

urbanistica, paes.
territoriali, piani di im-
stici, valutazioni del verde urbano
sviluppo del verde urbano
Piani urbanistici, territoriali, paesistic
valutazioni di impatto ambientale, piani di ana

I paesaggi geologici italiani (2)

Il litorale e le dune costiere

a cura di

Sigea (Società italiana di geologia ambientale)



L'aspetto più tipico del paesaggio delle spiagge è quello relativo al loro uso balneare

**Antonia Arnoldus, Eugenio Di Loreto, Giuseppe Gisotti, Christian Mulder,
Luca Rustici, Francesco Zarlenga**

materiali
**Verde
Ambiente**

urbanistica, paes.
territoriali, piani di im-
stici, valutazioni del verde urbano
sviluppo del verde urbano
Piani urbanistici, territoriali, paesistic
valutazioni di impatto ambientale, piani di ana

Il litorale e le dune costiere

Il litorale è stato definito come "luogo di compromesso e di conflitto in continua evoluzione", la cui condizione altro non è che il risultato dinamico dei molti fattori, spesso antagonisti fra loro, che giorno dopo giorno, stagione dopo stagione, ne modellano la forma.

Le onde che da un lato erodono la spiaggia possono anche accrescerne la superficie con i sedimenti scaricati in mare dai fiumi e successivamente trasportati dalle correnti litoranee.

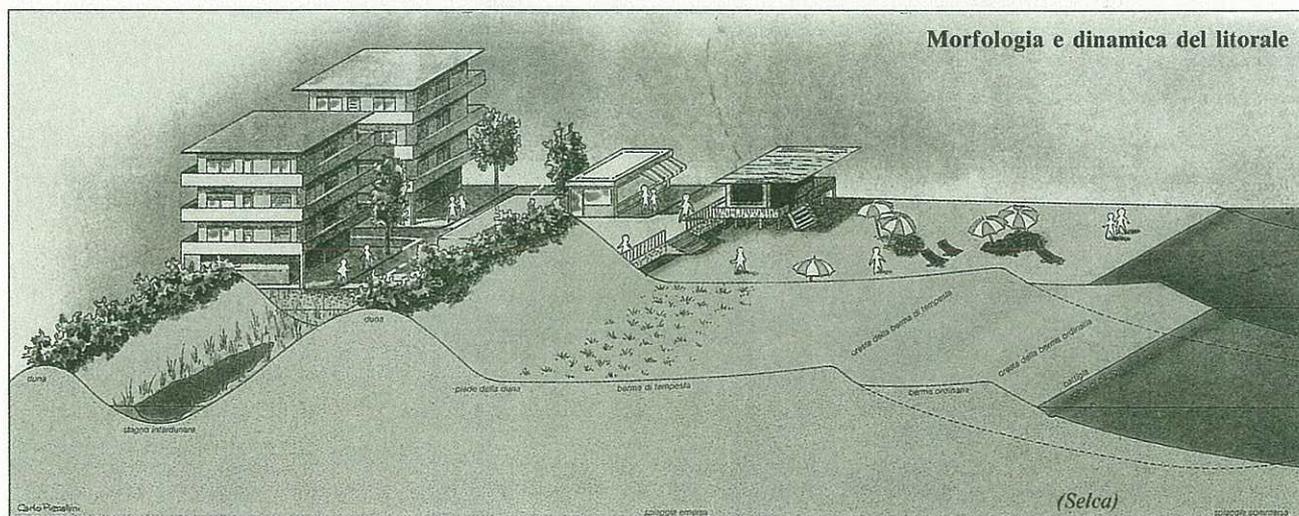
I naturali processi di erosione costieri risultano sempre ulteriormente accelerati dall'intervento antropico: il danno arrecato giornalmente ai litorali sabbiosi non necessita di molti commenti e le variazioni del profilo dinamico di ogni litorale sabbioso italiano (che rappresenta una situazione di equilibrio molto precaria, in costante mutamento) sono un chiaro grido d'allarme sia per quanto riguarda il paesaggio geologico in sé quanto per le nicchie ecologiche più tipiche e più soggette all'aggressione umana.

L'uomo fin dall'antichità ha scelto di edificare le proprie abitazioni lungo le coste, attratto sia dalle favorevoli condizioni climatiche ma soprattutto dalla possibilità di procacciarsi cibo dalla pesca o una risorsa

di fondamentale importanza per l'alimentazione come il sale. Inoltre la bellezza paesaggistica delle coste ha costituito per esempio per gli antichi Greci un fattore di scelta dei luoghi dove costruire i templi. Nelle zone litoranee si sono poi sviluppate attività economiche e sociali: edilizie, industriali, portuali e delle vie di comunicazione. Nell'antichità il mare, e in particolare il Mediterraneo, ha favorito i traffici (era più facile andare via mare che via terra): ecco perché tanti insediamenti sulla costa. Lo scenario naturale infine ha portato lo sviluppo del turismo balneare per la funzione di ricreazione fisica e psichica.

Così il paesaggio naturale del litorale nel corso degli ultimi decenni ha cambiato aspetto. Intere aree costiere umide sono state cancellate, è pressoché scomparsa la vegetazione spontanea del litorale, molto importante perché trattiene la sabbia dispersa dal vento permettendo la creazione delle dune, importanti riserve di materiale detritico durante le violente mareggiate invernali. Ora in prossimità di molte coste possiamo osservare solo lunghe file di manufatti: cabine, ristoranti, residences, alberghi, seconde abitazioni, moli e porticcioli turistici. Queste opere

hanno alterato il delicato equilibrio di questa fascia di territorio, provocando fenomeni di arretramento dell'arenile. Spesso per far fronte a questi problemi sono state progettate opere di difesa (scogliere frangiflutti, pennelli) che si sono rivelate in molti casi inutili e hanno creato scompensi spostando nelle aree sottoflusso il problema dell'erosione. Così di comune in comune ci si ritorna alla fine con centinaia di chilometri di spiagge artificiali brutte e malsane. Per salvaguardare e valorizzare gli ultimi spazi intatti di litorale nel 1981 a Creta è stata adottata dalla Conferenza delle regioni periferiche marittime della Cee la "Carta del litorale" che impegna i paesi firmatari a organizzare una politica coordinata di gestione, sviluppo, protezione e sistemazione dello spazio litorale. Data l'importanza economica e naturalistica di questo ambiente di transizione, questo nostro contributo vuole tornare utile a coloro che devono pianificare e gestire gli interventi, perché vengano acquisite nuove conoscenze per quanto concerne il tipo di morfologia e dinamica costiera, le caratteristiche geologiche e vegetazionali, i problemi di uso di questi spazi e dei provvedimenti ottimali per salvaguardarli. (e.d.1.)



Aspetti geologici

In Italia lo sviluppo complessivo del litorale (che è la fascia di territorio a immediato contatto con il mare e soggetta alla sua azione erosiva) è di circa 7.500 chilometri, con quasi 4250 chilometri di coste alte e/o

rocciose e quasi 3250 chilometri di spiagge. Una classificazione geomorfologica eseguita sulla base della cartografia topografica e geologica è stata proposta nel 1978 da Anselmi e altri che hanno riconosciuto sei tipi geomorfologici fondamentali delle coste italiane e precisamente: 1) Co-

ste alte corrispondenti a rilievi montuosi (32 per cento); 2) Coste alte corrispondenti a terrazzi marini (18 per cento); 3) Coste variabili corrispondenti alla pianura litoranea stretta (11 per cento); 4) Coste basse corrispondenti alla pianura di fiumara (4 per cento); 5) Coste basse cor-

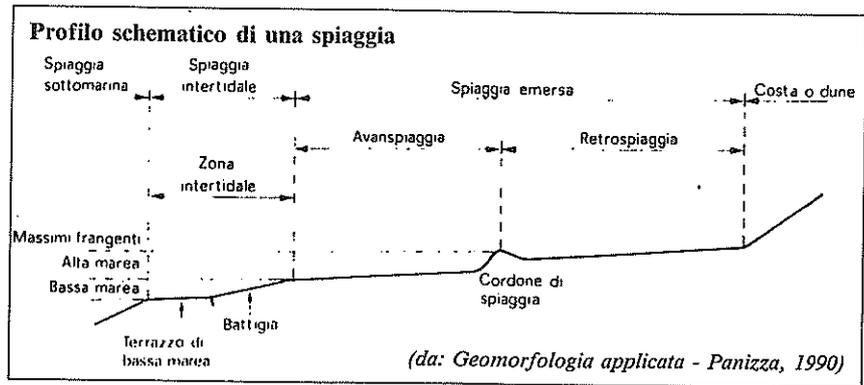
rispondenti alla pianura alluvionale (31 per cento); 6) Coste basse corrispondenti alla pianura di dune (4 per cento). Questa classificazione, che potrebbe essere suscettibile di modificazioni, può fornire utili indicazioni sia sulla configurazione della zona strettamente costiera sia della morfologia del paesaggio retrostante. In particolare ci occuperemo del paesaggio delle pianure costiere.

La spiaggia

Per spiaggia si intende la zona di litorale costituita da depositi incoerenti delimitata verso il mare dalla linea di bassa marea e verso terra dalle dune o dai primi affioramenti rocciosi. Un tipico profilo schematico di spiaggia comprende due distinte unità: il *backshore* (o spiaggia emersa) che è compresa fra il livello medio delle alte maree e i rilievi o le dune; il *foreshore* (spiaggia intertidale) che è delimitata dal livello medio delle basse e delle alte maree.

Nella spiaggia intertidale si distingue un terrazzo di bassa marea e una zona di battigia. Questa corrisponde alla porzione più inclinata lungo la quale battono e si infrangono le onde. In prossimità della battigia è ben evidente una leggera cresta (*beach-crest*) costantemente marcata da una spalmatura di ciottoli e, a tratti, da una leggera contropendenza verso l'entroterra, che costituisce la cosiddetta berma ordinaria (ripiano o gradino di spiaggia). Analoga cresta segue l'andamento della berma di tempesta, formatasi in seguito alle violente mareggiate. Le due berme sono raccordate da una scarpata (avanspiaggia) a debole pendenza che tende localmente ad accentuarsi in relazione al variare dell'energia del moto ondoso, la quale a sua volta è legata all'andamento longitudinale della costa, alle sue irregolarità, all'estensione del tratto di mare antistante.

La dinamica d'insieme di una spiaggia è generalmente caratterizzata da un'alternanza di due azioni: una di accumulo di detriti, derivanti soprattutto dagli apporti delle foci fluviali, dove le onde del mare li prendono in carico e, quando queste giungono non perpendicolari alla costa, li trasportano per decine e anche centinaia di chilometri alimentando così costantemente le spiagge come "un nastro trasportatore"; l'altra di erosione, in cui il materiale detritico viene asportato e viene disperso in mare aperto dall'onda di ri-



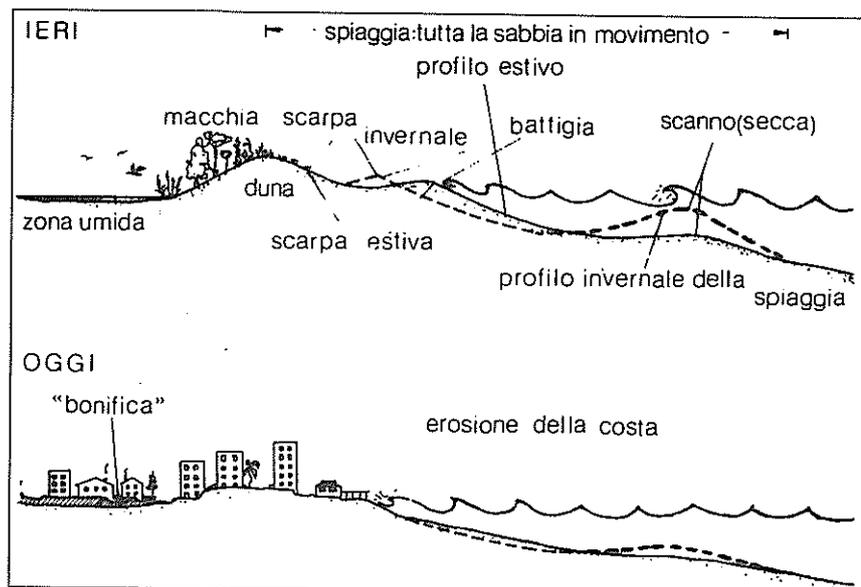
sacca e dalle correnti di deriva che si muovono obliquamente alla costa, oppure viene asportato dalla deflazione eolica e disperso nell'entroterra. Il ritmo dell'alternanza di queste fasi è quanto mai vario e l'aspetto della spiaggia può cambiare sia durante una giornata che in più giorni, o più vistosamente stagionalmente. In particolare è possibile osservare una notevole differenza tra l'aspetto invernale e quello estivo della spiaggia. Le mareggiate invernali erodono la parte della spiaggia emersa (detta anche scarpa) trasportando la sabbia verso il largo ad alimentare la secca (o scanno o cordone sottomarino). In estate il mare non agitato non ha la forza di erodere ma trasporta la sabbia dallo scanno verso la spiaggia alimentandola.

Si tratta di un "equilibrio dinamico" che può essere alterato per varie cause naturali e antropiche. Fra

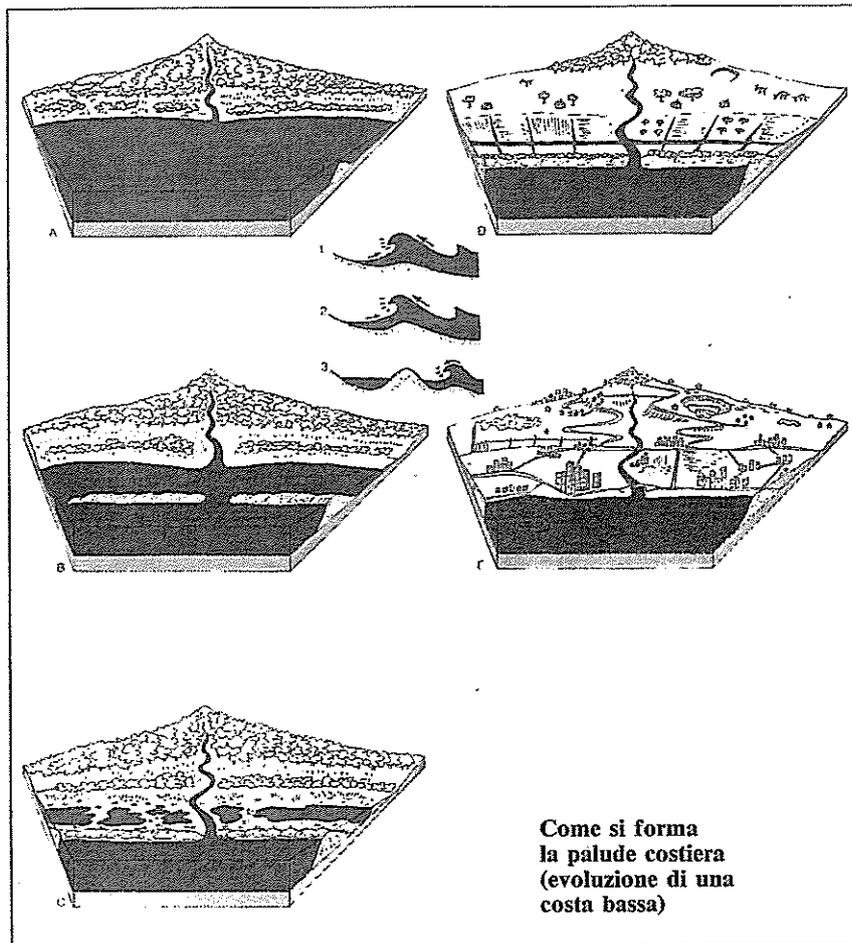
le prime la mutazione del regime dei venti, i cambiamenti dei percorsi fluviali nelle zone di foce, le trasgressioni marine, ecc. Fra le cause antropiche possiamo citare l'escavazione degli alvei fluviali e la costruzione di dighe che depauperano gli apporti detritici dei fiumi, la costruzione di porti turistici che modificano il trasporto litoraneo, i fenomeni di subsidenza indotta.

Le dune costiere

La sabbia che si trova al di sopra del livello del mare è sottoposta all'azione del vento. Questo provoca lo spostamento della maggior parte della sabbia con una granulometria compresa tra 0,1 e 1 millimetro, per trascinamento sulla superficie (reptazione) oppure a balzi (saltazione); i granuli sollevati, nel ricadere al suolo, ne urtano altri che a loro volta possono essere risollevari e trascinati.



Erosione costiera. Ieri: la spiaggia in equilibrio dinamico con il mare veniva erosa dalle mareggiate invernali che spostavano la sabbia dalla porzione della spiaggia della "scarpa" verso la secca (scanno); in estate si aveva il passaggio contrario. La duna e lo scanno proteggevano la spiaggia dal lato terra e da mare. Oggi: distrutta la duna (che tra l'altro riforniva la spiaggia di sabbia), diminuita la sabbia a disposizione delle correnti per formare lo scanno, a causa delle dighe, delle cave in alveo e dei porticcioli, alla spiaggia non resta che scomparire (da Bascam, modificato; disegno di S. Panzarasa e V. Vikhranova)



**Come si forma
la palude costiera
(evoluzione di una
costa bassa)**

L'azione di trasporto della sabbia da parte delle onde e delle correnti provoca la formazione di un cordone sabbioso (S) dapprima sommerso (secca) (A) che emergendo crea, in seguito, una laguna (B) e quindi, con la chiusura dello sbocco a mare e con il continuo apporto di detriti da parte dei fiumi e l'accumulo di sostanza organica morta sul fondo, conduce a un graduale interrimento dell'area. Si passa quindi alla formazione di laghi, stagni e paludi (C). In seguito e molto lentamente, se gli eventi naturali potessero seguire il loro corso, la zona si interirebbe completamente, ma l'intervento di bonifica (D) con la canalizzazione delle acque e gli interrimenti artificiali accelera enormemente questo processo (disegno di S. Panzarasa e V. Vikhranova)

In generale un accumulo di sabbia inizia quando i granuli incontrano un ostacolo che può essere rappresentato dalla roccia o dalla vegetazione. Quest'ultima con le proprie radici trattiene la sabbia e permette un ulteriore accrescimento e una stabilizzazione del cordone dunale. Si formano così rilievi asimmetrici paralleli alla costa, che possono superare anche i 15 metri di altezza, con pendenze anche elevate. Tale sistema dunale con ampiezze di qualche centinaia di metri può estendersi per oltre 3 chilometri all'interno.

La struttura interna della duna è rappresentata dalla stratificazione incrociata, con inclinazioni intorno ai 30 e ai 40 gradi, mentre bassi angoli e laminazioni orizzontali sono poco comuni. La sabbia dunale è generalmente ben assortita ed è prevalentemente da fine a media. Di solito si

tratta di sabbie grigio-giallastre, a volte scure per presenza di minerali vulcanici, prevalentemente costituite da granuli di quarzo, che presentano un elevato contenuto di calcare costituito da frammenti di conchiglie.

I laghi e le paludi costiere

Spesso lungo le coste basse si trovano stagni, lagune o laghi costieri, come quelli di Sabaudia (Latina) e di Lesina (Foggia). L'evoluzione di questi tratti di litorale può essere così descritta: l'azione di trasporto della sabbia da parte delle onde e delle correnti provoca la formazione di un cordone litoraneo dapprima sommerso (barra sabbiosa) che emergendo crea, in seguito, una laguna che si forma perché le acque dolci continentali trovano sbarrato il loro flusso verso il mare; successivamente l'apporto di detriti da parte dei fiu-

mi e l'accumulo di sostanza organica sul fondo conducono a un graduale interrimento dell'area. Si passa quindi dalla palude alla terra emersa, processo naturale che l'uomo in alcuni casi tende ad accelerare per mezzo delle bonifiche. (e.d.l.)

La duna antica o continentale

In alcune regioni, come lungo la costa tirrenica fra la Campania e il Lazio, a immediato ridosso della duna attuale o recente, si sviluppano per un paio di chilometri di ampiezza sistemi dunali più antichi, che pur non possedendo più una configurazione morfologica peculiare e non fornendo quindi all'osservatore una risposta visiva immediata, rivestono tuttavia una particolare rilevanza ambientale e paesistica. Infatti la loro tipica colorazione rosso bruna conferisce tale cromatismo alla campagna nella stagione di aratura dei campi e la circolazione idrica che si svolge al suo interno è la responsabile almeno in parte dell'esistenza dei laghi costieri salmastrati che risultano sviluppati fra queste dune antiche e quella recente. Questi sistemi dunali, noti nel Lazio come "duna antica", "duna rossa" e/o "duna rossa antica", in realtà rappresentano condizioni paleoambientali diverse che in alcuni casi possono anche coincidere con ambienti dunali.

I sedimenti che le costituiscono si sono sviluppati in tempi diversi durante più cicli di sedimentazione, che rispecchiano le oscillazioni del livello marino connesse al succedersi di fasi climatiche diverse, da glaciali e quindi fredde a interglaciali e quindi calde, prodottesi durante un arco di tempo che copre all'incirca gli ultimi 0,4 milioni di anni della storia della terra.

Le sabbie della duna antica sono sede di una modesta falda freatica che recapita in piccole sorgenti poste all'estremità dei bracci in cui si articola la costa settentrionale dei laghi costieri; le portate sono modeste, al massimo di qualche litro al secondo, e la più nota è la "fonte di Lucullo", ubicata al margine meridionale del lago di Sabaudia. È dalla miscelazione di queste acque con quelle del mare, che risalgono lungo alcuni canali durante il ciclo di marea, che vengono alimentati i laghi costieri e viene mantenuta la tipologia salmastra delle acque, risultante appunto dalla miscelazione di acque dolci e marine. (f.z.)

Il suolo

Le caratteristiche dei suoli del paesaggio della "duna antica" sono ben diverse da quelle della duna recente, proprio perché esiste una grande differenza in età di formazione tra i due paesaggi. I più estesi resti della "duna antica" conservatisi in Italia sono riferibili all'ultima interglaciale (circa 125.000 anni fa, il "Tirreniano"), anche se sono presenti vari relitti dunali di epoca più recente o più antica (tra le ultime la nota "duna rossa antica" di Privero nel Lazio).

Importante notare che i relitti dunali conservatisi non costituiscono in pratica mai una serie cronologica continua perché normalmente sopravvive, di ogni fase deposizionale, solo la fascia dunale più interna (che corrisponde al livello massimo del mare), mentre le zone più esterne (verso il mare) tendono a non conservarsi, per copertura da parte della duna più interna oppure per erosione eolica o marina susseguente.

Sulle carte topografiche appare varie volte in corrispondenza alla "duna antica" il toponimo "saponaro" (per esempio ad Acilia, Roma: "Macchia Saponara"). Questo nome si riferisce alle caratteristiche della maggior parte delle terre di questo paesaggio, che si presentano, dopo la pioggia, plastiche, tenaci e appiccicose. Tipico di questi terreni è che d'estate sono molto duri (come un "mattone") e d'inverno, cioè nella stagione piovosa, formano una specie di pantano. Dal punto di vista agricolo, queste caratteristiche sono sfavorevoli, perché implicano una stagione di lavorabilità dei terreni molto breve, limitata in pratica ai periodi in cui i terreni non sono né troppo duri né troppo fangosi. Inoltre, queste caratteristiche portano a condizioni (sia fisiche che chimiche) non ottimali per la crescita delle piante. Un'altra caratteristica fisica sfavorevole è la tendenza di questa terra ad appiccicarsi fortemente alle macchine agricole.

Durante il rilevamento cartografico dei suoli nelle fasce dunali antiche si è potuto notare talvolta un evidente rapporto tra lo stato (relativamente povero) delle fattorie e la presenza di questi suoli, a dimostrazione evidente della difficoltà di coltivazione di queste terre, più adatte infatti al pascolo che all'agricoltura e usate tradizionalmente come tali dal-

l'epoca romana fino al periodo delle grandi bonifiche.

Le caratteristiche dei suoli della "duna antica" sono dovute alla struttura del "profilo pedologico", cioè alla stratigrafia naturale che si trova direttamente al di sotto della superficie. Vediamo questa struttura in dettaglio. Il tipico profilo nella "duna antica" è composto da uno strato ("orizzonte") sabbioso sovrapposto a uno strato più argilloso, con una transizione tra di loro che si trova a una profondità variabile che comunemente è di circa 0,5-0,7 metri. Tale struttura già spiega le soprannominate caratteristiche fisiche: la tendenza a impantanamento d'inverno, dovuta al ristagno delle acque piovane, dopo il passaggio dello strato sabbioso, sulle argille impermeabili. E la tendenza a indurirsi d'estate, dovuta alla mancanza di acqua di riserva nello strato sabbioso, essendo praticamente interrotto il contatto con le acque più profonde, che normalmente bagnano il suolo, almeno all'inizio della stagione asciutta, attraverso il meccanismo dell'ascendenza capillare.

In pedologia (scienza del suolo) il terreno con tale profilo si chiama "Planosol", ovvero "suolo della pianura". In questo caso si tratta esclusivamente delle pianure che appartengono al paesaggio della "duna antica". Sul territorio nazionale, i Planosuoli (e suoli affini) dominano laddove i movimenti neotettonici e glacio-eustatici abbiano concorso a conservare, a quote più elevate delle fasce costiere recenti, i resti della "duna antica".

La formazione del profilo tipico (sabbia su argilla) è dovuto ai processi sedimentologici della facies costiera, dove si combinano la sedimentazione eolica (apporto di sabbia) con la sedimentazione in ambiente lagunare (apporto di argilla). L'alternanza nel tempo e nello spazio di queste due facies crea una stratigrafia composta da strati argillosi e sabbiosi in alternanza. L'esposizione degli strati alla superficie crea, con il passare del tempo, suoli di vari tipi, tra cui i "Planosols", oppure suoli rossi sabbiosi, oppure suoli esclusivamente argillosi, tre tipi che si ritrovano tutti nell'ambiente della "duna antica".

Sia l'orizzonte superficiale dei Planosuoli e affini, che i suoli esclusivamente sabbiosi del paesaggio delle "duna antica", sono caratterizzati

da un intenso colore rossastro. Questo colore deriva dall'alterazione chimica dei minerali originariamente presenti nel sedimento costiero, in particolare dall'ossidazione dei minerali che contengono ferro (la biotite nelle zone vulcaniche, ad esempio). In questo caso, si formano vari ossidi (e idrossidi) di ferro, con colori che variano tra il rosso e l'arancione, attraverso un meccanismo che non è del tutto diverso dal normale arrugginirsi del ferro metallico. In contrasto, gli strati (e suoli) argillosi non arrossiscono a causa dell'assenza di ossigeno dovuta alla mancanza di porosità. I colori dominanti sono qui il grigio e il nerastro.

I suoli della duna più recente, ma più antichi di quella attuale, presentano, dal punto di vista agricolo, di solito condizioni favorevoli, specialmente per l'orticoltura irrigua intensiva. Tradizionalmente questi suoli, che tendono fortemente alla siccità per la dominanza di sabbia, sono stati usati per pascolo, ma l'introduzione dell'irrigazione ha consentito la forte espansione di un tipo di orticoltura intensiva, con varie raccolte per anno. In questo caso, lo stesso tipo di stratigrafia segnalato per la "duna antica" (alternanza di strati argillosi e sabbiosi) consente quest'uso: da un lato la presenza della sabbia in superficie rende leggera la lavorazione delle terre e consente la coltivazione di colture a espansione "ipogea", come ad esempio la carota (anche se la stessa sabbia costringe il coltivatore a un dosaggio molto preciso dell'acqua, per evitare essiccamento del suolo), mentre gli strati argillosi, impermeabili, inibiscono la perdita dell'acqua verso la falda profonda.

I terreni delle fasce dunali attuali sono esclusivamente sabbiosi, per cui non adatti alla coltivazione. (a.a.)

La regione Toscana presenta, come tante altre regioni d'Italia, su quasi tutta la sua costa, una serie di cordoni dunali sabbiosi attuali e recenti. L'età di questi depositi è variabile dalle poche centinaia di anni delle aree più vicine all'attuale linea di costa al migliaio di anni di quelle più antiche. Il substrato comune a tutti i suoli che si sviluppano su queste dune è costituito da depositi sabbiosi prevalentemente calcarei.

La morfologia di queste superfici è sub-pianeggiante con leggere ondulazioni, tale da determinare un paesaggio nel quale si alternano aree di

alto relativo ad andamento approssimativamente parallelo alla costa (dune) ad altre zone più depresse (interduna o lama).

Il sottosuolo è di solito caratterizzato dalla presenza di una falda superficiale, alimentata prevalentemente dalle acque piovane e quindi oscillante a seconda dell'andamento stagionale. Questa falda, per la sua vicinanza al mare e per il prelievo massiccio (soprattutto turistico) a cui è soggetta, risulta essere, specialmente nel periodo estivo e nelle aree in cui gli apporti idrici sono più scarsi, interessata da fenomeni di salinizzazione. L'andamento leggermente ondulato del paesaggio e la superficialità della falda provocano, a fronte di dislivelli del terreno di poche decine di centimetri, variazioni profonde nel tipo di vegetazione e nelle caratteristiche del suolo.

L'evoluzione dei suoli presenti sulla duna, data la grande permeabilità del substrato, la buona capacità drenante del sistema e la scarsissima percentuale di argilla presente, si indirizza verso: a) la progressiva lisciviazione del carbonato di calcio a partire dagli strati superficiali, b) il conseguente abbassamento del pH, c) un eventuale fenomeno di arrossamento delle sabbie dovuto al rivestimento dei granuli da parte di ossidi di ferro. Su questi terreni sono disponibili nella regione Toscana una serie di dati provenienti da studi effettuati negli anni passati (vedi ad esempio "Contributo alla geopedologia della macchia di Migliarino" del professor Fiorenzo Mancini) e dall'archivio suoli del progetto Sistemi territoriali della Regione Toscana.

Dall'esame di questi dati si possono evidenziare alcune tendenze: innanzitutto si ha una conferma della lisciviazione dei carbonati dal profilo quale primo stadio evolutivo; l'età delle superfici su cui si sviluppano i suoli in questione è crescente allontanandosi dalla linea di costa verso l'interno. In conseguenza di ciò è stata trovata una profondità crescente di lisciviazione dei carbonati in profili progressivamente più distanti dal mare. Inoltre profili coevi su duna, presenti in ambienti con grosse differenze di precipitazioni, e quindi con una diversa disponibilità di acqua per la lisciviazione (con differenze dell'ordine anche del 100 per cento), mostrano grandi variazioni nel tenore di carbonati con la profondità.

In secondo luogo la granulometria

variabile, con una percentuale di sabbia sempre superiore all'85 per cento, fa sì che in questi suoli l'unico colloide presente e quindi in grado di creare un serbatoio d'acqua e di elementi nutritivi sia la sostanza organica; ciò è riscontrabile dai valori della cosiddetta "capacità di scambio", un parametro per la fertilità naturale dei suoli; l'ultima ha valori accettabili nello strato superficiale e invece molto bassi negli orizzonti sottostanti. La scarsa ritenzione idrica presente, dovuta alla bassa percentuale di colloidi del suolo, è parzialmente compensata dalla presenza della falda superficiale il cui livello nella duna può risalire nei mesi invernali, fino a circa 80 centimetri dalla superficie.

In conclusione, da quanto finora accennato risulta che la sostanza organica gioca un ruolo molto importante nel favorire la stabilità e il rinnovo naturale della vegetazione di questo ambiente e più in generale la crescita di giovani piante. Occorrerebbe inoltre favorire la crescita di specie in grado di fornire al terreno residui vegetali facilmente amalgamabili con la frazione minerale e capaci di stabilizzarsi rapidamente; in altre parole risulterebbe di grande importanza la presenza di un sottobosco di macchia mediterranea in

prezzare ogni singola stazione come parte di un sistema dinamico molto più largo e continuo.

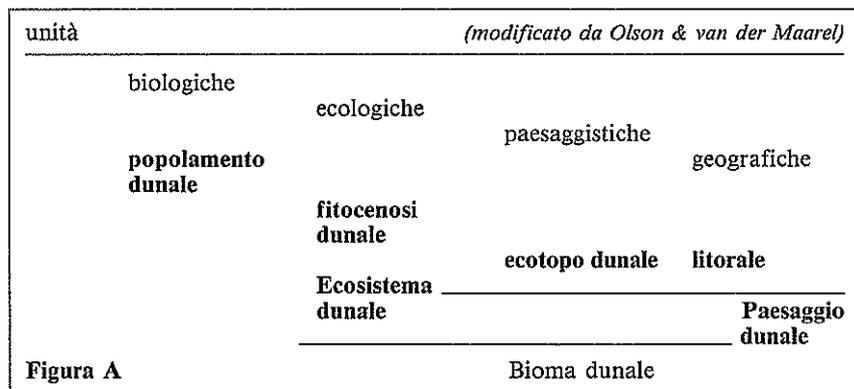
Se quanto riguarda la battigia e la spiaggia in genere è facilmente inquadrabile univocamente dal punto di vista geologico, per quanto concerne le dune ogni studio deve tener conto delle condizioni microclimatiche locali, dello sviluppo di vegetazione psammicola e della situazione edafica conseguente.

Naturalmente tutte queste tipologie possono e devono essere integrate: le loro combinazioni caratteristiche servono a definire da tutti i punti di vista il paesaggio dunale oggetto di questo articolo, con tutti i risvolti geopedologici ed ecologici.

Si tratta forse dell'ecosistema più affascinante di tutti i paesaggi geologici, e la figura A può dimostrare come il paesaggio dunale presenti il più alto livello di integrazione tra il mondo biologico e quelli abiologici (aria, acqua, terra).

Ogni sezione delle coste sabbiose può essere suddivisa in tre sezioni parallele: quella permanentemente sommersa, la fascia afitoica tra la linea di riva e la berma di tempesta e la fascia emersa.

Mentre il litorale sommerso è popolato da vere praterie, dominate



grado di formare un humus più ricco in basi, per controbilanciare la tendenza tipica della pineta alla formazione di sostanza organica più grezza e con caratteristiche acidificanti, la quale, tra l'altro, risulta anche essere meno adatta alla funzione di serbatoio per l'acqua e gli elementi nutritivi. (l.r.)

La vegetazione

Esistono tre elementi chiave nell'evoluzione costiera: sono i processi, i materiali e le morfologie. Tutti devono essere studiati insieme per ap-

prevalentemente dalla fanerogama marina *Posidonia oceanica* (L.) Delile, della quale si rilevano le tracce nel Mediterraneo sin dal Miocene, la spiaggia a monte della berma di tempesta presenta una sequenza di nicchie ecologiche (cenosi) vicarianti in continua alternanza nel tempo e nello spazio.

Tutte le entità psammofile presenti lungo i litorali sono assai specializzate, adatte come sono a un ambiente estremo dominato dall'azione di forze fisiche e chimiche limitanti: la capacità idrica di ritenzione della sabbia è virtualmente nulla, la tem-

peratura dell'interfaccia suolo-aria può superare i 60°C estivi, il mare esercita una fortissima azione caustica (diretta tramite l'aerosol e indiretta tramite le acque circolanti talmente ricche di cloruro di sodio da essere di difficile assunzione fisiologica) e il vento provoca intense sollecitazioni meccaniche.

Si possono considerare le specie presenti sul litorale come raggruppabili in quattro gruppi con diverse strategie di sopravvivenza: quello alofilo, quello alotollerante, quello idrofilo e quello xerofilo.

Le specie alofile presentano diversi adattamenti, dove ad aspetti fisiologici particolari si accoppiano specializzazioni estreme. Si possono riconoscere a questo proposito tre possibilità di sopravvivenza: la prima è una riduzione della superficie traspirante tale da consentire l'accumulo del cloruro di sodio nei vacuoli cellulari di generi quali *Halimione*, *Salicornia*, *Salsola* e *Suaeda*, che sopportano una salinità poco differente da quella marina, o di *Arthrocnemum* e *Sarcocornia* che si sono adattati perfino alla sopravvivenza nelle saline (quali quelle di Tarquinia); la seconda è un'immediata eliminazione mediante numerose cellule secernitrici dei sali adsorbiti (il caso di alcuni *Limonium*). Una scarsissima permeabilità ai sali e sofisticatissime barriere radicali sono l'ultima possibilità di adattamento di specie appartenenti a generi non spiccatamente alofili (quali *Artemisia*), in grado in questo modo di sopportare la salinità pur restando dei casi particolari di xerofite: sono entità spesso di origine atlantica che si differenziano nettamente da quelle di origine mediterranea per la fenologia (il periodo di fioritura).

Mentre il gradiente di salinità impone la presenza di alofile "pure" nelle immediate vicinanze del mare, verso l'entroterra specie appartenenti a gruppi con diverse strategie di sopravvivenza tendono a convivere.

È proprio l'aerosol marino a determinare una selezione floristica in funzione della resistenza fisiologica delle singole specie alla salsedine, mentre locali ristagni di acqua salmastra impongono alle specie idrofile del retroterra una certa alotolleranza dell'apparato radicale. In particolare, la maggiore alotolleranza di *Agropyron junceum* (L.) Beauv. rispetto a *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm. spiega la differente situazione autoecologica delle due specie caratteristi-



che più indicative dei popolamenti litoranei: mentre *Ammophila* domina sulla sommità delle dune, *Agropyron* presenta una forte componente pionieristica, grazie alla quale si spinge verso la linea di riva.

Questa zonazione di specie psammicole lungo il gradiente morfologico delle coste basse crea anche le premesse per un ulteriore sviluppo del litorale: mentre le alotolleranti diffuse nel primo tratto della spiaggia hanno difficoltà a sopportare il processo di deflazione (la Crucifera *Cakile maritima* Scop. soccombe se viene seppellita dalla sabbia oltre un certo limite, oppure troppo frequentemente), i tipici apparati rizomatosi delle Graminacee diffuse in cenosi costiere fissano la sabbia e rendono le specie estremamente competitive in stazioni ventose. I cesti accorpati di *Agropyron* determinano le premesse per la formazione di dune embrionali, che verranno dissalate per dilavamento consentendo la sopravvivenza di *Ammophila*; quest'ultima, con i suoi cespugli alti anche un metro, permette la formazione del cordone dunale senza esserne soffocata, dato che può facilmente crescere oltre un'ottantina di centimetri ogni anno.

In questo ambito in continua evoluzione si inseriscono altre specie che partecipano alla consolidazione ed edificazione dell'ambiente dunale. Le loro comunità creano così un ve-

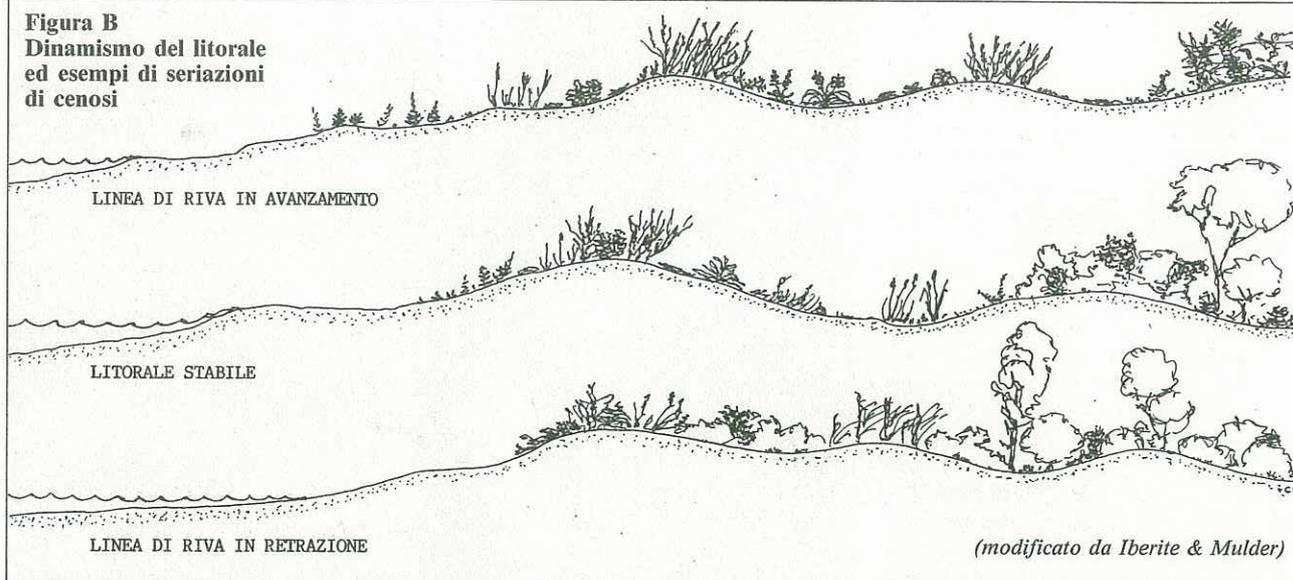
ro diaframma protettivo per lo strato arboreo interno, incapace di sopportare gli effetti negativi dovuti alla vicinanza del mare; lo sviluppo verticale della vegetazione psammofila pioniera viene in questo modo a determinare l'angolo al vertice del "cuneo di vegetazione": ogni alterazione nella propria seriazione scatena quindi delle reazioni a catena che si ripercuotono sulla flora legnosa rappresentata da uno stadio climacico forestale (che a seconda delle aree in esame va dalla classica lecceta mediterranea alla formazione naturale a *Pinus halepensis* Miller della barriera dunale Isola Varano, nella riserva biogenetica del Gargano).

Questi due consorzi sono spesso indicatori di stadi dinamici delle fasce di tensione in espansione, di interferenza nella seriazione di leccete e pinete non naturali le cui specie procedono alla colonizzazione delle dune antiche dell'entroterra.

Ad ogni modo bisogna ribadire l'importanza del "dye-back" per il rinnovamento della flora legnosa tramite incendi, visto che è innegabile l'adattamento della vegetazione a questo fenomeno.

Si tende spesso, in studi di questo tipo di paesaggio geologico, a trascurare le importantissime sinusie muscinali: la componente crittogamica della separazione europea classica è rappresentata dalla briofita *Tortula ruralis* Hedw., che favorisce ulterior-

Figura B
Dinamismo del litorale
ed esempi di seriazioni
di cenosi



(modificato da Iberite & Mulder)

mente la stabilizzazione delle dune e che permettendo solamente la percolazione dell'acqua piovana (anche grazie alla scarsa inclinazione dei versanti retrodunali) agevola l'accumulo di sostanza organica con conseguente formazione di strati umiferi e genesi di regosuolo. La sua rarità come specie caratteristica nell'Italia centro-meridionale, ascrivibile all'aridità del microclima, rende i cordoni dunali di ordine superiore al primo più sensibili alle avversità atmosferiche e all'azione del dilavamento. Ove lo strato muscinale e la vegetazione psammicola non sono in grado di svilupparsi liberamente, il bilancio costiero del litorale emerso viene alterato dal movimento dei granuli di sabbia non più ostacolati nei loro movimenti, avendo come conseguenza principale l'arretramento della cresta dunale con interrimento dei singoli retroduna.

Delle molte altre specie presenti, interessa evidenziare gli aspetti autoecologici di *Otanthus maritimus* (L.) Hoffmanns. et Link, che presenta un habitat confrontabile con quello delle entità annuali caratteristiche della fascia a terofite per la sua difficoltà a sopportare il processo di deflazione.

In base a diversi studi condotti lungo i litorali sardi e veneti, in funzione dello stato dell'ambiente circostante *Otanthus* funge da prezioso indicatore ambientale. Questa pianta può infatti rappresentare tanto uno stadio di degradazione della cenosi (per frammentazione della "foredune" in grado di proteggerla dall'azione eolica), quanto uno stadio maturo della fitocenosi (indice di un

litorale stabile ma soggetto a disturbi antropici quali calpestio, ecc.); *Otanthus* compare però anche nelle facies iniziali di colonizzazione, ove questa associazione ad *Agropyron* venisse a sostituire definitivamente la fitocenosi ad *Ammophila*, indicando così in casi particolari un ringiovanimento della spiaggia.

La figura B mette in evidenza il legame esistente tra seriazione della vegetazione psammicola e dinamismo costiero: la sequenza completa delle comunità citate e la differenziazione tra le varie specie caratteristiche delle singole associazioni dovrebbe essere indizio di un buon ripascimento di materiali a granulometria fine, con un litorale in espansione (forme dunali di accumulazione); allorché il litorale si stabilizza, invece, certe cenosi divengono sporadiche (forme dunali di fissazione), fino a divenire del tutto assenti se il litorale è in erosione (forme dunali residuali, dove sul cordone tendono a rifugiarsi gli individui superstiti della seriazione precedente).

Questo discorso non vale per la vegetazione azonale, estremamente legata a condizioni ambientali particolari, e le varie specie alofile oppure idrofile non si integrano nelle comunità che partecipano all'evoluzione del litorale. (ch.m.)

Interventi dell'uomo e utilizzazioni ottimali

Nelle zone critiche o "sensibili" del territorio gli interventi dell'uomo sono ancor più da essere valutati con

attenzione. Una di tali zone è l'unità geomorfologica costituita dalla spiaggia e dal retrostante sistema di dune litoranee o dune recenti (quando ancora esistono), subparallele alla linea di riva.

Come si sa il litorale italiano è soggetto, specialmente negli ultimi decenni, a sfruttamento economico a scopo di balneazione, tale da generare un flusso turistico e apportare quindi reddito e incremento dell'occupazione.

Questa unità geomorfologica e paesaggistica è una delle più fragili del territorio, perché è costituita da terreni dotati di elevata erodibilità (sabbie più o meno sciolte, porose e permeabili) e che nello stesso tempo sono in prima linea riguardo a due potenti agenti geomorfici che provocano erosione: il mare e i forti venti marini.

Date queste premesse, si capisce come l'ambiente si trovi in una situazione di precario e difficile equilibrio fisico, che di recente la pressione antropica sta turbando sempre più.

Infatti ai fattori naturali suddetti si sono aggiunti gli insediamenti e le infrastrutture, non solo turistici ma anche industriali, fra i quali ultime ad arrivare sulla scena sono le centrali termoelettriche. Ciò in una situazione di oggettiva scarsità di ampi spazi pianeggianti che caratterizza il territorio italiano. Sono colpiti non solo il substrato geologico, ma anche le acque sotterranee ivi contenute e la vegetazione. Le cause del degrado sono antropiche e/o naturali; in alcuni casi agiscono indipendentemente l'uno dall'altra, altre volte interagiscono sommandosi.

I principali effetti negativi sono:

- Arretramento dei litorali e talvolta ingressione marina;
- Abbassamento delle falde acquifere e inquinamento salino delle acque dolci sotterranee;
- Inquinamento delle acque marine antistanti i litorali;
- Demolizione del sistema di dune litoranee;
- Deperimento della vegetazione litoranea.

Arretramento dei litorali e talvolta ingressione marina

L'arretramento delle spiagge, e dei cordoni dunali quando le spiagge sono state già distrutte, dipende da due cause principali: erosione marina e subsidenza.

L'erosione marina è in relazione talvolta a fenomeni naturali, come la variazione del regime dei venti, ma le imponenti e diffuse erosioni che colpiscono negli ultimi decenni le coste italiane sono dovute a fattori antropici. Di questi il più importante è la diminuzione degli apporti solidi fluviali (sabbie anzitutto) e quindi la crisi nel rifornimento di materiale alle spiagge, per cui l'equilibrio fra apporti di sabbie dalla terraferma e azione distruttiva del mare si sposta a favore di quest'ultima. Il diminuito apporto solido fluviale è dipeso dallo sbarramento dei principali fiumi mediante costruzione di dighe, dalle sistemazioni montane e dalla enorme asportazione di ghiaia e sabbia dagli alvei fluviali in seguito alla attività estrattiva.

Anche alcune opere portuali hanno perturbato il regime morfologico



Parco Nazionale del Circeo: la spiaggia e la duna litoranea. Questa, sbarrando il deflusso delle acque superficiali dirette al mare, ha provocato la formazione di laghi litoranei nella Pianura Pontina, di cui si nota quello di Sabaudia. Le insenature, o «bracci» del lago, sono alvei di antichi corsi d'acqua, formatisi quando il livello marino era più basso dell'attuale. Le sabbie eoliche sono fissate, nella scarpata verso il mare, da vegetazione spontanea consolidatrice, costituita da specie erbacee pioniere, psammofile (che prediligono la sabbia) e alofile (che prediligono i suoli imbevuti o inondati da acqua salata). Sulla sommità del cordone dunale e specialmente sulla scarpata verso il lago è presente una vegetazione più evoluta, la bassa macchia mediterranea, con arbusti come ginepro, mirto, lentisco e qualche albero contorto quale il pino marittimo. Lungo la sommità del cordone dunale corre la strada litoranea. In questo primo tratto la colata di cemento delle «seconde case» ha quasi soppiantato la vegetazione. Sullo sfondo la città di Sabaudia.

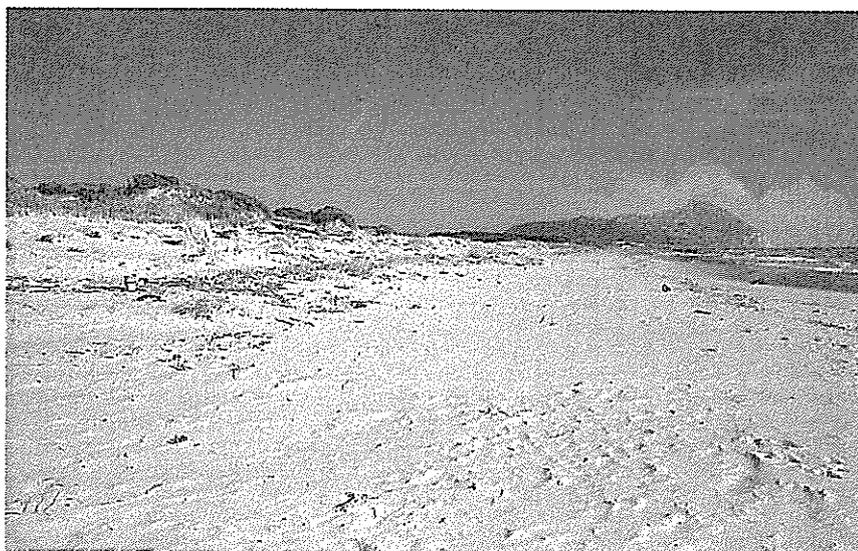
dei litorali, alterando la migrazione dei materiali detritici (il cosiddetto "trasporto litorale") e depauperando così gli apporti in alcuni tratti della costa bassa, con conseguente arretramento di questa. Talvolta le stesse opere di difesa litoranea hanno determinato il ripascimento nella fascia protetta, ma nel contempo hanno prodotto sensibili erosioni nei tratti di litorale limitrofi.

Specialmente dagli anni '50 in poi,

in conseguenza dell'accelerato sviluppo industriale ed economico del Paese, si è assistito a erosioni che hanno interessato centinaia di chilometri dei litorali italiani, per un'estensione nell'entroterra di alcune decine di metri e con punte massime di oltre un centinaio di metri. Un po' dappertutto i nostri litorali sono aggrediti da gravi fenomeni erosivi dalle coste toscane a quelle del metapontino e romagnole.

Un altro fenomeno che causa il rapido arretramento dei litorali è la **subsidenza** (abbassamento del suolo) indotta dall'uomo, per cui nelle zone che si trovano a quote poco superiori a quelle del livello marino si verificano ingressioni marine, che provocano danni gravissimi e per lo più irreversibili al territorio e alle attività economiche ivi insediate. La subsidenza di solito è determinata dall'eccessivo emungimento di acque dolci e/o di gas naturali dal sottosuolo. Essa interessa tutta la fascia costiera adriatica da Rimini a Venezia, con punte massime nel ravennate, dove si sono verificati abbassamenti del suolo fino a 130 centimetri nella zona industriale fra il 1949 e il 1979, conseguenza di abbattimenti piezometrici di oltre 40 metri.

Recentemente fenomeni di subsidenza sono stati segnalati lungo la



Costa del Circeo (Pianura Pontina): spiaggia e dune. Su queste ultime la colata di cemento ha in parte soppiantato la vegetazione spontanea consolidatrice della sabbia, costituita da specie pioniere alofile e psammofile e dalla bassa macchia mediterranea

fascia costiera del Tavoliere delle Puglie (Foggia) e nella Piana di Sibari (Calabria ionica). L'erosione e la subsidenza dei litorali comportano la distruzione o l'inagibilità di insediamenti e di infrastrutture di notevole impegno tecnico e finanziario: porti, strade, ferrovie, abitazioni e industrie, impianti balneari, boschi, campi coltivati, ecc.

Va anche detto che pur risultando gli accrescimenti o gli arretramenti costieri da un continuo aggiustarsi di equilibri fra i vari fattori naturali che modellano l'ambiente litoraneo (anche a prescindere dall'intervento antropico), esiste la possibilità di prevedere, con sufficiente approssimazione, l'entità di tali arretramenti. Malgrado ciò per ampi tratti dei litorali italiani si è ignorato o non si è voluto tener conto di come una spiaggia muti incessantemente anche nei tempi brevi e che, lungo ben individuabili tratti, l'arenile si sarebbe assottigliato; pertanto si è urbanizzato lungo la costa, anche a qualche metro dalla spiaggia, e dove già si assisteva ad arretramenti sensibili della linea di riva. Ne è conseguito che spesso nell'arco di pochi anni il mare è giunto a lambire o ad aggredire le strade turistiche, i villini, i manufatti in genere; allora i pubblici poteri sono dovuti correre ai ripari, realizzando costosissime opere di difesa dall'erosione marina, e si è imputato alla "ineluttabilità" dei fenomeni naturali o ad altri tipi di interventi umani che si svolgevano nell'entroterra ciò che si poteva prevedere ed evitare per il litorale.

Abbassamento delle falde acquifere e inquinamento salino delle acque dolci sotterranee

L'emungimento di acque sotterranee superiore alla ricarica naturale provoca l'abbassamento delle falde acquifere: più precisamente si parla di abbassamento per quanto riguarda le falde freatiche, di abbattimento piezometrico per quanto concerne le falde artesiane (acque in pressione), ma per semplicità conviene usare il termine abbassamento delle falde acquifere.

Nelle zone costiere tale fenomeno provoca l'intrusione di acque sotterranee marine nel continente, che pe-



Arretramento della spiaggia e della duna litoranea, con la distruzione della soprastante strada litoranea, lungo la costa del Circeo

netrano "a cuneo" sotto quelle dolci. L'evoluzione di questo fenomeno porta alla mescolanza delle acque salate con quelle dolci per la diminuita pressione di queste ultime; ne consegue l'inquinamento salino o salinizzazione delle acque dolci, con relativa inidoneità per qualsiasi uso.

Esempi di intrusione di acque salate sotterranee e relativo inquinamento salino sono numerosi in Italia e l'eccessivo attingimento di acque dolci avviene prevalentemente per uso industriale, e subordinatamente per gli usi urbano, agricolo e balneare. Si possono citare gli esempi di Venezia - Porto Marghera, Ravenna, Augusta, Pianura Pontina.

Un altro fenomeno provocato dall'abbassamento delle falde acquifere è la subsidenza, di cui si è già trattato.

Inquinamento delle acque marine antistanti i litorali

I fiumi sversano in mare un elevato carico inquinante di origine civile, industriale e agricola.

Malgrado le leggi contro l'inquinamento delle acque, molte città non sono provviste dei depuratori dei liquami domestici o, se ne sono dotate, tali depuratori non sono efficienti o sufficienti.

La stessa cosa vale per gli impianti industriali. Dal suo canto l'attività agricola tende a usare in modo sempre più massiccio fertilizzanti e

pesticidi. Tutte queste sostanze hanno come recapito i corsi d'acqua e questi, non essendo più sufficiente il loro potere di autodepurazione, sversano in mare gli effluenti, quando tali sostanze non vengono versate direttamente da centri abitati o industrie ubicate in riva al mare.

Pertanto le acque marine sono spesso cariche di sostanze inquinanti (e anche di vari rifiuti solidi galleggianti) che, oltre a limitare fortemente la possibilità di balneazione, possono rappresentare una concausa del deperimento della vegetazione litoranea, come vedremo più avanti.

Demolizione del sistema di dune litoranee

Mentre la spiaggia è un'entità che pur attaccata o distrutta può ricostituirsi nei tempi brevi in seguito a eventi meteorologici favorevoli, per le dune litoranee demolite il processo naturale di ricostruzione è difficile e lentissimo, pertanto l'erosione di tali dune rappresenta un fenomeno praticamente irreversibile.

Per scopi urbanistici e balneari in molte fasce costiere vengono spianati o sfondati i cordoni dunali a ridosso delle spiagge. Ciò avviene con la costruzione di strade, parallele o perpendicolari ai cordoni dunali, di piazzali, di manufatti in genere, per cui si sventrano gli ordini di dune oppure vengono spianate. Fino a qual-

(1) L'aerosol è una sospensione colloidale di liquido aeriforme. In particolare l'acqua marina, nella quale si sono disciolte sostanze inquinanti, viene aerosolizzata, cioè trasformata in minutissime goccioline, quando il mare è agitato e sotto tale forma viene trasportata dal vento sulle piante verdi. È ormai dimostrato che il sinergismo tra i tensioattivi e i sali contenuti nell'aerosol produce la morte delle foglie investite da tali sostanze.

che tempo fa in alcuni litorali veniva asportata per gli usi edilizi finanche la sabbia delle spiagge. Questo ha contribuito a compromettere l'equilibrio dei litorali, poiché tale sistema di dune, sopraelevate di alcuni metri rispetto alla spiaggia e al mare, costituisce un enorme argine naturale contro l'ingressione marina. Inoltre la demolizione delle strutture dunali o il loro ricoprimento con manufatti sono dannosi in quanto la presenza o l'efficienza delle dune aiuta a conservare l'ammontare della sabbia di un litorale nel suo complesso: esse costituiscono una sorta di riserva di materiale in grado di accumulare sabbia nei periodi di ripascimento, impedendone o limitandone la dispersione nell'entroterra, e di ridonarla al mare quando prevale l'azione erosiva. La loro eliminazione

Ripetute indagini hanno permesso di concludere che uno dei motivi principali di tale deperimento sta nel concatenarsi di due fattori negativi: la demolizione antropica del sistema protettivo dune litoranee - macchia mediterranea e l'inquinamento del mare, per cui i venti marini, carichi di sabbia, di salsedine e di inquinanti aerosolizzati (1) raccolti sulla superficie marina (specialmente i tensioattivi che sono la componente schiumogena dei detergenti anionici), non più sollevati, filtrati e frenati dal sistema protettivo investono direttamente i boschi retrostanti, deteriorandoli.

Esempi di tali fenomeni sono i deperimenti dei boschi di Migliarino e S. Rossore presso Pisa, di Castel Fusano presso Roma e di quelli ravennati.

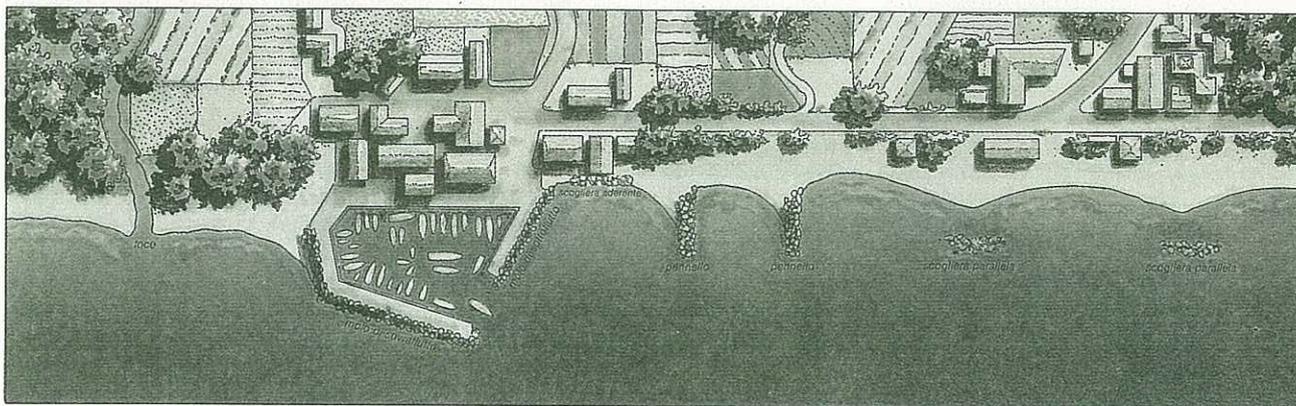
tro costituiscono esca per gli incendi boschivi.

In definitiva il deperimento dei boschi litoranei rappresenta un esempio di come il territorio e le sue risorse naturali possano essere degradati anche a distanza di spazio e di tempo. (g.g.)

Il paesaggio attuale

Il Circeo

Il litorale sabauda si presenta come parte di un'ampia falcatura che va da Torre Astura a Torre Paola, composta in prevalenza da depositi eolici recenti: per venticinque chilometri, dal monte Circeo fino a Capo Portiere, si susseguono quattro laghi costieri retrodunali (i laghi di Paola, di Caprolace, dei Monaci e di



crea invece vere e proprie falle attraverso le quali la sabbia, non più trattenuta e fissata, è trasportata dal vento verso l'interno. Ci sono pochi dubbi che questa perdita, finora ritenuta irrilevante, sia responsabile, in definitiva, di una accelerazione del fenomeno erosivo, perché la sabbia asportata non può più ritornare al mare né essere da questo rideposta su altre spiagge.

Non solo, ma questo sistema di dune insieme alla vegetazione antidunale realizza una barriera contro i venti marini carichi di sabbia, di salsedine e di inquinanti aerosolizzati i quali determinano il deperimento dei boschi litoranei.

Deperimento della vegetazione litoranea

Quasi tutti i boschi litoranei italiani soffrono di deperimento: di solito si tratta di clorosi, ingiallimento delle foglie, che poco alla volta cadono fino a portare alla morte la pianta.

Anche l'inquinamento atmosferico da parte di industrie, specialmente quelle petrolchimiche, e di centrali termiche porta alla degradazione dei boschi, come accade a quelli ravennati di S. Vitale e Classe, che sono colpiti dagli ossidi di azoto e di zolfo; inoltre tali boschi soffrono sia per la salinizzazione della falda freatica (causata dalla subsidenza), sia perché allagati dall'ingressione marina (a causa dello sventramento delle dune). Il carico eccessivo di persone, e talvolta anche di insediamenti turistici se pur leggeri, è un'altra concausa del deperimento dei boschi litoranei, come accade ad esempio per la pineta di S. Filomena a Pescara. Il danno in questo caso consiste nella compattazione del suolo e conseguente perdita di fertilità e nella distruzione diretta della vegetazione, a cominciare da quella del sottobosco. Contribuiscono all'effetto dannoso gli scarichi di materie e di immondizie e i rifiuti solidi lasciati dai gitanti, materiali che tra l'al-

Fogliano), classici esempi dell'interazione tra i venti dominanti con direzione obliqua alla costa e il dinamismo della linea di riva, che ne ha così consentito la formazione per accrescimento successivo di cordoni subaerei (sempre spostati verso mare a causa della tipica tendenza regressiva delle barre che porta a delimitare i laghi costieri).

La tipica morfologia a collinette ricoperte dalla macchia delle coste basse mediterranee ha origine dalla stabilizzazione di dune, in seguito fossilizzate per una cementazione parziale dovuta spesso a un nucleo umido in contatto con la falda acquifera.

Tutti i sistemi deposizionali costieri non deltizi, paralleli alla linea di riva, poco inoltrati nell'entroterra (dove passano gradualmente a depositi alluvionali, palustri, lacustri ed eolici) vengono definiti sistemi litorali. La zona costiera sabauda in senso lato, quindi, è un sistema deposizionale in parte marino e in parte mi-

sto, il cui limite inferiore corrisponde al limite di azione trattiva delle onde e delle correnti di marea.

Il clima è del tipo termomediterraneo, mite, con piovosità concentrata nell'ultimo trimestre dell'anno (sempre maggiore di 100 millimetri); il vento dominante è il libeccio, carico di salsedine, che esercita un'azione caustica e xerica sulla vegetazione dunale, mentre la vegetazione forestale usufruisce della difesa fornita dalla seppur bassa duna costiera e dell'abbondante umidità atmosferica del Parco.

Il litorale sabauda presenta una lunga sequenza di fitocenosi che spaziano dalle facies di transizione alle nicchie della costa alta con numerosi endemismi (quali *Limonium circaeii* Pign. nel Critmo-Staticeto di Torre Paola): questa estrema variabilità mostra la continua risposta imposta alla flora dai fattori abiotici.

Per quanto riguarda la vegetazione psammicola, è assai appariscente sulle dune recenti la differenza floristica tra il versante a mare e quello verso i laghi, con quest'ultimo caratterizzato fisionomicamente da una macchia alta a *Juniperus phoenicea* L., *Quercus ilex* L., *Rhamnus alaternus* L., *Coronilla emerus* L.

Sul versante sottovento, non riparate dall'azione caustica della salsedine, troviamo tracce discontinue della seriazione classica precedentemente descritta: *Agropyron junceum* (L.) Beauv., *Sporobolus pungens* (Schreber) Kunth, *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm., *Crucianella maritima* L., *Pycnocomon rutifolium* (Vahl) Hoffmanns. et Link,

Pancratium maritimum L., *Anthemis maritima* L., *Lotus cytisoides* L., *Plantago weldenii* Reichenb. sono dominanti, a scapito della fascia a terofite alo/nitrofile. La relativa scarsità di *Cyperus kalli* (Forsskål) Murb. ed *Euphorbia paralias* L. può a questo proposito fungere come utile indicatore ecologico di popolamenti disturbati dalla continua erosione.

Per quanto riguarda lo strato arbustivo, la struttura di diverse entità (*Juniperus oxycedrus* L. ssp. *macrocarpa* Sibth. et Sm.) Ball, *Phillyrea latifolia* L. e *P. angustifolia* L.) ha profondamente risentito dei venti marini e molte piante scheletriche rappresentano chiaramente la lotta per la sopravvivenza in una fascia così contesa tra le specie e talmente disturbata.

Uno degli aspetti più drammatici, seppur a più lungo termine, della Piana Pontina è la questione della sopravvivenza della stessa foresta planiziale del Parco nazionale del Circeo: l'inarrestabile tendenza alla sclerofilizzazione comporta difatti la lenta trasformazione del querceto caducifoglio estremamente ricco di specie in un querceto sempreverde di transizione.

Ogni studio fitosociologico aiuterebbe a quantificare a tale proposito, per la possibilità di biomonitoraggio in tempo reale, i disturbi idrogeologici della duna rossa antica, consentendo nel contempo di seguire verso mare l'evoluzione idrologica della duna recente in seguito alla forte erosione costiera (causa del sollevamento dell'interfaccia salmastra

tra la falda freatica e le acque marine). (ch.m.)

La fascia costiera di Roma

Anche se negli ultimi decenni la costa di Roma ha subito erosione, si è verificato un notevole avanzamento della linea di costa a partire dall'epoca romana. I principali indicatori di questo processo sono le posizioni delle strutture romane (in particolare quelle portuali) e le torri di avvistamento medievali.

Nel periodo romano, a partire dal IV secolo a.C., fu costruita la città di Ostia Antica, lungo il fiume Tevere. Furono anche costruiti, alcuni secoli dopo, cioè nella seconda metà del I secolo d.C., i porti marini degli imperatori Claudio e poi Traiano e uno sbocco marino artificiale del Tevere, accanto a quello naturale, il cosiddetto "fosso di Traiano", che esiste ancora oggi (e che passa per la città di Fiumicino). Attualmente i due porti marini sono completamente insabbiati e si trovano a distanza di più di 2 chilometri dalla costa.

Nella figura C, che rappresenta la situazione della fascia costiera di Roma nel 1880, cioè poco prima della bonifica, si vedono alcuni piccoli laghi a sud del lago di Traiano, che sono proprio i resti del porto di Claudio, il più grande porto del mondo antico. Attualmente il lago di Traiano non si può visitare, ma si possono vedere invece a ridosso dell'aeroporto di Fiumicino e dietro il museo delle Navi i resti del porto di Claudio, ormai completamente all'asciutto. Infatti, le navi esposte nel museo sono naufragate appena fuori dal porto di Claudio.

Nella figura D è indicato l'accrescimento naturale della linea di costa a partire dall'epoca romana. Si vede che all'inizio lo spostamento è stato relativamente lento, mentre in seguito il processo si è notevolmente intensificato: circa la metà del terreno di accrescimento si è formato dopo il secolo XVI.

Le cause di questo processo sono varie; ma sicuramente una delle cause principali è il cambiamento dell'uso dei suoli a monte, cioè nelle colline e montagne dell'intera valle del Tevere, fino a grande distanza a monte di Roma. La variazione d'uso è consistita nel taglio dei boschi, sempre più crescente, per creare terreni agricoli da coltivare. È noto come questo processo abbia raggiunto livelli molto spinti particolarmente



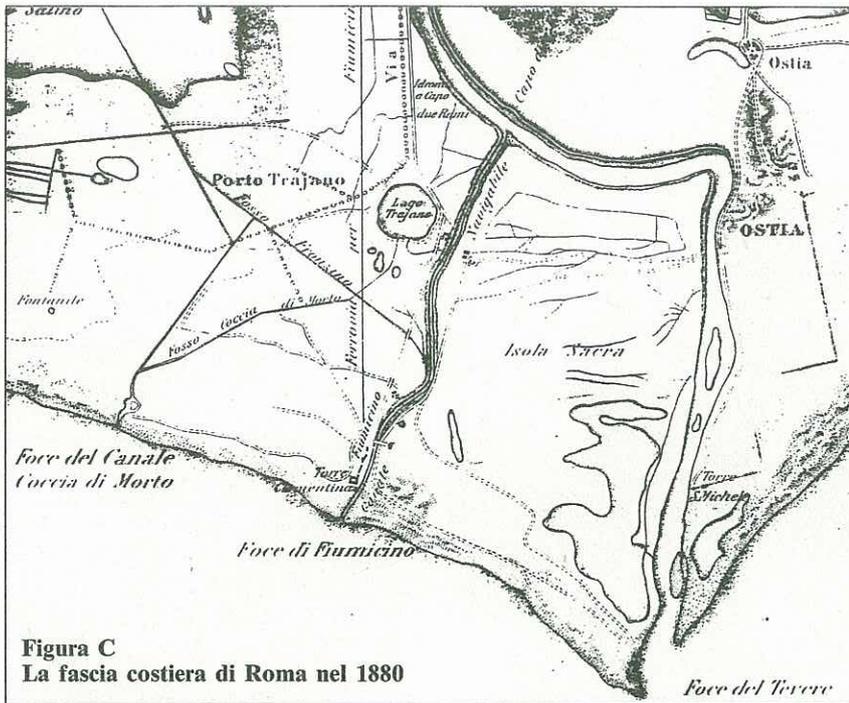


Figura C
La fascia costiera di Roma nel 1880

nel XVI secolo coinvolgendo anche i pendii più ripidi. A questo punto l'aumentata erosione su questi terreni privi di vegetazione protettiva ha caricato il fiume Tevere di molto sedimento, un processo che in seguito dovrebbe aver indotto l'accrescimento della linea di costa.

A questo processo, promosso dall'attività umana, si è associata la formazione della duna recente. (a.a.)

Danni al paesaggio, criteri di prevenzione e di risanamento

Impatto delle opere costiere e in particolare dei porti turistici

Un caso di modifica del paesaggio costiero, studiato dai primi anni '70 ad oggi, è quello del Tombolo di Feniglia, in Toscana; questo è un cor-

done sabbioso lungo circa 6 chilometri formato dalla spiaggia e da retrostanti dune litoranee, che collega la costa rocciosa del Monte Argentario (e in particolare Punta Pertuso) con quella del promontorio di Ansedonia, chiudendo a sud la laguna di Orbetello. Il Tombolo è anche riserva naturale.

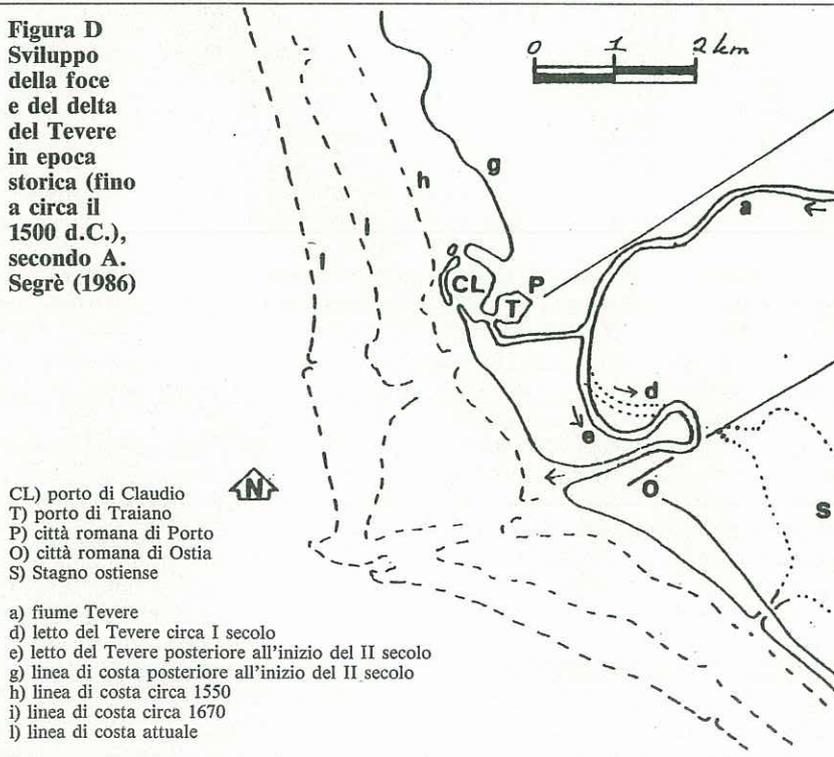
Nel dicembre 1972 si notavano le prime avvisaglie dei turbamenti all'assetto del litorale, consistenti in accrescimenti sabbiosi in qualche tratto della costa e in arretramenti della spiaggia in altri tratti. I fenomeni si sviluppavano per l'intero decennio e si possono così descrivere sinteticamente.

Su un piccolo tratto di costa, di circa 250 metri, quello sotto Punta Pertuso (alla estremità occidentale del Tombolo), si verificava il deposito della sabbia trasportata dal mare, in modo tale che si realizzava una piccola spiaggia alla base della costa alta; dalla estremità di questo tratto verso est, cioè verso il centro del Tombolo, si verificava invece una forte erosione della spiaggia fin quasi alla zona centrale del Tombolo. L'erosione aggrediva non solo la spiaggia ma anche il primo cordone di dune litoranee: per lunghi tratti il cordone dunale presentava una scarpata d'erosione alta anche fino a 2 metri, mentre l'arretramento era cospicuo, dell'ordine di grandezza di alcuni metri, fino a un massimo di circa 10 metri. La duna quindi arretrava di fronte al mare perché non era più protetta dalla spiaggia.

A questo seguiva un tratto, quello centrale del Tombolo, sostanzialmente stabile, mentre il forte arretramento riprendeva presso il promontorio di Ansedonia, per circa 2 chilometri. Anche qui la spiaggia veniva assottigliata sia in larghezza che in spessore, e inoltre arretrava anche la duna litoranea, scalzata dal mare. La vegetazione dunale, che normalmente rivestiva la duna e consolidava la sabbia portata dal vento, era anch'essa spazzata via dai marosi e le piante sul lato mare (ginepri, giovani pini, specie della macchia mediterranea) si vedevano drammaticamente riverse su quello che restava della spiaggia, mentre le radici erano denudate.

Si fa notare che se la spiaggia può essere soggetta a modificazioni cicliche e la sua erosione può rappresentare soltanto un fatto temporaneo (se c'è di nuovo un apporto di materia

Figura D
Sviluppo della foce e del delta del Tevere in epoca storica (fino a circa il 1500 d.C.), secondo A. Segrè (1986)



CL) porto di Claudio
T) porto di Traiano
P) città romana di Porto
O) città romana di Ostia
S) Stagno ostiense

a) fiume Tevere
d) letto del Tevere circa I secolo
e) letto del Tevere posteriore all'inizio del II secolo
g) linea di costa posteriore all'inizio del II secolo
h) linea di costa circa 1550
i) linea di costa circa 1670
l) linea di costa attuale



«Tombolo di Feniglia» - Riserva naturale di protezione (Laguna di Orbetello - Monte Argentario). L'erosione marina sta aggredendo sempre più la foresta e l'esigua striscia di sabbia che separa il mare dalla laguna. La causa del fenomeno addotta dagli specialisti risiede principalmente nelle mutate condizioni meteomarine, ma vi ha contribuito la realizzazione del limitrofo porto turistico («marina») di Cala Galera, che con i suoi moli ha turbato i movimenti delle sabbie lungo la costa

le), invece l'erosione del cordone dunale è un fatto permanente.

Considerata l'importanza del Tombolo dal punto di vista dell'attività balneare e inoltre il fatto che esso costituisce una barriera che protegge la retrostante laguna di Orbetello, sono stati eseguiti studi che hanno permesso di determinare le cause dei fenomeni descritti e se tali fenomeni sono destinati ad aggravarsi.

Il litorale in esame nei decenni anteriori al periodo di osservazione poteva considerarsi stabile. La rottura dell'equilibrio avveniva nel 1972 e si sviluppava negli anni successivi in occasione di due cause concomitanti. La prima, di ordine naturale, è consistita nel fatto che a partire dal 1968 è mutato il regime dei venti marini, in particolare la velocità e la frequenza dei venti provenienti dai quadranti meridionali; tale variazione del regime anemometrico si è riflessa sul regime del moto ondoso e quindi il litorale si è trovato sottoposto a nuove condizioni dinamiche, cui deve aver reagito modificandosi nel senso descritto.

La seconda concausa è artificiale. Nel 1972 veniva iniziata la costruzione del porto turistico di Cala Galera; questa «cala» (modesta insenatura) è compresa tra Punta Pertuso e un altro sperone roccioso situato

poco più a sud del precedente e che delimita Porto Ercole. Già alla fine del 1973 il molo frangiflutti della struttura portuale era ultimato. La concausa è appunto costituita dalla «trappola sedimentaria», ossia dallo specchio d'acqua sottoflutto ai moli del porto di Cala Galera, che blocca notevoli quantità di sabbia trasportate fin in quel punto dalle correnti di deriva litoranea: in tal modo queste sabbie vengono sottratte al trasporto litoraneo e non possono più alimentare il tratto di spiaggia successivo. Inoltre, per un fenomeno di rifrazione delle onde marine provocato dai moli del porto turistico, l'energia delle onde si concentra contro un punto della costa: questo corrisponde alla zona di massima erosione riscontrata nel settore orientale del Tombolo.

Attualmente l'arretramento della spiaggia e del cordone dunale si è bloccato nelle posizioni raggiunte nei primi anni '80. Se attualmente sembra raggiunta una nuova posizione di equilibrio del sistema spiaggia-duna, ciò non toglie che comunque si tratta di una situazione di degradazione, permanendo il regresso del Tombolo, rispetto a quella dei decenni precedenti agli anni '70; infatti, la spiaggia assottigliata e il cordone dunale semidemolito restano e costitui-

scono pur sempre una grave lesione alla struttura e alla funzione del Tombolo, quale baluardo per la laguna retrostante contro i fattori di degrado che sono il moto ondoso e i venti apportatori di sabbia che tendono a colmare la laguna. (g.g.)

Consolidamento

Per comprendere le problematiche relative al consolidamento dei cordoni dunali bisogna ritornare alla loro genesi, che è legata fondamentalmente all'azione meccanica del vento (che consiste in una pressione, funzione di accidenti morfologici e dell'angolo di incidenza dei filetti d'aria) e all'azione di disturbo alla deflazione esercitata dalla vegetazione.

In base alla vegetazione psammofila esistente è possibile operare una prima classificazione delle dune: le «dune primarie» sono considerate impedito nei movimenti («Impeded dunes») o meno («Free dunes») in funzione della copertura vegetale, mentre le «dune secondarie» sono considerate trasgressive o residuali. In quest'ultimo caso la vegetazione di una duna stabilizzata dall'avvenuta colonizzazione psammicola viene sommersa in uno o più punti dalla sabbia, creando così dei varchi attraverso i quali il vento riprenderà a spingere la sabbia verso l'interno; la continuità dei cordoni dunali viene così interrotta e si dà nuovamente origine a dune paraboliche con punte allungate nel verso del vento, arrivando a sommergere anche la coltre arbustiva («Blowout dunes»), come a Castel Porziano e Torre Astura nel Lazio.

Le «Blowout dunes» si possono formare naturalmente dopo tempeste particolarmente intense (in ambiente oceanico), ma possono anche essere causate dall'intervento antropico che altera bruscamente il delicato equilibrio esistente tra sabbia, vegetazione e condizioni ambientali: la costruzione di diverse litoranee ne è un triste esempio.

Nelle regioni temperate, abbastanza umide, esiste un equilibrio tra l'attecchimento della vegetazione e la velocità della sabbia in movimento, ma quando una duna parabolica è in movimento, arrestarne l'avanzamento mediante impianto di vegetazione è un compito molto arduo; un esempio riuscito può essere considerato quello attuato nelle Lande francesi. Comunque è possibile che le dune si stabilizzino grazie alla vegetazione

(per colonizzazione naturale o impianto artificiale) solamente in un arco di tempo piuttosto lungo e se allontanate dalla fonte di apporto.

Il discorso si fa del tutto diverso nel caso di voler consolidare un campo dunale soggetto a una deflazione accentuata dalla retrazione della linea di riva. L'erosione influenza profondamente l'evoluzione dello strato vegetativo, mettendone a nudo la rizosfera e impedendo ogni forma di pedogenesi: l'azione distruttiva altera la normale seriazione delle fitocenosi e crea profondi scompensi a livello del dinamismo.

I pochi tentativi di impianto artificiale fatti finora non hanno assolutamente risolto questo problema: accanto a specie arboree esotiche quali *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Acacia cyanophylla* Lindley, due camefite sudafricane, *Carpobrotus acinaciformis* (L.) L. Bolus e *C. edulis* (L.) N.E. Br., hanno mostrato di poter soltanto ritardare l'azione eolica nei pochi luoghi dove sono state applicate, dimostrandosi comunque vere infestanti nei riguardi della vegetazione mediterranea locale.

In definitiva studi corologici consentono di individuare le entità più adatte a un intervento di recupero tra quelle locali.

A questo proposito l'applicazione di specie annuali, quali *Ononis variegata* L., di grande amplitudine ecologica e rapida crescita, può contribuire al consolidamento del profilo estivo della duna, quello comunque più a rischio sia per quanto riguarda la deflazione che per l'azione antropica di disturbo esercitata particolarmente durante l'alta stagione. Anche alcune specie perenni sono applicabili, quali *Juniperus oxycedrus* L. ssp. *macrocarpa* (Sibth. et Sm.) Ball, ma la scarsa tolleranza alla deflazione di queste legnose le rende in definitiva poco adatte per il profilo invernale.

Il vero problema nella maggior parte delle coste basse italiane per quanto riguarda la copertura vegetale è dovuto alla relativa incoerenza, se non inconsistenza, di uno strato crittogamico organico e ben distribuito. Come accennato a proposito di *Tortula muralis* Hedw. e *T. ruralis* Hedw., una copertura muscinale consente una pedogenesi (esercitando un ruolo attivo nello sviluppo della duna) proteggendo nello stesso tempo la sabbia dalla deflazione e

dal ruscellamento delle acque piovane (esercitando così anche un ruolo passivo di fondamentale importanza nella consolidazione della duna). Un confronto tra le *Duinen* olandesi, le coste del Baltico e le rive della Manica con le spiagge italiane mostra un equilibrio climatico/vegetazionale estremamente precario, tanto più a rischio per gli interventi troppe volte disastrosi. A ciò si aggiunge che le piante sono sì edificatrici delle dune, ma raramente sono considerabili come agenti della consolidazione; anzi, la copertura vegetale riveste piuttosto un ruolo passivo, contribuendo



do semplicemente all'evoluzione edifica del sistema dunale.

Un semplice impianto di entità alloctone o autoctone non può contribuire a risolvere un problema di vasta portata, da affrontare con un'ottica ampia e multidisciplinare. Sulla falsariga di questa mentalità sono in studio gli effetti geopedologici dell'applicazione di zeoliti naturali sui retroduna mediotirrenici: i primi risultati sono estremamente positivi, per la scomparsa di tutti i *ripple-marks*, la formazione di uno strato argilloso di buona capacità idrica di ritenzione e l'interessante risposta delle piante legnose.

A tutt'oggi, comunque, il sistema migliore per la salvaguardia degli ecosistemi dunali resta un interven-

to a monte, impedendo la retrazione della linea di riva per il mancato ripascimento.

In quest'ottica, uno degli interventi maggiormente auspicabili (ma non autosufficiente) è la salvaguardia delle praterie fanerogamiche sottomarine a *Posidonia oceanica* (L.) Delile e *Zostera noltii* Hornem., poiché il loro strato fogliare rallenta l'azione delle onde e frena i movimenti delle correnti, comportando così la deposizione del materiale sabbioso in sospensione.

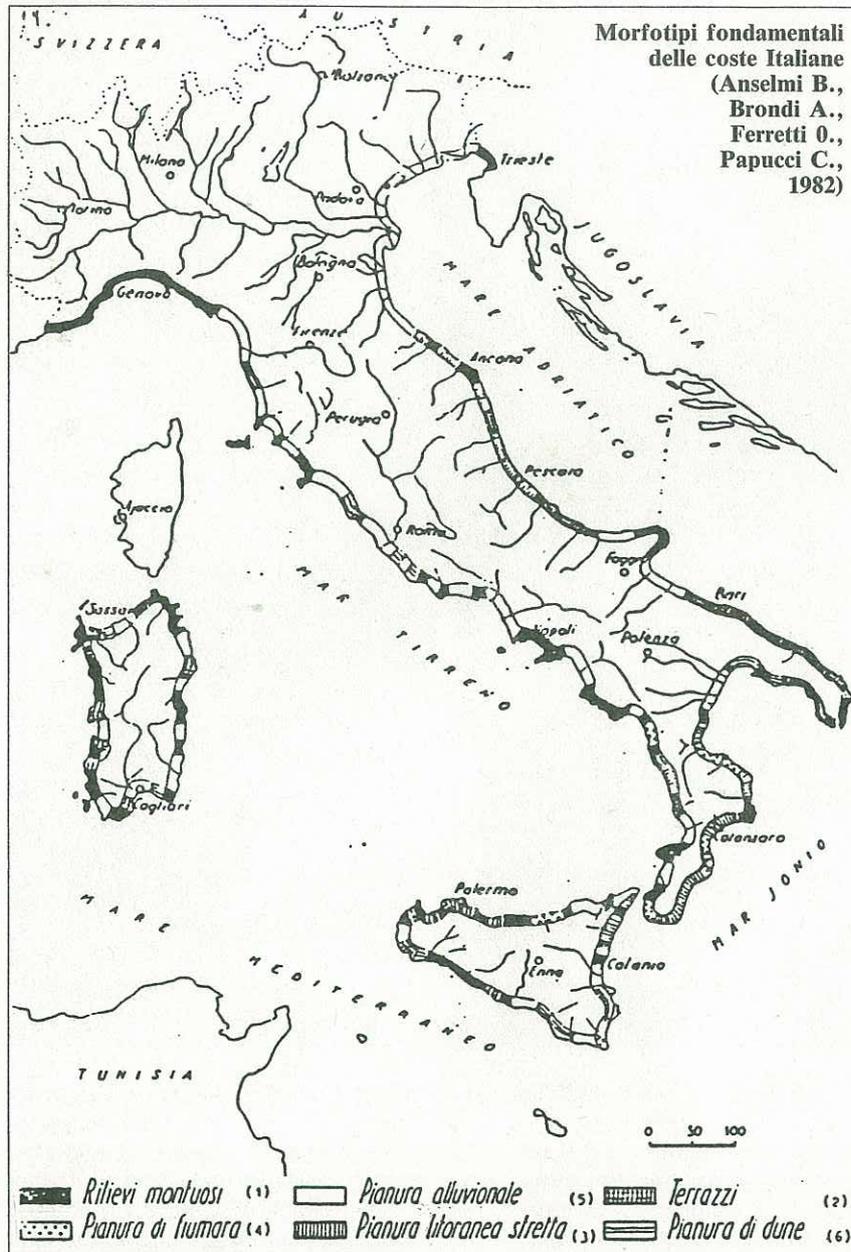
Zostera presenta un caule gracile, flessuoso, ramoso, con nodi ravvic-

nati dai quali si dipartono lunghissime foglie dritte, con una evidentissima nervatura mediana, a portamento nastriforme, con un frutto elissoideale, bruno, di 2 millimetri, mentre *Posidonia* presenta un caule radicante più vigoroso, a scaglie, fibroso, con diverse foglie (molte delle quali morte) a nervatura parallela, falciformi, sulla ventina di centimetri, con un frutto drupaceo. Quando le foglie nastriformi di *Zostera* vengono gettate sulla spiaggia, sfibrate dal moto ondoso, formano assieme alle fibre del caule di *Posidonia* pallottole ocraceo-grigiastre che si raggomitano in primavera attorno alle particelle di sabbia: sono le "egagropili" usate anche con il nome di "crine vegetale marino" per gli

imballaggi. La sempre maggiore rarità di codesto materiale è indubbiamente un segnale della scomparsa di queste praterie sottomarine, e ci obbliga a scelte ben precise.

Ma la strada da seguire resta an-

cora lunga, visto che a quasi dieci anni dalla pubblicazione dell'Atlante delle spiagge italiane la situazione ambientale delle coste basse già allora denunciata dal Cnr si è ulteriormente aggravata. (ch.m.)



SIGEA

Società Italiana di Geologia Ambientale

00154 ROMA, c/o Interservice, Via G.A. Badoero 67 / F
Tel.: 06/51600401, 5943344, 9499936, fax 06/5180754, 9496952

Bibliografia

Amenduni G., 1980 - *Sulle Opere di Bonificazione della Plaga litoranea dell'Agro Romano*. Roma, Tipografia Eredi Botta.

Anselmi B., Brondi A., Falchi G., Ferretti O., 1978 - *Lineamenti granulometrici e mineralogici generali dei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 307-314.

Aa.Vv., 1985 - *Atlante delle spiagge italiane*. Cnr, Roma.

Benedini M., Gisotti G., 1990 - *Il dissesto idrogeologico* - Nis.

Blanc A. C., Segre A. G., Tongiorgi E., 1953 - *Le Quaternaire de l'Agro Pontino*. IV Congr. Int. Inqua, Roma-Pisa.

Blasi C., Spada F., 1984 - *The main vegetation types of the Circeo National Park (Central Italy)* - Arch. Botanico e Biogeografico It., 60 (3-4): 101-110.

Bono P., Malatesta A., Zarlenga F., 1994 - *Guide geologiche regionali. 14 - Itinerari - Lazio - Itinerario n. 3: "Da Velletri a San Felice Circeo"*. Soc. Geol. It., 117-130. Be-Ma Editrice.

Brambilla C., Caneva G., De Marco G., Mossa L., 1982 - *Analisi fitosociologica della seriazione psammofila costiera nella Sardegna meridionale*. Annali di Botanica 40: 69-96.

Comune di Roma, 1981 - *Carta dei suoli alla scala 1:50.000*. Resp. scientifico: Antonia Arnoldus-Huyzendveld; rel. ined.

Dragone F., Maino A., Malatesta A., Segre A. G., 1967 - *Note illustrative della Cgi alla scala 1:100.000*. Foglio 149 (Cerveteri). Serv. Geol. d'It.

Gisotti G., 1983 - *Geologia e pedologia nell'assetto del territorio*. Ed. Agricole, Bologna.

Iberite M., Mulder Ch., 1994 - *Flora e vegetazione del Lazio marittimo 3*. IV Settimana della Cultura Scientifica, Dip. Biol. Veg., Univ. "La Sapienza" Roma.

Mantero F., Panzarasa S. e altri, 1987 - *Tra acqua e Terra. La palude, gli equilibri naturali e l'uomo*. Istituto Placido Martini, Provincia di Roma, Ed. Officina, Roma.

Milli S., Zarlenga F., 1991 - *Analisi di facies dei depositi tirreniani (duna rossa) affioranti nell'area di Castel Porziano-Pomezia (Roma)*. Una revisione ambientale. Il Quaternario, 4 (1b), 233-248.

Mulder Ch., 1993 - *Ecologia del paesaggio dunale mediotirrenico*. Verde Ambiente, 9 (3): 25-38.

Mulder Ch., 1994 - *Le zeoliti in ambito dunale*. Verde Ambiente, 10 (2): 52.

Olson J. S., Van Der Maarel E., 1989 - *Coastal dunes in Europe: a global view*. In: *Perspectives in coastal dune management* (F. Van Der Meulen, P. D. Jungerius, J. H. Visser, eds.), Spd Academic Publishing, 's-Gravenhage.

Padula M., 1985 - *Aspetti della vegetazione del Parco nazionale del Circeo*. Webbia, 39 (1): 29-110.

Panizza M., 1990 - *Geomorfologia applicata*. La Nuova Italia Scientifica, Roma.

Pignatti S., 1993 - *Biodiversità nell'Italia mediterranea*. XI Giornata dell'Ambiente, Acc. Naz. Lincei, Roma.

Reineck H. E., Singh J. B., 1980 - *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

Segre A., 1986 - *Considerazioni sul Tevere e sull'Aniene nel Quaternario*. In: *Quaderni del Centro di Studio per l'Archeologia etrusco-italica*; n. 12: Il Tevere e le altre vie d'acqua del Lazio Antico; Cnr; pp. 9-17.

Sereni E., 1987 - *Storia del paesaggio agrario italiano*. Biblioteca Universale Laterza, n. 69.

Servizio Geologico d'Italia, 1967 - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000*. Foglio 149 - Cerveteri.

Sevink J., Remmelzwaal A., Spaargaren O. C., 1984 - *The soils of southern Lazio and adjacent Campania*. Enea/Rt/Pas/84/10.

Società Geologica Italiana, 1993 - *Guide geologiche regionali, 14 Itinerari, Lazio*.

Tripodi G., 1993 - *Caratteristiche e problemi della vegetazione marina delle coste italiane*. XI Giornata dell'Ambiente, Acc. Naz. Lincei, Roma.