

I MEZZI DI DIFESA DELLE SPIAGGE  
L'IMPOSTAZIONE DI UNA STRATEGIA  
DI INTERVENTO  
PROGRAMMA DI STUDI

**PARTE**

**I/B**

# IL MECCANISMO NATURALE DI DIFESA DELLE SPIAGGE

La prima naturale difesa di una spiaggia è la disponibilità di una sufficiente alimentazione detritica. Questo costituisce ovviamente il tema di fondo in questo problema.

All'insufficienza di apporti detritici, la natura risponde con semplici arretramenti del fronte litoraneo.

Essi sono in grado, grazie all'articolazione costiera, di ottenere la stabilità su fronti più arretrati.

La natura tuttavia ha disposto anche un meccanismo estremamente ingegnoso per assorbire, senza gravi arretramenti, eventi meteomarinari di carattere eccezionale.

In queste evenienze la protezione del litorale è affidata dalla natura al manto di coltre detritica costituito dal complesso spiaggia sommersa, spiaggia emersa e duna.

In occasione delle grandi mareggiate invernali, quando il mare attacca la spiaggia con onde di forte intensità e ripidità (rapporto tra altezza e lunghezza) avvie-

ne naturalmente un trasferimento del sedimento dalla spiaggia ai fondali antistanti con conseguente arretramento della linea di riva.

In questo modo la spiaggia pone in essere un meccanismo di difesa che le consente di assorbire l'energia incidente su una fascia di maggiore profondità spostando verso il largo la linea dei frangenti.

Questo particolare assetto della spiaggia detto "assetto invernale" non è però definitivo.

Non appena la "ripidità" diminuisce con l'avvento della stagione migliore la spiaggia ritorna all'assetto estivo (fig. 98) (1). Come la spiaggia sommersa e la berma emersa sono la prima linea di difesa per assorbire l'energia del moto ondoso incidente, così la duna costituisce in natura una riserva di materiale detritico da porre in circolo in casi di particolare vivacità delle agitazioni marine allo scopo di evitare forti arretramenti.

Durante i periodi di bonaccia, od in man-

canza di eventi eccezionali, la duna erosa si ricostituisce naturalmente per costituire un'efficace difesa in occasione di futuri eventi eccezionali.

Il meccanismo di difesa naturale è ovviamente reso possibile dal concorso delle azioni marine, del vento e del manto di copertura vegetale.

La continua pressione urbanistica e delle attività umane sulle zone litoranee ha ormai quasi ovunque nei paesi industrializzati manomesso questo efficace meccanismo naturale di difesa.

Grandi estensioni di dune sono state livellate e pavimentate per la costruzione di opere di viabilità o peggio di urbanizzazione del litorale.

Dove manca la duna, non sono possibili le normali oscillazioni delle spiagge e si va incontro a fenomeni di cambiamento del tipo di equilibrio che in molti casi possono essere irreversibili.

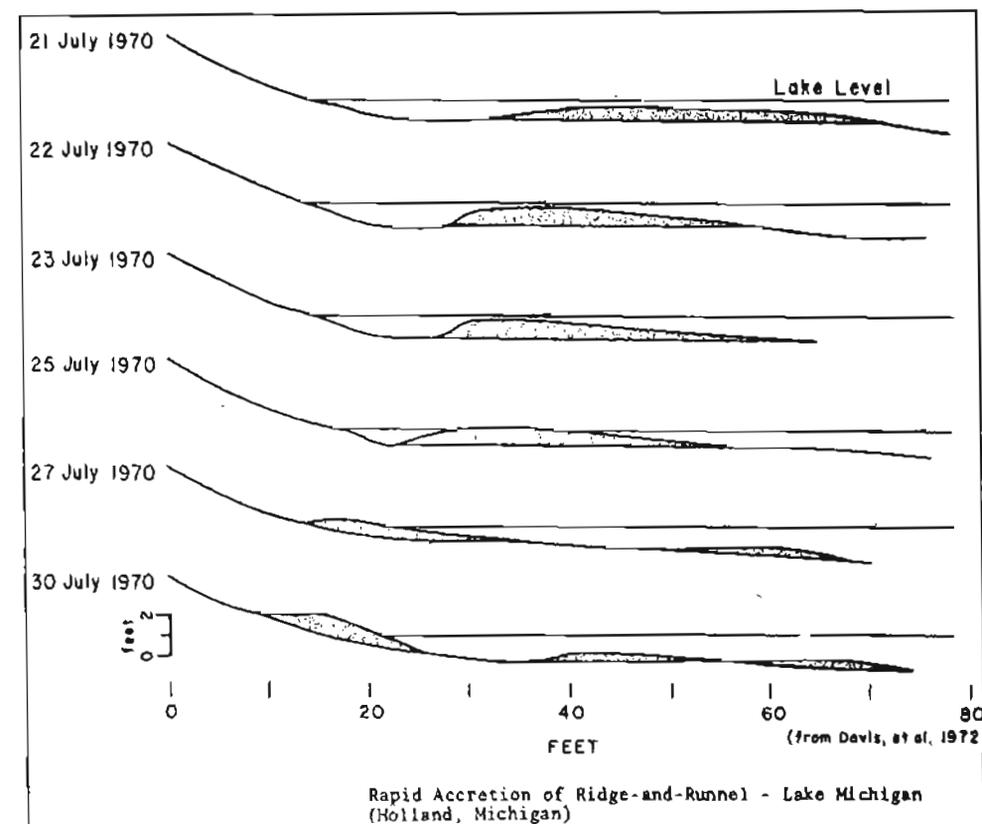


Fig. 98 - Da Shore protection '75

(1) È evidente che un intervento di difesa realizzato nell'assetto invernale rende impossibile il ritorno all'assetto estivo.

Ovviamente il migliore metodo di protezione di una spiaggia è quello naturale sopra descritto.

Quando per carenze di alimentazione detritica la spiaggia tenderebbe ad arretrare e non sia possibile consentire tali arretramenti (per l'esistenza di opere di viabilità abitati etc. di grande valore) è necessario che l'uomo intervenga con manufatti o provvedimenti particolari atti a contrastare l'arretramento.

In generale i provvedimenti di difesa litoranea possono essere di due tipi:

— Strutture atte ad impedire che le onde possano asportare il materiale detritico;

— Alimentazione artificiale delle spiagge con materiali detritici di apporto.

Salvo casi particolarissimi è impossibile proteggere brevi tratti di spiaggia.

Agendo in un ambito ristretto si determinano in genere gravi inconvenienti.

Nel caso si provveda ad una protezione mediante strutture rigide, in generale si determina una più grave erosione sulle zone adiacenti per cui in definitiva l'intervento diviene estremamente costoso.

La difesa con opere rigide di protezione pone inoltre problemi estetici, igienici e di fruizione del litorale che non è qui il caso di esaminare ma solo di rammentare. Nel caso si provveda mediante versamenti, essi vanno facilmente dispersi lateralmente, ma proprio per questa ragione non provocano squilibri nelle zone contigue.

È oggi accettato dalle scuole più avanzate in questa disciplina che sia di gran lunga preferibile e meno costoso affrontare il problema della difesa costiera con un'azione coordinata in un ambito abbastanza vasto per contenere al proprio interno tutti gli elementi di equilibrio (alimentazione ed ambito di movimento detritico litoraneo) tale unità è in genere denominata unità fisiografica.

## 1. STRUTTURE TRADIZIONALI DI PROTEZIONE

### 1.1 Opere atte a rallentare il trasporto longitudinale

Il rallentamento del trasporto longitudinale dei materiali è la chiave degli interventi intesi a riequilibrare o costruire una spiaggia.

Il rallentamento del flusso si ripercuote però sul regime delle spiagge sottoflutto e quindi vi si può ricorrere solo se queste possono rimanere in equilibrio anche con apporti ridotti, o se sottoflutto non esistono spiagge o non offrono interesse alcuno.

Pertanto il rallentamento del trasporto litoraneo avrà per scopo la migliore distribuzione dei sedimenti sul litorale e non dovrà essere perseguito per se stesso ma inquadrato in una visione di insieme.

I metodi immaginati per conseguirlo sono numerosi. Ci limiteremo a citare quelli che, se bene applicati, hanno dato finora risultati incoraggianti.

#### *Difese trasversali o pennelli*

Le difese trasversali o pennelli sono tra le strutture più antiche cui l'uomo ricorre nel suo intento di difendere le coste o evitare l'interramento dei porti. Esse si trovano realizzate ovunque nel Mediterraneo con l'uso dei materiali più svariati, a seconda di ciò che più facilmente poteva offrire la costa.

In Francia sino al secolo scorso la maggior parte dei pennelli (epi) veniva costruita in tavoloni di legno duro forzati con pali squadrate, profondamente infissi nel fondo sabbioso. Questa struttura presenta l'inconveniente di essere facilmente erosa dal continuo sfregamento della sabbia e dei ciottoli ed attaccata dalla tere-dine (1) per cui la sua durata non è mai molto lunga. Peraltro la difficoltà di reperire e trasportare grosse pietre e la ne-

cessità di impedire alle strutture di affondare nella sabbia spinsero ancora ad usare il legno sotto forma di fascine o di pali e palancole per contenere materiali di riempimento di scarsa coerenza.

Nelle zone ove esiste disponibilità di pietrame si è fatto invece ricorso alla scogliera di massi naturali. Questa presenta notevoli vantaggi essendo possibile rimediare agli assestamenti provocati dalle mareggiate mediante semplici ricariche ed inoltre presenta se eseguita correttamente, una buona capacità di assorbimento dell'energia dell'onda ed è solo limitatamente riflettente.

Il dimensionamento di un pennello è condotto con gli stessi metodi adottati per le normali strutture in scogliera, tuttavia occorre tenere presenti alcuni accorgimenti supplementari che basterà qui indicare in via concettuale. In primo luogo si tenga presente che la parte più esposta della struttura è quella di testata, che si trova ad assorbire il primo urto dell'onda, su di una superficie curva.

Procedendo invece verso la radice, quest'ultima è meno sollecitata, perché una parte dell'energia dell'onda va perduta nel frangimento sul fondo.

La testata deve perciò essere dimensionata con larghezza, sia per quanto riguarda la pendenza che la dimensione dei massi tendono conto anche della curvatura della superficie e non dimenticando la protezione al piede. Il corpo del pennello, procedendo verso terra può invece divenire più esile. Il manto di protezione può essere asimmetrico, derivando dal calcolo di dimensionamento una maggiore robustezza per la mantellata sopraflutto, esposta al mare dominante.

A titolo di esempio di dimensionamento si riporta nella figura seguente uno stral-

(1) Mollusco marino che attacca le strutture in legno (*Teredo Navalis*).

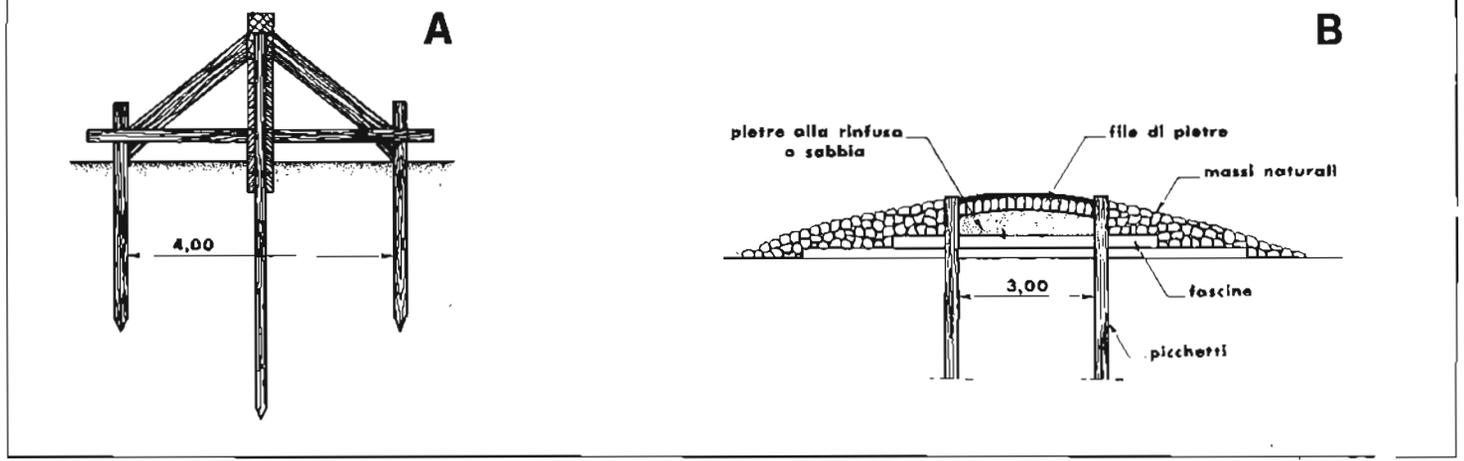


Fig. 99 - A) Tipico pennello in legname caratteristico delle spiagge del Nord della Francia; B) Pennello francese con struttura mista di fascine, legname e pietrame.

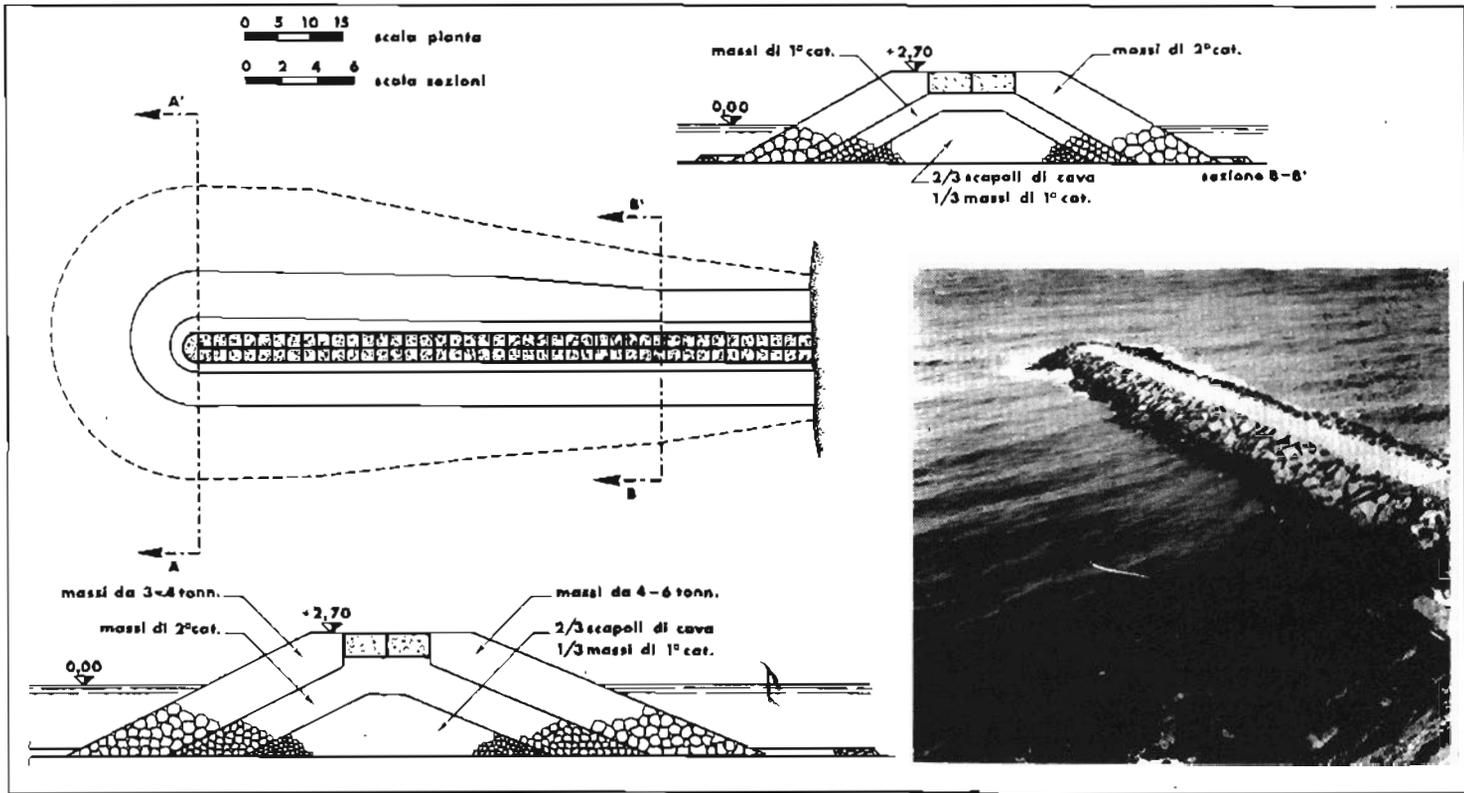


Fig. 100 - Pennello in scogliera.

cio del progetto per la costruzione di un pennello (fig. 100).

Sono stati proposti ed in qualche caso usati pennelli in massi naturali con giunti sigillati mediante mastici bituminosi. In tal modo si sperava di poter usare dimensioni alquanto minori dei massi naturali e pendenze di scogliera maggiori rendendo più difficile il distacco di un elemento dalla massa strutturale. In effetti queste strutture non hanno dato buoni risultati, almeno nel caso delle normali esposizioni. In primo luogo la mantellata, mancando i vuoti, non ha alcuna capacità di assorbimento del moto ondoso per cui provoca riflesso e quindi anche scalzamento al piede. A questo ultimo inconveniente si è in parte ovviato proteggendo il piede con cure stagne di palancole, ma con forte onere economico. Negli ultimi tempi si è affermata, soprattutto in Francia, la realizzazione di pen-

nelli in palancole di acciaio infisse nel fondo sabbioso e funzionanti da casseri per un successivo getto di calcestruzzo. Questo tipo di struttura è conveniente dal punto di vista economico quando il fondo sia sicuramente sabbioso o ghiaioso e quindi non si presentino difficoltà di infissione delle palancole e quanto esista una certa difficoltà nell'approvvigionamento degli scogli naturali. Presenta per contro il grave inconveniente di opporre all'onda una superficie impermeabile, liscia e verticale ossia totalmente riflettente, ciò che può influire negativamente sia sulla granulometria della spiaggia, che sulla stabilità dell'opera.

Per attenuare gli inconvenienti dovuti alle proprietà riflettenti di questa struttura è stato sperimentato, a quanto risulta con successo (spiaggia tra Cap d'Antifer e le Havre) un tipo di pennello il cui tratto centrale è ad andamento spezzato (fig. 101).

### *Efficacia dei pennelli*

L'efficacia di queste strutture, almeno in linea concettuale è fuori discussione, quando il trasporto avvenga prevalentemente per trazione, il pennello è in grado di imporre alla spiaggia una linea evolutiva che, almeno teoricamente, è perfettamente prevedibile.

L'evoluzione che una serie di pennelli induce nella posizione della linea della battigia e nell'andamento dei fondali anti-stanti è tale da far diminuire il trasporto litoraneo: infatti l'angolo tra il fronte d'onda e la linea di battigia viene diminuito, frazionandosi la linea di spiaggia in tante curve spezzate. A prima vista potrebbe sembrare perciò di aver trovato lo strumento che consente di dominare il trasporto litoraneo ed infatti alcuni hanno a lungo dibattuto la questione del migliore intervallo da assegnare a questi ma-

nufatti in relazione alla loro lunghezza, al tipo di profilo ed all'esposizione per ottenere i migliori risultati.

In effetti la questione non è così semplice, né è possibile applicare le formule matematiche al fenomeno complesso che si presenta quando, come nel caso, si consideri non più un ostacolo isolato ma un sistema di ostacoli in serrata successione. Innanzi tutto diremo che il pennello è valido isolatamente per quanto riguarda il rallentamento del flusso solo quando il materiale in movimento sia quasi esclusivamente costituito da elementi relativamente grossolani, in relazione all'esposizione. Anzi specialmente quando, come nel caso, l'inclinazione dell'onda rispetto alla linea di costa è sensibile, per effetto della concentrazione dell'energia, (fig. 102) si ha un'accentuazione del moto ondoso proprio in corrispondenza del pennello.

Questa riesce a porre in movimento anche i granuli più grossolani perché in questa zona aumenta la dimensione del granulo in sospensione ed una parte del materiale viene facilmente sospinto oltre l'ostacolo dalle correnti locali che si generano in conseguenza del moto ondoso. D'altra parte lo stesso avanzamento della battigia in corrispondenza del pennello porta ad una maggiore ripidità del profilo che tanto più si accentua quanto più ci si avvicina al manufatto con la conseguenza che il materiale deve aumentare di granulometria per rimanere in equilibrio con la maggiore pendenza.

L'insieme di questi fenomeni fa sì che, immediatamente sopraflutto al pennello, quando l'inclinazione dell'onda sia sensibile, aumenti la dimensione del granulo e la pendenza della spiaggia. Il materiale poi che oltrepassa il fronte del pennello, viene comunque a spostarsi in fondali maggiori a quelli che ad esso corrisponderebbero nel profilo e solo in parte sarà risospinto sottocosta mentre una frazione andrà a depositarsi in fondali più profondi dai quali difficilmente potrà essere rimosso dalle successive agitazioni. Perciò se è vero che con un pennello in regime di trasporto per trazione si può ottenere un rallentamento del flusso longitudinale e far avanzare la linea di battigia, non bisogna dimenticare che esso implica come contropartita un peggioramento granulometrico della spiaggia e la perdita (per quanto riguarda le spiagge sottoflutto) di una certa quantità di materiale.

Al primo di questi inconvenienti si può porre solo parzialmente rimedio con l'accorgimento di orientare opportunamente la testata del pennello rispetto al moto ondoso dominante: l'inconveniente della concentrazione dell'energia sarà così in parte eliminato e con esso il decadimento granulometrico. Occorre però avvertire che una troppo pronunciata angolazione del pennello rispetto all'onda do-

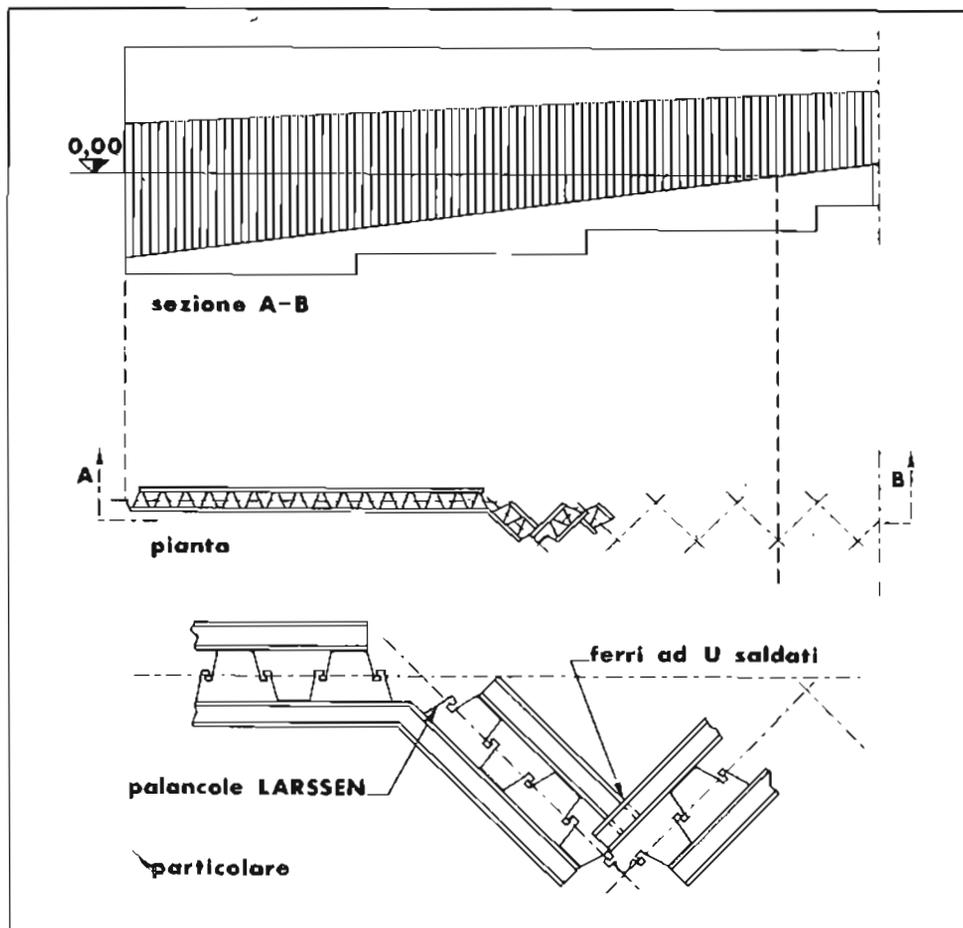


Fig. 101 - Le Havre: pennello in palancole. Il tratto ad andamento spezzato attenua l'effetto riflettente della parete verticale.

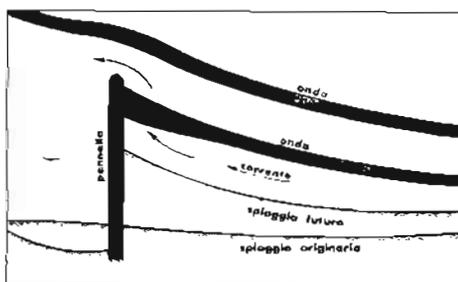


Fig. 102 - La concentrazione di energia in corrispondenza della radice di un pennello, provoca sopraflutto e questo un aumento della granulometria e della ripidità della spiaggia.

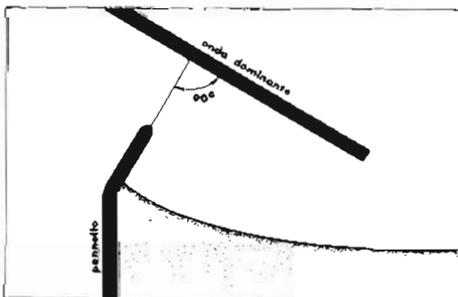


Fig. 103 - Pennello orientato secondo l'onda dominante ad evitare il concentramento di energia alla radice.

minante può provocare una curvatura esagerata della falcatura della spiaggia (fig. 104).

Non è invece possibile evitare la perdita di materiale di alimentazione della spiaggia sottoflutto.

In conclusione una successione di pennelli su una spiaggia originariamente rettilinea avrà per conseguenza un decadimento della qualità ed una perdita del materiale detritico trasportato sulla spiaggia sottoflutto, anche a regime raggiunto. Pertanto i pennelli devono essere usati con la massima parsimonia limitandone l'applicazione a quei casi in cui essi possono prolungare oggetti naturali o già consolidati del litorale dei quali potranno accentuare l'effetto.

Si noti che quando l'inclinazione dell'onda prevalente rispetto alla linea di battigia è piccola, la zona di azione di un pennello sarà molto estesa e perciò spesso uno solo di questi manufatti sarà in grado di influire su uno sviluppo notevole di litorale. Se per di più esso sarà correttamente ubicato come abbiamo accennato, così da accentuare le caratteristiche proprie della costa, il danno alla spiaggia sottoflutto sarà molto attenuato od inavvertibile e facilmente compensabile con versamenti artificiali limitati al primo periodo critico.

Viceversa, quando l'inclinazione dell'onda è notevole, il campo di azione di ciascun pennello diviene esiguo e perciò per ottenere un qualche risultato è necessario costruirli in serrata successione rispet-



Fig. 104 - Effetto di pennelli curvi sulla spiaggia di Crotona. (Fotoclelo).

to alla loro lunghezza con oneri economici spesso proibitivi se rapportati ai risultati ottenibili e per di più con fortissime perdite di trasporto (dovute alla dispersione delle sabbie negli alti fondali). Infatti si nota, in una disposizione di pennelli come in fig. 105 l'effetto sempre più sfumato della barriera mano a mano che si procede nel senso del trasporto detritico.

#### I pennelli permeabili

Sono pennelli a corpo discontinuo per permettere il passaggio della sabbia, assorbendo nel contempo una parte dell'energia dell'onda con conseguente rallentamento del trasporto e deposito di materiale detritico.

Furono realizzati diversi tipi di questi pennelli, in legname del tipo a palizzata, lineare o a pianta spezzata (per assorbire una maggiore quantità di energia), oppure con pali in c.a. uniti da elementi prefabbricati.

Essi sono soggetti all'usura degli elementi di sostegno da parte della sabbia, in corrispondenza della battigia. A questi inconvenienti è peraltro facile rimediare con un'attenta manutenzione e prevedendoli, in fase di progettazione, opportuni accorgimenti costruttivi come fasciature metalliche od in legname delle strutture di sostegno nella zona critica.

Nelle prime applicazioni si era pensato di graduarne l'azione variandone la permea-

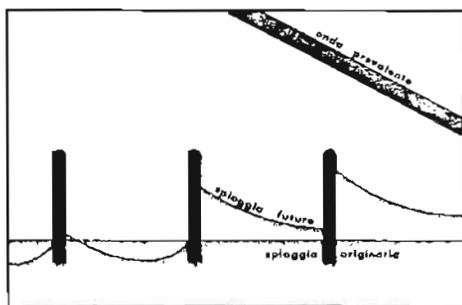


Fig. 105 - Se l'onda investe il litorale con forte inclinazione, l'effetto di una successione di pennelli sfuma rapidamente col procedere nel senso del trasporto detritico.



Fig. 106 - Pietra Ligure: stabilizzatori in gabbioni metallici e massi naturali.

bilità. Peraltro l'esperienza ha insegnato che se il pennello è solo lievemente permeabile la sua azione sul trasporto è quasi nulla.

#### I pennelli stabilizzatori

Sono pennelli di dimensioni ridotte che aggettano di pochi metri rispetto alla battigia. Seguono il profilo della spiaggia emersa ed in un certo senso avrebbero la funzione di "stabilizzarla" ossia, pur senza impedire il trasporto longitudinale, di obbligare il profilo a mantenere un certo andamento almeno nella parte emersa. Questi tipi di strutture sono state l'oggetto di molte interpretazioni e realizzazioni. Nel Nord Europa sono stati realizzati in gran numero stabilizzatori in legname, costituiti da robusti tavoloni di legno duro fissati a picchetti infissi profondamente. In Italia sono stati realizzati anche recentemente stabilizzatori in calcestruzzo su pali in c.a. ed altri in gabbioni di rete metallica e pietrame.

L'efficacia di questi dispositivi è stata ampiamente discussa. Senza dubbio essi, se realizzati a proposito, sono in grado di rallentare il flusso longitudinale del materiale detritico in quanto obbligano i getti alla riva a perdere, almeno in parte, e localmente, l'inclinazione rispetto alla linea di battigia. Il loro effetto è però limitato alla sottile fascia emersa o a pochi metri oltre la battigia mentre non possono influire sul regime di trasporto nella fascia dei frangenti. In genere perciò l'uso degli stabilizzatori conduce ad un regime particolare della spiaggia obbligando il profilo ad un impennamento proprio nella zona della battigia con la conseguenza di indurre nella zona un aumento di dimensione della granulometria della sabbia (fig. 106).

Su di una spiaggia attrezzata per i bagni di mare non sono consigliabili stabilizza-

tori in legname né in gabbioni metallici. Gli stabilizzatori in legname infatti possono ferire, con le schegge, ed hanno aspetto estetico poco piacevole e pure quelli in gabbioni metallici possono diventare in breve tempo pericolosi anche se realizzati con filo di acciaio protetto da PVC, per l'azione abrasiva esercitata dalla sabbia in movimento.

Gli stabilizzatori in c.a. su pali al contrario non presentano inconvenienti; per essere veramente efficaci essi devono spingersi in mare per alcuni metri seguendo il profilo della spiaggia: in tal modo l'eventuale gradino nel profilo si forma a valle dello stabilizzatore ed almeno nella parte emersa non si ha decadimento granulometrico della spiaggia.

#### 1.2 Opere atte a rallentare il trasporto trasversale

Il trasporto trasversale comporta una perdita netta di materiale detritico che rappresenta la contropartita per il lavoro utile che il mare compie sui materiali detritici arrotondandone gli spigoli, liberandoli dalla polvere ed impedendo la crescita della vegetazione nella parte emersa della spiaggia e delle alghe nella parte sommersa.

Per limitare il flusso trasversale possono immaginarsi due principali tipi di interventi che concettualmente possiamo così distinguere:

- influire sull'andamento del profilo della parte sommersa della spiaggia diminuendo la pendenza del fondale e rendendo con ciò stabili granulometrie che discenderebbero verso fondali inferiori;
- provocare, mediante opere di protezione della spiaggia, un'attenuazione delle agitazioni che la investono.

I due metodi possono essere applicati anche contemporaneamente ed ambedue presentano vantaggi e svantaggi.

## Opere che influiscono sul profilo

Possono essere costituite da un salto artificiale del fondo marino, realizzato con la costruzione di scogliere soffolte o setti sommersi costruiti in legno od in ferro. I due tipi di struttura presentano entrambi alcuni inconvenienti:

- a) il brusco salto del fondale provoca un fenomeno localizzato di dissipazione di energia, che vi richiama uno stato di turbolenza con conseguente elevazione della soglia di erosione ed escavazione al piede del manufatto ed a monte dello stesso;
- b) l'esistenza del salto rende più difficile l'alimentazione naturale per trasporto e può provocare fenomeni secondari di difficile previsione e valutazione.

Il metodo può perciò essere applicato allo stato attuale della tecnica, con un certo profilo e sicurezza solo in spiagge ove sia inesistente il trasporto longitudinale. Delle possibilità offerte da queste strutture tratteremo più diffusamente nel paragrafo seguente.

## Opere che attenuano l'agitazione

Barriere di protezione (in scogliera o simili) come abbiamo già visto possono ridurre a volontà l'agitazione che investe la spiaggia, annullando oltre che il flusso longitudinale anche quello trasversale. Il tipo di applicazione più diffuso, specialmente in Italia, è senza dubbio quello della scogliera parallela di cui esistono tanti esempi sulle nostre coste; la sezione più comunemente usata è del tipo schematizzato nella figura 107.

Tuttavia la protezione di un litorale con una barriera crea una serie di problemi di difficile soluzione ed è sistema oggi condannabile:

- 1) lo specchio acqueo racchiuso tra la spiaggia e la barriera è isolato dal mare aperto; le acque vi ristagnano e sono predisposte all'inquinamento;
- 2) viene completamente impedito ogni apporto solido per flusso longitudinale dall'esterno;
- 3) la spiaggia protetta dalla diga viene sottratta all'azione detergente del moto ondoso e degenera, nella parte vicina alla battigia, in depositi di sabbie finissime mentre la parte elevata diviene polvero-

sa e dopo qualche tempo è invasa dalla vegetazione;

- 4) per l'azione di riflesso della barriera sul moto ondoso, i materiali che si spostano longitudinalmente lungo il suo piede esterno, vengono sospinti in alti fondali.

Si verifica quindi un deficit nell'alimentazione delle spiagge sottoflutto che entrano in corrosione. Ciò obbliga spesso ad interventi a catena con la distribuzione di enormi sviluppi di spiaggia;

- 5) ancora per azione del riflesso il fondale dinanzi alla diga tende ad approfondirsi obbligando, specialmente nei primi anni, a costosi interventi di ripascimento della scogliera, oltre a trasferire l'erosione lateralmente.

Per cercare di ovviare a questi inconvenienti si è ricorso ad una serie di varianti rispetto al sistema di difesa continua. La prima di esse consiste (fig. 108) nello spezzare la barriera ed anche disponendo i singoli tronchi leggermente inclinati rispetto alla direzione del lido.

Con questo accorgimento si vorrebbe ottenere:

- 1) un migliore scambio idrico con l'esterno con vantaggio igienico;
- 2) rendere possibile l'accesso nel bacino interno delle sabbie che per flusso longitudinale transitano di fronte all'opera di difesa;

- 3) ottenere una maggiore agitazione nella zona protetta e conseguentemente una migliore qualità della spiaggia.

In realtà gli inconvenienti vengono con questi accorgimenti soltanto attenuati. Per effetto tra l'altro dell'espansione dell'energia dell'onda attraverso i varchi in condizioni normali, le sabbie si dispongono secondo tomboli via via decrescenti mano a mano che ci si allontana dall'origine dell'alimentazione per cui la spiaggia assume la tipica forma frastagliata e sfumata ben evidente nella foto figura 109. Lo schema della figura n. 108 indica appunto la variazione di equilibrio a cui si assiste a seguito della costruzione di un sistema di dighe parallele.

Una seconda variante al sistema di difesa a dighe parallele è stata negli ultimi anni ampiamente impiegata in Francia. Consiste essenzialmente nella costruzione di tratti di difesa parallela talvolta col-

legati alla costa da bracci normali ad essa, intervallati da ampi varchi. Si vengono così a configurare, mediante la costruzione di scogliere a forma di T più o meno intervallate tra loro, una serie di alveoli nei quali, in genere, viene versata artificialmente della sabbia di frantoio (fig. 110).

In ciascuno di essi, per effetto dell'espansione dell'onda si ha una riduzione dell'energia del moto ondoso che può essere graduata a piacere variando l'apertura dei varchi.

È così assicurata la stabilità della spiaggia sia per quanto riguarda il trasporto longitudinale, che viene completamente impedito, sia, almeno parzialmente, per quanto riguarda quello trasversale. Sotto quest'ultimo aspetto le perdite sono infatti molto limitate sia perché la ridotta energia del moto ondoso che entra negli alveoli non può provocare che una minima usura dei granuli, sia perché il profilo che si stabilisce è in genere più ripido di quello di equilibrio (tenuto conto della attenuata agitazione) e pertanto una diminuzione del granulo medio non comporta apprezzabile flusso trasversale. Questo sistema di difesa peraltro conserva, sebbene attenuanti, buona parte dei difetti propri di quello a dighe parallele e comporta una forte spesa in opere fisse.

## 1.3 Le difese passive

Questo tipo di difesa solitamente è concepito come semplice difesa passiva del territorio retrostante.

Se non è realizzato con particolari accorgimenti influisce negativamente. Sull'equilibrio di un eventuale arenile sottoflutto. In conseguenza dell'azione di riflesso si instaura nel profilo un equilibrio che rende particolarmente difficile l'eventuale bonifica della spiaggia.

Dal punto di vista costruttivo questo tipo di difesa può essere realizzato secondo due tipi fondamentali: struttura permeabile e struttura impermeabile.

### Difese aderenti permeabili (fig. 111)

Sono di rapida esecuzione e perciò si prestano nel caso di interventi di urgenza. Sono in genere assai facilmente smontabili e, per la loro permeabilità, specie se realizzati secondo i tipi 1 e 2 con pendenza limitata sono solo parzialmente riflettenti.

Nella progettazione occorre tener presente che tendono a produrre un approfondimento del fondale al piede e quindi un franamento dei massi della mantellata. Sarà opportuno perciò realizzare in un primo tempo una strutturazione provvisoria non sistemata onde consentire al fondale di assestarsi e quindi completare l'opera non trascurando la verifica al piede.

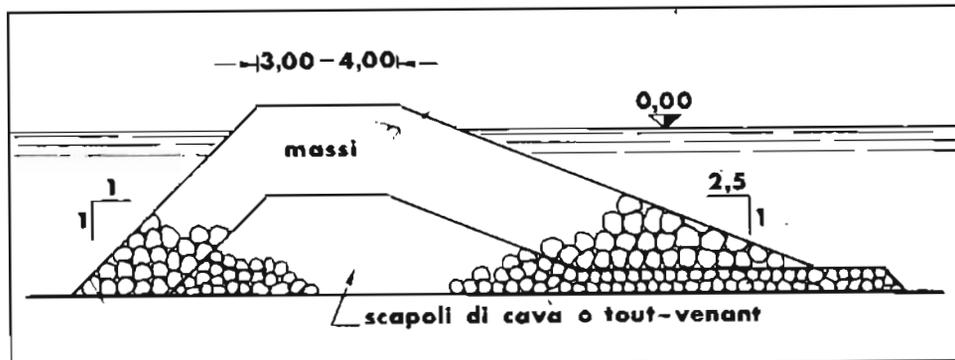


Fig. 107 - Sezione tipica di diga parallela.

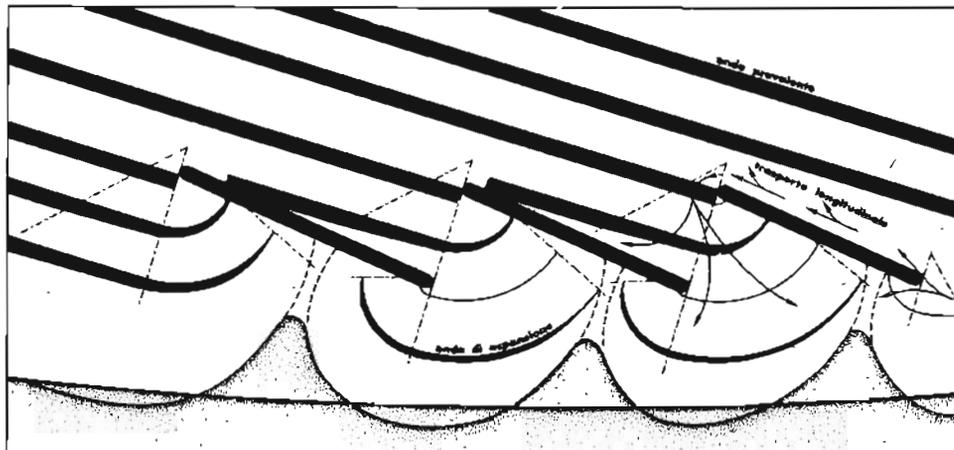


Fig. 108 - Evoluzione della linea di spiaggia a ridosso di un sistema di dighe parallele.



Fig. 109 - Viserba: successione di scogliere parallele (Fotocielo).

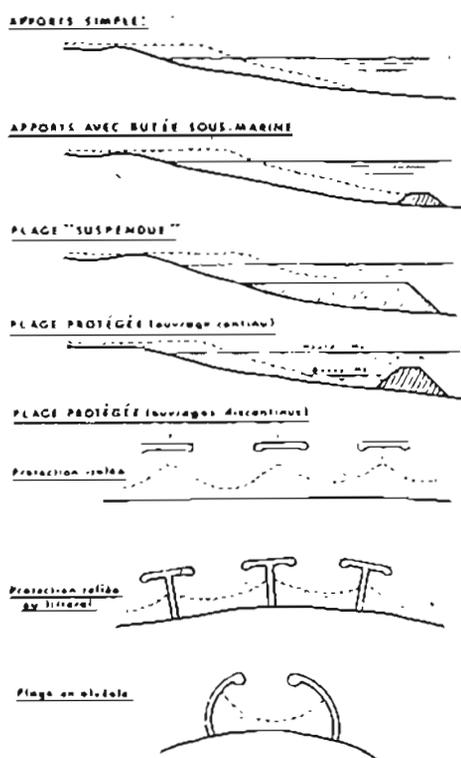


Fig. 110 - Types de plages artificielles. (Da "XXIII Congresso di Navigazione di Ottawa" di E. Le-spine).

Per quanto riguarda il dimensionamento si procederà come per un normale molo a scogliera.

Pertanto poiché in genere queste opere si realizzano in fondali limitati e con pendenza abbastanza lieve, l'onda investe l'opera dopo aver iniziato il frangimento ad una certa distanza dalla struttura ed aver quindi dissipato una certa quantità di energia.

Si assumerà quindi, almeno in prima approssimazione, come altezza d'onda  $2h$  per il dimensionamento il valore medio fra l'altezza risultante dal piano d'onda e la profondità del fondale a circa 30 metri dalla struttura.

Un calcolo definitivo potrà essere condotto in base alla valutazione dell'altezza d'onda al piede della struttura.

#### Difese aderenti impermeabili

Le difese aderenti impermeabili sono realizzate generalmente con strutture rigide costituite da murature in getto, cassoni, elementi prefabbricati o massi naturali collegati da mastici bituminosi.

Possono classificarsi in due categorie nettamente distinte a seconda che siano rea-

lizzate a struttura verticale e fondate in profondità tale da escludere il frangimento delle onde di massima tempesta o viceversa tali da ammettere il fenomeno del frangimento dell'onda.

Nella prima categoria ci troviamo di fronte ad una struttura che praticamente non differisce da una diga verticale del tipo comunemente usato nelle costruzioni portuali. In questo caso la difesa è realizzata in condizioni di fondale tali da escludere completamente la esistenza di una spiaggia e quindi non pone problemi in relazione al nostro tema.

Nel secondo caso invece, ossia quando si ammette il frangimento dell'onda, la struttura impermeabile può essere realizzata seguendo due concetti diversi.

Il tipo più classico è certo quello costituito da un'opera muraria in fregio al lido come illustrato nella figura 112.

Essa consente il massimo risparmio di spazio e quindi il totale utilizzo della profondità del terrapieno retrostante, ma provoca, non appena l'onda giunga ad investirla, flutti riflessi che rapidamente originano movimenti trasversali e longitudinali della sabbia.

Al limite l'azione di riflesso del moto ondoso può giungere a provocare l'asportazione della rena fino a scalzare la fondazione del manufatto e a produrne il crollo. Questo tipo di struttura per essere stabile deve essere quindi fondata profondamente o basata su palificate o protetta al piede con una tura stagna di palancole profondamente infisse nella sabbia. Essa può essere giustificata quando, come già detto, sia assolutamente necessario disporre di tutta la profondità del terreno retrostante, che verrebbe invece in parte occupato dalla maggior profondità di una difesa con parametro a piano inclinato.

Un secondo tipo di difesa aderente impermeabile è appunto costituito da una struttura più o meno inclinata, realizzata in genere in calcestruzzo gettato in opera od in elementi prefabbricati secondo i tipi schematizzati nella figura 112. Questo tipo di struttura consente all'onda di distendersi su di essa nel frangimento. Anche in questo caso però, per la vivacità dell'azione del flutto di ritorno, si crea una certa azione di riflesso che tende a scalzare la struttura alla base ed è quindi sempre necessario proteggere il piede assicurandogli una fondazione profonda. Dal punto di vista della conservazione della spiaggia, la struttura ha effetto negativo poiché ne può provocare la definitiva scomparsa.

#### Strutture aderenti particolari

In particolari condizioni (soprattutto quando la lunghezza d'onda che investe la struttura è limitata) strutture aderenti particolari realizzate con precisi adattamenti alla situazione possono avere effetti

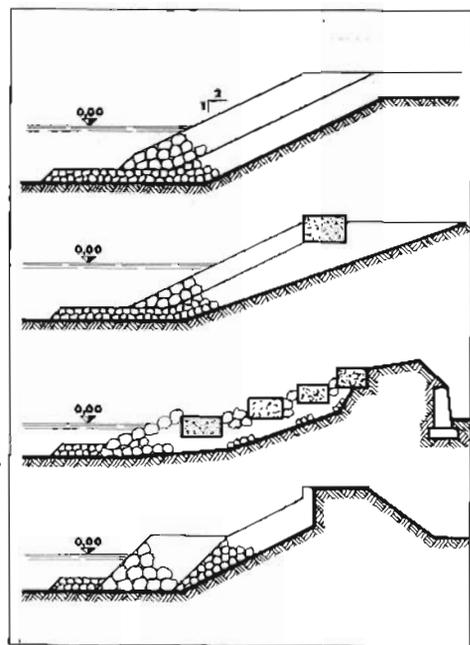


Fig. 111 - Tipi di difese aderenti permeabili.

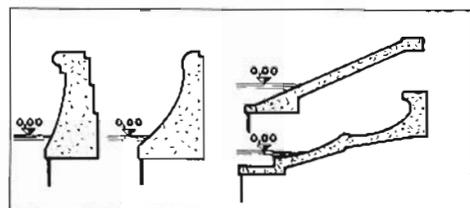


Fig. 112 - Difese aderenti impermeabili.

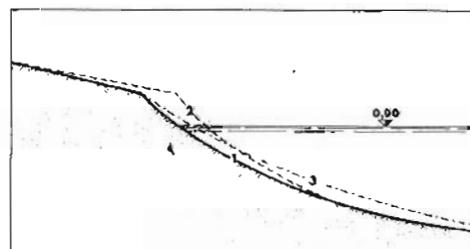


Fig. 113 - Variazioni ottenibili sul profilo trasversale di una spiaggia, mediante versamenti artificiali.

positivi sulla conservazione delle spiagge. Le onde molto corte infatti frangono facilmente su superfici non molto dolci. In situazioni di questo genere una struttura aderente a scivolo può consentire la quasi totale eliminazione dell'azione di riflesso evitando pertanto effetti negativi nel profilo.

Questa proprietà in queste particolari condizioni consente, in casi particolarmente favorevoli, di contenere l'erosione nei mesi invernali e di non impedire la riformazione della spiaggia nei mesi primaverili.

Una realizzazione di questo genere parzialmente riuscita si può osservare a Jesolo e meriterebbe di essere studiata.

## 2. LE NUOVE TECNICHE

### 2.1 Premesse

La tendenza moderna è di abbinare versamenti artificiali a strutture in grado di imbrigliare le sabbie privilegiando certe zone di particolare interesse. Per ottenere questo scopo è necessaria

una conoscenza molto approfondita dei fenomeni litoranei locali e disporre di tipi di strutture che possano influire sul movimento detritico (longitudinale e trasversale) senza presentare effetti dannosi o non graditi.

A questo scopo possono naturalmente essere usate anche le strutture tradizionali ma esistono situazioni in cui esse non sono in grado di garantire il successo od in cui la loro adozione comporterebbe costi troppo elevati.

### 2.2 I ripascimenti artificiali

La riuscita di un versamento dipende dalla granulometria e dalla qualità del materiale disponibile.

Per quanto riguarda la granulometria, infatti ognuna di esse occupa una data posizione nel profilo più vicina alla battigia per il materiale grossolano.

Perciò se si versa su di una spiaggia del materiale granulometricamente assortito, la frazione più sottile andrà ad assumere posizioni profonde, mentre la più grossolana rimarrà nella parte alta del profilo (1). Se invece il materiale sarà costituito da sola sabbia fine, esso si depositerà in profondità senza o con scarso vantaggio immediato per la spiaggia emersa (2).

Sono illusori perciò quegli interventi intesi all'avanzamento della linea di spiaggia ed al suo miglioramento qualitativo mediante il semplice versamento di sabbia dragata dal fondale marino immediatamente antistante la spiaggia stessa. L'arenile viene infatti coperto con uno strato di sabbia finissima che è in posizione instabile, cosicché la prima mareggiata ripristina le condizioni precedenti, trascinando la sabbia fine alla batimetria dalla quale era stata prelevata.

Se il materiale versato viceversa sarà più grossolano di quello esistente potrà rimanere almeno in parte (per quanto riguarda il trasporto trasversale), aderente alla linea di battigia o nelle sue adiacenze. Il nuovo equilibrio si potrà stabilire secondo un profilo più ripido, derivandone il vantaggio di un avanzamento della battigia con una quantità di materiale più limitata.

Se ipotizzato un profilo iniziale del tipo schematizzato nella figura 113 con la curva 1), versando materiale di granulometria sensibilmente superiore potremo stabilire un nuovo profilo del tipo 2), mentre con materiale di granulometria lievemente inferiore a quella esistente di stabilità un profilo di tipo 3), con conseguente minore o nullo avanzamento della battigia.

Tuttavia una lieve pendenza del profilo è un fattore di stabilità della spiaggia, sia perché è superiore la quantità di materiale che deve essere asportato per porla in corrosione (ed infatti le spiagge sottili sono in generale le più stabili) sia in quanto diminuendo la pendenza, l'onda frange più

gradualmente e quindi è minore la concentrazione di energia.

Con opportuni accorgimenti è però possibile far assumere ai granuli posizioni del profilo che naturalmente loro non competerebbero, con notevoli vantaggi per la stabilità della spiaggia e per l'economia del lavoro (vedi versamenti a mezzo di pennelli fornitori), dato anche che il materiale detritico, per le grandi quantità occorrenti, quasi mai può essere scelto delle caratteristiche che si vorrebbero e spesso occorre accettarlo come lo si trova.

Nella maggior parte dei casi, per ragioni economiche si ricorre infatti a materiali di fortuna provenienti da scavi o a prelievi da depositi di risulta. Solo in casi particolari e soprattutto nella fase finale del lavoro di bonifica o costruzione di una spiaggia si impiegano materiali di un elevato valore commerciale, anche provenienti da impianti di frantumazione. Comunque prima di predisporre un versamento di materiale di fortuna, si condurranno opportune indagini sulla sua composizione media, soprattutto per l'aspetto negativo che presenterebbero elementi di grandi dimensioni o frazioni limose, tufacee ed argillose. La presenza, infatti di elementi molto grossolani crea il pericolo di trasformare la spiaggia che si vuole alimentare in una scogliera di scapoli con conseguente difficoltà anche per la distribuzione del restante materiale più idoneo. In seguito vedremo come, entro certi limiti e con opportune tecniche di versamenti, sia possibile anche l'utilizzazione di materiali di maggiori dimensioni. Per quanto riguarda le sostanze terrose contenute nel detrito, esse sono completamente perdute ai fini del ripascimento. Le particelle minutissime vanno infatti a depositarsi in fondali elevatissimi (30-50 m.) in un velo estremamente sottile data la grande estensione dell'area interessata e quindi non arrecano al lido beneficio alcuno. Oltre a ciò la presenza di grandi quantità di argille o terre provocherà, come già accennato, un inquinamento delle acque di ordine estetico ecologico, anche se in genere le particelle in sospensione hanno origine inorganica e quindi non si determinano condizioni pericolose dal punto di vista igienico. Infatti particelle minute rimangono a lungo in sospensione e di conseguenza intorno alla zona dei versamenti si stabilisce una fascia di torbidità. Grande importanza riveste infine la composizione petrografica delle rocce da cui traggono origine i materiali detritici, perché i granuli provenienti da rocce dure saranno vitali per un lungo periodo di tempo, quelli teneri saranno rapidamente trasformati in particelle minutissime e quindi andranno presto perduti negli alti fondali.

(1) Eventualmente affondando nel sedimento più fine.

(2) Formule di Krumhein James e Metodo Dean.

È opportuno porre la massima attenzione a questo importantissimo fattore di scelta del materiale anche per decidere per esempio se convenga preferire un tipo di materiale rispetto ad un altro di diverso prezzo, problema che molto spesso si presenta in questo genere di lavori. In tal caso si considererà attentamente, accanto al contenuto di materie terrose, alla granulometria, alla presenza di grossi elementi, anche, e non per ultima, la natura mineralogica dei costituenti lapidei. Per giungere a risultati sicuri al proposito è spesso indispensabile sottoporre campioni del materiale a prove di usura presso i laboratori universitari specializzati.

#### *Tecniche di versamento*

Le tecniche di versamento sono diverse a seconda della situazione da affrontare e quindi dei risultati da conseguire ed anche a seconda del materiale disponibile e della sua provenienza (marina o terrestre).

Chiameremo versamenti "diretti" quelli effettuati in corrispondenza della spiaggia ed "indiretti" se sopraflutto alla spiaggia.

#### *Versamenti da terra con materiale di origine terrestre*

##### *Versamenti diretti sulla battigia*

Per situazioni di emergenza al manifestarsi di una corrosione, il versamento è in genere effettuato semplicemente a mezzo di autocarri ribaltabili, in cumuli più o meno concentrati lungo la battigia. In tal caso è opportuno che il materiale versato sia di granulometria sensibilmente superiore a quella dell'arenile perché assuma e mantenga una posizione abbastanza alta nel profilo trasversale della spiaggia. Nel corpo del materiale non dovranno però trovarsi in quantità elementi di grandi dimensioni che potrebbero danneggiare le caratteristiche dell'arenile: una quantità modesta di materiale grossolano viene facilmente assorbita dalla spiaggia senza inconvenienti, contribuendo al consolidamento della sua fondazione. Invece se il volume supera la capacità di assorbimento della sabbia di fondo, il materiale grossolano rimane affiorante e, oltre a degradare la qualità della spiaggia, può provocare riflesso, accentuando il trasporto longitudinale e quindi la corrosione. In tal caso si devono diluire i versamenti lungo la spiaggia ampliando il fronte o agire in profondità nel profilo, oppure si deve procedere ad una preventiva vagliatura del materiale o ad abbassare la granulometria media (figg. 114, 115 e 116).

##### *Versamenti diretti a mezzo di pennelli rifornitori*

Per ottenere un risultato meno immediato ma di effetto più esteso in profondità, per esempio per alimentare spiagge di re

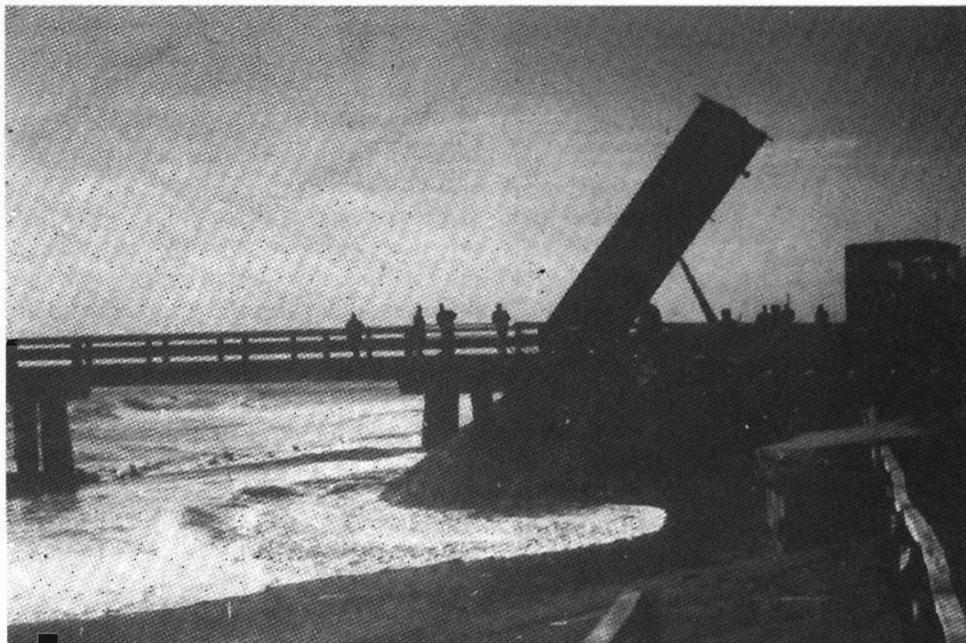


Fig. 114 - Difesa di emergenza del litorale di Marina di Massa mediante versamenti aderenti di pletrisco (Foto Egori).



Fig. 115 - Marina di Massa: il materiale di ripascimento è versato in aderenza alla strada a mare; in occasione delle mareggiate compenserà l'erosione (Foto Egori).



Fig. 116 - Pietra Ligure: Versamenti in profondità con ghiaietto di cava.

cente bonifica o costruzione, è buona tecnica ricorrere alla formazione di pennelli rifornitori e cioè a manufatti di detrito che si protendono in mare con una sezione esile e bassa (fig. 116).

Essi consentono di distribuire il materiale più a largo lungo il profilo trasversale, facendo assumere alle granulometrie più grossolane una giacitura profonda con conseguente innalzamento del fondo e quindi addolcimento del profilo. Infatti in occasione della mareggiata, qualunque sia la direzione di provenienza, per effetto della diffrazione si verifica una concentrazione di energia sul pennello che verrà rapidamente demolito dall'azione marina (fig. 117).

Durante il processo di demolizione avviene la separazione delle diverse granulometrie secondo il seguente schema.

I materiali limosi o terrosi sono rapidamente posti in sospensione dall'azione detergente delle onde ed asportati; quelli sabbiosi medi e fini assumono rapidamente la posizione che loro compete nel profilo (i più graniti presso la battaglia ed i più fini mano a mano in fondali crescenti); ma quelli più grossolani, non potendo essere trasportati dalle onde, restano in sito e si accumulano sul fondale antistante la battaglia contribuendo ad innalzarlo ed a stabilizzarlo e diminuendo pure la pendenza del profilo. Grandi sono i vantaggi che offre questa tecnica grazie al meccanismo delle azioni naturali suddescritto: essa consente di usare materiali estremamente scadenti per qualità e pezzatura, ad esempio quelli provenienti dagli scavi per le costruzioni stradali o ferroviarie ottenendo ugualmente risultati notevoli.

Una variante può essere costituita dalla creazione lungo la spiaggia di cumuli di materiale di forma compatta e con quota superiore piuttosto elevata.

#### *Versamenti indiretti*

Quando sia necessario provvedere alla normale alimentazione di una spiaggia, sia essa naturale od artificiale, è opportuno ricorrere ai versamenti indiretti che consentono di assicurare all'arenile un gettito abbastanza regolare proprio in occasione delle mareggiate, ossia nel momento più critico e ciò senza ingombrare la spiaggia con piste ed impianti.

I versamenti indiretti si effettuano formando un cumulo di detrito (discarica) sopraflutto alla spiaggia, possibilmente su un tratto di lido scarsamente utilizzabile o meglio oltre il limite di spiaggia, in una zona apertamente esposta all'azione del mare. Sul promontorio artificiale che viene formato con il versamento dei detriti, per effetto della diffrazione dell'onda si produce una concentrazione dell'energia del moto ondoso che ne accelera l'erosione.

Mentre i materiali solubili vengono ridotti

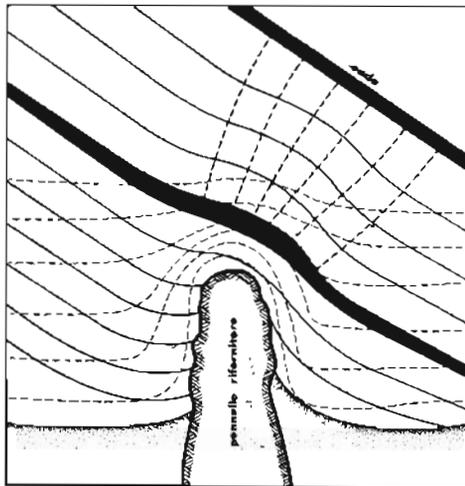


Fig. 117 - La concentrazione dell'energia del moto ondoso sulla testata del pennello rifornitore ne accelera la distruzione.

in sospensione ed allontanati dalle correnti, i detriti di una certa granulometria sono sottoposti all'usura del mare e nel contempo sospinti verso le spiagge sopraflutto.

I materiali molto grossolani (scapoli e piccoli massi) rimangono invece al piede della discarica e qualora siano in quantità elevata, ne costituiscono un'autodifesa, opponendosi al procedere successivo dell'erosione. In tal caso è opportuno provvedere con una certa saltuarietà al loro allontanamento. Ciò in genere non costituisce un onere poiché i massi e gli scapoli possono utilmente essere usati per altri scopi.

I materiali medi, grossi ciottoli e pietre, vengono trasportati per un breve tratto immediatamente sottoflutto al fronte di versamento andando a costituirvi una spiaggia di materiale grossolano o comunque di scarso valore.

Sarà perciò opportuno lasciare una zona di rispetto tra la discarica e la spiaggia da alimentare ed eventualmente frapporre un manufatto con funzione di filtro, ca-

pace cioè di arrestare i grossi ciottoli senza costituire un ostacolo sensibile al passaggio della sabbia.

### 2.3 Ripascimento con materiali dragati dai fondali marini o refluiti da depositi interni

Negli ultimi decenni è venuta maturando nei paesi più industrializzati una nuova tecnica di uso di sedimento dragato dai fondali marini. Le coste sabbiose sono ricche fino alle batimetrie di 20-30 metri ed oltre, di ingenti depositi di sabbia (spiagge, fossili etc.).

Le granulometrie di dette sabbie sono spesso superiori ai valori granulometrici presenti sulla battigia.

È anche possibile, usando particolari tecniche di dragaggio prelevare dai fondali una parte di sedimento corrispondente alla sua parte più grossolana.

Le conoscenze scientifiche attuali consentono inoltre di valutare la stabilità su un dato arenile di un certo sedimento di determinate caratteristiche granulometriche (formule di Krumhein James e di Dean). È quindi possibile sulla base di una ricerca geologica sedimentologica, individuare giacimenti di materiali adatti al ripascimento delle spiagge.

Le attrezzature oggi disponibili (ma non ancora purtroppo molto sviluppate in Italia) consentono di effettuare massicci movimenti di materiali dell'ordine di milioni di metri cubi con un onere finanziario accettabile.

In genere si prevede la realizzazione di opere di imbrigliamento parziale del sedimento (vedi capitolo II) e si effettua quindi il refluitamento del materiale dragato determinando l'avanzamento della spiaggia di 100-120 ml.

Si ammette quindi che in un periodo (in genere di un decennio) sia necessario ripetere il versamento oppure si prevede una



Fig. 118 - Bergeggi: i lavori per la realizzazione della nuova spiaggia vengono iniziati con un versamento aderente.

alimentazione continua con impianti semifissi.

Sono di tale tipo gli interventi sulle spiagge di Beaunemonth, Portobello Beach (Regno Unito) Copacabana (Brasile) Praia de Rocha (Portogallo), Virginia Beach, Wrightsville Beach, Carolina Beach, New Jersey Sea Spirt, Redondo Beach (U.S.A) (vedi documentazione fotografica).

## 2.4 Utilizzazione di ingenti quantità di materiali provenienti da grandi opere di sbancamento

È possibile che si verifichino grandi disponibilità di materiali di risulta da grandi scavi di sbancamento (costruzioni stradali o ferroviarie, sistemazioni territoriali costiere, costruzioni di centrali elettriche etc.).

È evidente che se tale disponibilità si verifica vicino alla costa è possibile procedere a riempimenti a mare e se la qualità lo consente, anche creare nuove spiagge. Il problema è naturalmente irto di problemi di ordine igienico, estetico, ecologico per cui ogni aspetto deve essere affrontato con la dovuta attenzione sotto i vari punti di vista.

Per contro in casi particolarmente favorevoli pone l'opportunità di realizzare nuove spiagge o migliorare quelle esistenti a costi assolutamente irrisori.

Una tale operazione è stata realizzata dal nostro studio negli anni 1971-1972 a Berggigi in Provincia di Savona (vedi seguito) utilizzando materiali particolarmente adatti allo scopo, provenienti dalle opere di sbancamento necessarie per la costruzione della nuova centrale termoelettrica ENEL a Vado Ligure.

## 2.5 Strutture moderne di imbrigliamento delle sabbie da usare parallelamente ai versamenti di ripascimento

### Le piattaforme isole

Sono strutture di facile costruzione, che agiscono sui fenomeni che si verificano nella zona dei frangenti, ossia in fondali

dai due ai cinque metri o che possono influire sulle correnti da moto ondoso obbligando i detriti trasportati ad un rallentamento senza sospingerli in tali fondali ma anzi mantenendoli aderenti alla costa. Esse consistono in genere in opere in scogliera, di forma circolare e di dimensioni limitate, rinforzate e stabilizzate nella parte centrale da un anello di calcestruzzo, ma nulla vieta la realizzazione con altri sistemi costruttivi, restando invariato il concetto funzionale. Si potrebbe pensare alla realizzazione mediante contenitori in tessuto riempiti di sabbia.

La piattaforma viene realizzata nella zona dei frangenti; nella figura 119 riportiamo uno stralcio dei disegni di progetto di una piattaforma in scogliera del tipo comunemente realizzato. Il dimensionamento della struttura, nel caso che essa sia realizzata in scogliera di massi naturali od artificiali, non differisce da quello cui abbiamo accennato per la zona di testata di un pennello.

Per quanto riguarda la realizzazione dell'opera in scogliera, nel caso che la costruzione avvenga via mare, non esistono problemi se non relativi al limitato fondale in cui si svolge l'opera.

Nel caso invece che si voglia operare da terra si inizierà un versamento di materiale da ripascimento, così da costruire una specie di piccolo istmo che consenta ai mezzi terrestri di giungere a versare e sistemare gli scogli nella zona prescelta. Il materiale costituente l'accesso sarà facilmente asportato dal moto ondoso e dovrà essere quindi rifornito per tutta la durata dei lavori che richiedono di venire condotti con una certa celerità ed approfittando dei periodi di mare calmo.

Il meccanismo di funzionamento delle piattaforme-isole è il seguente durante le grandi mareggiate: la struttura investita dal frangente già in fase di avanzata rottura ne assorbe una parte della energia con conseguente protezione della zona di spiaggia immediatamente retrostante e delle sue adiacenze.

Durante le agitazioni medie e minori, l'onda si presenta in corrispondenza del manufatto ancora integra e nella rifrazione intorno ad esso cambia di direzione e



Fig. 120- L'onda di una mareggiata di media intensità, con la rifrazione e diffrazione intorno all'isola, riforma gradualmente il tombolo nella zona ridossata. La forma circolare attenua le conseguenze della riflessione esterna.

diminuisce di intensità. In conseguenza nella zona protetta dalla piattaforma, si assiste alla formazione di un "tombolo" costituito da sabbia decisamente più fine di quella che si osserva sul resto dell'arenile.

A questa azione di protezione di una parte, sia pure ridotta del lido, si associa il fatto che la stessa presenza della struttura influisce profondamente sul regime delle correnti radenti che si generano lungo l'arenile e nella zona dei frangenti in conseguenza del moto ondoso. La presenza dei manufatti in una certa successione sposta queste correnti obbligandole a passare all'esterno dove, per effetto della maggiore profondità, la loro velocità si smorza diminuendo la capacità di trasporto.

È anche possibile, una volta costruito il sistema di difesa, influire fino ad un certo limite sul regime delle correnti radenti da moto ondoso, graduando la consistenza del tombolo di sabbia che unisce l'isola alla spiaggia. Non è però mai opportuno arrivare a trasformare il tombolo di unione in una struttura completamente emersa e quindi difficilmente superabile dai materiali in movimento in quanto ciò porterebbe a trasformare la piattaforma in un normale pennello. Infatti per sfruttare a pieno le caratteristiche delle piattaforme-isole è necessario che il ma-

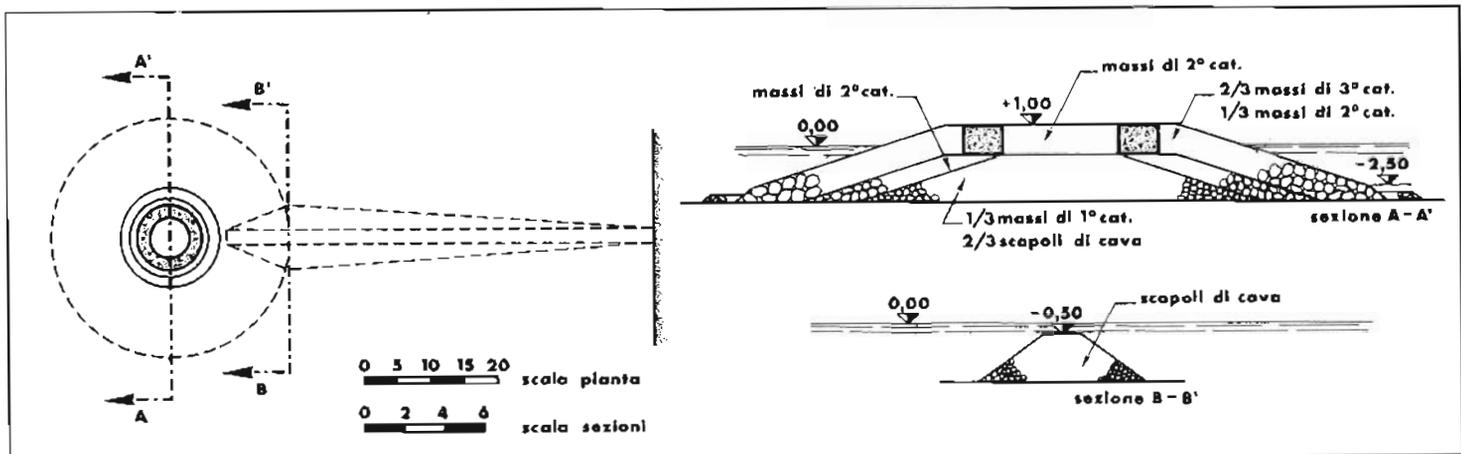


Fig. 119 - Schema di progetto di una piattaforma isola.



Fig. 121 - Piattaforma-isola a C'eriale.

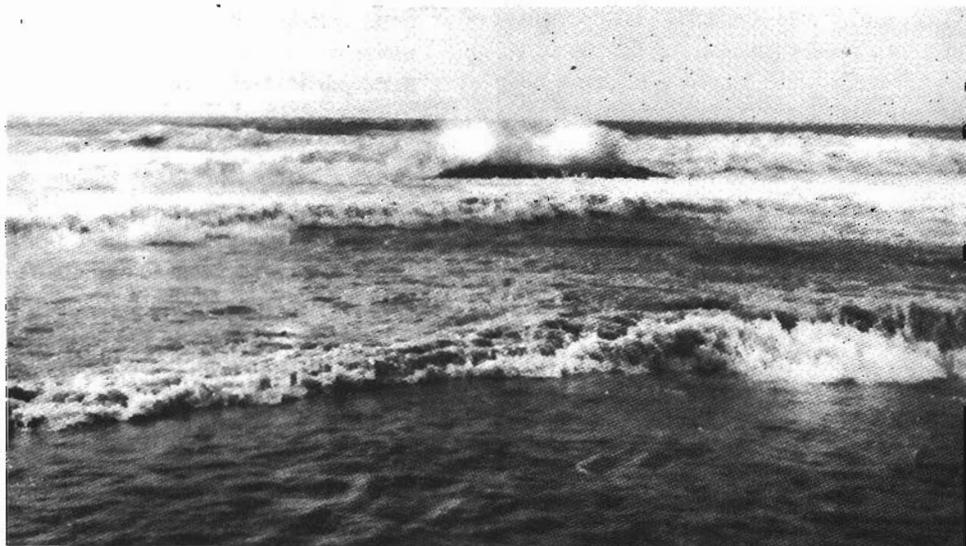


Fig. 122 - Una mareggiata violenta investendo una piattaforma-isola ne sommerge il tombolo, favorendo il transito delle sabbie nel tratto fra l'isola e la battigia. Il trasporto longitudinale è tuttavia attenuato dalla riduzione dell'intensità del moto ondoso nella zona ridossata.

teriale in movimento possa, sia pure con un rallentamento, superare l'ostacolo passando tra esso e la spiaggia e mantenendosi così sempre aderente al lido. A tale proposito è opportuno far notare che il tombolo che si forma dovrà sempre rimanere labile perché solo così il trasporto longitudinale rallentato si svolgerà radente al lido. Questo effetto potrà essere ottenuto limitando la dimensione del manufatto, e la sua quota sul mare. Per evitare fenomeni di riflessione, che avrebbero per conseguenza oltre che l'escavazione al piede della scogliera nella parte esterna anche modificazioni nell'andamento del profilo e quindi sul flusso longitudinale del materiale, è stata in genere prescelta la forma circolare. Infatti essa consente un rapidissimo smorzamento dell'eventuale onda riflessa (fig. 122). Sarà comunque opportuno prevedere, almeno nella parte a mare scarpate abbastanza dolci ed impostare ad una quota limitata il ciglio superiore della struttura, per ridurre la frazione di energia che può venire riflessa.

È stata sperimentata anche la costruzione di piattaforme-isole sommerse. Esse hanno in sostanza l'identica funzione di quelle emerse ma presentano una serie di

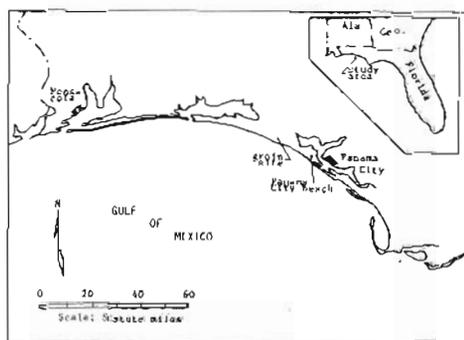


Fig. 123 - Location map of study area.

vantaggi e di svantaggi: da un lato infatti possono offrire uno strumento di intervento più blando rispetto all'analogica struttura emersa, sono di più facile realizzazione e non incidono sul paesaggio. D'altro canto sono di difficile segnalazione e richiedono oltre ad un manufatto centrale emerso in calcestruzzo l'installazione di una boa luminosa permanente. Il dimensionamento delle piattaforme e soprattutto la loro disposizione in profondità ed il loro interesse deve essere studiato in base alle caratteristiche di esposizione e delle morfologie del litorale oltre che del regime litoraneo.

## I setti sommersi

Il concetto base su cui è basato questo dispositivo è fondato sul fatto, ormai accertato, che le sabbie anche durante le grandi mareggiate si muovono sull'ambito di un sottile strato aderente al fondale (la cui altezza è funzione della granulometria).

Per una trattazione più esauriente si rimanda alla relazione presentata al Congresso di Ottawa nelle prove su modello in vasca condotte da Studio Volta presso il laboratorio della Società Sogreah a Grenoble nel 1973.

La prima realizzazione pratica di questo dispositivo è stata effettuata in USA sulla spiaggia di "Panama City" e di esso è riferito in "Coastal Structures" 1979. Attualmente è in corso una prima applicazione in Italia e Terracina a cura della Regione Lazio su progetto Studio Volta.

## Le dighe soffolte

L'adozione di dighe sommerse offre concettualmente una gamma di grosse possibilità.

In primo luogo la costruzione di un "piede" alla spiaggia ossia di un salto nel profilo, può consentire di adottare pendenze più dolci e quindi granulometrie più fini sulla spiaggia, secondariamente la limitazione dell'energia che investe il litorale può consentire un rallentamento dei flussi longitudinali e trasversali con evidenti vantaggi nell'alimentazione.

Il problema è però alquanto più complesso di come sembrerebbe ad un primo esame.

Esperimenti in natura sono in corso in Italia ad Albarella a cura del CNR ed a Marina di Massa a cura del Ministero LL.PP., ma i risultati non sono ancora noti.

Nel 1973, lo Studio Volta effettuò una prima sperimentazione su modello in vasca che si riporta come allegato (deuxième application).

Attualmente sono in corso prove su modello presso l'Università di Padova su incarico del Ministero LL.PP.

## Dighe parallele emergenti realizzate mediante prefabbricati

Sono state sperimentate recentemente su modello presso l'Università di Padova dighe parallele realizzate in pali ed elementi prefabbricati.

I risultati ottenibili sono molto simili a quelli relativi alle strutture in scogliera.

## Strutture per scarpate antiriflettenti

Quando la spiaggia non abbia la profondità necessaria per consentire il completo frangimento dell'onda massima incidente, allo scopo di attenuare l'azione di riflesso possono essere applicate struttu-

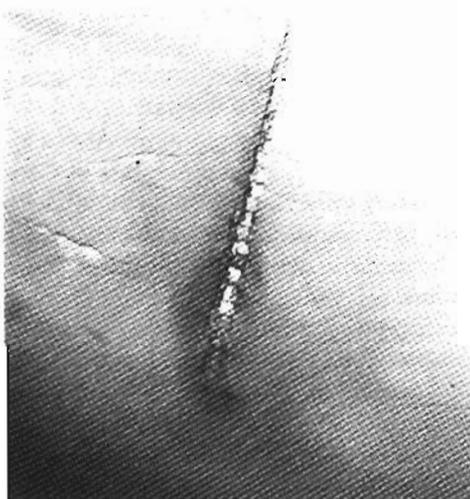


Fig. 124 - An aerial photo showing the sand-bag-groin (24 December 1976).

re porose di scarpata in grado di assorbire parzialmente l'onda frangente. Un esempio di struttura di questo genere è stata recentemente proposta in USA (fig. 126, 127).

*Strutture realizzate a mezzo di contenitori in tessuto*

Le fibre sintetiche hanno raggiunto una tale resistenza meccanica e stabilità chimica che è oggi possibile la loro utilizzazione come contenitori di sabbia.

Le figure che seguono, tratte da Coastal Engineering 1979 offrono un panorama abbastanza completo di tali possibilità (fig. 128).

In recenti applicazioni in particolare è stato proposto, e parzialmente sperimentato, l'uso di tubi di tessuto del diametro di 2 m. e lunghezza indefinita da riempire di sabbia per strutture longitudinali e trasversali.

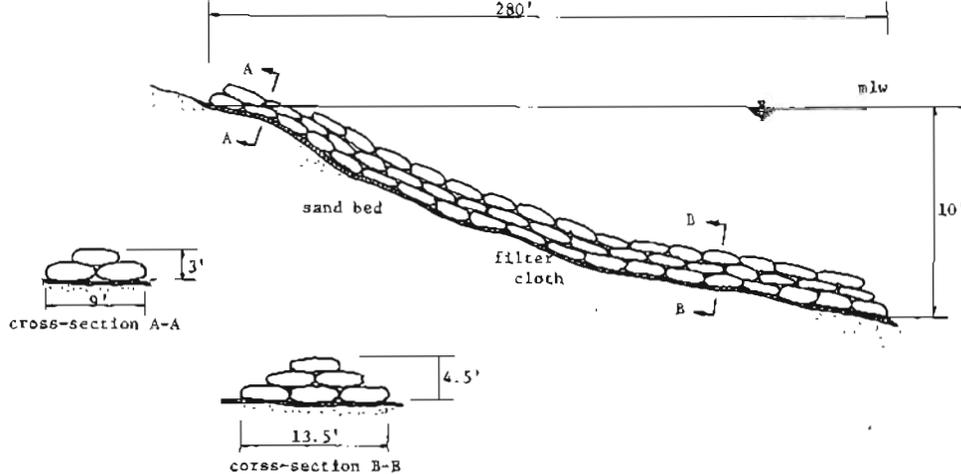


Fig. 125 - The sand-bed-groin configuration.



Fig. 126

**2.6 Recenti interventi di difesa delle spiagge basati su metodi moderne su studi approfonditi delle particolari situazioni locali**

*Premesse*

In questi ultimi anni, in Italia ed all'estero sono stati compiuti interventi di bonifica di spiagge in corrosione e di costruzione di nuove spiagge.

Non vogliamo qui parlare delle spiagge cosiddette artificiali (ossia arenili completamente artificiali e fortemente protetti con dighe emerse o sommerse e quindi sottratti praticamente all'equilibrio naturale) realizzate soprattutto in Francia e di cui si è molto discusso negli ultimi anni, in quanto ci pare che questo argomento si scosti notevolmente dal problema di equilibrio costiero che stiamo trattando. Come si è visto, a monte di tutto il fenomeno di ritiro delle spiagge sta la diminuzione di gettito detritico a mare da parte dei corsi d'acqua ed in alcuni casi la realizzazione di opere marittime, che hanno turbato il flusso detritico costiero. Per quanto riguarda il primo fenomeno, poiché molte delle cause che lo determinano sono ormai da considerarsi definitive (sbarramenti fluviali, sistemazioni del territorio etc.) non è possibile poter ripristinare l'equilibrio naturale delle spiagge quale poteva esistere ai primi del secolo. È però da tener presente che il ristabilimento di un equilibrio del litorale è tanto più facile da ottenere e tanto meno costoso quanto più è possibile contare su una portata solida abbastanza sostenuta dei corsi d'acqua.

È chiaro peraltro, che gli interventi sulle cause non possono da soli condurre ad un nuovo ed accettabile equilibrio delle spiagge poiché la carenza di alimentazione solida è ormai cronica ed irreversibile e, spesso si determina una rottura di equilibrio per cui, anche rimuovendo le cause, non è più possibile ritornare senza altri interventi all'assetto originario. Esistono però mezzi per rendere possibili equilibri delle spiagge diversi da quelli originari.

I metodi oggi più impiegati, come già ac-

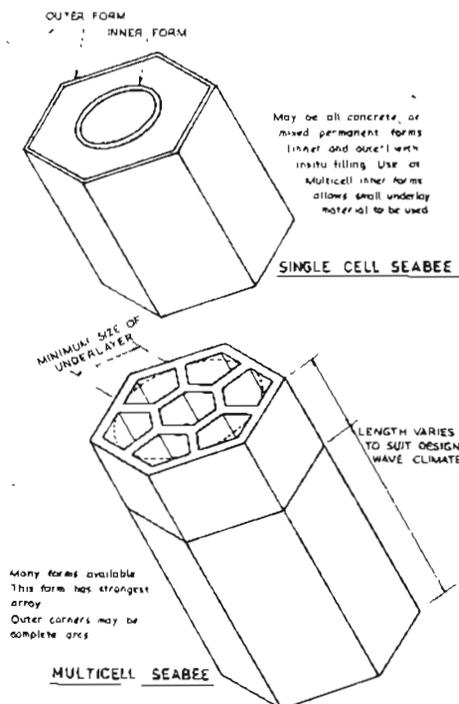


Fig. 127

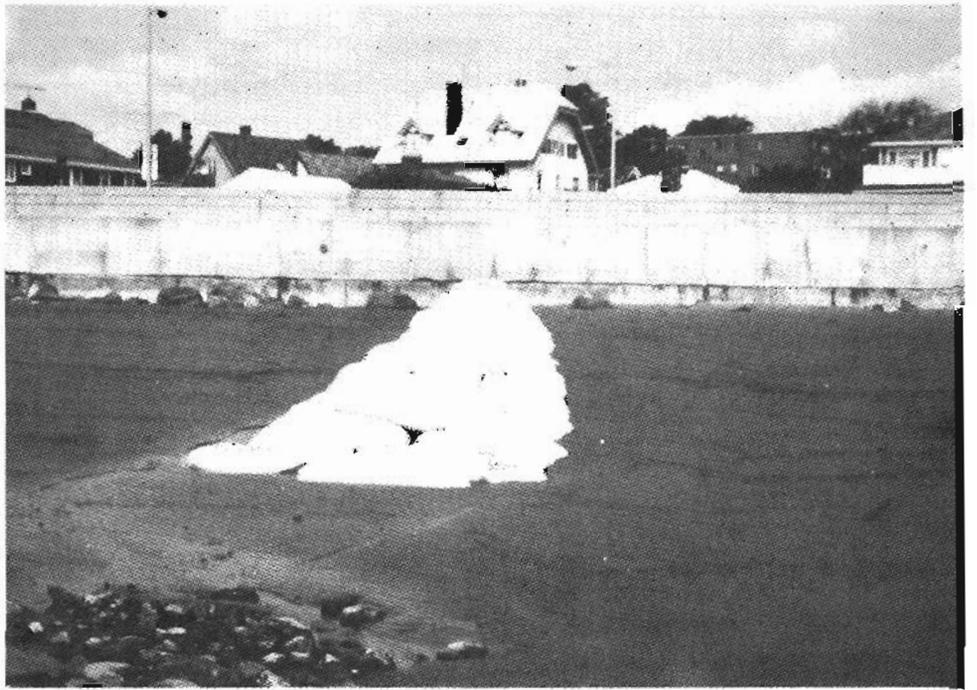


Fig. 128 - A 150' nylon bag groin at Lynn Beach, MA.

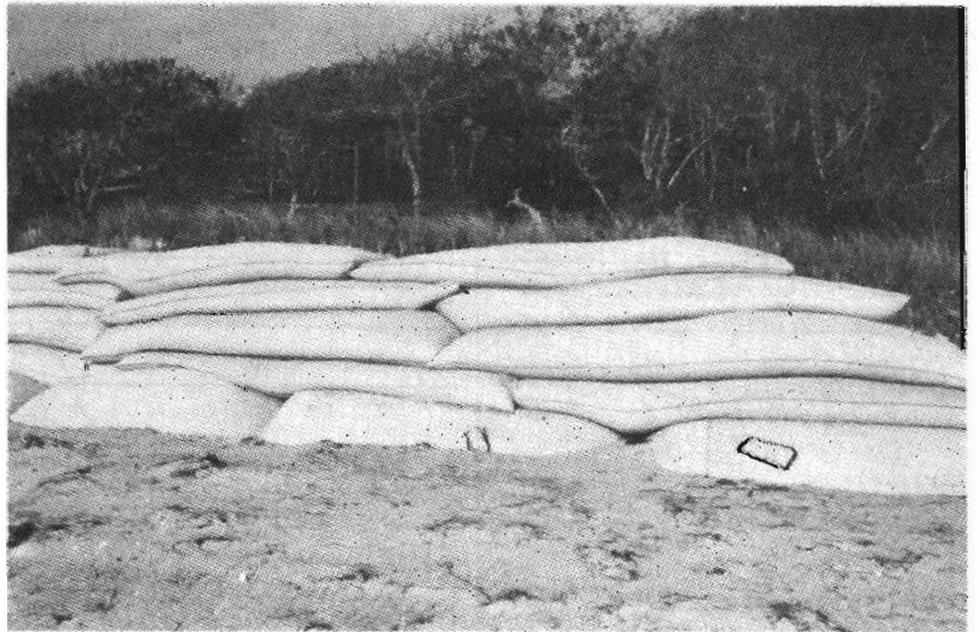


Fig. 129 - Nylon sand bags used for bulkhead toe protection. Most of the bags are covered by sand.

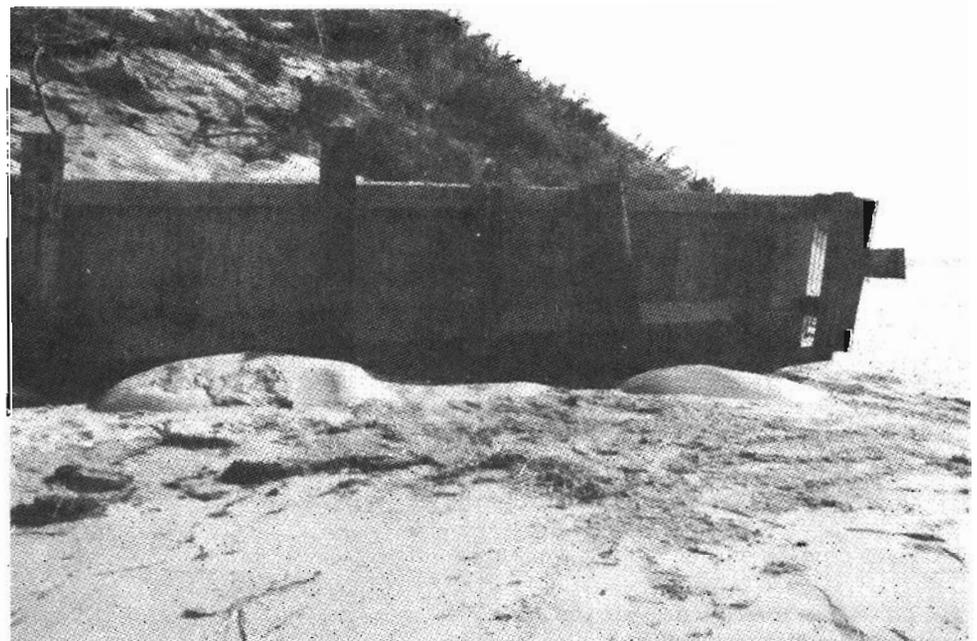


Fig. 130 - Nylon sand bag revetment. A layer of filter cloth underlies the structure.



Fig. 131 - A concrete block ("sandgrabber") perched beach at Duxbury Spit, MA.

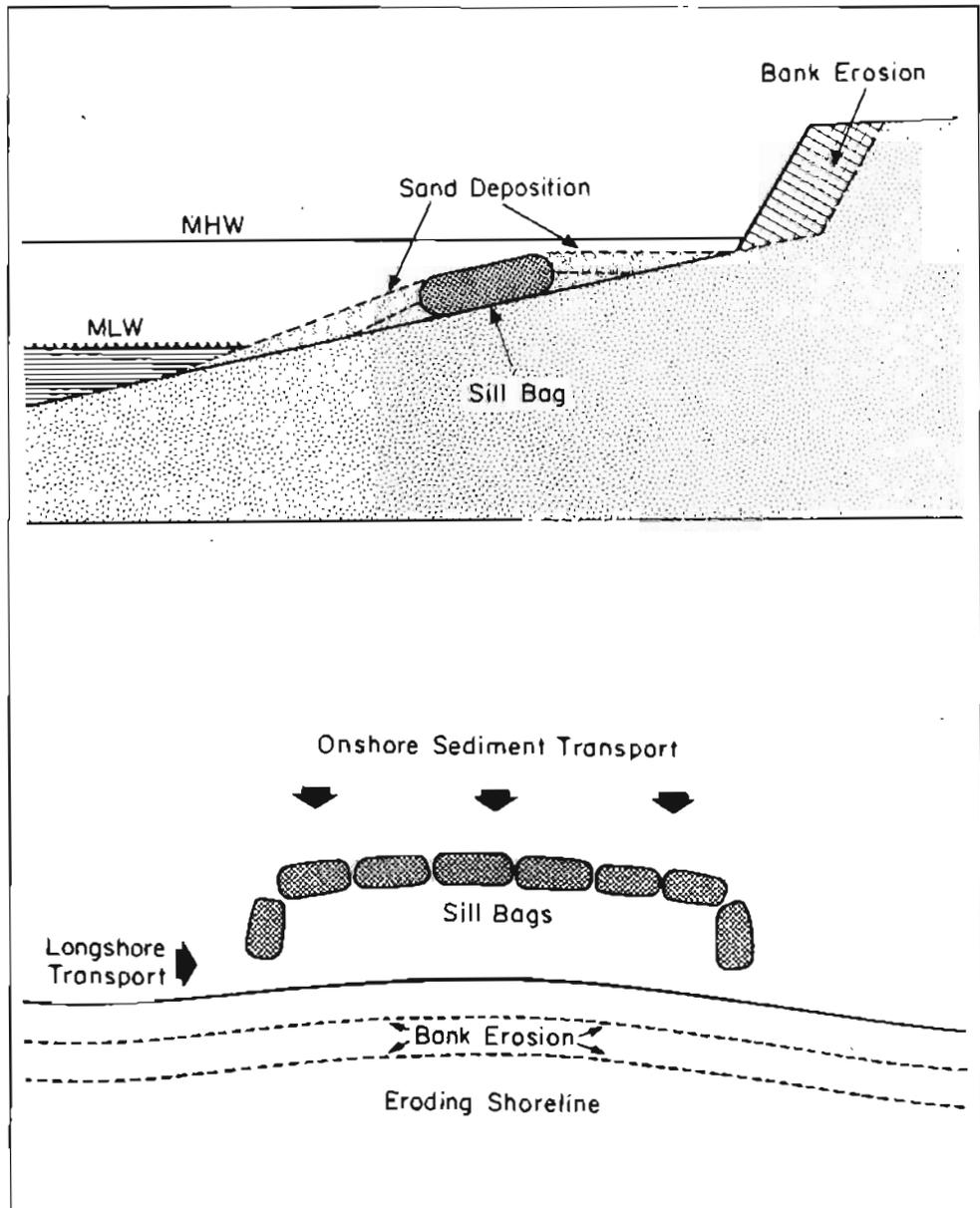


Fig. 132 - Schematic Section (top) and plan (bottom) view of a sill bag perched beach.

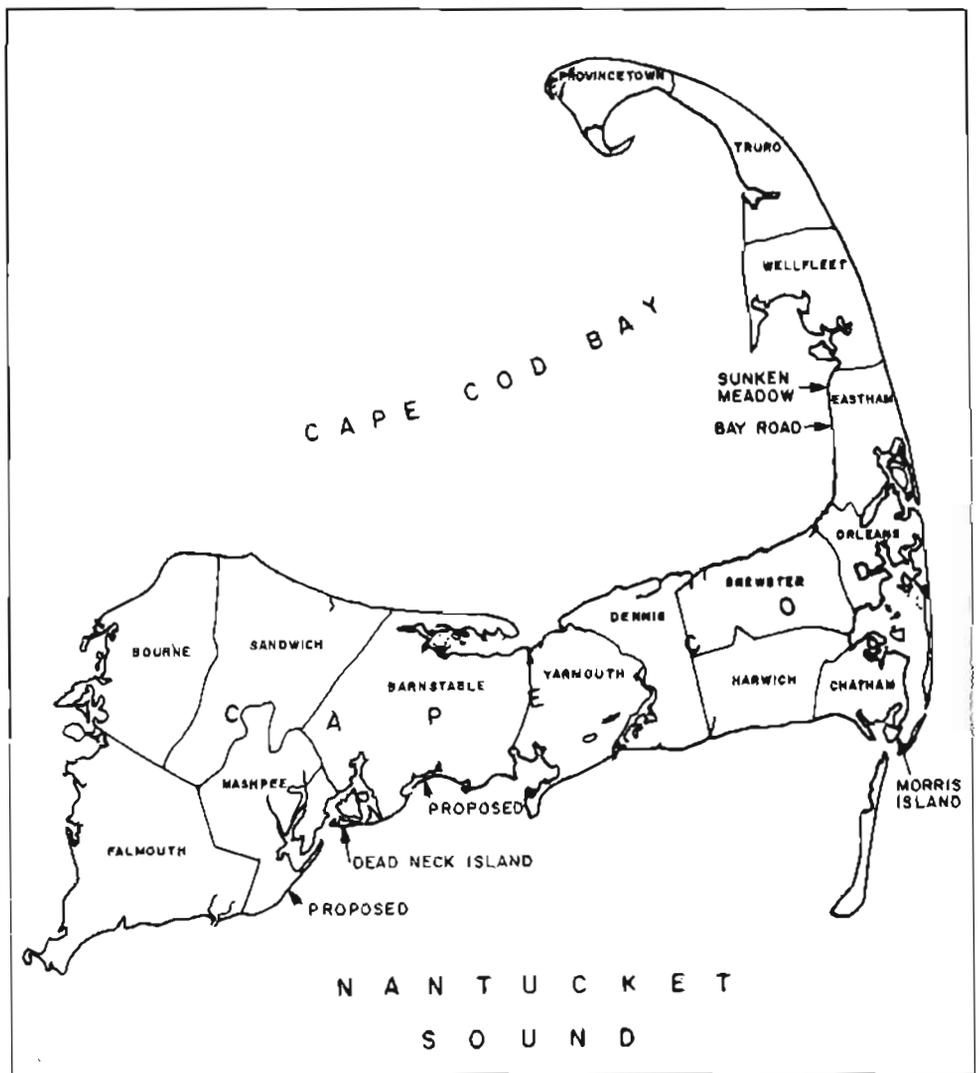


Fig. 133 - Map of Cape Cod showing location of existing and proposed sill bag perched beach projects.

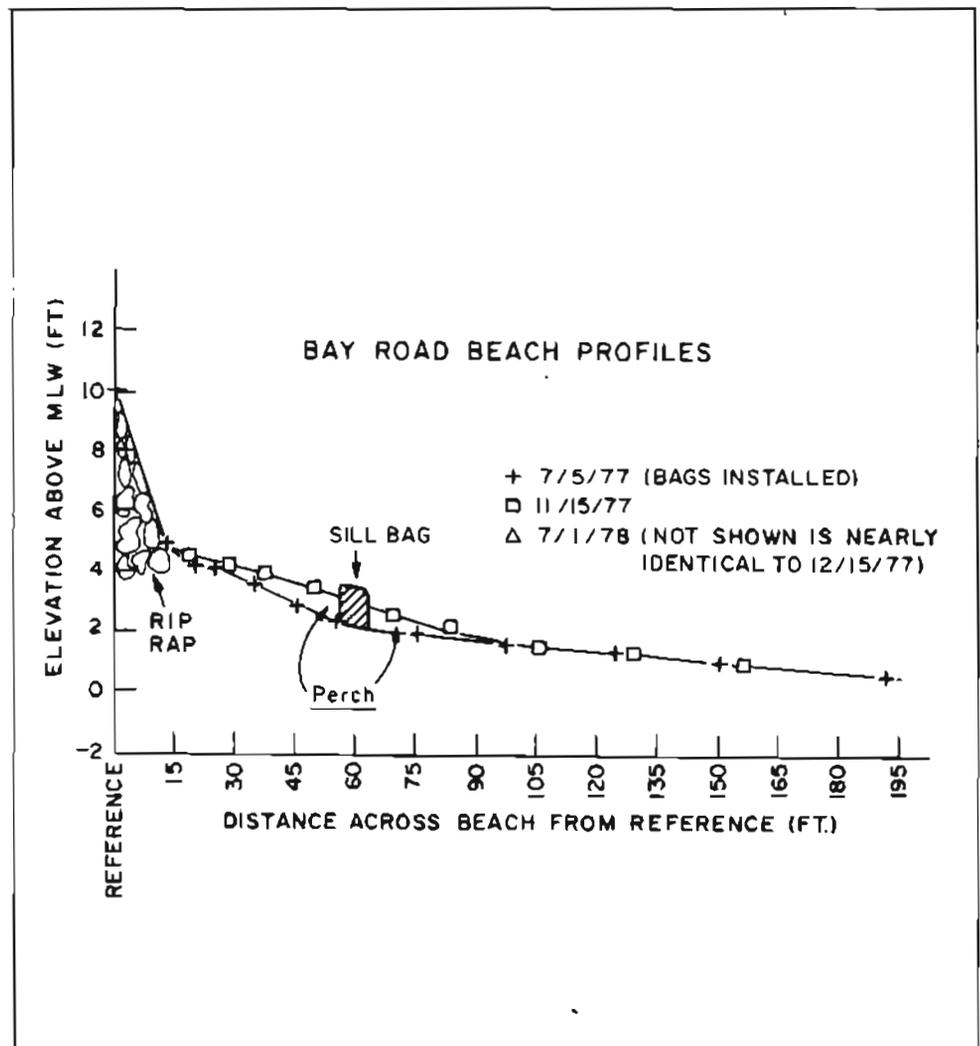


Fig. 134 - Comparison of beach profiles at Bay Road. This profile runs from the corner of the revetment (Figure 7) seaward perpendicular to the beach.

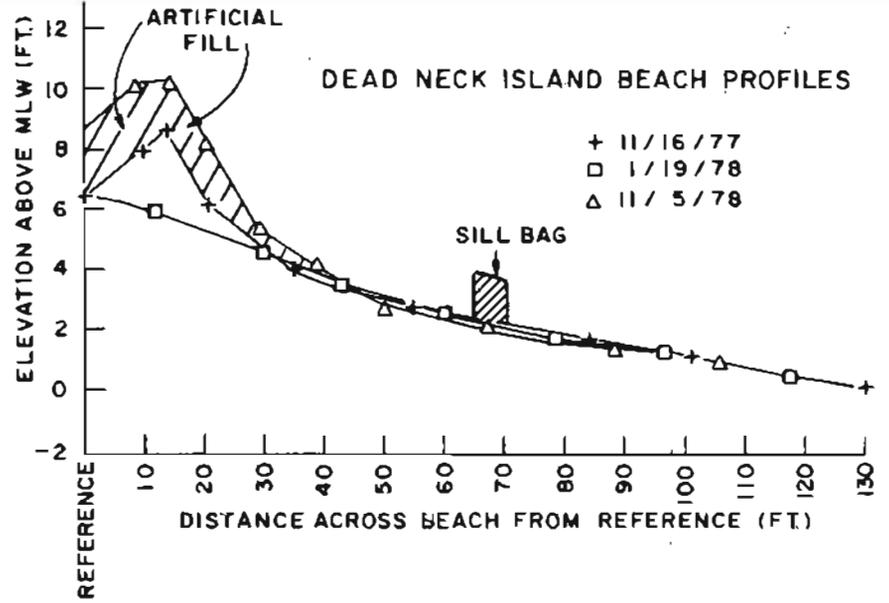


Fig. 135 - Comparison of beach profiles at Dead Neck Island. This profile runs perpendicular to the beach from the dune over the third bag from the bottom in Figure 9.

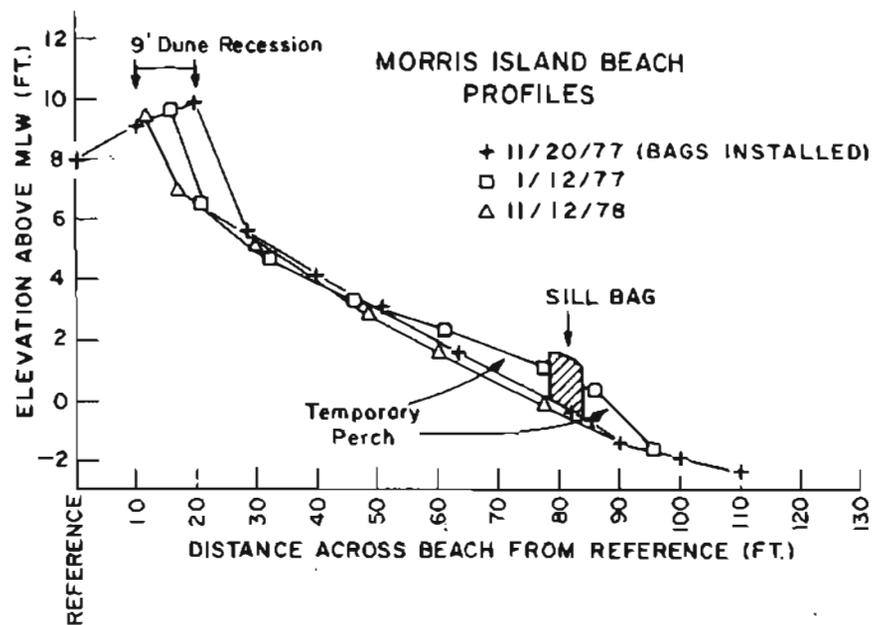


Fig. 136 - Comparison of beach profiles at Morris Island. This profile runs perpendicular to the beach across the second bag from the bottom of Figure 11.

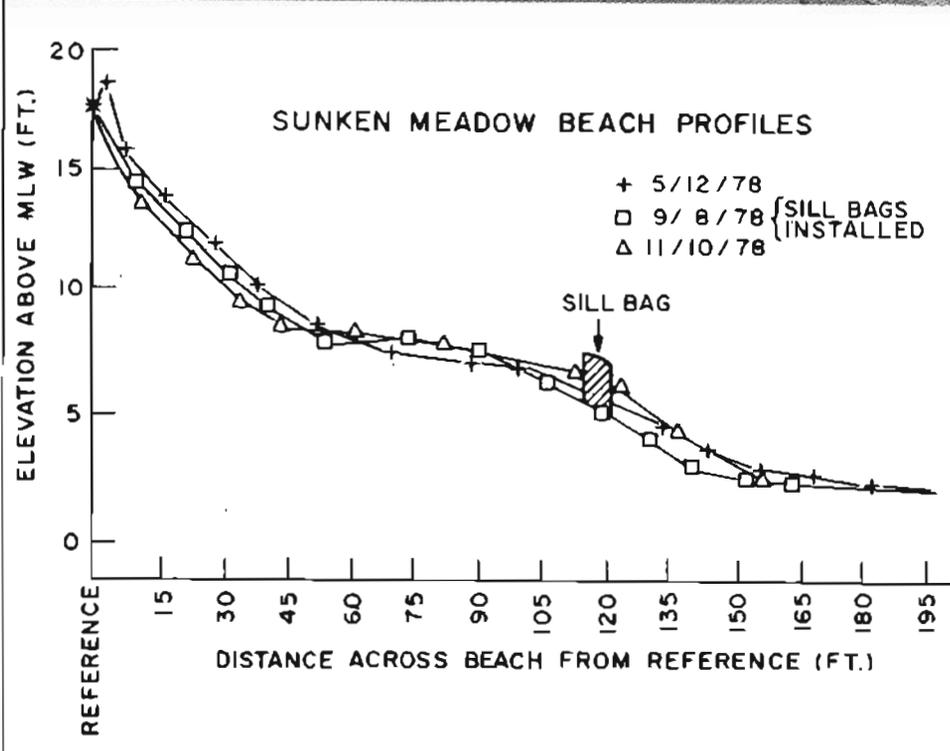


Fig. 137 - Comparison of beach profiles at Sunken Meadow Beach. This profile runs perpendicular to the beach from the dune across the center of the project.

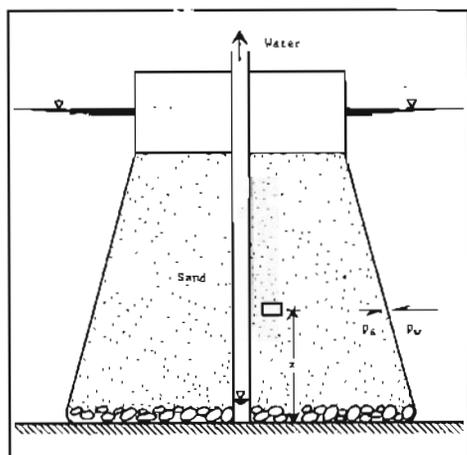
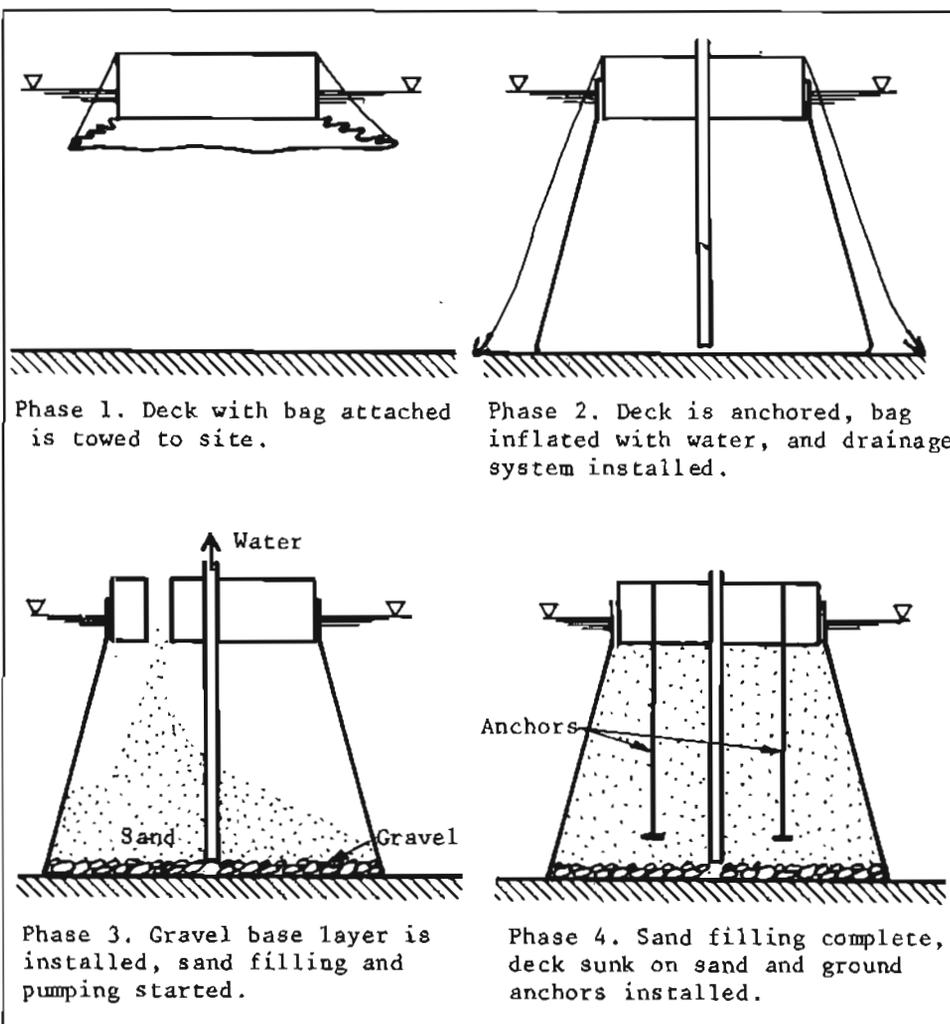
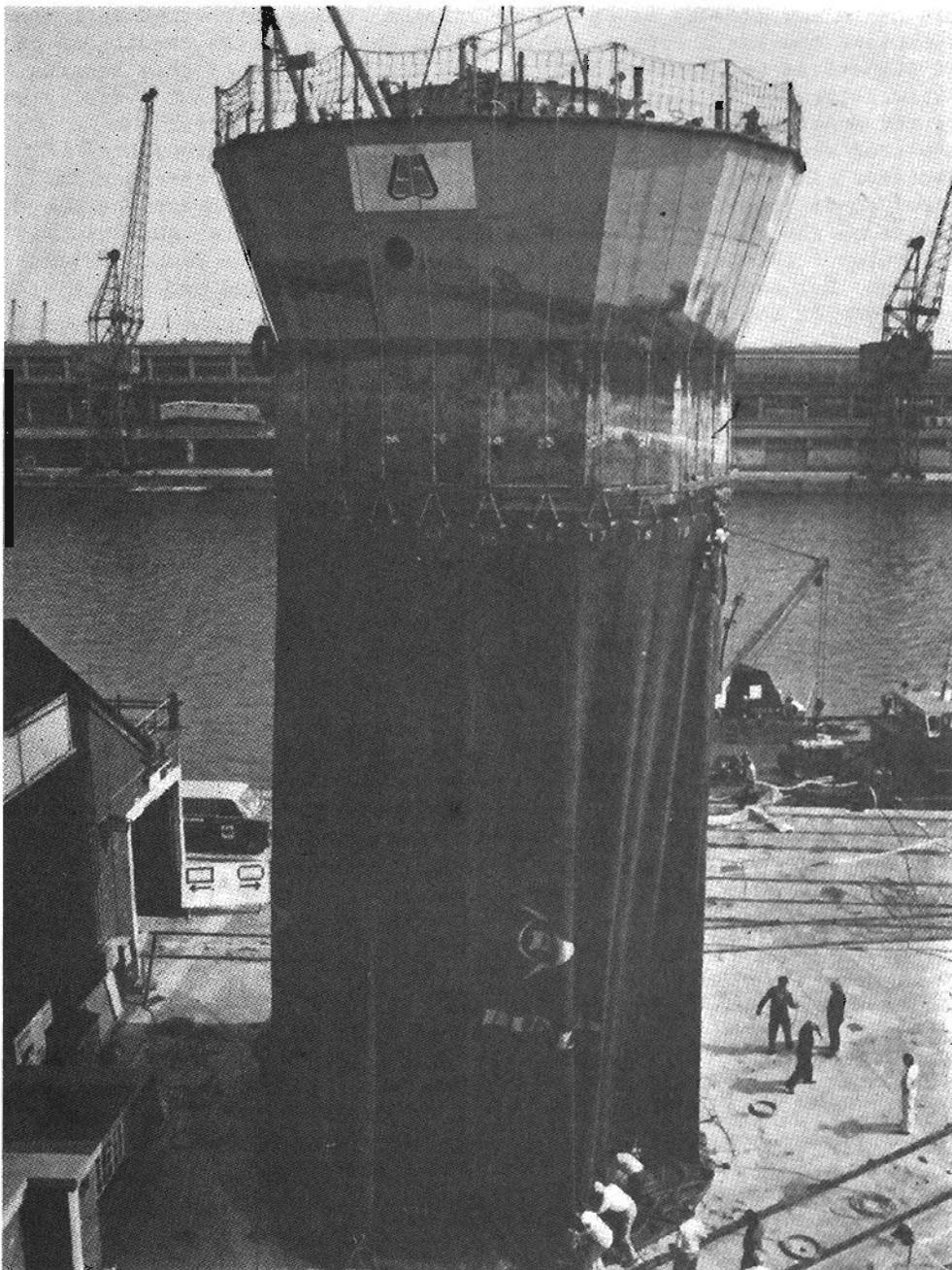


Fig. 138 - Schematic Cross Section of Sandisle Structure.

Fig. 139 - Construction Sequence of Sandisle Structure.



**Fig. 140 - Attachment of Prototype Bag to Deck Structure.**



**Fig. 141 - Aerial view of site during Prototype construction.**

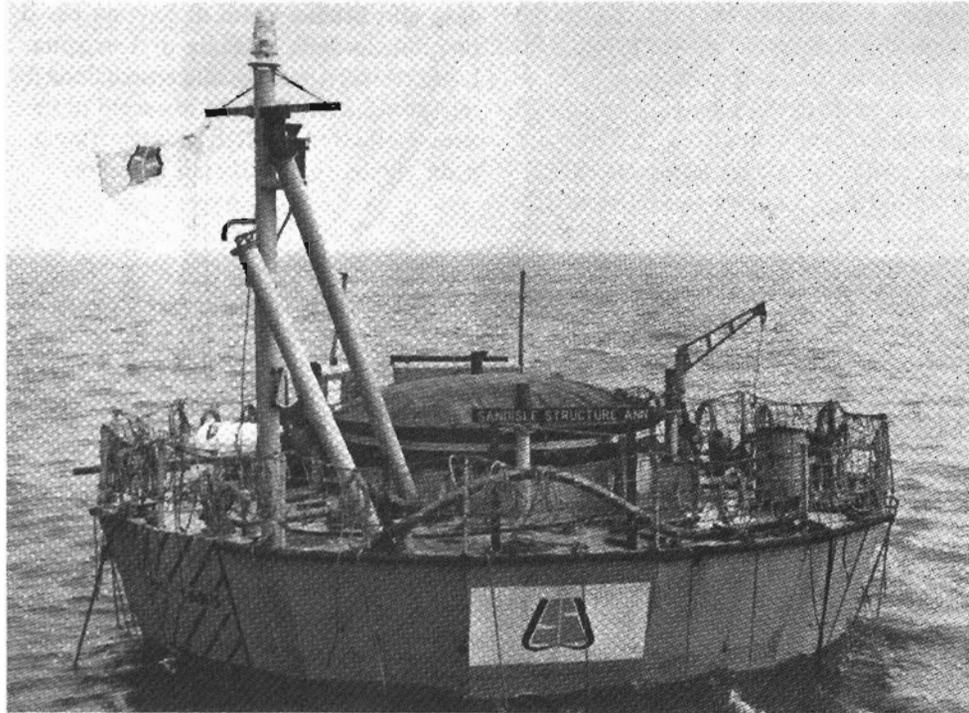


Fig. 142 - Completed Prototype Sandisle.

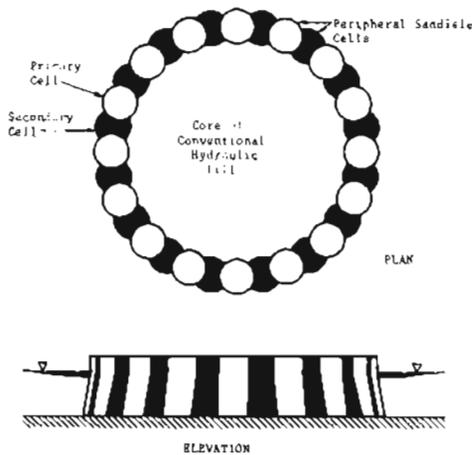


Fig. 143 - Multi-Cell Sandisle Structure.

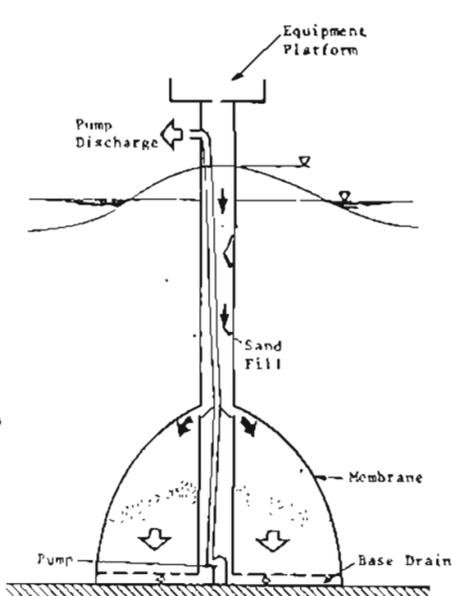


Fig. 144 - Sandisle-based Navigation Light-Schematic Section.

cennato, consistono nell'esecuzione di massicci versamenti artificiali iniziali, integrati da opere marittime in grado di imbrigliare le sabbie e limitare le perdite in guisa da rendere sufficienti, per il nuovo equilibrio, gli apporti naturali disponibili, eventualmente integrati da versamenti periodici, in grado di compensare il deficit detritico.

Naturalmente queste realizzazioni devono essere precedute da studi approfonditi, sia per quanto riguarda il particolare equilibrio del litorale, sia per la scelta e reperimento del materiale di ripascimento.

La tecnica dei ripascimenti artificiali integrati da opere di contenimento, è ormai stata ampiamente sperimentata in Italia ed all'estero.

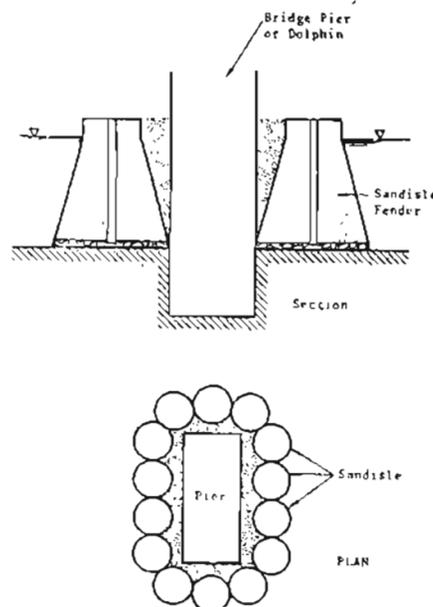


Fig. 145 - Sandisle Fender.

La grande maggioranza delle spiagge della Liguria sono attualmente mantenute con gettito artificiale; la spiaggia di Savona fu salvata nel 1950, da un intervento che prevedeva la costruzione di una serie ininterrotta di scogliere, con un versamento artificiale di detrito di cava di soli 100.000 metri cubi e dal successivo divieto di estrarre inerti dai torrenti (Studio Volta 1949).

Negli USA ormai da 1950 il metodo di bonifica delle spiagge mediante ripascimenti artificiali è entrato nell'uso corrente.

Uno dei primi interventi fu effettuato sulla spiaggia a Sud di Los Angeles, di enorme importanza turistica, che, nell'immediato dopoguerra, fu soggetta ad un impressionante fenomeno erosivo.

Si appurò che il fenomeno aveva origine da tutta una serie di sbarramenti fluviali nei corsi d'acqua che l'alimentavano (realizzati per far fronte alle necessità idriche ed energetiche della Regione).

Nel 1947, scartata la soluzione di una difesa di tipo a scogliera, furono riversati sulla spiaggia circa 750.000 mc. di sabbia dragati dal canale della baia di Anaheim.

L'intervento ebbe un notevole successo e nel 1963 fu effettuato un nuovo versamento di materiale dragato di 2.000.000 di mc.

Attualmente la spiaggia è mantenuta per mezzo di periodici versamenti di materiale dragato dai fondali.

Successivamente furono effettuati numerosissimi interventi tra i quali Virginia Beach, Wrightsville Beach North Carolina che prevedono l'utilizzazione di materiale prelevato dal retroterra, Sea Girt New Jersey e Renondo Beach California, materiali prelevati nei fondali marini, dei quali abbiamo avuto occasione di riferire in occasione del Convegno di Marina di Massa del Giugno 1977.

Dal punto di vista economico il metodo è risultato di gran lunga meno oneroso rispetto ai vecchi tipi di intervento.

Nel corso del XXIII Congresso di Navigazione, tenutosi ad Ottawa 1973, è stato riferito di interventi di difesa delle spiagge attuati per mezzo di versamenti artificiali mediante refluento di materiale prelevato a mare.

Nel Sud dell'Inghilterra, secondo quanto ha riferito M.A. Argent (direttore del Servizio Nazionale di Escavazione) si è potuta evitare la scomparsa della Spiaggia di Beournemouth, importante stazione balneare grazie ad un intervento di refluento di materiali di ripascimento dal largo verso terra per mezzo di una draga succhiante.

L'ottima riuscita dell'esperimento ha incoraggiato in questo tipo di intervento tanto che nel 1973, nella stessa Regione si stava progettando di ripascere con lo stesso metodo uno sviluppo di spiagge di circa 5 miglia (7-8 km) al fine di offrire

una protezione alla costa accrescendone contemporaneamente l'interesse turistico. Altri casi di interventi di difesa o costruzione di nuove spiagge a mezzo di ripascimento artificiale, di cui si è riferito nello stesso Congresso, sono Portobello Beach presso Edimburgo, Copacabana (Brasile) e Praia de Rocha (Portogallo). In Italia sono stati effettuati alcuni interventi curati dal nostro Studio e precisamente in ordine di tempo: Loano, Ceriale, Imperia, Borgo Prino, Pietra Ligure, Amelia e Bergeggi.

Sulla spiaggia di Pietra Ligure (1971-1972, per un tratto di ml 500 a Levante della foce del Maremola, è stato provocato un avanzamento di circa 35 ml. mediante il versamento di 45.000 tonn. di ghiaietto di cava e la costruzione di due piattaforme-isole (figg. da 156 al 163).

Anche in questo caso è stata prevista la necessità di versamenti periodici a ripascimento in misura peraltro molto limitata.

La spiaggia comunque non è stata più alimentata artificialmente e tuttavia si è mantenuta stabile fino ad oggi.

La spiaggia di Borgo Prino ad Imperia fu alimentata artificialmente e tuttavia si è mantenuta stabile fino ad oggi.

La spiaggia di Borgo prino ad Imperia fu realizzata (su iniziativa ed a spese dell'Amministrazione Comunale ma con il largo appoggio dell'Ufficio del Genio Ci-

vile OO. MM. di Genova) in una zona già difesa con scogliere (figg. da 175 a 177). Si è proceduto in primo luogo alla rimozione di parte di esse, alla costruzione di opere di imbrigliamento (1 pennello e 3 piattaforme-isole) ed al versamento di circa 50.000 mc. di materiale prelevato dall'asta terminale di un vicino torrente.

Con una spesa di circa L. 150.000.000 (nel 1968-1969) si è ottenuta la costruzione di una spiaggia artificiale del fronte di quasi 600 ml. che, senza ulteriori interventi, si è manifestata stabile anche in occasione delle più forti mareggiate senza necessità di ulteriore alimentazione artificiale.

La spiaggia di Bergeggi è stata letteralmente costruita (1970-1973) in una zona di scogliere naturali (fig. da 164 a 174) mediante il versamento di una grande quantità di materiale di risulta degli sbancamenti effettuati a Vado Ligure (mc. 2.000.000 circa) per la costruzione della centrale termica ENEL, dietro progettazione e con la direzione lavori del nostro Studio.

Il progetto in questo caso prevede la necessità di un'alimentazione artificiale valutata in circa 10.000 mc./anno di ghiaietto di adatta granulometria.

Attualmente è in corso l'intervento sperimentale promosso dalla Regione Lazio nel quadro dello Studio Generale delle Spiagge laziali e delle isole pontine affi-

dato allo Studio Volta di Savona per il riequilibrio della spiaggia di Terracina. L'intervento è basato sulla costruzione di setti sommersi realizzati in sacchi di tessuto Vinilico riempiti di sabbia affiancati da versamenti artificiali da terra.

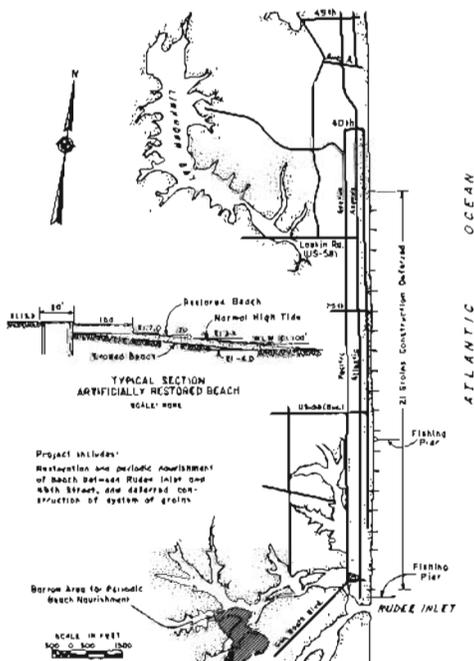


Fig. 146 - Protective Beach (Virginia Beach, Virginia)



Before Restoration



After Restoration

Fig. 147 - Protective Beach (Virginia Beach, Virginia)

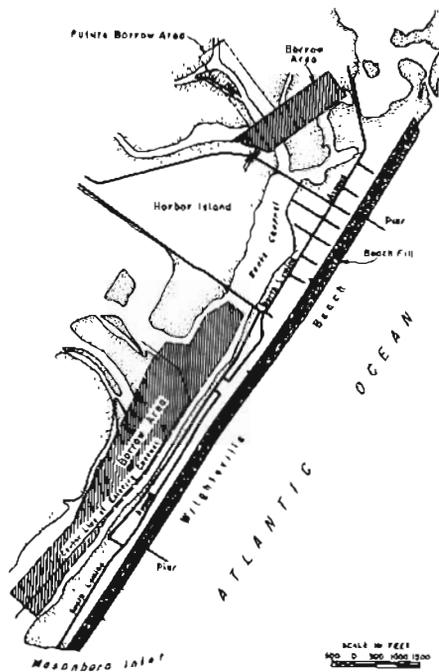
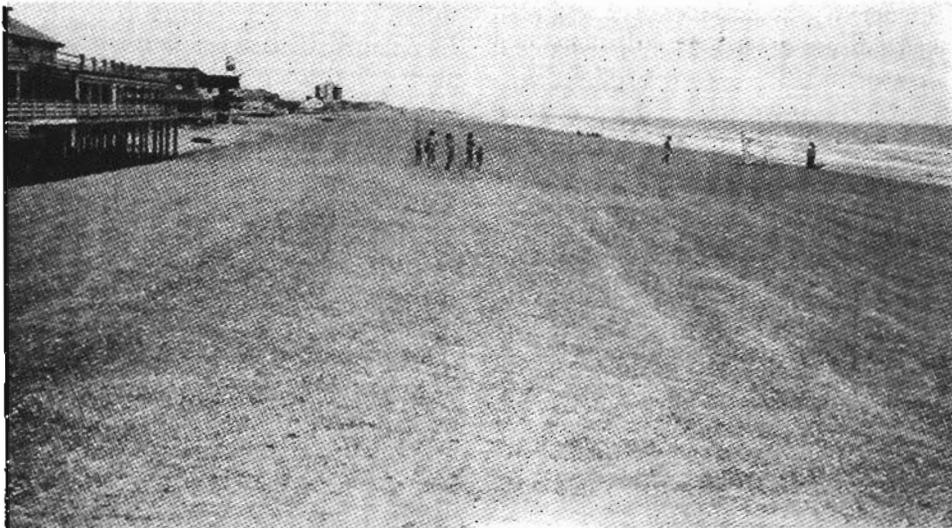


Fig. 148 - Protective Beach (Wrightsville Beach, North Carolina)



Before Restoration



After Restoration

Fig. 149 - Protective Beach (Wrightsville Beach, North Carolina)

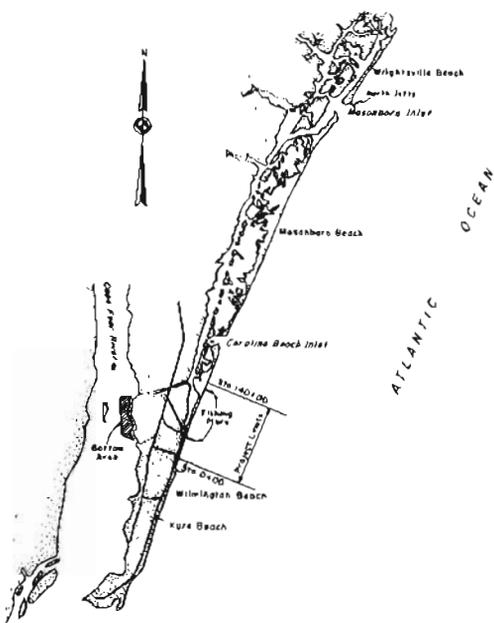
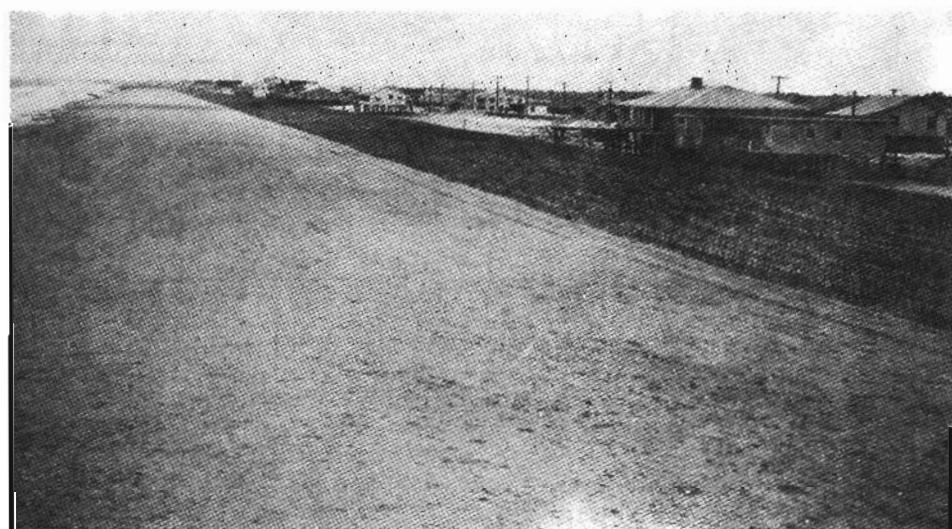


Fig. 150 - Protective Beach (Carolina Beach, North Carolina)



Before Restoration



After Restoration

Fig. 151 - Protective Beach (Carolina Beach, North Carolina)

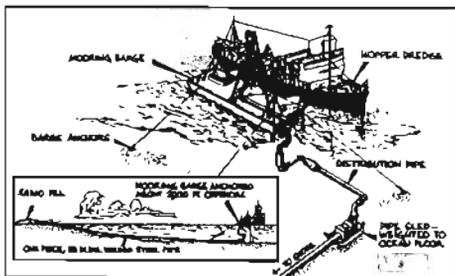
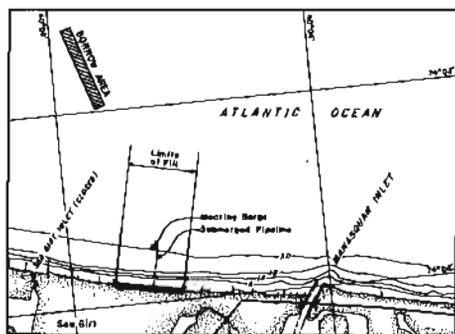
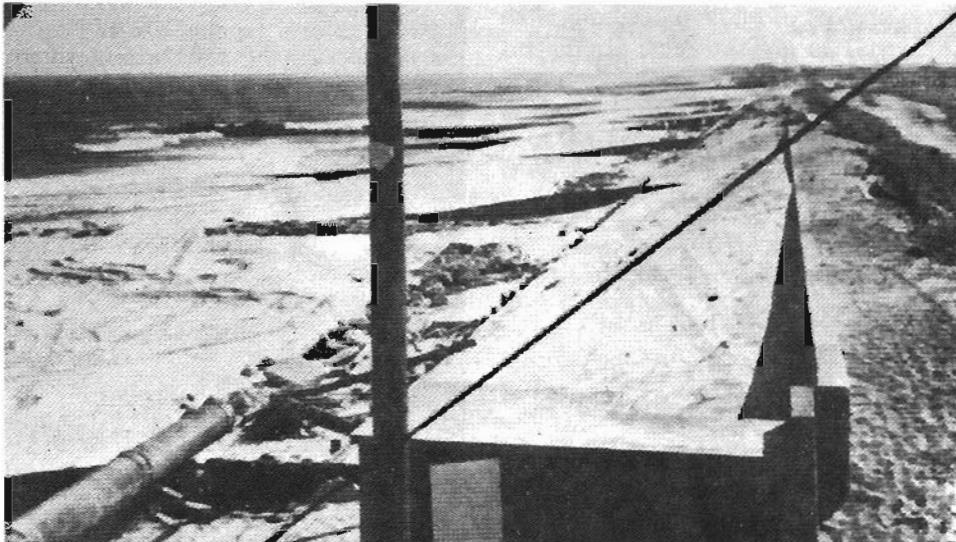


Fig. 152 - Protective Beach at See Girl, New Jersey



Before Restoration



After Restoration

Fig. 153 - Protective Beach at See Girl, New Jersey

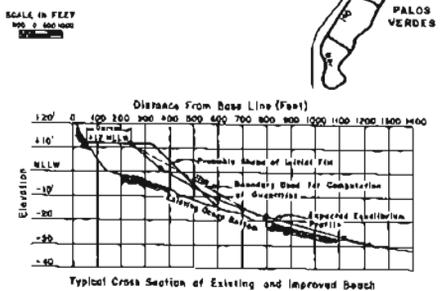
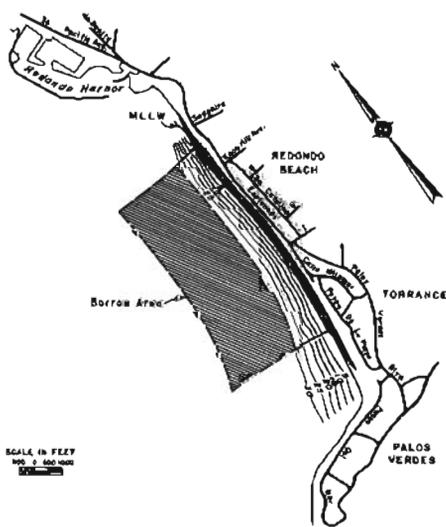
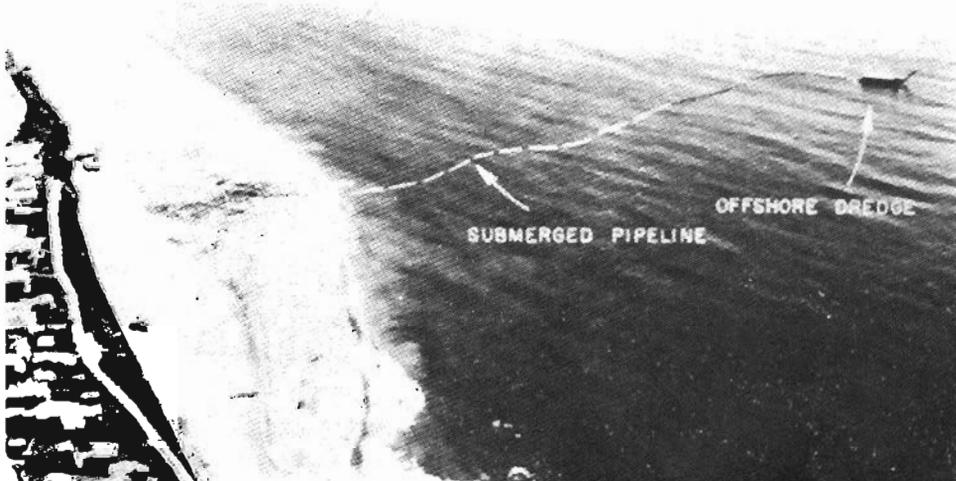


Fig. 154 - Protective Beach (Redondo Beach, California)



Before Restoration



After Restoration

Fig. 155 - Protective Beach (Redondo Beach, California)



Fig. 156 - Pietra Ligure 1968: La spiaggia è ridotta ad un'esile striscia di pochi metri.



Fig. 157 - Pietra Ligure 1968: La stessa situazione vista da Ponente.



Fig. 158 - Pietra Ligure - Novembre 1968: Si iniziano i versamenti.



Fig. 159 - Pietra Ligure - Aprile 1969: Sono state fatte costruire le piattaforme - isole, proseguono i versamenti in profondità.



Fig. 160 - Pietra Ligure - Maggio '69: Il mare ha distribuito i versamenti.



Fig. 161 - Pietra Ligure - Giugno '69: La spiaggia si sta assestando.



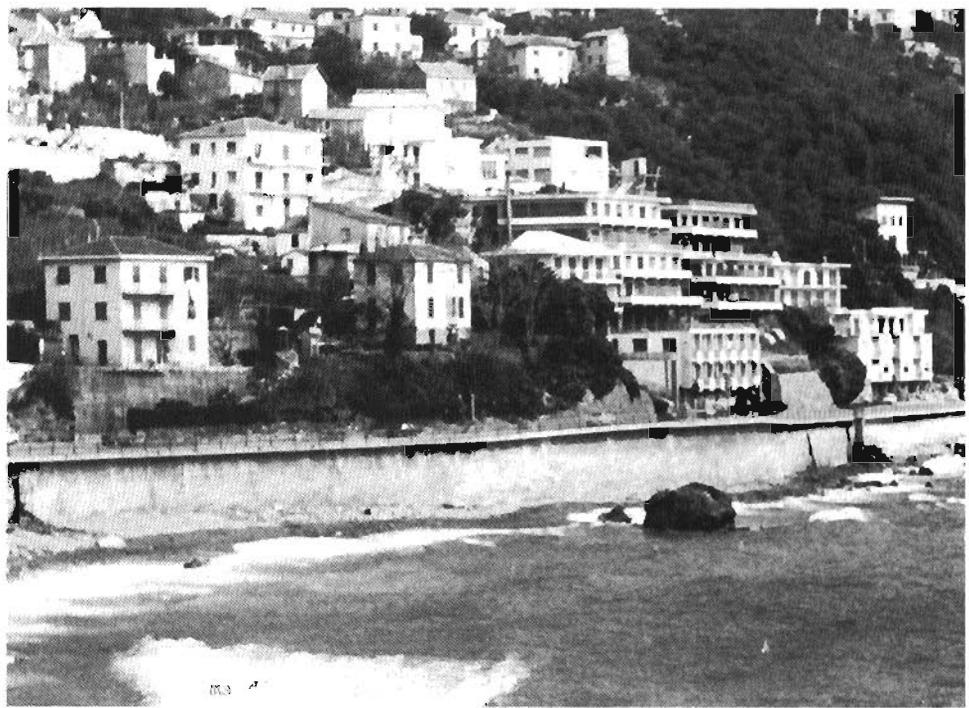
Fig. 162 - Pietra Ligure - Luglio '69: La nuova spiaggia vista da Levante.



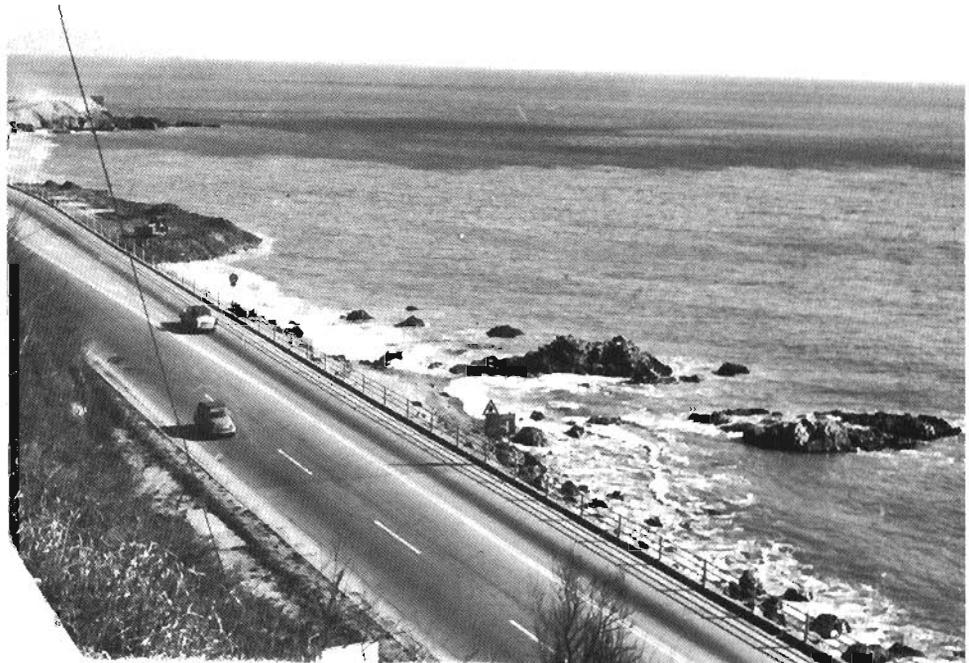
Fig. 163 - Pietra Ligure: La situazione attuale.



Fig. 164 - Bergeggi 1979: Non esiste la spiaggia, la costa è interamente rocciosa.



**Fig. 165 - Berggigi 1970: Particolare muro ANAS prima dell'intervento.**



**Fig. 166 - Berggigi 1971: Primi versamenti aderenti per assorbire il riflesso.**



**Fig. 167 - Berggigi 1971: Proseguono i versamenti aderenti.**



Fig. 168 - Bergeggi 1971: Versamenti aderenti - veduta da Levante.



Fig. 169 - Bergeggi - Marzo 1971: Il litorale è trasformato in un inferno di polvere... la gente protesta...



Fig. 170 - Bergeggi - Marzo 1971: Le mareggiate recano qualche conforto...



Fig. 171 - Bergggi - Aprile 1971: Il versamento si sviluppa decisamente in mare assumendo proporzioni enormi.



Fig. 172 - Bergggi 1973: La spiaggia è realizzata, si noti la radice del fronte di versamento (in basso).

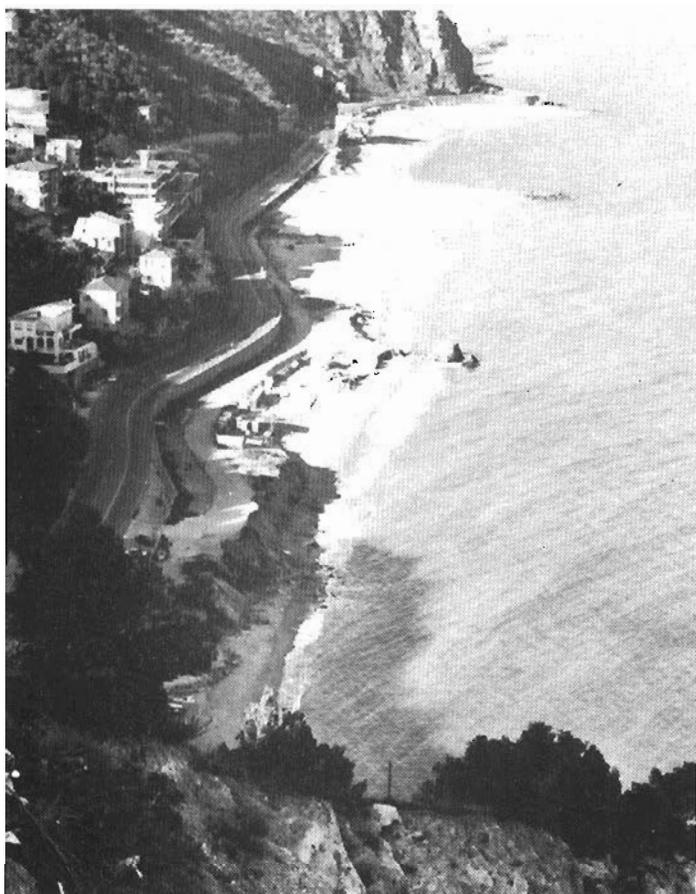


Fig. 173 - Bergggi 1975.



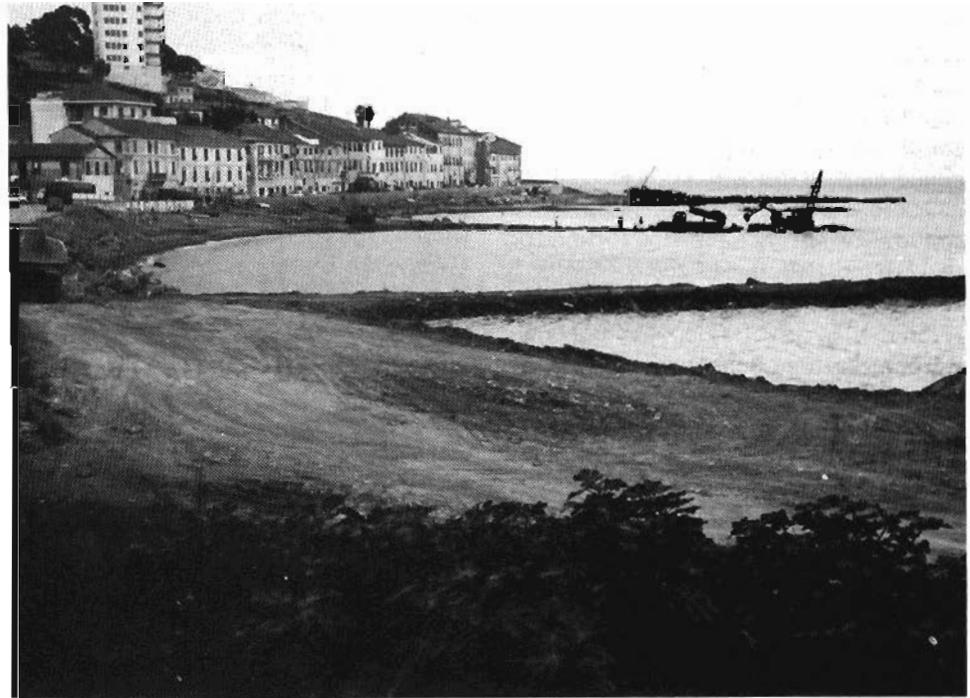
Fig. 174 - Bergggi 1975.



**Fig. 175 - Imperia Borgo Prino: Il litorale prima dell'inizio dei lavori e la sistemazione attuale.**



**Fig. 176 - Imperia Borgo Prino 1968: Il litorale prima dell'inizio dei lavori.**



**Fig. 177 - Imperia Borgo Prino 1969: Si effettuano versamenti in profondità.**

# PROPOSTA DI UNA STRATEGIA DI INTERVENTO

## 1. PREMESSA

Il panorama generale che emerge dal presente studio ed in particolare dall'interpretazione dell'equilibrio psammografico del litorale (cap. VIII) mostra una costa in generale erosione in conseguenza soprattutto della riduzione degli apporti solidi fluviali (ed in particolare del principale alimentatore: il Tevere).

Accanto a questa causa di squilibrio di fondo si evidenziano peraltro forti fattori perturbanti l'equilibrio costiero come le costruzioni portuali, le opere di difesa litoranee e, particolarmente importante, l'urbanizzazione della costa.

A questo ultimo proposito è opportuno ancora una volta far notare che, delle tre zone campione, scelte, in fase di impostazione dello studio, come sedi di particolari fenomeni erosivi, all'esame approfondito è risultato che solo una di esse (Ostia-Fiumicino) è effettivamente sede di forte erosione in conseguenza di cause, per così dire primarie, (flessione dell'alimentazione detritica dai corsi d'acqua). Per quanto riguarda Tarquinia e Terracina il fenomeno erosivo è risultato praticamente inesistente nel primo caso e scatenato da interventi sul litorale (Porto di San Felice Circeo) ma reso drammatico soprattutto dalla situazione urbanistica che impedisce ormai qualunque arretramento.

A questa considerazione è bene aggiungere; per avere un quadro completo, che altri fenomeni erosivi registrati dallo studio in zone poco urbanizzate, sono stati facilmente assorbiti e non hanno posto necessità di immediato intervento (Montalto di Castro).

La politica di contenimento dell'erosione fino ad oggi seguita è stata in effetti determinata dalla legislazione statale estremamente antiquata, vigente in Italia, che impone l'intervento dello Stato come provvedimento di urgenza a difesa degli abitati.

Questa impostazione ha determinato l'instaurarsi di una prassi di intervento ba-

sata sulla difesa del litorale senza particolari attenzioni per le conseguenze sul litorale adiacente.

Non esiste pertanto, alla base delle realizzazioni di difesa costiera, una benché minima strategia che volga lo sguardo ad un ambito territoriale abbastanza vasto. Ciò premesso è evidente che nella lotta all'erosione è necessario impostare una strategia regionale basata sullo studio specifico dei fenomeni in gioco nelle singole situazioni e quindi sulla *previsione della evoluzione litoranea*.

Tale strategia deve a nostro parere muoversi in tre direzioni fondamentali.

— *Interventi indiretti sul territorio* retrostante intesi a ripristinare almeno in parte gli apporti solidi dei corsi d'acqua.

— *Interventi diretti sulla fascia costiera*, intesi a prevenire i dissesti e a salvaguardare e migliorare il patrimonio di spiagge.

— *Interventi legislativi, normativi e promozionali*

A queste tre articolazioni deve peraltro sovrintendere una direttrice di Studio intesa ad approfondire i problemi connessi e quindi ad elaborare, in base alle possibilità tecniche emergenti e ad una visione politica di uso del territorio, le scelte di orientamento strategico per gli interventi futuri.

Il quadro emergente dallo Studio pone peraltro problemi di tale mole e quindi peso finanziario che, a nostro parere, non potranno essere affrontati globalmente ma imporranno scelte di orientamento di politica territoriale, soprattutto per quanto riguarda le priorità.

Essa pertanto dovrà contenere una serie di direttrici intese a creare una priorità per interventi ritenuti urgenti sia dal punto di vista della politica di assetto del territorio che in base al concetto di prevenire squilibri latenti.

La priorità di intervento dovrà inoltre tendere anche e soprattutto al contenimento iniziale dei costi e alla conservazione del tipo di equilibrio esistente sulla costa.

## 2. INTERVENTI INDIRETTI SUL TERRITORIO O SULLE CAUSE PRIME DI SQUILIBRIO

### 2.1 Apporti solidi da Corsi d'acqua

Come si è già osservato, la diminuzione di apporti solidi al litorale da parte di corsi d'acqua è stata fortemente limitata nell'ultimo secolo da tutta una serie di interventi umani sul territorio connessi con lo sviluppo civile ed industriale.

Tra questi importanza decisiva hanno avuto gli sbarramenti fluviali realizzati a scopo di produzione di energia e le estrazioni di inerti dagli alvei.

Circa le cause diffuse di diminuzione degli apporti solidi (urbanizzazione, cambiamenti culturali etc.) il ritorno alle condizioni primitive è chiaramente impossibile, anzi si deve prevedere, da questo lato, un aggravamento della situazione.

Analogamente, per quanto riguarda i grandi sbarramenti idroelettrici con invaso (anche a parere dell'ENEL) non si può realisticamente pensare a svuotamento dei sedimenti solidi trattenuti.

Operazioni di sifonamento sono in effetti realizzate dall'ENEL allo scopo di preservare i bacini dall'interrimento, essi peraltro riescono a porre in movimento solo i materiali più sottili (fanghi) depositati sul fondo dei laghi artificiali (1), e non quelli più grossolani che si depositano presso l'immissione dei corsi d'acqua alimentatori nei serbatoi di invaso.

Non rimane quindi a questo proposito che attendere che i bacini di invaso si interriscano completamente, come è già accaduto per la diga di Vulci sul Fiora (2). È invece possibile migliorare sensibilmente la situazione per quanto riguarda le traverse di derivazione con i seguenti provvedimenti (3):

(1) Pressoché inutili dal punto di vista dell'equilibrio litoraneo.

(2) Con tempi estremamente lunghi.

(3) Ovviamente ciò sarà utile solo per quelle poste a valle degli invasi.

a) *traverse mobili* provvedere frequentemente allo scarico dei sedimenti trattati;

b) *traverse fisse* provvedere a trasformarle in mobili onde avere la possibilità di effettuare lo scarico.

Infine un fattore sul quale è possibile un'azione rapida ed efficace è il prelievo di inerti dagli alvei.

A questo proposito sarà opportuno affrontare il problema dal punto di vista legislativo e normativo indirizzando i prelievi di inerti o fuori alveo o a monte delle dighe di ritenuta.

## 2.2 Apporti solidi da erosione costiera

Come si è visto nelle coste del Lazio, già all'inizio del secolo e quindi prima dei pesanti interventi umani che hanno determinato la presente situazione, erano alimentate in parte dall'erosione costiera di alcuni tratti di litorale (tra S. Marinella e Ladispoli e tra Nettuno e Torre Astura). Ampi tratti di questo litorale sono oggi sedi di insediamenti urbani. In essi è evidentemente improponibile ammettere il procedere del fenomeno erosivo naturale. Tuttavia alcuni tratti sono oggi praticamente privi di ogni insediamento costiero e poco sfruttati anche dal punto di vista agricolo essendo in parte sedi di poligoni militari.

*In queste zone riteniamo che si debba rinunciare ad ogni opera di difesa consentendo al mare un lento avanzamento con conseguente prelievo di materiale detritico da immettere nel flusso costiero.*

A questo proposito si fa osservare che ad esempio l'erosione del tratto Nettuno-Torre Astura è un importante fattore di alimentazione per le spiagge sottoflutto (Latina, Sabaudia, San Felice Circeo e Terracina) di rilevante valore turistico-ambientale.

In queste zone potrebbero inoltre essere intrapresi versamenti artificiali di materiali di risulta da grandi lavori di sbancamento.

Naturalmente dovranno preventivamente essere valutate tutte le implicazioni di ordine estetico-ecologico sull'ambiente.

## 2.3 Flussi litoranei intercettati od influenzati da opere marittime o portuali

Le costruzioni portuali o comunque aggettanti sul litorale impediscono o interferiscono con il regime del trasporto solido litoraneo.

Attualmente inoltre i sedimenti che interriscono i bacini portuali sono dragati e trasportati in acque profonde e quindi vengono definitivamente sottratti all'equilibrio litoraneo.

Le opere di difesa litoranee di tipo tradizionale trattengono sabbia nelle zone protette, determinano la dispersione del se-

dimento in alto fondale e per azione di riflesso, immobilizzano sedimento nel profilo antistante. Esse pertanto sottraggono sedimento al flusso litoraneo spostando ed incentivando l'erosione sottoflutto. A questo proposito la strategia di intervento dovrà tendere a favorire, nel limite del possibile, il superamento degli ostacoli da parte del flusso detritico e comunque a superarne gli effetti suscettibili di squilibri sui litorali adiacenti.

Ciò si potrà raggiungere attraverso diverse direttive di intervento:

a) Evitare la costruzione di nuove opere che provochino comunque ulteriori arresti del flusso detritico costiero o modifichino il pattern di rifrazione sottoflutto.

b) Nella ristrutturazione od ampliamento dei porti studiare le articolazioni dei moli in guisa da favorire il superamento dell'opera da parte del flusso detritico.

c) Provvedere che i prodotti dei dragaggi portuali siano restituiti al flusso litoraneo.

d) Provvedere a che le zone protette dalle opere di difesa di tipo tradizionale siano alimentate con adatti materiali di ripascimento;

e) Provvedere a che le opere di difesa di tipo tradizionale siano ristrutturate in vista dell'eliminazione della loro turbativa dell'equilibrio psammografico del paraggio e in particolare della loro azione riflettente.

## 3. INTERVENTI DIRETTI SUL LITORALE

In linea preliminare sarà necessario procedere ad una scelta delle zone in cui operare selezionando le varie situazioni in base a elementi di politica territoriale quali ad esempio (ed è il concetto che abbiamo seguito nel seguito) l'importanza turistico-balneare delle spiagge e la pressione urbanistica.

In altri termini, come scelta di fondo, si propone di consentire arretramenti litoranei in tutte le zone scarsamente urbanizzate (1) e di procedere ad interventi intesi a determinare riequilibri ed anche avanzamenti delle spiagge nelle zone fortemente urbanizzate o sedi di stazioni turistico-balneari che trovino nella spiaggia un importante fattore economico di sviluppo.

Nell'ambito di questo concetto si propone inoltre di prevedere interventi intesi a preservare e migliorare (ove necessario) la qualità e la profondità della spiaggia preferibilmente nelle zone in cui le condizioni locali offrano ambienti favorevoli nel senso di consentire i migliori risultati a parità di investimento.

Nelle zone invece in cui la situazione locale pone problemi di difficile ed onerosa soluzione, almeno in una prima fase, riteniamo che si debba proporre una strategia di semplice contenimento del feno-

meno erosivo in vista di interventi più incisivi nel futuro (2).

L'intervento di contenimento dell'erosione pur nell'impostazione di cui sopra dovrà essere *preferibilmente preventivo* e non a posteriori, salvo casi di forza maggiore.

Ciò in quanto l'intervento preventivo è sempre meno costoso e più sicuro.

In ogni caso ovviamente prima precauzione di ogni intervento dovrà essere la salvaguardia da ripercussioni negative sull'equilibrio dei litorali contigui.

Come risulta dall'analisi conclusiva dello studio della situazione della costa laziale, i problemi sono notevolmente articolati nelle singole zone.

A questo proposito per impostare una strategia di intervento specifica per ciascuna area è necessario premettere alcune considerazioni.

L'assetto litoraneo attuale è conseguenza del regime di apporti e dell'esposizione marittima quale è venuto a determinarsi nell'ultima era geologica.

Nelle zone soggette ad apporti molto consistenti (foci dei grandi corsi d'acqua) i grandi volumi di apporto hanno determinato salienti che protendendosi in mare hanno costituito veri promontori detritici (vedi foce del Tevere) o quanto meno rettilineazioni della costa tra risalti successivi (vedi Tarquinia - Montalto di Castro e Foce del Garigliano).

Viceversa, nelle zone caratterizzate da apporti limitati, si sono determinate ampie falcature tra salienti costieri successivi (Latina - Terracina - Fondi - Gaeta - Scauri).

Nelle prime situazioni, in seguito a fenomeni di rifrazione del moto ondoso, si hanno grandi concentrazioni di energia (vedi piani d'onda e diagrammi di trasporto) con conseguenti marcati fenomeni di trasporto detritico trasversale e longitudinale necessari per smaltire le grandi portate solide.

Nelle zone povere di apporti invece, si sono determinate ampie falcature rientranti nelle quali il moto ondoso viene smorzato ed in conseguenza il fenomeno di trasporto longitudinale e trasversale è più blando.

In sostanza il litorale si è assestato in ciascuna zona sugli apporti detritici disponibili assumendo una configurazione di equilibrio che consenta lo smaltimento delle portate solide.

È pertanto evidente che, in conseguenza del diminuire degli apporti solidi, le prime zone a subire seri contraccolpi sono state le prime cioè quelle "assuefatte" a forti tributi detritici.

È altrettanto evidente che interventi di tamponamento di fenomeni erosivi o di

(1) Allo scopo di assicurare un'alimentazione supplementare alla circolazione detritica litoranea.

(2) Vedi a questo proposito parte II B Ostia-Fiumicino.

*equilibrio sono tanto più difficili e dispendiosi quanto più la zona è assestata su forti tributi solidi.*

In conseguenza di questa situazione la strategia da seguire nel riequilibrio litoraneo deve tener conto, accanto ai fattori economici ed urbanistici citati, del tipo di assetto litoraneo determinatosi nell'ultima era geologica.

### 3.1 Tra Montalto di Castro e Capo Linaro

Nella fascia settentrionale non esiste una situazione di forte deficit irreversibile dei tributi solidi naturali al mare.

I limitati bacini dal Fiora al Mignone sono stati poco sfruttati dal punto di vista idrico-elettrico e non esistono programmi importanti in tal senso. (Salvo progetto sul Marta)

Anzi l'unico bacino di ritenuta realizzata (diga di Vulci) è ormai interrito e quindi praticamente ininfluenza dal punto di vista della limitazione del tributo solido. Per riequilibrare gli apporti solidi al mare sarà quindi opportuna ed efficace un'accorta e ferma politica di revoca delle concessioni di estrazione degli alvei ancora in corso (Flora).

È quindi prevedibile che nel corso di un qualche lustro, sarà possibile contare su apporti solidi poco inferiori alle necessità di mantenimento del bilancio detritico per cui è possibile pensare ad una loro integrazione mediante limitati gettiti artificiali od interventi sui bacini imbriferi.

Il problema di questa zona a nostro parere, tuttavia, è costituito dall'inesorabile lenta erosione marina degli affioramenti geologici più consistenti che determinano la fine articolazione della cimosa litoranea.

Gli studi approfonditi che dovranno essere affrontati nel prossimo futuro (cap. IV) dovranno indagare in profondità questo aspetto del problema e giungere a determinazioni precise e documentate. La scarsa compromissione urbanistica di questo litorale rende possibili ed accettabili ancora sensibili arretramenti del fronte degli arenili nelle zone poco urbanizzate.

Sarà quindi possibile, almeno in un primo tempo, prevedere interventi limitati nelle zone urbanisticamente più sviluppate (del tipo previsto a Tarquinia dal progetto pilota n. 5).

In un secondo tempo, (una volta che il problema dell'erodibilità del substrato roccioso, in relazione agli apporti solidi, sarà sufficientemente inquadrato), sarà possibile un tipo di intervento più vasto che preveda una graduale ricostruzione artificiale del substrato stesso *mediante realizzazione di scogliere sommerse*, o strutture equivalenti che possano in qualche modo sostituirsi alla formazione di base ridotta dall'erosione.

Questo tipo di intervento potrà essere eventualmente integrato da versamenti di ripascimento da mare o da giacimenti costieri.

A più lungo termine in questa zona sarà opportuno condurre uno studio per accertare eventuali forti perdite di sedimenti "offshore" (verso il largo) attraverso "canyons" sottomarini (foce del Marta) ed accertare le possibilità di intervento per ovviarvi. Nella parte II A del presente studio (vol. III) è affrontato il problema del litorale di Tarquinia (Zona Campione). In tale ambito è proposto il progetto generale di massima di intervento ed il progetto pilota n. 5.

### 3.2 Zona tra Sant'Agostino ed i Ruderi di San Nicola

È questa la zona di Capo Linaro caratterizzata da una costa in parte bassa ma ricca di affioramenti rocciosi con scarsi apporti detritici dai brevi corsi d'acqua. L'erosione costiera è un fenomeno congenito aggravato nell'ultimo secolo dalla diminuzione di apporti solidi in conseguenza dell'urbanizzazione dei piccoli bacini imbriferi tributari.

In base a quanto esposto precedentemente sarà necessario consentire il lento proseguire dell'erosione nelle zone non intensamente urbanizzate (poligoni militari) e che ancora dispongono di ampie possibilità di arretramento e cioè praticamente tutta la fascia tra Santa Severa e Ladispoli.

Per quanto riguarda invece la zona urbanizzata: Civitavecchia, S. Severa, Ladispoli e Palo, la sensibile articolazione dei fondali circostanti determinati da affioramenti rocciosi, tenuto conto degli apporti residui assicurati da Nord (1) dovrebbero rendere possibile la costruzione di spiagge parzialmente artificiali anche aperte a costi relativamente bassi. Occorrerà quindi nella zona prevedere interventi, in base a studi approfonditi particolari, per la creazione di strutture costiere di imbrigliamento detritico e procedere successivamente a versamenti artificiali iniziali (eventualmente ottenute mediante trasformazione delle opere di difesa esistenti).

Evidentemente detti studi dovranno essere compiuti parallelamente sulla base delle previsioni di assetto urbanistico dei litorali.

### 3.3 Tra i Ruderi di San Nicola (2) e Capo d'Anzio

È questa la zona che pone i problemi più gravosi e che impone una strategia estremamente vasta di intervento.

L'equilibrio di questa fascia è nettamente dominato dalla presenza del Tevere che ne è praticamente l'unico alimentatore. La netta diminuzione di apporti verificatosi negli ultimi 30 anni (riduzione del ba-

cino imbrifero utile da kmq. 13.700 (3) nel 1945 al Kmq. 4.900 nel 1980) rende drammatica la situazione di questo tratto di litorale (salvo ambiti ristretti attorno a Fregene a Nord ed a Castel Fusano e Focetta a Sud, ancora in protendimento).

Come risulta dall'analisi dell'equilibrio psammografico l'intero delta del Tevere, formatosi nell'ultima era geologica sotto l'azione di un enorme trasporto solido, è attualmente in fase di progressivo smantellamento.

Ma ciò che è più grave è il fatto che solo il detto smantellamento consente l'alimentazione detritica necessaria per compensare le perdite di materiale nelle zone limitrofe.

Non è quindi possibile pensare ad arginare (tout-court) il fenomeno dell'erosione nella zona del delta senza che ciò implichi automaticamente l'aggravamento della situazione erosiva nelle zone più esterne.

Il problema è trattato diffusamente nella parte II B (II 1 e II 2) con particolare riguardo alla zona campione "Ostia-Fiumicino".

In breve la strategia da seguire in questa zona dovrebbe essere la seguente:

a) Nei tratti in cui non è possibile ammettere arretramenti della linea di battigia per implicazioni urbanistiche e viabili (Ostia-Fiumicino etc.) sarà necessario prevedere la realizzazione di spiagge artificiali in grado di mantenersi senza interferire sul residuo flusso detritico esistente, realizzate in modo da non provocare alterazioni nel profilo sommerso (vedi II B n. 1 e n. 2) e che consentano il lento approfondimento dei fondali antistanti, inevitabile e necessario per l'alimentazione delle zone sottoflutto (4);

b) Nelle zone in cui è possibile (per la inesistente compromissione urbanistica e viabile) sarà opportuno consentire arretramenti ed evitare che si realizzino insediamenti anche solo di viabilità della fascia litoranea;

c) Sopraflutto alle zone ancora in protendimento (Focene a Nord e Castel-Fusano - Focetta a Sud) sarà possibile prevedere interventi che, rallentando il flusso detritico che le alimenta privilegi zone limitrofe in erosione;

d) Nelle zone già protette da opere marittime sarà necessario provvedere alla loro trasformazione in base ai concetti esposti nei punti precedenti;

e) Parallelamente sarà opportuno provvedere ad impostare massicci ripascimenti mediante impianti semifissi di prelevamento da mare e refluitamento verso terra

(1) In base alla strategia di cui sopra.

(2) Confine Nord, Comune di Roma.

(3) Già ridotto rispetto al valore naturale di 17.000 kmq.

(4) Almeno fino a quando non sia loro assicurata una diversa alimentazione (punto E).

(vedi II B, n. 1 e 2) ed, in alternativa, impianti di refluito di materiali prelevati da depositi interni costieri.

Evidentemente i provvedimenti di cui sopra dovranno tener conto dell'accertata esistenza di un flusso detritico verso Sud in corrispondenza di Capo d'Anzio.

Detto flusso dovrà ovviamente essere mantenuto (in quanto essenziale per l'equilibrio delle spiagge a Sud) o sostituito da un impianto semifisso, con prelievo del materiale da mare tra i due porti e versamento a Sud di Nettuno oltre la zona portuale in posizione di non ritorno.

Nella parte II B (vol. III) del presente studio è sviluppata la trattazione relativa alla zona campione di Ostia-Fiumicino con la proposta di intervento generale e progetto pilota n. 4.

### 3.4 Tra Nettuno ed il Promontorio del Circeo

Come si è visto nell'apposito capitolo (VIII) secondo le risultanze dello studio, le spiagge di Latina, Sabaudia, San Felice Circeo e Terracina ricevono alimentazione, oltre che dai corsi d'acqua locali, da un flusso detritico proveniente da Nord e quindi nell'ordine, dai prodotti di erosione costiera del fronte tra Nettuno e Torre Astura e dalle sabbie provenienti da Nord che ancora riescono a superare la zona portuale Anzio-Nettuno.

La situazione delle spiagge di Latina e Sabaudia, San Felice Circeo e Terracina, è resa estremamente difficile dalla compromissione territoriale (urbanistica e viabile) della fascia costiera che non consente arretramenti.

Esiste peraltro il reale pericolo di erosione determinato oltre che dalle cause di fondo comuni a tutto il litorale laziale, alla crescente azione di limitazione dell'alimentazione proveniente, per trasporto marino, da Nord in conseguenza dei seguenti interventi:

- opere portuali ad Anzio e Nettuno di recente realizzazione o previsti (P.R. 71);
- escavazioni portuali;
- interventi a difesa del litorale in erosione congenita a Sud di Nettuno (poligono militare);
- distruzione della duna e della relativa coltre vegetale.

A queste cause, che comportano una limitazione dell'alimentazione detritica, si deve aggiungere il non meno grave pericolo dovuto alla compromissione urbanistica e viabile del litorale che è suscettibile di creare situazioni di riflesso con conseguenti ripercussioni anche irreversibili dell'equilibrio litoraneo.

Data la grande importanza economico-balneare e turistica di questo enorme patrimonio di spiagge, è estremamente urgente impostare una efficace strategia di intervento che a nostro parere può essere riassunta nei seguenti punti:

a) La zona portuale di Anzio-Nettuno non deve costituire un ostacolo al fluire delle sabbie verso Sud.

Sarà pertanto necessario prevedere uno sviluppo portuale mediante la creazione di strutture che non accentuino l'attuale situazione di ostacolo al movimento dei sedimenti ma anzi che lo favoriscano. Poiché è prevedibile che saranno sempre necessarie escavazioni per il mantenimento dei fondali nella zona portuale e nella rada, i materiali di risulta dovranno essere restituiti alla circolazione litoranea e scaricati a Sud di Nettuno in zona di non ritorno (eventualmente mediante un impianto semifisso).

b) La protezione del litorale tra Nettuno e Torre Astura dovrà essere sospesa allo scopo di assicurare il gettito da erosione che va ad alimentare le già citate spiagge sottoflutto.

In alternativa si dovrà provvedere a sostituire tale gettito con materiale di ripascimento equivalente per qualità e quantità eventualmente anche con versamenti di fortuna.

Sembra peraltro che il valore del sedime corrispondente all'erosione naturale, sia di gran lunga inferiore agli oneri economici che sarebbero connessi con l'alimentazione artificiale.

Dal punto di vista del tipo di equilibrio cui sono soggette (volume di alimentazione in rapporto all'esposizione marittima) la situazione di queste spiagge è abbastanza favorevole come già accennato, in quanto, a differenza di ciò che accade nella vicinanza delle foci dei grandi corsi d'acqua (vedi Ostia-Fiumicino), il flusso detritico che alimenta l'arenile è abbastanza limitato rispetto all'ampiezza del fronte.

Questa situazione, come facilmente si comprende consente di ottenere risultati molto brillanti da operazioni di ripascimento artificiale con investimenti ragionevoli.

Pertanto riteniamo sia possibile (per l'arco Circeo-Terracina, l'impostazione è stata data con i progetti pilota n. 1-2-3) prevedere interventi con versamenti artificiali integrati da limitate opere di imbrigliamento delle sabbie.

*Nel caso si ritiene che sia possibile, seguendo l'impostazione dei più moderni interventi operati in USA negli ultimi anni prevedere massicci versamenti da ripetere ad intervalli regolari con materiale prelevato dal mare, capaci di provocare (in zone di forte pressione urbanistica od interesse balneare) avanzamenti dell'ordine del centinaio di metri.*

Una tale impostazione, come è evidente, presuppone un'inevitabile perdita di sedimento refluito che va ad alimentare il circolo detritico litoraneo sottoflutto.

*In sostanza questo tipo di intervento, a differenza delle strutture di difesa tradizionali, che in generale provocano erosione, è in grado di assicurare un'alimenta-*

*zione aggiuntiva alle spiagge sottoflutto.* È evidente perciò che una tale progettazione dovrà essere affrontata con una visione globale del problema.

### 3.5 Dal promontorio del Circeo al porto di Terracina

Trattandosi di una "zona pilota" un'impostazione strategica degli interventi è stata proposta nella parte II B (vol. III), alla quale si rimanda, e sviluppata in un progetto generale di massima e nei progetti pilota n. 1-2-3.

### 3.6 Dal Porto di Terracina al Promontorio di Gaeta

Occorre distinguere tre zone:

— *Da Terracina fino quasi a Torre Anastasia*

In questo tratto si è costruito troppo vicino al battente del mare ed oggi la spiaggia è in gran parte inesistente.

Occorrerà pertanto intervenire con versamenti artificiali appoggiati ad opere di imbrigliamento da studiare.

Poiché il litorale non risulta soggetto a forte flusso detritico sarà possibile ottenere avanzamenti sensibili e rapidi con investimenti relativamente modesti.

— *Da Sant'Anastasia fino allo sfocio del Lago Lungo*

Lievi arretramenti sono stati assorbiti facilmente in quanto la fascia litoranea non è molto compromessa urbanisticamente. In questa zona occorrerà mantenere lo stato attuale evitando di interessare la fascia litoranea con opere di viabilità e di edilizia onde rendere possibili anche lievi arretramenti.

— *Spiaggia di Ponente di Sperlonga*

In questo tratto l'arenile è fortemente pressato dalla fascia edificata ed occupata dalla viabilità ed è stato soggetto a sensibili arretramenti negli ultimi anni.

Dovrà essere affrontato un intervento per fare avanzare la spiaggia di almeno 10-20 metri.

Poiché la zona è soggetta ad un debolissimo flusso detritico l'operazione dovrebbe essere abbastanza facile e non molto costosa.

Anche per questa zona si può richiamare quanto accennato a proposito di Latina e Sabaudia.

— *Spiaggia di Levante di Sperlonga*

La spiaggia, soggetta ad equilibrio prevalentemente trasversale è stata squilibrata con la realizzazione del porto.

Sarà necessario un intervento di riequilibrio in base ad un attento studio dell'esposizione, onde individuare le strutture più adatte, eventualmente accompagnate da versamenti di ripascimento. La soluzione non dovrebbe comportare forti investimenti.

### 3.7 Tra Gaeta ed il promontorio di Scauri

È ormai interamente interessata dalle dighe parallele con la sola esclusione della spiaggia di Vendicio.

Essa è anche soggetta a debolissimo flusso longitudinale e caratterizzata da una esposizione eccezionalmente favorevole. Pertanto si presta ad interventi molto efficaci basati su ripascimenti artificiali, opportunamente integrati con opere di imbrigliamento delle sabbie poco costose. La spiaggia di Vendicio è tra l'altro l'unica ancora aperta in questo litorale.

Lo Studio prevede che essa sarà fortemente squilibrata in seguito alla realizzazione delle opere di protezione del lungomare Caboto e più ancora nell'eventualità di attuazione del P.R. 1974 del porto di Gaeta.

Essa gode ancora della marcata protezione naturale del promontorio di Gaeta, in conseguenza è costituita da sabbie molto fini con alte percentuali di peliti.

Questa sua particolarità fa prevedere che la sua eventuale protezione con dighe la renderebbe praticamente inagibile per la balneazione per implicazioni igieniche. Si impone pertanto un intervento preventivo.

Per quanto riguarda la spiaggia tra il porto di Formia e Scauri, ormai totalmente protetta da dighe parallele, si deve pensare ad una graduale ristrutturazione delle opere di difesa e successivo ripascimento artificiale.

### 3.8 Tra il promontorio di Scauri ed il Garigliano

È alimentata dal Garigliano che ha visto ridursi enormemente il suo bacino imbrifero efficace per effetto degli impianti idroelettrici.

Per quanto riguarda il tratto tra la foce del Garigliano e Monte d'Argento, in considerazione della scarsa compromissione territoriale, sarebbe a nostro parere consigliabile lasciare avanzare il mare liberamente prevedendo l'esproprio di un'adeguata fascia costiera.

Soluzioni alternative sarebbero a nostro parere molto costose in conseguenza del particolare regime della spiaggia soggetta "all'origine" a forti tributivi solidi ormai inesistenti per cui sono prevedibili ulteriori marcati arretramenti.

Sarebbe a questo proposito opportuno però prima di impostare una strategia definitiva di intervento per questa spiaggia prendere contatti con la Regione Campania per un coordinamento con gli interventi che saranno adottati a Sud della foce del Garigliano.

Per il tratto tra il Monte d'Argento ed il porto di Scauri si può pensare a versamenti di ripascimento affiancati ad opere litoranee di imbrigliamento e soprattutto in una revisione del progetto del porto stesso.

### 3.9 Le isole Pontine

Le spiagge di queste isole sono caratterizzate da un equilibrio prevalentemente legato agli apporti dell'erosione costiera. Salvo casi particolari (Ponza Capoluogo) la granulometria della sabbia è molto elevata per poter essere in equilibrio con la severa esposizione.

Per migliorare il patrimonio di spiagge sarebbe auspicabile integrare l'alimentazione artificiale almeno di quelle più interessanti turisticamente ed evitare compromissioni delle stesse con opere portuali. L'alimentazione da mare appare possibile solo per le spiagge aventi granulometrie e pendenze del profilo abbastanza contenute (rada portuale di Ponza e Cala Chiaia di Luna).

In generale però la granulometria grossolana necessaria per assicurare la stabilità è presumibile sia difficilmente reperibile da mare.

Come si è visto esiste nelle isole la necessità di smaltire a mare i prodotti di risulta di scavi per opere di viabilità, edilizia, demolizioni etc.

Tali materiali sono oggi versati a mare, senza una specifica normativa da alcuni punti della costa frammisti spesso a materiali di rifiuto provocando inquinamento e deturpazione del paesaggio.

Si ritiene che tale gettito artificiale potrebbe essere utilizzato regolamentandolo opportunamente e limitandolo alla sola stagione invernale (1).

Esso è infatti in grado di fornire un sedimento detritico del tutto naturale e di adatta granulometria.

Per quanto riguarda le connessioni con lo sviluppo portuale si dovrà fare particolare attenzione a non squilibrare le spiagge della rada di Ponza con le opere relative all'ampliamento del porto che, a nostro parere, dovrà essere un'occasione per studiare una ristrutturazione delle spiagge della rada, tenendo anche conto della necessità di sottrarle all'attuale inquinamento (connesso con le attività portuali).

### 4. INTERVENTI LEGISLATIVI, NORMATIVI E PROMOZIONALI

Possono a nostro parere essere distinti in quattro categorie:

- tendenti a preservare e/o ripristinare l'alimentazione solida dei litorali;
- tendenti ad evitare la compromissione urbanistica della fascia costiera;
- tendenti a favorire interventi di Amministrazioni locali o di privati in difesa delle spiagge;
- tendenti ad orientare gli interventi statali.

### 4.1 Interventi tendenti a preservare e/o ripristinare l'alimentazione solida dei litorali

Questa necessità emerge chiaramente dallo Studio, che, come si è visto, ha posto in luce una situazione di dissesto costiero molto diffuso le cui cause prime sono proprio connesse con la carenza di apporti detritici *dai corsi d'acqua e dai fronti di erosione costiera*.

Si dovrà quindi affrontare una legislazione che renda possibile il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

#### *Corsi d'acqua*

— Eliminazione completa, nel corso di pochi anni, delle estrazioni dagli alvei dei corsi d'acqua posti a valle degli sbarramenti di ritenuta con invaso;

— Riesaminare i futuri programmi di costruzione di nuovi sbarramenti idroelettrici od irrigui allo scopo di determinare anche quantitativamente la possibilità che essi possano indurre squilibri litoranei. Tali squilibri dovranno essere evitati ed il relativo costo addossato all'operazione di realizzazione dell'opera;

— Esaminare con cautela anche sotto l'aspetto del trasporto solido i programmi di rimboschimento e sistemazione idrogeologica allo scopo di evitare il troppo spinto blocco dell'erodibilità del suolo;

— Individuazione di zone, di scarso interesse dal punto di vista insediativo, in cui sia possibile la "coltivazione di frane" aventi lo scopo preciso di alimentare il trasporto solido dei corsi d'acqua.

— Stabilire che i prodotti di risulta dalle escavazioni delle aste terminali dei corsi d'acqua, necessarie per lo smaltimento delle piene, debbano essere usate *esclusivamente* per il ripascimento delle spiagge.

#### *Fronti di erosione costiera*

— Prevedere l'espropriazione per causa di pubblica utilità di una fascia di almeno 100 ml. dal battente del mare dei fronti di erosione costiera non ancora interessati da grossi insediamenti urbanistici o da viabilità di notevole valore.

— Prevedere la possibilità, con le dovute cautele di ordine ecologico ed igienico, di smaltire direttamente a mare da questi fronti di erosione materiali di risulta da opere di sbancamento (2).

### 4.2 Interventi tendenti ad evitare la compromissione urbanistica della fascia litoranea:

Anche questa necessità emerge chiaramente dallo studio ed è già stata affrontata

(1) Secondo quanto avviene da decenni in Liguria.

(2) Questa pratica ha reso possibile il ristabilimento di un equilibrio in molte spiagge della Liguria.

tata dalla Regione Lazio con la legge n. 30 che prevede una fascia di rispetto dal battente del mare per il rilascio della licenza edilizia.

È peraltro assolutamente necessario che anche le opere di viabilità (passeggiate a mare, giardini etc.) non siano costruiti sulla spiaggia come spesso accade.

La presenza di opere di viabilità rende impossibili le normali oscillazioni della spiaggia in occasione di eccezionali agitazioni marine.

Le strutture che le limitano a mare costituiscono inoltre pareti riflettenti che sono suscettibili di determinare situazioni di squilibrio che possono divenire irreversibili.

È quindi necessario introdurre norme tendenti:

- a) Evitare la possibilità che possano essere costruite opere di viabilità o comunque limitate da strutture rigide, a distanza inferiore ad una certa distanza dal battente marino;
- b) Creare incentivi per la rimozione di opere già esistenti di questo tipo.

#### **4.3 Interventi tendenti a favorire sistemazioni, miglioramenti o costruzione di nuovi arenili da parte degli enti locali o di privati:**

Le tecniche moderne consentono ormai grosse realizzazioni in questo campo.

Appare opportuno che pubbliche Amministrazioni ed anche privati possano proporre opere di questo genere in vista della migliore utilizzazione turistico-balneare del litorale od anche semplicemente a scopo di difesa foranea.

Dovrà pertanto essere affrontata una normativa che:

- incentivi, anche mediante agevolazioni fiscali o di riduzione del canone demaniale, le realizzazioni meritevoli di approvazione;
- responsabilizzi i proponenti circa la riuscita della realizzazione ed i possibili danni ai litorali adiacenti;
- conceda mutui a lungo termine ed a tasso agevolato.

#### **4.4 Interventi intesi ad orientare la realizzazione di opere di difesa da parte dello Stato**

Gli organi di intervento dello Stato, in base alla legislazione vigente, non possono tenere conto della complessa situazione urbanistico-funzionale del litorale che è ormai un vero e proprio strumento di reddito attraverso l'utilizzazione turistico-balneare. Sarà quindi opportuno che la Regione ponga a disposizione dello Stato gli studi di carattere interdisciplinare (tecnico scientifico ed urbanistico) allo scopo di richiamare l'attenzione dello stesso sulla complessa visuale dell'asset-

to costiero e quindi orientarne l'intervento.

È quindi opportuno che sia stabilito che gli Enti locali ed anche i privati possano proporre allo Stato soluzioni di difesa costiera di tratti di loro interesse studiati in relazione a quanto sopra. Si dovranno quindi emanare norme che consentano agli interessati di proporre allo Stato soluzioni di difesa adeguate alle necessità, ponendo eventualmente a disposizione la differenza di costo necessaria.

# PROGRAMMA DI STUDI FUTURI E DI PROSPEZIONI GEOLOGICHE

## 1. PREMESSE ED IMPOSTAZIONE DELLA METODOLOGIA

Il presente Studio non può essere considerato che un primo inquadramento dei termini essenziali del problema delle erosioni delle spiagge laziali, a cui si affiancano una serie di tre proposte di intervento basate sui progetti pilota a carattere sperimentale.

È quindi necessario acquisire gradualmente tutta una serie di conoscenze più approfondite sulla situazione litoranea e sui fattori che la condizionano (assetto fluviale e del territorio tributario ed opere marittime).

Poiché peraltro detti studi occuperanno anni per giungere alle conclusioni e non è possibile prevedere una stasi negli interventi costieri, è necessario impostare una programmazione di Studi di base che, mano a mano che si rendano disponibili, vadano ad integrare il bagaglio iniziale di conoscenze (costituito dal presente) per rendere sempre più agevole e sicura la progettazione degli interventi.

Si delinea quindi la necessità, almeno in un primo tempo, di programmare per il futuro una doppia articolazione degli Studi secondo due direzioni:

— *Approfondimenti dello Studio generale nell'ambito locale intesi a promuovere interventi urgenti anche a carattere sperimentale:*

— *Studi di base.*

In tal modo sarà possibile, senza attendere lo svolgimento completo degli studi di base, procedere, con sempre maggiore sicurezza particolarmente nelle zone ove il presente studio ha posto in luce particolari pericoli di dissesto, ad un locale approfondimento del problema fino a giungere a proposte di soluzione.

Con la presente impostazione le due direttrici di studio proposte, lungi dal creare concorrenzialità tra loro, potranno, se opportunamente articolate, offrirsi a vicenda elementi preziosi per la soluzione dei cospicui problemi che si presentano. A questo proposito sarà opportuno giungere ad un coordinamento degli studi regionali, con eventuali altri programmi di

ricerca gestiti da Enti esterni primo tra tutti il CNR e gli istituti universitari.

La Regione tuttavia a nostro parere dovrà mantenere una posizione determinante nell'indirizzare gli studi che naturalmente saranno influenzati dalla visione politico-strategica di insieme (vedi capitolo II).

## 2. APPROFONDIMENTI DELLO STUDIO NELL'AMBITO LOCALE INTESI A PROMUOVERE INTERVENTI URGENTI ANCHE A CARATTERE SPERIMENTALE

### 2.1 Premesse

In base alle risultanze dello Studio Generale (come emerge da quanto esposto nel capitolo III "Strategia di intervento") esistono tutta una serie di situazioni che dovranno essere approfondite per evitare ulteriori fenomeni erosivi, migliorare la qualità e profondità della spiaggia, in base alle esigenze urbanistiche balneari e di difesa litoranea.

In questi casi e soprattutto in situazioni particolari in cui lo studio ha messo in luce l'esistenza di pericolo di degenerazione dell'equilibrio in atto, sarà opportuno disporre con urgenza studi specifici di zona e programmi di intervento secondo lo schema stesso adottato dallo Studio generale per le zone campione.

In tale quadro si consiglia di affrontare al più presto i seguenti studi elencati qui di seguito nell'ordine di urgenza che risulta dallo Studio Generale:

1) *Studio particolare per la conservazione della spiaggia di Vindicio (Formia):*

Soprattutto in relazione al previsto dissesto costiero conseguente ai seguenti interventi ormai programmati:

— Costruzione di opere di difesa del lungomare Caboto (Gaeta)

— Eventuale realizzazione del P.R. del Porto di Gaeta.

Lo studio dovrà prevedere un piano di in-

tervento per il riequilibrio della spiaggia. È essenziale che esso abbia carattere preventivo allo scopo di limitare l'onere finanziario e rendere più sicuro il risultato, in quanto le caratteristiche della spiaggia rendono praticamente impossibile una sua ricostruzione.

Un intervento a posteriori infatti non potrebbe avere a nostro parere per obiettivo che un equilibrio molto diverso dall'attuale e certamente di carattere non confrontabili.

2) *Studio particolare di approfondimento per la conservazione ed il miglioramento della spiaggia di Latina e Sabaudia:*

La spiaggia compresa tra l'Astura ed il Circeo corre gravi pericoli di squilibrio in conseguenza di interventi sopraflutto e della limitata profondità essendo pressata da viabilità e congestione edilizia.

È urgente intervenire preventivamente al degenerare del presente precario equilibrio con un approfondimento dello Studio e relativo progetto di intervento.

Il progetto dovrà tenere conto della situazione urbanistica e delle necessità balneari.

3) *Studio particolare per il riequilibrio delle spiagge laterali al Delta del Tevere:*

Le spiagge laterali rispetto al Tevere e principalmente la parte a Sud, sono, come risulta dallo Studio, fortemente minacciate dall'erosione.

Nello studio (e già nella parte II B) sono state prospettate alcune possibilità di intervento.

Sarebbe opportuno approfondire il problema per giungere a proposte concrete. È a nostro parere indispensabile intervenire prima che si manifestino grossi squilibri difficilmente padroneggiabili.

4) *Studio particolare di approfondimento per il riequilibrio delle spiagge tra il Garigliano ed il Promontorio di Scauri:*

Come risulta dallo Studio queste spiagge sono state squilibrate da due fattori:

— Riduzione portata solida del Gari-  
gliano;

— Costruzione del porto di Scauri.

Si impone uno studio di approfondimen-  
to per il riequilibrio anche in relazione al  
completamento del Porto di Scauri.

#### 5) *Studio particolare di approfondimen- to per il riequilibrio delle spiagge di Ladispoli:*

La spiaggia di Ladispoli e quella imme-  
diatamente a Sud, sono minacciate dal-  
l'intervento in corso per la difesa del li-  
torale a Sud di Torre Flavia.

È necessario approfondire il problema in  
relazione soprattutto alle fonti di alimen-  
tazione e prevedere un programma arti-  
colato di intervento.

#### 6) *Studio in approfondimento particola- re per il riequilibrio della spiaggia di Sper- longa:*

La spiaggia di Sperlonga presenta due  
problemi:

A Ponente del promontorio occorre pro-  
vocare un avanzamento della spiaggia di  
10-15 metri al duplice scopo di assicura-  
re l'equilibrio e renderla atta all'uso  
balneare.

A Levante del promontorio occorre por-  
re rimedio allo squilibrio determinato dal-  
la realizzazione del porto.

Riteniamo che i due interventi, se attuati  
preventivamente al possibile degenerare  
della situazione, non presentino difficolt-  
tà insuperabili neppure dal punto di vi-  
sta dell'entità della spesa.

#### 7) *Studio di approfondimento particola- re per il riequilibrio delle spiagge della baia di Ponza:*

Questo Studio è necessario sia attuato  
contemporaneamente alla progettazione  
dell'ampliamento del porto di Ponza in  
variante rispetto alle proposte oggi  
esistenti.

#### 8) *Studi particolari di approfondimento in vista del miglioramento del patrimo- nio di spiagge laziali anche in relazione alle necessità turistiche e balneari:*

Esistono molte zone laziali dove è possi-  
bile, con investimenti relativamente limi-  
tati, migliorare decisamente il patrimonio  
di spiagge da destinare all'utilizzazione  
balneare.

Esse tra l'altro potranno assolvere paral-  
lamente alle necessità di difesa litora-  
nea.

Le posizioni più favorevoli a questo pro-  
posito sono nell'ordine: Civitavecchia -  
Santa Marinella - Anzio - Nettuno - Gaeta  
e Formia.

### 3. STUDI DI BASE (Programma triennale)

#### 3.1 Premesse

Per affrontare un programma di Studi di  
base a lungo termine e basati su un'im-  
postazione sistematica, è assolutamente  
necessario disporre di una moderna base  
cartografica e di una serie di capisaldi di  
riferimento per i successivi rilievi di bat-  
tigia e batimetrici.

Il primo punto del programma seguente  
si riferisce pertanto a questa necessità.  
I punti successivi indicano una successio-  
ne di tappe nelle varie direzioni dello  
Studio.

È evidente che l'articolazione sia tempo-  
rale che delle necessarie integrazioni tra  
le singole direttrici, sarà essenziale per la  
reale fruibilità del lavoro, anche e soprat-  
tutto in relazione con il parallelo pro-  
gramma di approfondimenti locali dello  
studio e le relative proposte di intervento.

#### 3.2 Cartografia e capisaldi - rilievi successivi

Su tutto il territorio laziale e possibilmen-  
te sulle fasce extra regionali interessate  
da bacini imbriferi con sfocio sul litorale  
laziale, dovrà essere predisposta una car-  
tografia aggiornata aereofotogrammetri-  
ca in scala 1/25.000 e 1/5000.

Sulla fascia costiera, in corrispondenza  
delle radici delle sezioni batimetriche di  
cui al presente studio e di punti interme-  
di, ad intervalli di circa 500 ml., lungo le  
coste basse e incoerenti e 1 km. lungo  
quelle alte e coerenti, dovranno essere di-  
sposti manufatti inamovibili e riconoscibi-  
li, collegati tra loro con livellazione di  
precisione ed ai punti trigonometrici cir-  
costanti con rilevamento planimetrico.  
Analogamente lungo i principali corsi  
d'acqua dovranno essere posti appositi  
manufatti collegati da livellazione di  
precisione.

Ad intervalli quinquennali dovranno es-  
sere effettuati i seguenti rilievi:

- rilievi batimetrici di sezioni aventi ra-  
dici sui manufatti costieri;
- profili degli alvei appoggiati ai capi-  
saldi;
- fotogrammetria costiera e degli alvei  
principali allo scopo di registrare va-  
riazioni.

#### 3.3 Studi idrologici e sul trasporto solido dei corsi d'acqua

Dovrà essere affrontato uno studio esau-  
riente sul trasporto solido fluviale dei ba-  
cini tributari delle spiagge laziali.

Lo studio dovrà acquisire i necessari ele-  
menti di geologia, litologia, morfologia  
ed acclività, tipo di utilizzazione del suo-  
lo, idrografia, idrometria, piovosità per  
giungere a determinare l'erodibilità e  
quindi valutare, anche in previsione, il

trasporto solido dei singoli corsi d'acqua  
(1).

Le ricerche sul trasporto solido potran-  
no essere effettuate mediante l'applicazio-  
ne del metodo di Gaurilovic il quale esprime  
la potenzialità di un bacino idrogra-  
fico in termini di sedimento producibile.  
Vari parametri del suolo (morfologia e li-  
tologia) saranno rappresentati in scala  
1:100.000 o 1:50.000 a seconda del tipo  
litologico.

Lo Studio dovrà anche valutare le ripercu-  
ssioni sul trasporto solido di importanti  
programmi di intervento (impianti idroe-  
lettrici irrigui, forestazioni, sistemazioni  
territoriali, cambiamenti culturali, espansio-  
ne urbanistica ed industriale).

Infine dovrà essere esaminata la possibi-  
lità di programmare interventi, che in via  
diretta, od indiretta, possano provocare  
un aumento del trasporto solido fluviale.

#### *Aggiornamento continuo*

Successivamente alla prima stesura lo stu-  
dio dovrà essere periodicamente aggiorn-  
ato nelle premesse e nelle conclusioni.  
Possibilmente l'aggiornamento sarà deci-  
ventennale per quanto attiene all'uso del  
suolo mentre per quanto riguarda la va-  
lutazione degli effetti di importanti inter-  
venti sul territorio dovrà essere quinquen-  
nale.

La crescente domanda di energia elettrica  
tende al recupero totale di tutte le po-  
tenziali forme di energia idroelettrica. Og-  
gi giorno infatti sono allo studio, su vaste  
regioni, progetti per il recupero delle  
acque con impianti di gronda lungo i  
rilievi.

La realizzazione di tali impianti porterà  
necessariamente ad un radicale sconvol-  
gimento del trasporto solido con inevita-  
bili ripercussioni sui litorali.

#### 3.4 Studio sul contributo detritico dei principali fronti costieri di erosione congenita della costa laziale

Come risulta dal presente, esiste sulla co-  
sta laziale, un consistente contributo alla  
circolazione detritica litoranea fornito  
da fronti di erosione marina.

Ciò principalmente nei tratti tra Capo Li-  
naro e Ladispoli, tra Ardea e Capo d'An-  
zio e tra Nettuno e Torre Astura.

Si procederà quindi ad uno studio, com-  
prendente anche campionature costiere  
(sui fronti d'erosione ed in profondità  
avente lo scopo di accertare il valore di  
detto contributo e la natura del sedimen-  
to posto in circolo).

*Aggiornamento dello Studio:* Si procederà  
ad un aggiornamento almeno deci-ven-  
tennale per quanto riguarda la litologia

(1) Ciò anche mediante l'installazione di stazioni  
di misura e di prelievi sperimentali di sedimento (tra-  
sporto in sospensione e per saltazione e rotolamen-  
to).

e bi-quinquennale per quanto riguarda la morfologia costiera (cartografia).

Lo studio sul contributo detritico derivante dai fronti di erosione marina verrà completato dall'analisi del contributo carbonatico detritico aganogeno e del suo peso nell'alimentazione del manto detritico costiero.

Premesso che i molluschi fissano il Ca ed il Mg delle loro valve, verrà valutata in prima istanza la produzione nell'ambito della spiaggia sottomarina.

È certo infatti che le valve dei molluschi ed i gasteropodi vengono triturate progressivamente entrando nel circolo dei sedimenti.

In seconda istanza verrà esaminata la storia del pescato e quindi del bilancio tra produzione naturale e pescato, infine stimata la quantità di materiale sottratta al regime del litorale.

### 3.5 Studio del trasporto solido litoraneo mediante analisi dell'esposizione marittima in relazione alla natura dei fondali e del sedimento

Sarà sviluppato secondo tre direzioni distinte, i relativi risultati saranno confrontati per giungere a determinazioni più aderenti alla realtà:

- a) mediante analisi dell'esposizione marittima in relazione alla natura dei fondali e dei sedimenti (modelli matematici);
- b) mediante l'analisi granulometrica, mineralogica e/o chimica dei sedimenti;
- c) mediante l'analisi storica delle variazioni recenti della costa e dei fondali.

#### *Esposizione marittima*

L'approfondimento delle conoscenze sull'esposizione marittima è essenziale per affrontare i problemi di equilibrio litoraneo con maggiori cognizioni e quindi con più sicurezza.

Esistono in sostanza due metodi di base che possono essere seguiti per acquisire i dati di base necessari.

Il primo e più ovvio è quello di installare una rete appropriata di strumentazione costiera per registrare i successivi eventi di moto ondoso al largo ed eventualmente sottocosta.

Ciò allo scopo di acquisire una serie di dati statistici da elaborare per effettuare previsioni basate sulla persistenza statistica degli eventi climatici.

Questo metodo è già stato affrontato da qualche anno dal CNR con l'installazione di boe mareografiche in vari punti del litorale italiano (di cui una installata nel 1978 di fronte alle foci del Tevere).

Esso peraltro presenta il grade handicap di necessitare di un periodo molto lungo affinché la serie statistica dei dati raccolti divenga significativa (11 o 22 anni). Il secondo metodo è quello di far ricorso ai dati esistenti.

Come si è visto nell'apposito capitolo i

dati anemometrici, se correlati con notizie circa le durate, sono suscettibili di giungere alla determinazione, oggi molto attendibile, delle caratteristiche dei moti ondosi conseguenti (metodo SMB). Tale metodo, basato su pochi anni di osservazione ed associato alla teoria "delle classi fondamentali di circolazione in superficie e tipi di tempo" è stato applicato nel presente studio (vedi capitolo V) ma potrà essere notevolmente approfondito ed ampliato facendo ricorso ad elaborati.

In sostanza si propone il ricorso ad ambedue i metodi tenuto conto che, mentre il primo sarà in grado di offrire frutti solo dopo almeno un decennio, il secondo potrà immediatamente condurre ad un notevole approfondimento delle conoscenze.

#### *Installazione e gestione di una rete di osservatori automatici per il rilievo del moto ondoso e delle correnti marine*

- a) Dovranno essere determinate, in base ad apposito studio, serie di posizioni in cui installare osservatori fissi, costieri per strumentazioni automatiche in grado di rilevare moti ondosi (intensità periodi e direzione prevalenti di provenienza) e correnti marine;
- b) Tali osservatori dovranno essere gestiti per un periodo di almeno 11 anni consecutivi;
- c) Le registrazioni dovranno periodicamente essere elaborate per renderle usufruibili e rese pubbliche.

Detto programma dovrà ovviamente essere previsto di intesa con il CNR ed eventualmente con la Società ENEL che già hanno alcuni punti di osservazione strumentale sul litorale tirrenico.

#### *Studio dell'esposizione mediante acquisizione dei dati statistici anemometrici esistenti*

Acquisizione presso gli archivi del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare dei Microfilms delle registrazioni triorarie dei cartelli meteorologici (disponibili dal 1960).

Loro elaborazione mediante modello matematico ed elaboratore con il metodo di classificazione dei modelli di circolazione superficiale nel bacino tirrenico, e determinazione delle direzioni intensità e persistenza dei venti e quindi attraverso il metodo SMB le successioni di moti ondosi sulle coste laziali.

#### *Analisi delle modificazioni del moto ondoso sottocosta e calcolo del flusso di energia*

Nota la successione statistica di moti ondosi, al largo si dovrà procedere, mediante modello numerico e computer alle analisi delle modificazioni dei moti ondosi

stessi a seguito dei fenomeni di shoaling, rifrazione e dissipazione fino alla rottura delle onde.

Tale analisi sarà estesa al maggior numero possibile di combinazioni di direzione di provenienza, altezza e periodo d'onda riscontrabili nella realtà locale e dedotta dallo studio di cui al punto precedente. Il lavoro giungerà pertanto a determinare, in un certo numero di sezioni costiere, di particolare interesse, il *flusso longitudinale di energia*.

#### *Studio sulle caratteristiche dei fondali e sul sedimento (in vista della determinazione dei volumi di trasporto longitudinale):*

##### *— Rilevamenti di sismica leggera (Sparke/Uniboom):*

Si procederà ad una campagna di rilievi di sismica leggera ad alta risoluzione intesa ad accertare la presenza e la distribuzione di strati di sabbia nonché il fondo roccioso affiorante o sommerso dal manto detritico incoerente della piattaforma costiera.

##### *Aggiornamento dello Studio*

Ad intervalli quinquennali soprattutto sulla base delle risultanze delle registrazioni del moto ondoso provenienti dalle stazioni automatiche di cui al punto precedente.

Lo Studio sarà integrato dai nuovi dati che si renderanno mano mano disponibili e dalle variazioni della situazione di fatto. In conseguenza si procederà alla rettificazione dei risultati.

##### *Studio del trasporto solido litoraneo mediante l'analisi granulometrica e mineralogica del sedimento*

Sugli stessi campioni prelevati per la determinazione del fattore K, eventualmente integrati da ulteriori campioni e carotature, si procederà ad effettuare le analisi granulometriche e a determinare i parametri statistici e petrografici, nonché alla individuazione dei minerali pesanti e/o metalli in tracce.

I dati ottenuti saranno elaborati da apposito programma.

I risultati verranno opportunamente rappresentati in grafici relativi alla loro distribuzione areale ed in diagrammi allo scopo di determinare la direzione di trasporto prevalente lungo riva e possibilmente i volumi in movimento nelle stesse sezioni di cui allo studio precedente.

##### *— Aggiornamento dello Studio*

Ad intervalli, possibilmente quinquennali si procederà ad un aggiornamento dello studio e quindi dei risultati.

##### *— Accertamento della natura petrografica di detti affioramenti o strati*

Mediante prelievi superficiali si procederà ad analizzare la natura e consistenza delle formazioni rocciose di cui al punto precedente.

### *Prelevamento di campioni superficiali di sedimento*

Si procederà al prelevamento di serie di campioni di battigia e di fondale da sottoporre ad analisi granulometriche, di densità e morfologiche in vista della determinazione del fattore K di proporzionalità che compare nelle principali espressioni matematiche che forniscono il volume del trasporto solido (Komar - Bijker Engelund Hansen, Ackers White, Swart (metodo Swamy) etc.).

#### *— Determinazione del trasporto solido*

È estremamente importante, in vista della pianificazione di interventi articolati nel tempo e relativi ad ampi ambiti territoriali, la conoscenza del volume di trasporto solido in atto in sezioni particolarmente significative.

Sulla base delle acquisizioni di cui ai punti precedenti è possibile giungere ad una determinazione teorica di questo importantissimo parametro.

#### *— Studio del trasporto solido litoraneo mediante l'analisi delle variazioni recenti della costa e dei fondali*

Non appena si sarà in possesso di successive determinazioni batimetriche di precisione dell'intera fascia costiera, disponendo anche delle risultanze dello studio sul trasporto solido-fluviale e di quello sulla vita dei sedimenti si potrà procedere, nelle stesse sezioni di cui ai punti precedenti, alla determinazione del volume di trasporto litoraneo.

#### *— Aggiornamento dello studio*

Lo studio dovrà essere aggiornato ad intervalli possibilmente quinquennali o decennali.

### **3.6 Studi intesi a determinare le possibili fonti di approvvigionamento di materiali di ripascimento**

Come risulta dal presente è essenziale per il mantenimento, almeno in alcune zone costiere, di spiagge aperte, il disporre di materiali da ripascimento.

Essi, come già esposto in altra parte, possono provenire da frantumazione di rocce, da cave interne di materiali sabbiosi e da prelevamenti marini.

Il primo tipo (frantumazione) non pone problemi di provenienza data l'abbondanza di affioramenti rocciosi sulle coste laziali ma presenta gravi problemi di costo.

Per il secondo tipo si può pensare a due fonti di rifornimento: escavazioni nelle aste terminali dei corsi d'acqua (in alveo) ed apertura di cave di prestito sul territorio.

#### *Escavazioni in alveo*

Come già detto nell'apposito capitolo "Strategia di intervento" (capitolo III) le escavazioni in alveo dovrebbero essere effettuate solo allo scopo di favorire il deflusso delle piene ed i materiali estratti es-

sere usati esclusivamente per il ripascimento delle spiagge.

Si procederà quindi ad uno studio avente lo scopo di valutare dette necessità, di determinare la natura (granulometria e litologia) e la quantità di materiale da estrarre nonché la creazione di apposite aree di deposito.

Considerata la situazione che risulta dallo Studio, salvo casi particolari (parte Nord della fascia costiera) il ricorso al prelevamento in alveo non potrà assicurare che una piccola parte dei materiali necessari.

È quindi naturale che gli studi debbano orientarsi soprattutto sul secondo tipo (cave di prestito interne e prelevamenti marini).

#### *Cave di prestito nel territorio*

Le coste del Lazio sono costituite da ampie e profonde fronti di depositi recenti di materiali sabbiosi, si dovranno perciò affrontare studi per determinare la consistenza di questo patrimonio (natura, quantità del materiale, possibilità di prelievo etc.) (1).

L'apertura di cave di prestito litoranee porrà anche problemi di natura urbanistica ed igienica che dovranno essere affrontati in linea tecnica dalla presente direttrice di studio oltre che in linea legislativa e normativa.

#### *Prelevamenti da mare*

Esistono due direttrici principali cui attingere materiali di ripascimento dell'ambiente marino:

##### *a) Materiali di risulta da escavazioni portuali*

Si dovranno condurre indagini per determinare le caratteristiche soprattutto granulometriche e chimiche allo scopo di stabilire la possibilità di utilizzo dei materiali provenienti dall'escavazione dei porti e delle rade.

In genere l'escavazione delle rade e dei piccoli porti fornisce materiali di granulometria adatta al ripascimento, mentre i materiali di risulta da escavazioni di bacini interni raramente sono idonei allo scopo.

I risultati delle analisi saranno attentamente valutati e rapportati alle granulometrie presenti nelle spiagge circostanti alla fonte del dragaggio (formule di Krumhein James - Dean etc.) per giungere a valutare l'eventuale convenienza economica del loro uso per il ripascimento e le più opportune tecniche da impiegare.

È appena il caso di ricordare le eventuali implicazioni di igiene ambientale nonché gli aspetti ecologici che ovviamente dovranno essere tenuti presenti nelle valutazioni di cui sopra.

##### *b) Materiali prelevati dai fondali*

Questa fonte di approvvigionamento è

destinata ad assumere progressivamente importanza crescente nel mantenimento delle spiagge laziali.

A questa affermazione porta l'analisi dell'evoluzione dei metodi di intervento cui si è assistito negli ultimi anni nei paesi più industrializzati e all'avanguardia in questo campo USA - Regno Unito etc. (vedi Shore Protection 1975).

Infatti le tecniche moderne consentono la movimentazione di enormi volumi di sabbia in ambiente marino a costi estremamente inferiori rispetto alla movimentazione terrestre a patto che i volumi da movimentare siano elevati.

Per rendere però possibile lo sfruttamento di queste possibilità è necessario procedere ad un inventario delle risorse disponibili e ad una normativa e legislazione regionale.

#### *Inventario dei depositi costieri disponibili*

Sulla base delle risultanze degli studi sedimentologici di cui al punto del programma precedente, si procederà ad un opportuno progressivo approfondimento procedendo per zone.

Si condurrà quindi uno studio sulla base delle trasgressioni marine nelle epoche geologiche passate allo scopo di localizzare, dal punto di vista geologico, la posizione di eventuali "spiagge sommerse". Si procederà quindi ad una serie di sondaggi sottomarini di sismica leggera e batimetrici intesi ad avere conferma delle deduzioni teoriche e circa la localizzazione di depositi sommersi litoranei di sabbie aventi caratteristiche adatte per il ripascimento (vedi anche indicazione di cui al punto 3-6).

Si determineranno infine le caratteristiche dei giacimenti riguardo alla consistenza, granulometria e natura mineralogica allo scopo di valutarne la possibilità di impiego ed i relativi costi.

### **3.7 Studio per la determinazione delle modalità di versamento anche in relazione al periodo di interrimento dei porti**

Dovrà essere condotto uno studio specifico basato sulle conoscenze acquisite circa la circolazione dei sedimenti litoranei appoggiato a prove sperimentali o a ricerche di campo sulle più opportune posizioni di versamento dei materiali di ripascimento.

In particolare, per quanto riguarda la rimessa in circolo di materiali provenienti da escavazioni nelle rade e nei porti, si dovranno determinare "posizioni di non ritorno" che, mentre consentano la rimessa in circolo dei sedimenti scaricati, escludano o mimimizzino il ritorno nelle zone escavate.

(1) Vedere al proposito quanto emerge da studi recenti (capitolo II).

### **3.8 Studio della distribuzione in profondità ed in superficie di un sedimento di granulometria nel manto detritico di una spiaggia costituita da sedimento sottile**

È estremamente importante, soprattutto nel caso di operazioni di salvataggio di spiagge, in condizioni molto critiche, disporre di conoscenze sul comportamento di materiali di ripascimento di natura grossolana.

Il materiale grossolano è entro certi limiti assorbito dal sedimento di base più fino e ne costituisce una fondazione che conferisce stabilità alla spiaggia in occasione di mareggiate eccezionali (in quanto più stabile ed in grado di essere in equilibrio su pendenze elevate).

Esistono peraltro grossi rischi di degenerazione dell'equilibrio e mancano studi a questo riguardo.

Un esperimento molto importante a questo proposito è in corso a Terracina.

Sarà opportuno impostare uno studio organico sui risultati ottenuti allo scopo di usufruire dell'esperienza.