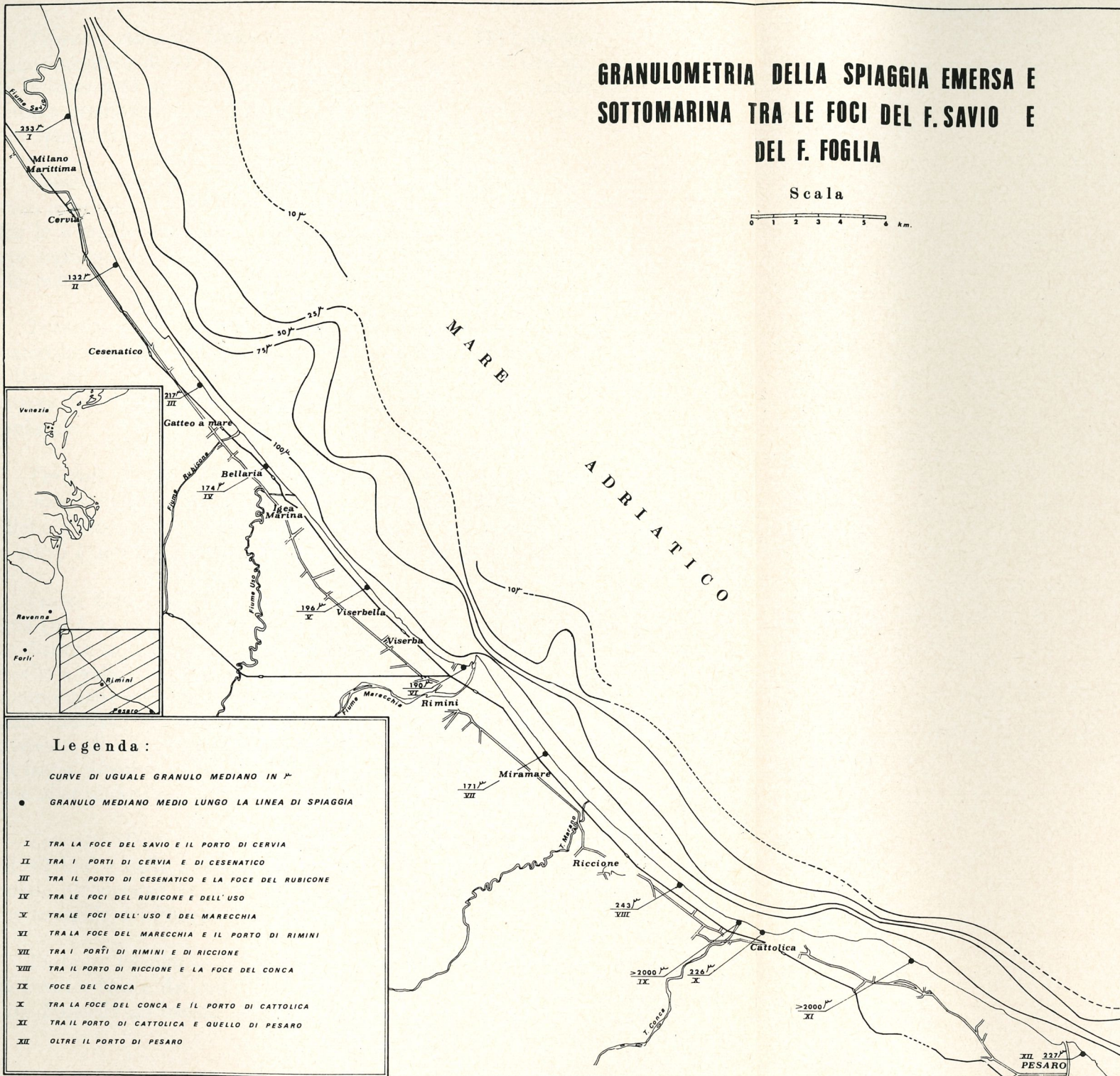
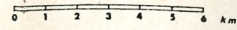
Fiume Rubicone — Nasce nella zona collinare tra Sogliano e Strigara. Con un bacino di 41 km² attraversa dapprima un limitato affioramento di « argille scagliose » e di rocce arenacee messiniane, attraversa poi una fascia di marne-argillose e di arenarie del Messiniano e del Pliocene, scorre infine, per circa metà del suo corso, nelle alluvioni della pianura.

Fiume Uso — Nasce nei monti di Perticara (m 883). Il suo bacino imbrifero è di circa 104 km². Fino a S. Giovanni in Galilea scorre in un limitato affioramento di « argille scagliose » con esotici calcarei, arenacei, conglomeratici, argillosi e talvolta gessiferi del Miocene. Nel medio corso solca, in prevalenza, rocce argillose plioceniche. Il basso corso attraversa le alluvioni quaternarie della pianura.

Fiume Marecchia — Nasce nell'Alpe della Luna (m 1.454). Possiede un bacino di 520 km², nella cui parte più alta affiorano la formazione marnoso-arenacea e le « argille scagliose » con i relativi esotici di calcare « alberese » eocenici, di calcare e arenaria del M. Fumaiolo miocenica ecc. Nella parte media del bacino, tra Pennabilli e Verucchio, si presentano quasi esclusivamente le « argille scagliose » con lembi di formazioni calcaree, arenacee, conglomeratiche e argillose di età variabile dall'Eocene al Miocene; solo in una ristretta fascia dello spartiacque col fiume Savio dominano terreni argillosi e marnosi con intercalazioni gessose messiniane. Nella parte bassa del bacino affiorano le argille plioceniche e i depositi sabbiosi terminali, poi le alluvioni quaternarie della pianura. Una fascia di alluvioni recenti e terrazzate accompagna il corso d'acqua dalla parte più alta del bacino fino a valle.

GRANULOMETRIA DELLA SPIAGGIA EMERSA E SOTTOMARINA TRA LE FOCI DEL F. SAVIO E DEL F. FOGLIA

Scala



ALBERTO ANTONIAZZI, *Lo stato attuale delle ricerche sul fenomeno dell'erosione marina nel litorale forlivese*

Tav. I — (da ANTONIAZZI, *Lineamenti granulometrici*, cit.)

Torrente AUSA — Nasce presso S. Marino (m 521), ha un bacino imbrifero di 95 km² caratterizzato nella sua parte alta da una limitata area ad « argille scagliose »; nella sua parte media da rocce argillose del Pliocene e nella sua parte bassa da alluvioni quaternarie.

Torrente Marano — Nasce nei pressi di S. Marino. Il suo bacino imbrifero è di 81 km². Nella parte più alta del suo corso solca le « argille scagliose ». Attraversa poi un'ampia fascia di rocce argillose del Pliocene. Solca infine le alluvioni quaternarie della pianura.

Torrente Melo — Trae origine dai colli di Montescudo e Montecolombo. Il modesto bacino presenta soprattutto rocce argillose del Pliocene, che nella parte più alta danno luogo a rocce arenacee del Messiniano e in quella più bassa ad una sottile piana alluvionale.

Torrente Agina — Ha un corso ed un bacino imbrifero assai modesti. Nasce nella bassa collina litoranea nei pressi di Gallera. Il suo bacino è inciso in rocce argillose plioceniche. Il suo corso è accompagnato da una limitata fascia alluvionale.

Fiume Conca — Nasce dalle pendici orientali del M. Carpegna (m 1.415). Il suo bacino imbrifero, di 194 km², può essere distinto in due parti: quella a monte di S. Maria del Piano e quella a valle di tale località. Nella prima di queste due parti affiorano quasi esclusivamente le « argille scagliose » con i vari esotici connessi; nella seconda predominano, dopo un breve affioramento di rocce arenacee messiniane, le argille del Pliocene. Una fascia abbastanza ampia di alluvioni accompagna il corso del fiume allargandosi notevolmente a ridosso della costa.

Torrente Ventena — Nasce presso Tavoleto. Il suo bacino è di 42 km² e nella sua parte più alta presenta, in prevalenza, arenarie messiniane; verso il mare, a questi affioramenti, succedono le argille del Pliocene e le alluvioni del Quaternario.

Torrente Tavollo — Segna il confine tra le province di Forlì e di Pesaro. Nasce dai colli di Mondaino, Saludecio e Montegridolfo. Possiede un bacino imbrifero di circa 82 km², quasi inte-

ramente interessato da rocce argillose plioceniche e da alluvioni quaternarie. Solo nella parte piú alta del bacino e nel versante pesarese si presentano rocce arenacee del Messiniano.

Fiume Foglia — Nasce presso l'Alpe della Luna (m 1.454). La superficie totale del bacino è di circa 705 km². Nella sua parte piú alta, a monte di Lunano, affiora la formazione marnoso-arenacea, che copre interamente l'area con la sola eccezione del limitato affioramento sulla sinistra del fiume di terreni alloctoni, come le « argille scagliose » accompagnate da vasti affioramenti del calcare « alberese ». Nella parte piú a valle del bacino affiorano formazioni arenacee e argillose del Pliocene; le rocce argillose prevalgono come estensione, anche se nella fascia costiera predominano le arenarie. Una fascia di alluvioni recenti e terrazzate affianca il corso del fiume da monte a valle.

LA SPIAGGIA

Nel litorale in esame, mentre la breve spiaggia ghiaiosa marchigiana termina bruscamente verso terra a ridosso della falesia, la spiaggia sabbiosa romagnola, in passato, era accompagnata, nell'area costiera, da una, piú o meno ampia, fascia di dune, allungate nel senso del litorale e perpendicolari ai venti dominanti. Fino a qualche anno fa alcune tracce di questa caratteristica fascia costiera si potevano osservare tra Milano Marittima e la foce del Savio. Anche qui, tuttavia, lo sviluppo edilizio ha fatto rapidamente sparire ogni residuo di questo importante e caratteristico aspetto morfologico.

Anche l'alta spiaggia, estesa tra l'area raggiunta dalle alte maree e la fascia delle dune, è stata notevolmente perturbata nel litorale romagnolo. Infatti, lungo questa costa, il limite delle costruzioni stradali e alberghiere si trova a qualche decina di metri dalla linea raggiunta dalle massime ondate. In qualche caso, come nei tratti in erosione, queste opere risultano addirittura esposte alle mareggiate. Ogni aspetto morfologico caratteristico dell'alta spiaggia viene infine cancellato per renderla particolarmente accogliente ai bagnanti.

La fascia della bassa spiaggia, estesa tra le linee raggiunte dall'alta e dalla bassa marea, si estende, nel litorale in esame, procedendo da sud verso nord. Raramente, e solo durante le maree eccezionali, la sua estensione supera i venti metri di larghezza.

L'estensione della spiaggia sottomarina non è facilmente definibile, tuttavia essa può considerarsi estesa oltre la fascia degli scanni sottomarini nella zona dove le sabbie, divenute sempre piú fini, lasciano il posto a sedimenti siltosi e poi argillosi.

La potenza delle sabbie che formano le spiagge attuali, a quanto risulta dalle perforazioni di pozzi per ricerche idriche, tende generalmente a mantenersi sui sei metri di profondità.

Solo recentemente è stata raggiunta una conoscenza sufficiente delle caratteristiche granulometriche della spiaggia emersa e sottomarina nella zona (15). Nella tavola I è stato ricostruito, mediante curve di uguale diametro mediano, l'andamento della granulometria nei fondali tra le foci dei fiumi Savio e Foglia. Le curve considerate sono quelle di 100, 75, 50, 25 e, dove possibile, di 10 micron. Sulla costa sono stati indicati i valori del granulo mediano medio nei singoli tratti considerati.

Tra le foci dei fiumi Savio e Foglia solo il 20% della spiaggia lungo la battigia è formato da ghiaia, mentre il rimanente 80% è costituito da sabbia, generalmente fine, il cui granulo mediano medio è di 198 micron. Una netta diminuzione del granulo mediano medio si verifica quando si superano, procedendo da sud verso nord, i moli di Cesenatico (da 217 a 132 micron), dell'Uso (da 196 a 176 micron), di Riccione (da 243 e 171 micron) e di Cattolica (da oltre 2.000 a 226 micron). La situazione si inverte in corrispondenza dei moli di Cervia, di Rimini e di Pesaro, dove la granulometria è maggiore a nord che a sud. L'Angeli ha fatto rilevare che i moli interrompono il regolare flusso della sabbia in direzione sud-nord ed « esercitano una azione selettiva trattenendo prevalentemente le frazioni piú grossolane della sabbia e lasciando passare solo la frazione piú fine » (16). L'inversione delle dimensioni granulometriche in corrispondenza dei moli di Cervia, Rimini e Pesaro è giustificata dal fatto che immediatamente a nord di queste opere si immettono in mare le alluvioni trasportate dai fiumi Savio, Marecchia e Foglia.

I fenomeni erosivi colpiscono spiagge praticamente con tutti

(15) ANTONIAZZI, *Lineamenti granulometrici*, cit. Sulla granulometria lungo la linea di spiaggia esistevano il lavoro di A. ANGELI, *Notizie sulla granulometria dei sedimenti litorali fra Pesaro e la foce del Savio con riferimento al problema dell'erosione marina*, in « Boll. Mens. Camera Comm. di Forlì », 1967, n. 2, pp. 39-44; ed alcune analisi ed elaborazioni statistiche di R. DAL CIN, *Metodo granulometrico per individuare spiagge in erosione e spiagge in protendimento*, in « Annuali dell'Università di Ferrara », IX (1968), pp. 213-236.

(16) ANGELI, *Notizie sulla granulometria*, cit.

i tipi di granulometria presenti nella zona. Nelle aree protette da scogliere le dimensioni dei granuli tendono a ridursi, pur presentando un certo grado di variabilità e frequenti oscillazioni nei valori. Nelle aree a nord delle scogliere, infine, le dimensioni granulometriche tendono ad aumentare. Infatti lungo la spiaggia protetta da scogliere tra la foce dell'Uso e Cesenatico il granulo mediano medio è di 170 micron, contro i 234 micron, che rappresentano il granulo mediano medio del tratto tra la fine di queste scogliere e il molo di Cesenatico. Una situazione analoga si presenta nella zona tra le foci del Marecchia e dell'Uso. Nel terzo tratto protetto da scogliere, quello presso Cattolica, questo fenomeno è nel contempo esasperato e obliterato dalle alluvioni ghiaiose del fiume Conca. Queste variazioni nella granulometria appaiono legate, principalmente, sia all'azione selettiva delle scogliere, sia agli effetti erosivi che si producono più a nord di queste opere marittime in conseguenza della loro costruzione.

Nel tratto costiero romagnolo-marchigiano studiato il granulo mediano medio decresce con una certa regolarità procedendo dalla linea di spiaggia al largo. Escludendo le sottili spiagge ghiaiose e i limitati banchi di ghiaia sottomarini, il granulo mediano medio passa da 198 micron lungo la linea di spiaggia a 120 micron in fondali di —2 metri, a 93 micron in fondali di —4 metri, a 71 micron in fondali di —6 metri, a 46 micron in fondali di —8 metri, a 39 micron in fondali di —10 metri. La ghiaia e la sabbia media e grossa, ancora relativamente abbondanti lungo la riva, tendono ad esaurirsi nei fondali di —2 e —3 metri. In questa fascia sottomarina predominano nettamente le sabbie fini, mentre il contenuto in *silt* tende progressivamente ad aumentare, pur rimanendo in percentuali poco significative. Nei fondali di —6 metri il *silt* comincia ad assumere notevole importanza, pur lasciando ancora la prevalenza alle sabbie fini. Nei fondali di —8 metri questa situazione si inverte, infatti il *silt* con tracce di argilla tende a predominare sulle sabbie fini. Tale situazione si fa ancora più netta nei fondali di —10 metri. Procedendo nel senso della costa dalla foce del Savio verso Pesaro si può constatare, infine, che la granulometria tende a farsi più grossolana via via che si scende a sud e che aumenta la ripidità dei fondali.

Il contenuto medio in carbonati nelle spiagge sabbiose lungo la riva tra le foci dei fiumi Savio e Foglia è del 51%. Questo

contenuto mostra un massimo (17) tra il porto di Rimini e la zona immediatamente a nord della foce del fiume Uso. Questo valore (64%) subisce un'attenuazione in corrispondenza della foce del Rubicone, passando da valori medi del 57%, tra le foci dell'Uso e del Rubicone, al 50% tra le foci di quest'ultimo fiume e il porto di Cesenatico. Tra Cesenatico e Cervia questo contenuto decade ulteriormente al 47% soprattutto a causa dell'abbassarsi dei valori in prossimità di quest'ultimo porto. Tra i moli di Rimini e di Cattolica il contenuto in carbonati si mantiene entro limiti variabili in media tra il 38 e il 42%. Valori minimi sono invece raggiunti in corrispondenza della foce del fiume Savio (29%). A sud di Cattolica, infine, i campioni sabbiosi sono troppo scarsi e quindi poco significativi.

Tenendo conto che il moto generale dei materiali lungo la linea di spiaggia è da sud verso nord, salvo che nel tratto in corrispondenza della foce del Savio, si può constatare che vi è un collegamento tra il contenuto in carbonati delle sabbie fluviali e quello delle sabbie della spiaggia. L'eccesso di carbonati della sabbia della spiaggia è risultato (18) dell'ordine del 5%, in media, nel tratto tra Cattolica e il porto di Rimini; del 10% nell'area di influenza del Marecchia, considerata estesa fino a Cervia; del 5% presso la foce del fiume Savio.

Nel tratto costiero studiato, il contenuto in carbonati della frazione sabbiosa decresce fino a fondali di —8 metri per poi risalire leggermente. Il contenuto medio in carbonati è, infatti, del 51% lungo la linea di spiaggia, del 41% in fondali di —2 metri, del 37% in fondali di —4 metri, del 35% in fondali di —6 metri, del 34% in fondali di —8 metri e del 36% in fondali di —10 metri.

In merito alla composizione in minerali pesanti dei sedimenti della spiaggia, in una recente pubblicazione (19), sono state distinte tre zone: Cervia-Cesenatico, Rimini-Riccione e Cattolica-Pesaro. Nella prima delle tre zone « lungo il tratto di spiaggia compreso tra Porto Corsini, Cesenatico e Viserba la composizione dei minerali pesanti delle sabbie è la seguente: le percentuali in anfiboli sono piuttosto modeste e sono sempre accompagnate da cianite; i granati sono mediamente prevalenti su epidoti-

(17) ANTONIAZZI, *Lineamenti granulometrici*, cit.

(18) *Ibid.*

(19) A. RIZZINI-A. VEGGIANI, *Studio della distribuzione delle sabbie a mezzo dei minerali pesanti. Litorale adriatico tra Ravenna e Fano*, Forlì 1970.

zoisiti, ma si verifica anche inversione nel suddetto rapporto; la staurolite è sempre ben rappresentata ». Per quanto concerne la seconda zona: « i campioni raccolti nel tratto di spiaggia fra Rimini, Riccione e la foce del fiume Conca formano un gruppo molto omogeneo, che si differenzia nettamente dal gruppo Cervia-Cesenatico. In questo nuovo gruppo si ritrovano percentuali molto elevate di orneblende verdi, oltre ad orneblende brune e tremolite. Questi anfiboli sono sempre accompagnati da percentuali sensibili di glaucofane; la cianite invece è piuttosto discontinua ». Circa la terza zona: « i campioni raccolti lungo le spiagge fra Cattolica, Pesaro e a sud di Pesaro costituiscono un nuovo gruppo. Essi si differenziano dal gruppo Rimini-Riccione molto nettamente per la repentina e brusca diminuzione degli anfiboli, in modo particolare delle orneblende verdi, e per la ricomparsa dei granati. Alla ricomparsa in massa dei granati fa riscontro anche una sensibile diminuzione degli epidoto-zoisiti. Il gruppo Cattolica-Pesaro si differenzia dal gruppo Cervia-Cesenatico, con cui presenta una certa analogia di composizione base, per la scarsa presenza di anfiboli in genere e per la minor frequenza di glaucofane e della cianite » (20). Mentre sono state riscontrate interessanti corrispondenze tra le sabbie della spiaggia nei due tratti Cervia-Cesenatico e Cattolica-Pesaro e le sabbie dei fiumi locali e i minerali delle rocce costiere, per quanto concerne il tratto Rimini-Riccione le analogie stabilite, non prive di difficoltà nella spiegazione, sono con le sabbie del Po (21).

I MOTI DEL MARE

Sui moti del mare non risultano disponibili attualmente più dati di quelli a suo tempo pubblicati (22). Verrà qui dato un rapido riassunto degli elementi noti.

I dati sulle maree nel litorale romagnolo sono forniti dai due mareografi di Rimini e di Porto Corsini. La massima ampiezza di marea, nel periodo 1934-1964, è stata a Porto Corsini di metri 1,2 e a Rimini di metri 2,1. In quest'ultimo caso il dato ha scarso valore in quanto influenzato da una piena eccezionale del fiume Marecchia.

(20) *Ibid.*, pp. 19-21.

(21) *Ibid.*, pp. 23-26.

(22) ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.

Le medie tra le massime ampiezze di marea, nel decennio 1951-1960, superano nella media annuale il metro a Porto Corsini, ne restano al di sotto a Rimini. Nei vari mesi questi valori variano da 0,6 a 0,8 metri a Rimini e da 0,8 a 0,95 metri a Porto Corsini.

Le maree medie variano nelle nostre spiagge tra 0,4 e 0,6 m.

Nella figura 3 si possono osservare le variazioni annuali del livello marino medio a Porto Corsini e a Rimini. Questi valori medi annuali rivelano un caratteristico incremento nel tempo.

Secondo lo schema delle correnti superficiali e dei moti di deriva, pubblicato dal Morandini (23), al largo della costa romagnola si presentano dei moti diretti da nord verso sud, più a riva dei moti diretti da sud verso nord. L'importanza della corrente litoranea per le spiagge forlivesi è assai ridotta, infatti il Buli (24) afferma che la sua massima azione si esercita a circa tre miglia dalla costa, con una velocità non superiore a 0,05-0,06 m/sec e perde energia avvicinandosi alla riva.

Importanti, ai fini della conservazione e della distruzione delle spiagge, sono le correnti prodotte dal moto ondoso. Infatti quando le onde si avvicinano alla riva con un certo angolo tendono a disporsi parallelamente alla riva. Questo accade raramente e, quando l'onda si frange con un certo angolo rispetto alla costa, l'acqua riceve un impulso, di cui una componente è perpendicolare e una parallela alla linea di spiaggia. È quest'ultima componente che dà luogo alla corrente di spiaggia (*longshore current*) responsabile dei moti paralleli al litorale della sabbia. È quindi il moto prevalente del vento, e conseguentemente quello delle onde, che condiziona il moto predominante dei materiali della spiaggia.

Nella figura 4 si possono osservare le caratteristiche medie annue del vento nel periodo 1946-1955 a Porto Corsini e a Rimini. Nella prima località il vento presenta per oltre il 98% dei giorni ventosi velocità comprese tra 6 e 35 km/h e per il rimanente velocità superiori. A Rimini la situazione si presenta circa uguale.

Nella figura 1 sono rappresentate le direzioni e le intensità

(23) G. MORANDINI, *I mari, le coste, le isole*, in *L'Italia fisica*, T.C.I., Milano 1957, p. 145.

(24) U. BULI, *Studio sulle variazioni della linea di spiaggia del litorale riminese*, in « *Giornale di Geologia* », II (1936).

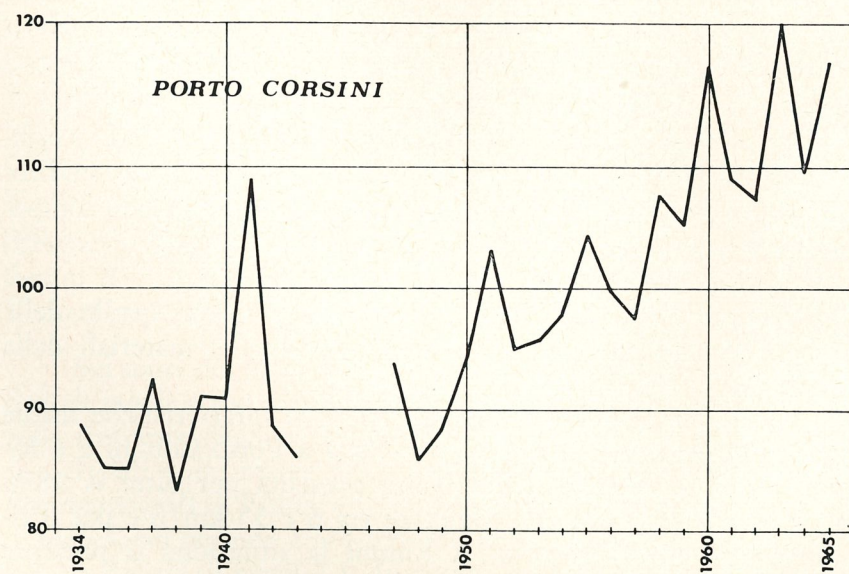
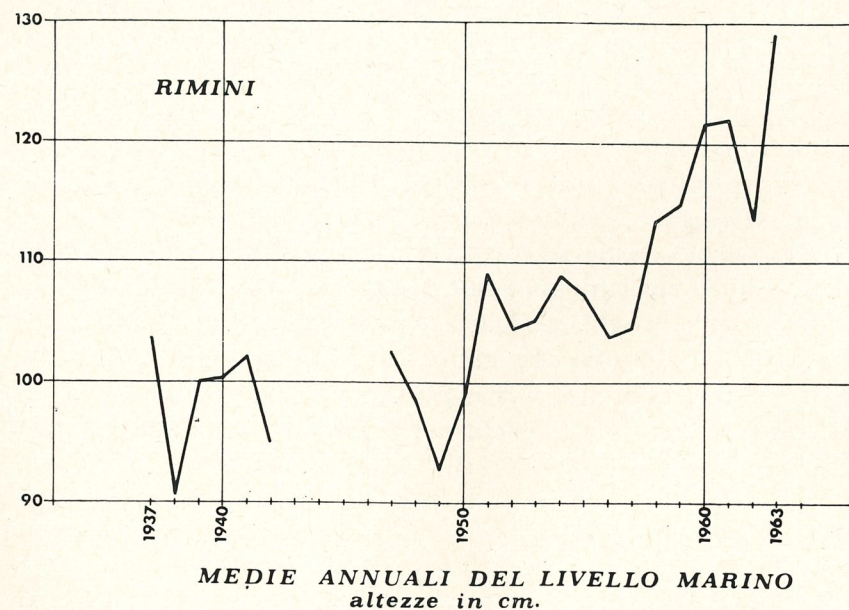


Fig. 3 — Medie annuali del livello marino a Rimini e a Porto Corsini.
(Ridisegnato da ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.)

dei venti che hanno influenza sul moto ondoso che determina i moti dei materiali della spiaggia.

Le onde che interessano il litorale romagnolo sono generalmente di una lunghezza inferiore ai 100 metri. Eccezionalmente possono raggiungere, in mare profondo, un'altezza anche superiore a 4 metri; ma normalmente il moto ondoso appartiene alla gamma di onde variabili tra qualche centimetro e due metri in mare profondo.

Quando le onde si approssimano alla riva avanzano su fondali sempre meno profondi e si deformano sempre di più fino a crollare in avanti, dando luogo ai frangenti. Dopo un frangente l'onda può ricostruirsi, ma con minore energia, e può frangere altre volte prima di spegnersi sulla costa. Nel litorale in esame la fascia interessata dai frangenti varia tra 900 e 1.200 metri dalla riva. All'interno di tale fascia si trovano gli scanni sottomarini, banchi di sabbia sub-paralleli alla costa, che tendono a comportarsi come filtri, costringendo tutte le onde al di sopra di una certa misura a frangersi lungo una stessa linea. Da noi, secondo calcoli teorici, i frangenti si possono formare in fondali di 5,5-4,5 metri di profondità in condizioni eccezionali; in fondali 2,6 metri in situazioni più frequenti; in fondali inferiori a 1,3 metri normalmente.

Nella fascia tra i frangenti e la riva il moto ondoso provoca la continua redistribuzione dei materiali tra spiaggia emersa e scanni in senso normale alla costa e il movimento della sabbia parallelamente alla spiaggia.

Nella figura 1 è evidente la risultante del moto ondoso nel litorale romagnolo e il moto dei materiali derivato. Si può osservare che questo movimento, ad eccezione che in prossimità della foce del fiume Savio, si verifica normalmente da sud verso nord.

VARIAZIONI DELLA LINEA DI SPIAGGIA

L'arretramento del mare nel litorale in esame dalla preistoria ad oggi è testimoniato dalla falesia morta che, con la interruzione dovuta al cono di deiezione del fiume Marecchia, terrazza verso il mare le antiche alluvioni argillose della pianura forlivese. Secondo gli accurati e minuziosi studi del Veggiani sulla geologia del Quaternario recente della Romagna « la scarpata descritta rappresenta la falesia originata dall'azione erosiva del

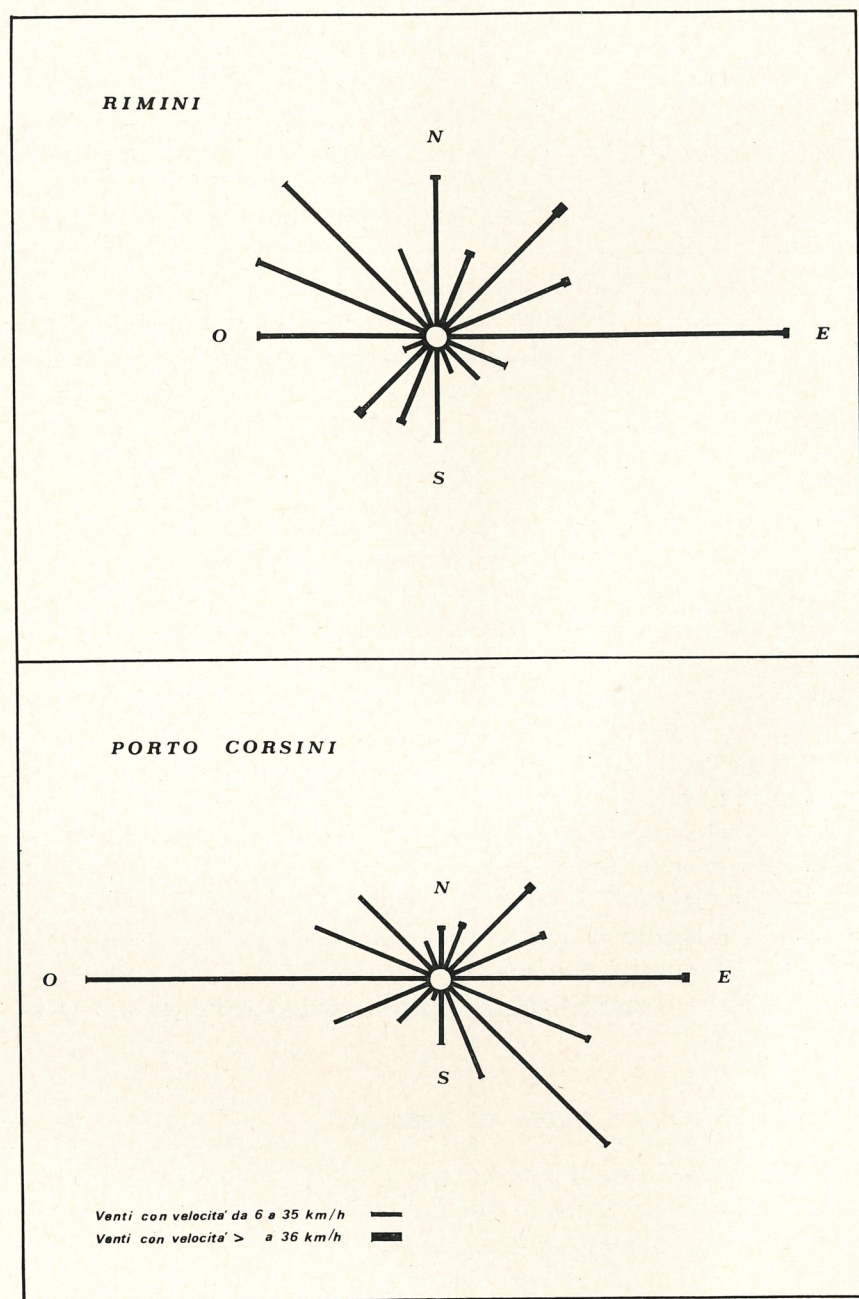


Fig. 4 — Giorni, velocità e direzioni di provenienza del vento a Rimini e a Porto Corsini.
 (Ridisegnato da ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.)

mare durante la fase di massima ingressione 5.000 anni fa. Da Bellaria fino a Cattolica quindi è possibile tracciare con esattezza, data la presenza di questo elemento morfologico, l'andamento di tale antica linea di spiaggia ». Questo Autore precisa inoltre il fatto che « la falesia sia visibile solo tra Bellaria e Cattolica e non compaia nella pianura cesenate e ravennate ed inoltre che la sua distanza dalla linea di spiaggia attuale sia in media dell'ordine di 700 metri nel tratto da Bellaria a Cattolica ed invece la corrispondente linea di costa di 5.000 anni fa raggiunga una distanza massima di 20 chilometri a NW di Ravenna, è spiegabile con fenomeni di subsidenza differenziata del suolo » (25).

Circa le variazioni antiche rispetto a questa linea di spiaggia, il Veggiani sottolinea che « molto modesti sono stati nel tratto da Cesenatico a Cattolica gli arretramenti della linea di costa dal 3.000 a.C. all'inizio dell'Era Volgare. In epoca romana il mare era molto vicino alla scarpata che costituiva il limite di abitabilità di tutta questa zona. I vecchi centri costieri sono inizialmente sorti a monte di tale spalto. Solo in epoca medioevale e nei tempi moderni si sono sviluppati nella piana sottostante, che veniva via via abbandonata dal mare. Così a Rimini, a Riccione e a Cattolica. In particolare a Rimini si può arguire, in base ai resti archeologici, che la linea di costa all'inizio dell'Era Volgare non fosse molto lontana dalle mura urbane di età imperiale » (26).

L'arretramento del mare, almeno nel riminese, deve essere avvenuto in passato con estrema lentezza. Infatti, secondo quanto fa rilevare il Silvestrini, « esiste entro le mura della Città [di Rimini], tra il fabbricato dell'Ospedale e l'antica porta Marina una via denominata S. Maria al Mare, che si distacca dall'attuale Corso Umberto I e raggiunge la riva destra del Marecchia. Ivi, e cioè nell'antico borgo di Marina, subito fuori le mura, esisteva la chiesa di S. Maria al Mare, costruita nel secolo XII, che venne distrutta sul principio del 1800. Ora il nome della Chiesa e quello della via stanno ad indicare che da quel punto il mare,

(25) A. VEGGIANI, *La linea di spiaggia tra Ravenna e Pesaro all'inizio dell'Era Volgare e considerazioni sul ciclo sedimentario olocenico*, in *Atti del Convegno Internazionale di Studi sulle Antichità di Classe - Ravenna, 14-17 ottobre 1967*, Ravenna 1968, pp. 115-133 e partic. pp. 126-127.

(26) *Ibid.*, p. 126. Si vedano anche sull'argomento: A. VEGGIANI, *Le cave di sabbia e ghiaia tra Cervia e Ravenna e il loro interesse geologico*, in « *Studi Romagnoli* », XI (1960), pp. 3-20; *Id.*, *Stratigrafia dei depositi alluvionali recenti nella zona di Massalombarda*, in « *Studi Romagnoli* », XIV (1963), pp. 175-183; *Id.*, *Trasporto di materiale ghiatoso per correnti di riva dall'area marchigiana all'area emiliana durante il Quaternario*, in « *Boll. Società Geologica It.* », LXXXIV (1965), pp. 315-328.

che ora dista oltre un chilometro e mezzo, non doveva essere molto lontano » (27).

Un costante incremento della terra sul mare, naturalmente con discontinuità, pause ed anche reingressi del mare, si è verificato nel litorale romagnolo dalla preistoria fino all'inizio dello attuale secolo. Infatti il Borghi conclude il suo esame delle variazioni della linea di costa nel forlivese affermando che « per tutto il secolo scorso [essa] ha continuato in generale ad avanzare in misura piú o meno lenta, salvo qualche limitato arretramento localizzato » (28).

Nel considerare le variazioni a lungo periodo della linea di spiaggia bisogna tenere presente che le situazioni attualmente evidenti mostrano solo le tracce dei protendimenti, che non sono stati successivamente cancellati da fasi erosive posteriori. Appare, ad ogni modo, evidente che nel litorale forlivese la sedimentazione, e quindi l'avanzata sul mare della spiaggia, è stata nettamente prevalente nel piú recente Olocene.

Specialmente dalle misure delle variazioni della linea di spiaggia forlivese dal XIX secolo al 1938, pubblicata dal Borghi (29), e dalle nuove misure ottenute, dagli stessi caposaldi, nel 1967 (30), è stato ricavato il grafico sintetico riportato nella tavola II. La maggior parte delle curve, dopo il 1875, rivela una diminuzione del protendimento delle spiagge e in alcuni casi la presenza di erosioni.

Nella figura 5 sono rappresentate le variazioni medie annue della spiaggia, dedotte (31) dalle mappe costiere degli anni 1902, 1906, 1908 oppure 1922 e riferite alla linea di costa del 1966. La costa risulta suddivisa in settori dai porti e dai moli relativi. Ogni settore mostra un protendimento della spiaggia a settentrione e uno scarso protendimento, o addirittura erosione, a sud. Le discontinuità provocate dai moli sono direttamente proporzionali alla profondità dei fondali raggiunti dalla loro estremità. Il ripascimento medio dell'intera spiaggia risulta di 0,5 metri all'anno, con 0,2 metri all'anno tra Bellaria e Rimini e 0,9 metri all'anno tra Rimini e Riccione.

Questi dati confermano che le variazioni in crescita e in

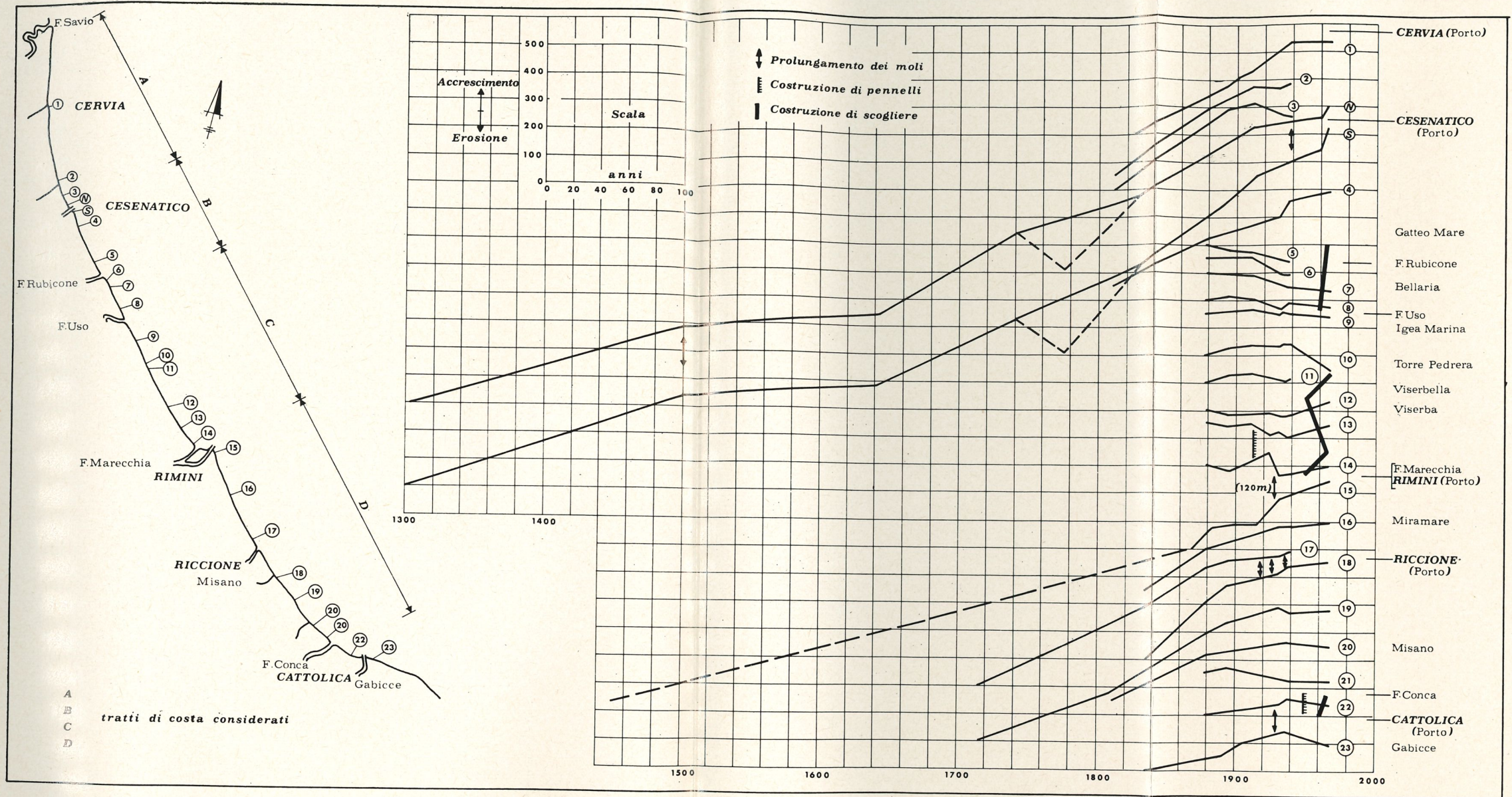
(27) L. SILVESTRINI, *Un secolo di vita balneare a Rimini*, Rimini 1965, p. 20.

(28) BORGHI, *Le spiagge romagnole*, cit., p. 119.

(29) *Ibid.*, pp. 95-119.

(30) ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.

(31) DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit., p. 8.



Tav. II - Accrescimento ed erosione della costa tra Cervia e Cattolica. (Ridisegnato da DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit.)

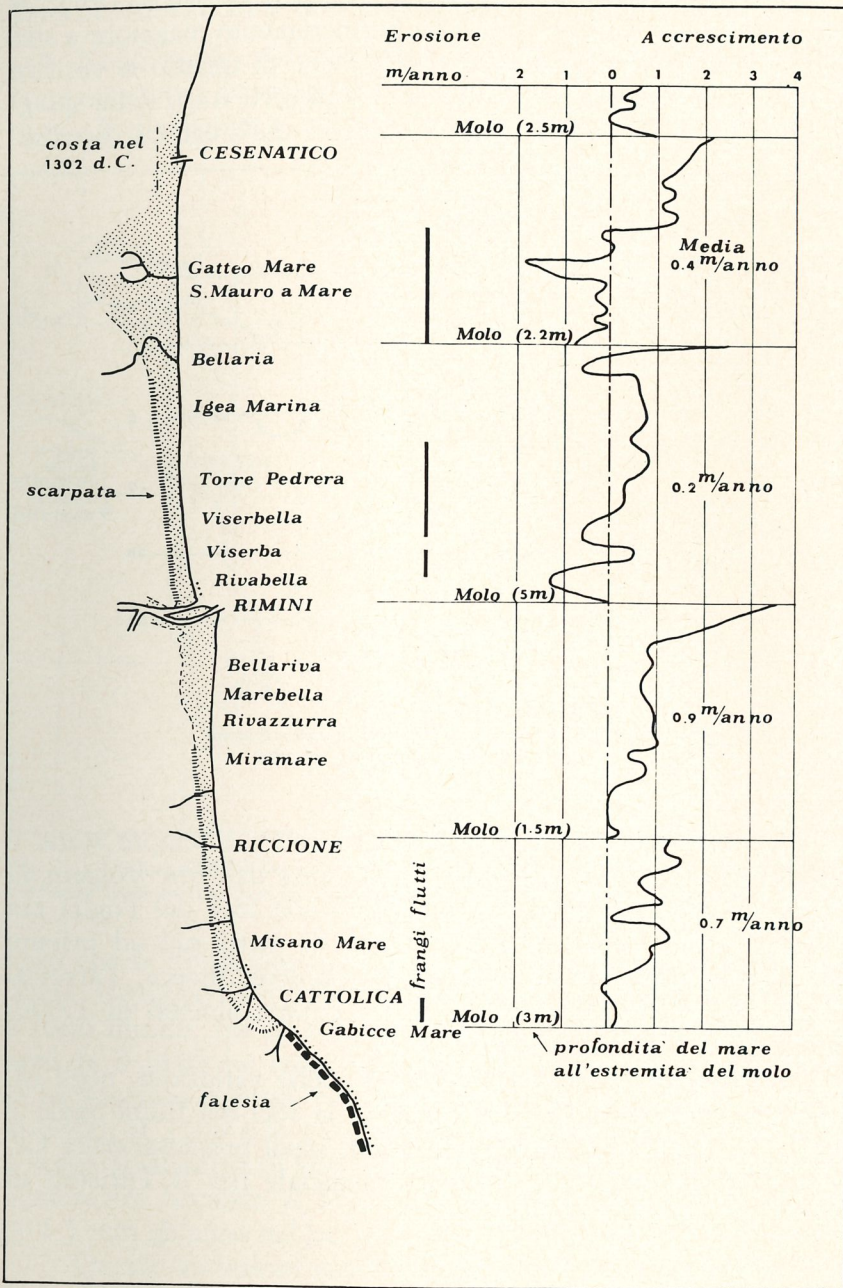


Fig. 5 — Accrescimenti ed erosioni della costa nel nostro secolo. Medie di circa 50 anni. (Ridisegnato da DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit.)

diminuzione della linea di spiaggia, nel periodo 1870-1967, si compensano e che addirittura si ha un incremento maggiore a sud delle grandi opere perpendicolari alla costa, di quanto si verifica un arretramento a nord (32). L'erosione di certi tratti della spiaggia forlivese è dunque un fatto dipendente dalla cattiva distribuzione dei materiali lungo il litorale.

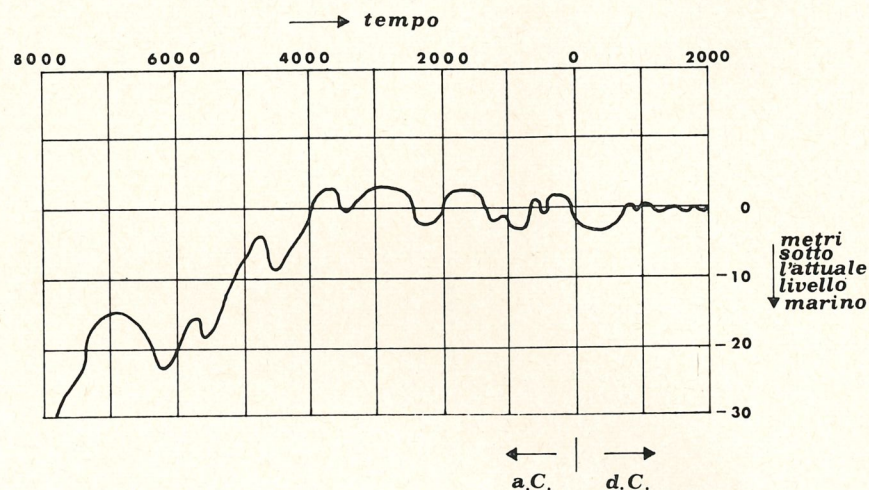


Fig. 6 — Variazioni del livello medio marino. (Ridisegnato da FAIRBRIDGE, op. cit.)

La costa alta pesarese a sud di Cattolica è sempre stata, e lo è tuttora (33), in erosione. « All'inizio dell'Era Volgare la linea di costa da Fiorenzuola di Focara alla foce del Foglia era probabilmente ancora alcune centinaia di metri più ad oriente dell'attuale. Nella punta estrema di Gabicce, invece, l'arretramento negli ultimi 5.000 anni può valutarsi almeno di 1.000-1.500 metri » (34).

Un quadro cartografico completo delle variazioni, negli ultimi 150 anni, della linea di costa tra le foci dei fiumi Savio e Foglia, in attuazione del programma di studi promossi dalla Camera di Commercio e dall'Ente Provinciale per il Turismo di Forlì, è in avanzata preparazione.

(32) ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.

(33) U. BULI, *Le variazioni della linea di spiaggia dal promontorio di Gabicce al promontorio del Conero*, in *Le spiagge marchigiane*, Bologna 1947.

(34) VEGGIANI, *La linea di spiaggia*, cit., p. 128.

INNALZAMENTO DEL LIVELLO MARINO E SUBSIDENZA

Nello studio del Fairbridge (35) sono esaminati particolarmente i cambiamenti del livello marino medio nel Quaternario. Nella figura 6 vengono riportati i risultati di questo la-

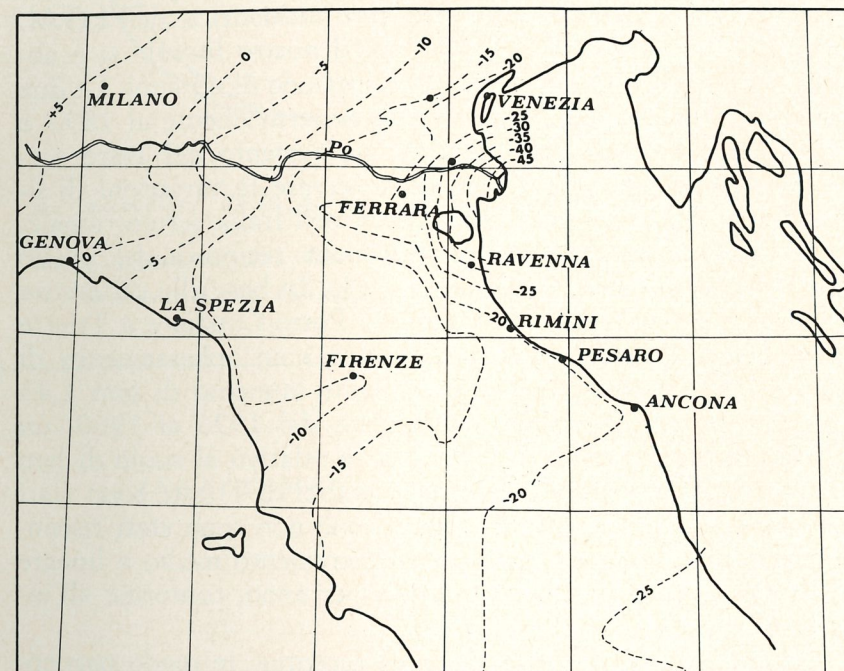


Fig. 7 — Spostamenti della superficie terrestre nell'Italia Settentrionale rappresentati mediante linee isocinetiche di ugual spostamento. (Ridisegnato da SALVIONI, op. cit.)

voro che si riferiscono agli ultimi 10.000 anni della storia della Terra. Il grafico rivela che l'aumento del livello marino medio non è stato lineare, ma ha subito numerose oscillazioni. Circa 6.000 anni fa il mare ha raggiunto il livello attuale. Successivamente lo ha superato ripetute volte (attorno al 5600, al 5000, al 4700, al 2800, al 2300 e al 1000 prima dei giorni attuali) e più volte è sceso al di sotto di esso. Negli ultimi anni il livello marino è aumentato. Secondo il Polli (36) questo incremento è stato di +1,1 mm all'anno nel periodo 1871-1940.

Queste variazioni eustatiche del livello marino medio, con-

(35) R. W. FAIRBRIDGE, *Eustatic Changes in Sea Level*, New York 1960, p. 158.

(36) S. POLLI, *Gli attuali movimenti verticali delle coste continentali*, in « *Annali di Geofisica* », V (1952), pp. 597-602.

nesse con lo scioglimento dei ghiacciai dopo l'ultima glaciazione e con oscillazioni nella temperatura generale della superficie terrestre e nella estensione delle calotte glaciali, sono accompagnate nel litorale romagnolo da moti di subsidenza della crosta terrestre. A quanto risulta dalla comparazione, dopo opportune elaborazioni, tra i dati della vecchia rete altimetrica dell'I.G.M. (1877-1903) e la nuova (1950-1956), il nostro litorale si è abbassato di circa 20-35 centimetri in un periodo di 45 anni. Le due livellazioni, infatti, sono state riferite rispettivamente al 1897 e al 1942 e sono state corrette dall'innalzamento del mare medio (37). Nella figura 7 si possono osservare le variazioni di livello tra le due livellazioni riscontrate nell'Italia settentrionale.

Altri importanti dati sulla variazione reciproca del livello suolo-mare sono forniti da Gottardo (38). In base alle differenze del livello mareografico medio annuo a Porto Corsini e a Trieste risulta che a Porto Corsini si riscontra « un abbassamento di mm 7,74 per anno che aggiunto al solito aumento di mm 1,43 per anno dà, per il periodo considerato dal 1926 al 1960, un innalzamento del livello medio del mare relativo al suolo di ben mm 9,2 all'anno » (39). I dati mareografici di Trieste sono stati presi come base in quanto in questa zona non sono stati riscontrati moti di subsidenza, ma solo un incremento medio e lineare del livello marino medio di mm 1,43 per anno, conforme all'innalzamento normale dell'Adriatico.

A Porto Corsini la subsidenza si accentua, in modo particolare, dopo il 1950. Infatti, in tale periodo, l'abbassamento « risulta in mm 11,35 l'anno per cui, aggiunto al solito aumento normale del mare, l'innalzamento totale del livello marino rispetto al suolo diventa di mm 12,78 per anno » (40). A Ravenna (Porta Adriana) tra il 1885 e il 1950 viene riscontrato un abbassamento medio di 4 millimetri annui, pari a 32 cm; tra il 1950 e il 1967 un abbassamento medio di 8,2 millimetri annui, pari a 14 centimetri. In altri caposaldi del comune di Ravenna sono stati osservati abbassamenti medi variabili tra 7 e 11,3 mm tra il 1949 e il 1963 e tra i 9,6 e 16,7 mm nel periodo successivo.

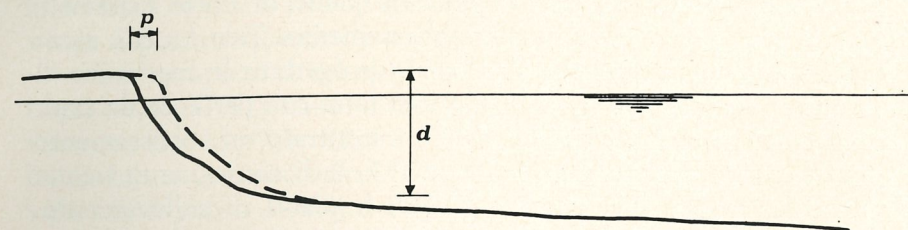
(37) G. SALVIONI, *I movimenti del suolo nell'Italia centro-settentrionale. Dati preliminari dedotti dalla comparazione di livellazioni*, in « Boll. Geodesia e Scienze affini », XVI (1967), pp. 325-366.

(38) D. GOTTARDO, *Sprofonda di più Venezia o Ravenna?*, in « Boll. Econ. Camera Comm. di Ravenna », 1970, n. 1, pp. 7-20.

(39) *Ibid.*, p. 16.

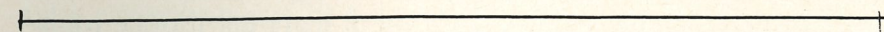
(40) *Ibid.*, p. 16.

ACCRESIMENTO — EROSIONE

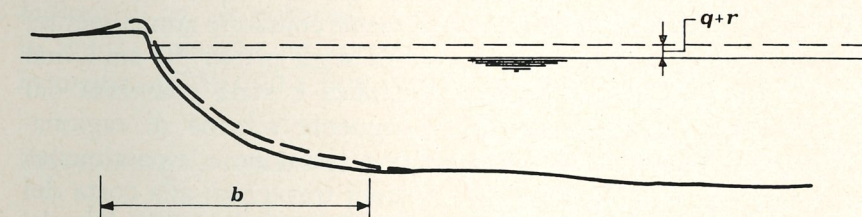


p = aumento della spiaggia normalmente alla costa

d = profondità del fondale composto essenzialmente da materiali di spiaggia



INNALZAMENTO — ABBASSAMENTO



q = subsidenza

r = aumento del livello marino

b = ampiezza del fondale composto essenzialmente da materiali di spiaggia

Fig. 8 — Cambiamenti nel profilo della costa.
(Ridisegnato da DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit.)

« Il caposaldo dell'ex mareografo di Rimini, riferito alla rete fondamentale dello Stato del 1897 come quello di Ravenna, si trova pressoché alla stessa quota di quello di Porto Corsini e quindi fa pensare ad un uguale abbassamento. Tale fatto è stato confermato dagli ingegneri che hanno progettato le fognature di Rimini, i quali a seguito di livellazioni fatte con partenza da capisaldi posti lontano da Rimini hanno riscontrato un abbassamento del caposaldo dal mareografo di cm 35, e di conseguenza hanno variato le quote del progetto e degli impianti di sollevamento. Tale abbassamento, da loro riscontrato con partenza da un caposaldo in terraferma, non tiene naturalmente conto dell'aumento normale del livello marino avvenuto dalla data della rete altimetrica fondamentale, per cui anche col sistema delle livellazioni successive tornano per Rimini i 40 cm d'innalzamento del mare riscontrato per Porto Corsini dal 1897 ad oggi » (41).

In base ai dati esposti risulta che il mare nel litorale romagnolo si è innalzato di circa 5,5 mm all'anno negli ultimi settanta anni. Risulta quindi, dedotto l'innalzamento eustatico del livello marino, che la subsidenza dovuta a cause tettoniche e l'effetto di costipamento dei materiali alluvionali ammontano in media a più di quattro mm annui.

QUANTITÀ DI SEDIMENTI

Una stima delle quantità di sedimenti coinvolte annualmente, in base ai dati fino ad ora disponibili sugli ultimi 90 anni, nel litorale tra la foce del Savio e Cattolica è stata compiuta dai tecnici olandesi (42) seguendo il seguente schema di ragionamento: « I fenomeni di sommersione, erosione e ripascimento producono dei cambiamenti nelle sezioni trasversali alla costa del tipo indicato nella figura 8. Le quantità di sedimenti coinvolti in questi fenomeni sono essenzialmente fornite e portate via dal nastro trasportatore litoraneo. Durante questi cambiamenti, tuttavia, la zona ove i sedimenti prendono parte attiva a questi processi tende a conservare la propria forma. Questo profilo rappresenta una condizione di equilibrio. Possiede una altezza d ed una larghezza b , in cui il fondo è essenzialmente composto di materiali di spiaggia. Si può quindi concludere che su una spiaggia

(41) *Ibid.*, pp. 18-19.

(42) DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit., p. 9.

di lunghezza l deve depositarsi una quantità $P = p d l$ di materiali, perché si verifichi un ripascimento p perpendicolare alla costa, e, allo stesso modo, si ritiene che una quantità $Q = q b l$ di materiali venga asportata quando la costa viene sommersa ».

Per compiere il calcolo la costa è stata suddivisa in quattro tratti (A, B, C, D), come indicato nella tavola II, lunghi rispettivamente km 13; 7,5; 12,5 e 17. A questi tratti sono stati attribuiti rispettivamente valori di d pari a 10; 10,5; 11; 12 metri e valori di b pari a 3.500; 3.000; 2.750 e 2.500 metri. Sono così risultati necessari 550.000 m³ per ogni metro di accrescimento della spiaggia. A questo quantitativo è stato aggiunto un valore per compensare lo sprofondamento dovuto alla subsidenza q e all'aumento del livello marino r . È risultato così un quantitativo di materiali da aggiungere di 330.000 m³ per anno (43). Tenendo conto che nei quattro tratti il protendimento medio annuo risulta rispettivamente di 1,4; 0,4; 0,2 e 0,9 metri all'anno, l'accrescimento totale risulta di 420.000 m³ annui. A questo valore va aggiunto quello per compensare l'innalzamento del livello marino. Risulta così necessario un quantitativo medio annuo di 750.000 o 800.000 m³ di materiali.

Allo stesso modo viene calcolato che, con uno sprofondamento quasi nullo, come indicato dalla figura 9, ma con un protendimento della spiaggia di 2,5-3 metri all'anno, lo sviluppo della spiaggia precedente al 1850 deve aver richiesto circa 1,5 milioni di m³ di materiali. Viene tuttavia ritenuto ammissibile, in questa spiaggia, un apporto a lunga scadenza non superiore, in media, a 750.000-1.000.000 di metri cubi di sabbia.

PROVENIENZA, TRASPORTO E SEDIMENTAZIONE DEI MATERIALI

Le principali fonti di approvvigionamento di sedimenti per le nostre spiagge sono rappresentate dal trasporto solido dei fiumi tra il Savio e il Foglia, dai materiali erosi dalla costa alta tra Cattolica e Pesaro, dall'apporto di conchiglie di molluschi.

L'apporto ad opera dei fiumi è certamente determinante, anche se in proposito scarseggiano i dati sia sulle quantità di materiali trasportati, sia sulla loro granulometria. Sono, tuttavia, disponibili tre stime dell'apporto annuo di materiali sabbiosi alla

(43) Nei quattro tratti considerati q (mm) è stato valutato rispettivamente 1,5; 1,3; 1,2; 1,0 e r (mm) uniformemente 1.

spiaggia, utili, quanto meno, a fornire l'ordine di grandezza del fenomeno. Tutte e tre partono da elaborazioni abbastanza simili dei dati idrometrici disponibili.

La prima stima (44), adottando sulle portate solide annue nel litorale forlivese un coefficiente pari a 23,6%, basato su notizie granulometriche sulle torbide del fiume Conca, valuta l'apporto di sabbie di origine fluviale alla spiaggia forlivese in circa 350 mila metri cubi, che divengono circa 470 mila se si includono nel totale anche le portate solide del fiume Foglia.

La seconda stima è fornita dai tecnici olandesi (45), che calcolano un apporto annuo di sabbia fluviale al litorale tra Cattolica e la foce del fiume Savio dell'ordine di 400-500 mila metri cubi, adottando sulla portata solida annua complessiva una percentuale utile del 25-30% e considerando solo metà dell'apporto del fiume Savio come significativo per la spiaggia in esame. Questo valore salirebbe a 500-600 mila metri cubi se, con lo stesso tipo di calcolo, si tenesse conto anche della portata del fiume Foglia.

La terza stima (46), che valuta dell'ordine di 750 mila metri cubi l'apporto di sabbia fluviale annuo nel litorale tra la foce dei Fiumi Uniti e del fiume Metauro, è stata eseguita considerando un apporto sabbioso pari al 23,6% del trasporto solido totale annuo dei fiumi (47). Se da questo apporto, con le stesse basi di calcolo, si tolgono le portate dei Fiumi Uniti, del Metauro e metà di quelle del fiume Savio, le sabbie fluviali che pervengono al litorale oggetto di questo studio risultano ammontare a circa 450-480 mila metri cubi.

Da tutte queste stime risulta quindi un apporto di sabbia fluviale alla spiaggia tra le foci dei fiumi Savio e Foglia dell'ordine di grandezza di 400-500 mila metri cubi.

La costa alta tra Gabicce e Pesaro alimenta sicuramente il trasporto litoraneo; ma, allo stato attuale delle conoscenze, è difficile dire in quale misura lo faccia. I tecnici olandesi (48) stimano, con un'ipotesi estremamente prudentiale, vi sia una produzione di sabbia dell'ordine di 10 mila metri cubi annui. Un'altra

(44) ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.

(45) DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit., pp. 10-11.

(46) RIZZINI-VEGGIANI, op. cit., pp. 28-29.

(47) Questo coefficiente, tuttavia, viene ritenuto dagli Autori notevolmente elevato.

(48) DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit., p. 10.

valutazione (49) ammette invece un'erosione annua di 72 mila metri cubi di roccia e una produzione di circa 50 mila metri cubi di materiali atti ad alimentare le spiagge.

L'apporto di frammenti di conchiglie ai materiali della spiaggia è stato valutato (50) dell'ordine del 5-10% sul totale.

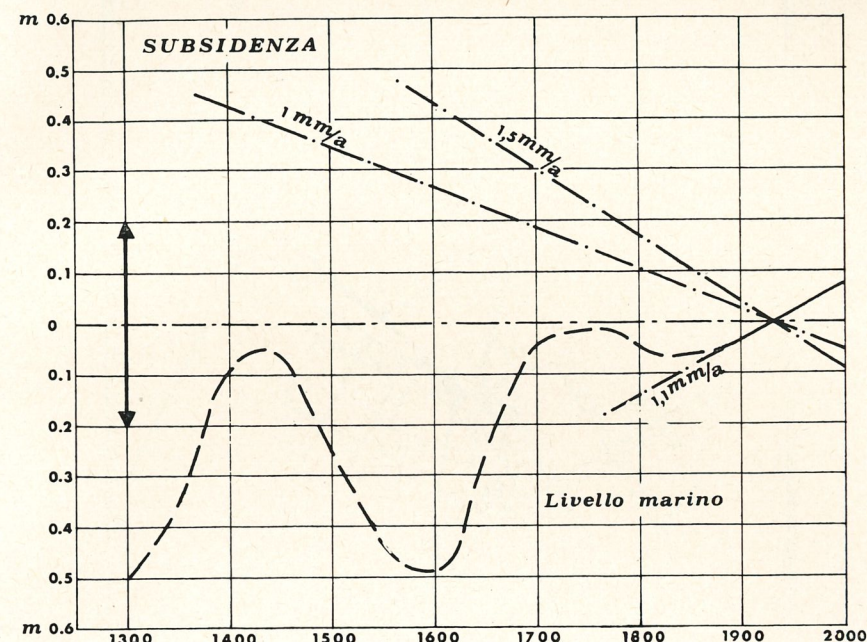


Fig. 9 — Variazioni nel livello marino medio e subsidenza della costa. (Ridisegnato da DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit.)

Il movimento della sabbia lungo la costa procede da SE a NO, specie lungo la parte meridionale del litorale. Nel tratto costiero tra Cervia e Porto Corsini, invece, non rivela chiaramente una direzione predominante del trasporto litoraneo, questo perché l'effetto risultante del moto ondoso e del vento è quasi perpendicolare alla spiaggia.

A riprova del moto prevalente dei materiali lungo il litorale possono venire citati i seguenti fatti:

a) la direzione prevalente del vento e del moto ondoso è tale da spingere i materiali da SE a NO;

(49) RIZZINI-VEGGIANI, op. cit., pp. 30-31.

(50) ANTONIAZZI, *Lineamenti granulometrici*, cit.

b) i moli perpendicolari alla costa provocano protendimenti della riva a sud ed erosioni a nord, a causa delle interruzioni provocate nel « nastro trasportatore litoraneo » attivato dal modo ondoso e dalle correnti di spiaggia;

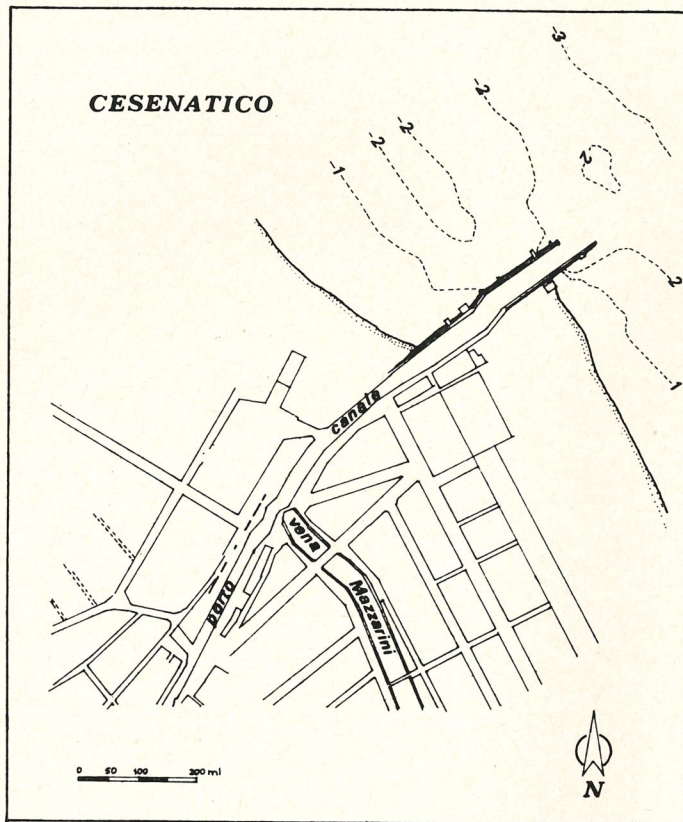


Fig. 10 — Il porto di Cesenatico.
(Ridisegnato da ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.)

c) le serie di scogliere frangiflutto provocano ripascimenti progressivi che si estendono da sud verso nord;

d) le foci dei corsi d'acqua tendono a deviare verso nord;

e) l'andamento delle granulometrie nei materiali della spiaggia, le cui dimensioni sono maggiori a sud dei moli.

Il secolare intervento dell'uomo nel litorale ha provocato notevoli perturbazioni nei moti dei materiali lungo la spiaggia. Soprattutto i lunghi moli portuali hanno interrotto il « nastro tra-

sportatore litoraneo ». Secondo i tecnici olandesi « solo trascurabili quantità di sedimenti riescono a superare il lungo molo del porto di Rimini, mentre un quantitativo più rilevante riesce a superare i più ridotti moli del vecchio porto di Cesenatico » (51). Que-

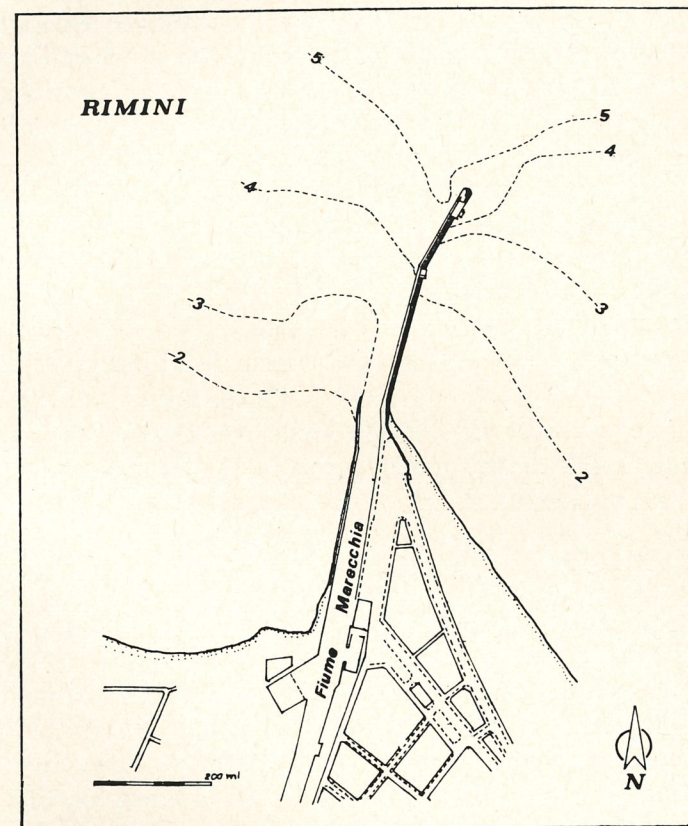


Fig. 11 — Il porto di Rimini.
(Ridisegnato da ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.)

sto ha notevolmente influenzato lo sviluppo della costa favorendo l'aumento della spiaggia a sud e rallentando, quanto meno, il processo di ampliamento della spiaggia a nord. Si sono così formate discontinuità notevoli, in corrispondenza di tali opere, lungo la costa. Si vedano in proposito le figure 10 e 11. La costruzione

(51) DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit., pp. 11-13.

del molo tra Cattolica e Gabicce ha favorito l'accumulo di sabbie nei tratti di spiaggia limitrofi, prima essenzialmente ghiaiosi.

In via subordinata, un ulteriore elemento di perturbazione del moto della sabbia lungo il litorale è rappresentato dalle scogliere frangiflutto, costruite in fondali di 1,5-2,5 metri alla distanza di 100-150 metri dalla costa, che producono ripascimenti localizzati, ma impoveriscono le spiagge più a nord dell'afflusso dei materiali e le espongono all'erosione. Gli effetti delle scogliere frangiflutto si possono osservare nella figura 12. I fatti erosivi al termine di una serie di scogliere sono piuttosto rapidi e provocano notevoli riduzioni nella spiaggia emersa (52). Tre lunghe file di scogliere si possono osservare lungo la costa tra Gatteo Mare e la foce dell'Uso, tra Torre Pedrera e la foce del Marecchia e nel litorale di Cattolica.

Una stima della portata delle correnti di spiaggia è stata fatta in base all'accrescimento verificatosi a sud del porto canale di Cesenatico tra il 1810 e il 1938. « Questo protrimento si è verificato su un tratto di spiaggia lungo 4.600 metri, con un accrescimento totale di 308 metri, pari ad una media annua di 2,40 metri. Presupponendo che il profilo del fondo del 1810 rispecchiasse più o meno l'andamento attuale e presupponendo che lo spessore medio delle sabbie deposte sopra il livello del mare sia in media 0,30 metri, si può calcolare che l'accrescimento totale sia di circa 4.650.000 metri cubi pari a 36.000 metri cubi per anno. Questo valore rappresenta quindi una stima per difetto del quantitativo di sabbia che le correnti di riva possono trasportare ogni anno verso nord » (53).

CAUSE DELL'EROSIONE

Da quanto esposto risultano evidenti le seguenti principali cause dell'erosione marina delle spiagge romagnole considerate:

a) l'arresto di materiali sabbiosi in tratti particolari del litorale a causa della costruzione e del prolungamento dei moli portuali e delle opere di difesa, siano esse scogliere frangiflutto o pennelli;

(52) Un quadro fotografico significativo degli effetti delle mareggiate nel nostro litorale si può osservare in S. PERICOLI, *Osservazioni geomorfologiche sull'erosione marina nel litorale romagnolo*, in « Studi Romagnoli », XVIII (1967), pp. 195-224.

(53) RIZZINI-VEGGIANI, op. cit., pp. 27-28.

b) la diminuzione nell'apporto di materiali da parte dei corsi d'acqua, specie a causa delle rilevanti e prolungate estrazioni di materiali ghiaioso-sabbiosi dagli alvei;

c) l'aumento del livello marino medio attuale e il contemporaneo abbassamento della costa, che tendono a modificare i rapporti tra la terra e il mare, influenzando sulle spiagge;

d) altre cause di cui è difficile valutare l'importanza, come variazioni climatiche tali da modificare la capacità di trasporto delle correnti di spiaggia ecc.

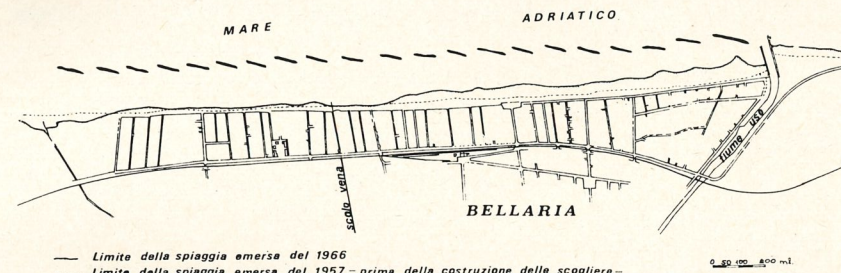


Fig. 12 — Variazioni della linea di spiaggia a Bellaria dal 1957 al 1966. (Ridisegnato da ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.)

Complessivamente le due prime cause paiono assumere un ruolo preminente nell'erosione delle spiagge. Infatti le variazioni nel livello marino e i movimenti di subsidenza della costa possono assumere una importanza determinante solo nel caso non vengano compensate da un proporzionale apporto di materiali dalla terraferma. Un quantitativo sufficiente di sabbia è sempre in grado di mantenere una condizione di equilibrio nella spiaggia e nei fondali.

Ciò che perturba il moto dei materiali, o che ne impoverisce il flusso, è quindi determinante nel provocare l'erosione della costa in esame. Se poi a queste perturbazioni e impoverimenti si aggiunge l'innalzamento del livello marino, la situazione diviene ancora più grave.

MISURE DI DIFESA

Nel concludere il presente lavoro pare opportuno fornire un inquadramento delle possibilità di sistemazione del nostro litorale, alla luce delle attuali conoscenze.

Alla base di ogni intervento deve essere la considerazione che « tutte le misure atte a migliorare le condizioni della costa devono essere programmate in maniera unitaria, tenendo conto

della situazione dell'intera costa e del limitato quantitativo di sabbia disponibile » (54). Alla luce delle attuali conoscenze, che potranno essere confermate o modificate dagli studi sistematici in corso sulle variazioni della linea di costa, il quantitativo di sedimenti disponibili appare sufficiente, ai tecnici olandesi, per determinare un avanzamento medio dell'intera costa di 0,5 metri per anno. In tale situazione è consigliabile disturbare il meno possibile il trasporto dei sedimenti ed anzi favorirlo artificialmente ove altri mezzi fallissero.

Secondo i tecnici olandesi i principali interventi sulla costa possono essere di due tipi:

1) mediante opere che interrompano solo in parte il trasporto litoraneo e provochino arresti localizzati di sabbia nelle quantità volute (pennelli, scogliere frangiflutti ecc.);

2) mediante pompaggi o trasporti artificiali di sabbia da sud a nord dei moli portuali, che interrompono il « nastro trasportatore litoraneo ».

Si tratta, in ogni caso, di realizzare un sistema di opere che proteggano dalle mareggiate e favoriscano limitati ripascimenti, ma non impoveriscano sostanzialmente le zone poste più a nord del prezioso afflusso di materiali (55).

In merito alle varie modalità di intervento vengono fatte le seguenti osservazioni (56):

— i muri frangiflutto sono in grado di arrestare l'erosione, ma non servono a preservare la spiaggia;

— i pennelli costieri, se situati in maniera giusta, possono favorire l'accumulo di sabbia; la quantità del ripascimento e il suo interferire col trasporto litoraneo può essere regolata dimensionando adeguatamente tali opere;

— le scogliere frangiflutto in mare daranno un effetto variabile a seconda della lunghezza, della distanza reciproca, della altezza e dell'orientamento; l'esperienza effettuata con queste strutture è assai limitata, sarebbe quindi opportuno uno studio mediante modello in scala, in vista del loro impiego lungo la costa: al fine di determinare gli effetti del loro orientamento; allo scopo di progettare un sistema di scogliere che permettano di ottenere il ripascimento desiderato senza troppo interferire nel

(54) DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit., p. 15.

(55) ANTONIAZZI, *Lo stato attuale*, cit.

(56) DELFT HYDRAULICS LABORATORY, *The Coast*, cit., pp. 15-17.

trasporto litoraneo; per studiare, infine, i fenomeni che si verificano all'inizio e alla fine di una fila di scogliere (57);

— il trasporto artificiale dei materiali, per evitare l'interruzione del trasporto litoraneo ad opera dei porti, potrebbe avvenire mediante una draga fissa o mobile, trasportando le sabbie o con un sistema di emissione diretta oltre i moli o con chiatte o, addirittura, con autocarri; questo ripascimento artificiale potrebbe essere intermittente, con intervalli di alcuni anni, ma il quantitativo di sabbia spostata da un punto all'altro dovrebbe essere uguale a quello che spontaneamente si verificherebbe in seguito al trasporto litoraneo.

Per migliorare la situazione del litorale vanno, infine, ridotte al minimo le cause che possono impoverire l'afflusso di materiali alle spiagge, a cominciare dalla estrazione di sabbie e ghiaie dagli alvei fluviali.

(57) Un analogo discorso vale per quanto riguarda lo studio degli effetti dei moli o di altre opere di difesa.