

Dune e spiagge sabbiose

Quaderni habitat

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio
Museo Friulano di Storia Naturale - Comune di Udine

coordinatori scientifici

Alessandro Minelli · Sandro Ruffo · Fabio Stoch

comitato di redazione

Aldo Cosentino · Alessandro La Posta · Carlo Morandini · Giuseppe Muscio

"Dune e spiagge sabbiose · Ambienti fra terra e mare"

a cura di Sandro Ruffo

testi di

Paolo Audisio · Giuseppe Muscio · Sandro Pignatti · Margherita Solari

con la collaborazione di

Alessio De Biase · Luca Lapini · Lorenzo Chelazzi e Isabella Colombini (Tipologie di habitat)

illustrazioni di

Roberto Zanella

tranne 71, 79 (Nicolò Falchi) e 108 (Franco Mason)

progetto grafico di

Furio Colman

foto di

Archivio Museo Friulano di Storia Naturale (Ettore Tomasi) 53/1 · Paolo Audisio 6, 15, 22, 33, 34, 36, 37, 41, 44/1, 44/2, 45, 46, 47, 48/1, 48/2, 48/3, 55, 56/2, 62, 64, 65, 67, 68, 73, 77, 81/2, 85/2, 87/1, 87/2, 89/1, 89/2, 91, 98/1, 98/2, 100/1, 101/1, 103, 104, 112, 120, 130, 131, 133, 135, 137, 139, 141, 143, 145, 148/1, 148/2 · Enrico Benussi 114/2 · Roberto Bigai 56/1, 146 · Maurizio Biondi 148/3 · Giuseppe Carpaneto 53/2, 92 · Achille Casale 113, 125 · Compagnia Generale Ripresearee 10, 20 · Ulderica Da Pozzo 118 · Dario Ersetti 38 · Gabriele Fiumi 100/2 · Paolo Fontana 86, 101/2, 102, 109 · Istituto Geografico Militare 19 · Luca Lapini 117 · Paolo Maltzeff 82, 85/1, 94, 97, 99/1, 107 · Ugo Mellone 9 · Michele Mendi 116 · Giuseppe Muscio 17, 52, 151 · Roberto Parodi 56/3, 115/1, 115/2 · Sandro Pignatti 42, 122/1, 122/2 · Paola Sergo 60 · Margherita Solari 31, 40, 51 · Antonio Todaro 74, 75 · Elido Turco 129 · Augusto Vigna Taglianti 80, 81/1, 96, 99/2, 114/1, 148/4 · Roberto Zucchini 110

©2002 Museo Friulano di Storia Naturale · Udine

Vietata la riproduzione anche parziale dei testi e delle fotografie.

Tutti i diritti sono riservati.

ISBN 88 88192 06 9

In copertina: piste di coniglio selvatico (foto Paolo Audisio)

QUADERNI HABITAT

Dune e spiagge sabbiose

Ambienti fra terra e mare

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO
MUSEO FRIULANO DI STORIA NATURALE · COMUNE DI UDINE

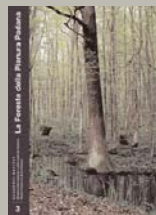
Quaderni habitat



1
Grotte e
fenomeno
carsico



2
Risorgive
e fontanili



3
Le foreste
della Pianura
Padana



4
Dune e
spiagge
sabbiose



5
Torrenti
montani



6
La macchia
mediterranea



7
Coste marine
rocciose



8
Laghi costieri
e stagni
salmastri



9
Le torbiere
montane



10
Ambienti
nivali



11
Pozze, stagni
e paludi



12
I prati aridi



13
Ghiaioni e
rupi di
montagna



14
Laghetti
d'alta quota



15
Le faggete
appenniniche

Indice

Introduzione	7
Paolo Audisio	
Aspetti geologici e geomorfologici	11
Paolo Audisio · Giuseppe Muscio	
Paleogeografia e biogeografia	23
Paolo Audisio · Giuseppe Muscio · Sandro Pignatti	
La vegetazione delle spiagge	43
Sandro Pignatti	
Litorali sabbiosi e organismi animali	63
Paolo Audisio	
Problemi di conservazione e gestione	119
Paolo Audisio · Giuseppe Muscio · Sandro Pignatti	
Proposte didattiche	147
Margherita Solari	
Bibliografia	153
Glossario	154
Indice delle specie	155



Introduzione

PAOLO AUDISIO

7

Le spiagge e le dune sabbiose costiere e subcostiere e gli ambienti umidi limoso-sabbiosi retrodunali e litoranei ad esse spesso associati rappresentano, su scala mondiale, ecosistemi tra i più vulnerabili e più seriamente minacciati. Nel Mediterraneo e in Italia, fino a pochi decenni or sono, questi peculiari ambienti erano sfuggiti in larga misura alla diretta distruzione e a forti perturbazioni, poiché le attività di colonizzazione umana delle aree costiere erano rimaste storicamente concentrate per molti secoli quasi esclusivamente presso le foci di pochi grandi fiumi o entro baie protette. Sfortunatamente, nei tempi più recenti questi ecosistemi sono invece stati esposti a molteplici e spesso combinati fattori di disturbo e di pressione antropica, quali l'inquinamento delle acque costiere, la crescente urbanizzazione, gli incendi e, infine, lo sfruttamento turistico, agricolo, industriale (industrie termoelettriche), commerciale (attività portuali) ed estrattivo (cave di sabbia).

Un altro potenziale fattore di pericolo potrebbe essere rappresentato, almeno in una prospettiva di tempi medio-lunghi, dal paventato innalzamento del livello dei mari (legato al documentato innalzamento della temperatura media annuale); questo fenomeno potrebbe ulteriormente minacciare, sul versante marino, questi ambienti già di per sé fragili e di limitata estensione, malgrado la struttura piuttosto dinamica e la marcata naturale resilienza (capacità di recupero) delle comunità biotiche che li caratterizzano. Anche i marcati fenomeni erosivi delle coste possono localmente avere un ruolo significativo nella riduzione spaziale di questi habitat, sebbene l'alternanza di fenomeni erosivi e deposizionali faccia parte, a lungo termine, delle naturali dinamiche evolutive dei sistemi spiaggia-duna.

Tutte queste circostanze, combinate con la crescente e sempre più diffusa domanda di sfruttamento delle aree costiere da parte dell'Uomo, hanno comunque provocato una sempre più generalizzata frammentazione di questi habitat, creando un'urgente necessità di appropriate strategie di intervento e di monitoraggio. L'acquisizione di migliori conoscenze di base sulle comunità vegetali e animali degli ambienti delle spiagge e delle dune costiere sabbiose e sulle dinamiche idrogeologiche e geomorfologiche, che ne governano la formazione e l'evoluzione, risponde dunque ad un'esigenza primaria nell'ambito delle strategie di conservazione ambientale a livello sia nazionale, sia comunitario; anche la diffusione di tali conoscenze e la sensibilizzazione dell'opinione

Le foci del fiume Irmínio (Sicilia): uno dei tratti di costa sabbiosa di migliore qualità ambientale

pubblica sull'urgenza di salvaguardare questi ecosistemi devono essere considerate priorità assolute.

Va subito annotato che, per le peculiari condizioni ambientali e microclimatiche e la limitata estensione, gli ecosistemi delle spiagge e delle dune sabbiose costiere sono in assoluto caratterizzati, ove confrontati con altri habitat terrestri, da comunità animali e vegetali semplificate, con relativamente basso numero di specie. Malgrado ciò questi ambienti, proprio per l'influenza degli stessi parametri abiotici fortemente limitanti e associati a condizioni generali di grande stress ambientale, hanno frequentemente selezionato elementi vegetali ed animali peculiari e specializzati, fortemente adattati e spesso presenti esclusivamente in questi habitat ormai residuali. Queste circostanze hanno così prodotto, sia nelle comunità vegetali che in quelle animali (soprattutto ad artropodi), percentuali insolitamente alte di elementi psammoalobi e psammobi specializzati (cioè associati esclusivamente ad ambienti sabbiosi litoranei salsi o sabbiosi in generale) negli attuali ambienti dunali, retrodunali e di spiaggia, rispetto al totale di specie che ne costituiscono in modo più o meno stabile le comunità biotiche.

Di rilievo, nell'analisi delle comunità animali e vegetali degli ecosistemi dunali e retrodunali, è anche la frequente sovrapposizione di componenti floristiche e faunistiche di tipo xero-termofilo, psammofilo, o igrofilo, originatesi non solo in ambienti strettamente litorali o perillitorali (macchie e garighe mediterranee o submediterranee), ma anche in praterie steppiche, brughiere, in ambienti interni sabbiosi salsi periferiali o perilacustri, o di accumulo eolico.

Parallelamente, le spiagge e gli ambienti dunali e retrodunali hanno poi costituito e costituiscono frequentemente, soprattutto in Italia centro-meridionale e nelle isole, un vero e proprio "effetto siepe" per molti organismi terrestri (soprattutto litoranei, ma non solo) trasportati passivamente o semi-passivamente su ampi bracci di mare dalle correnti marine, dai venti o da alluvioni, specialmente durante tempeste e fenomeni meteorologici eccezionali.

Il valore naturalistico di questi popolamenti litoranei, al di là della ricchezza assoluta di specie, che è relativamente bassa, è quindi dato proprio dalla coesistenza di molteplici elementi di origine biogeografica differente, accomunati però da elevati livelli di specializzazione trofica, di esclusività e di fedeltà all'habitat, e quindi da comuni caratteristiche di buoni "indicatori" della complessiva qualità biologica degli ecosistemi in cui siano ancora presenti.

In questo volume verranno quindi analizzate le caratteristiche principali degli ecosistemi dunali sabbiosi e retrodunali del nostro Paese sotto il profilo geomorfologico, floristico, vegetazionale e faunistico, compatibilmente con l'enorme variazione riscontrabile nella loro tipologia. Variazione ovviamente associata alla grande estensione latitudinale e quindi bioclimatica lungo la Penisola e nelle Isole, e all'influenza di molteplici e del tutto differenti fattori storici biogeografici nella composizione dei popolamenti animali e vegetali locali.



Il passaggio fra la costa sabbiosa e la macchia mediterranea

Per una necessaria scelta editoriale, in questo volumetto non verranno trattati direttamente tutti quegli innumerevoli ed eterogenei organismi, strettamente marini, che occasionalmente o regolarmente lasciano tracce di sé negli habitat litoranei sabbiosi, sotto forma di resti spiaggiati o ammassi di materiale organico, se non nei casi in cui tali resti siano tipicamente utilizzati dagli animali sabulicoli litoranei come alimento o riparo. Analogamente, saranno esclusi tutti quegli organismi tipici dell'entroterra, che solo occasionalmente si rinvencono in spiagge o dune sabbiose, e la maggior parte di quegli organismi igrofili eurizonali (cioè legati ad ambienti umidi di piani vegetazionali differenti) non associati esclusivamente ad ambienti sabbiosi umidi perillitoranei (salicornieti, giunchetti, fragmiteti costieri, ecc.). Ovviamente non si tratterà nemmeno dell'enorme numero di uccelli che sono presenti o trovano rifugio, soprattutto in inverno, sulle spiagge e alle foci dei fiumi, negli stagni e nelle lagune costiere salmastre interdunali, né delle intere comunità acquatiche che caratterizzano questi ambienti.

Anche il complesso *mesopsammon* di sabbie e ghiaie sotto la superficie delle spiagge (ovvero l'insieme dei microscopici e spesso curiosi e specializzati organismi animali che vivono abbondanti negli interstizi tra i granelli di sabbia), essendo associato ad ambienti esclusivamente acquatici, benché di interfaccia terrestre/marino, non verrà dettagliatamente trattato in questo volume; gli interessati a questo particolarissimo e molto interessante "mondo in miniatura" troveranno comunque qualche informazione nella relativa scheda (pagg. 74 e 75). Si tenterà invece di evidenziare gli elementi più rappresentativi e peculiari tra gli animali e i vegetali che in Italia compiono la totalità o la maggior parte del loro ciclo vitale in questi habitat prevalentemente terrestri, e che ne caratterizzano i popolamenti naturali, insieme ai problemi di conservazione e di gestione che li coinvolgono a livello di ecosistema, di comunità, o di singole specie.



Aspetti geologici e geomorfologici

PAOLO AUDISIO · GIUSEPPE MUSCIO

11

La spiaggia è una stretta fascia fra terra e mare costituita prevalentemente da depositi sabbiosi. Si tratta di una zona ad elevato dinamismo nella quale la situazione di equilibrio che viene raggiunta deve tenere conto dei numerosi fattori che intervengono, suddivisibili in due gruppi: passivi (topografia dell'area, materiali presenti) e attivi (venti, moto ondoso, correnti marine, maree, apporti fluviali, attività degli organismi, ivi compreso l'uomo!).

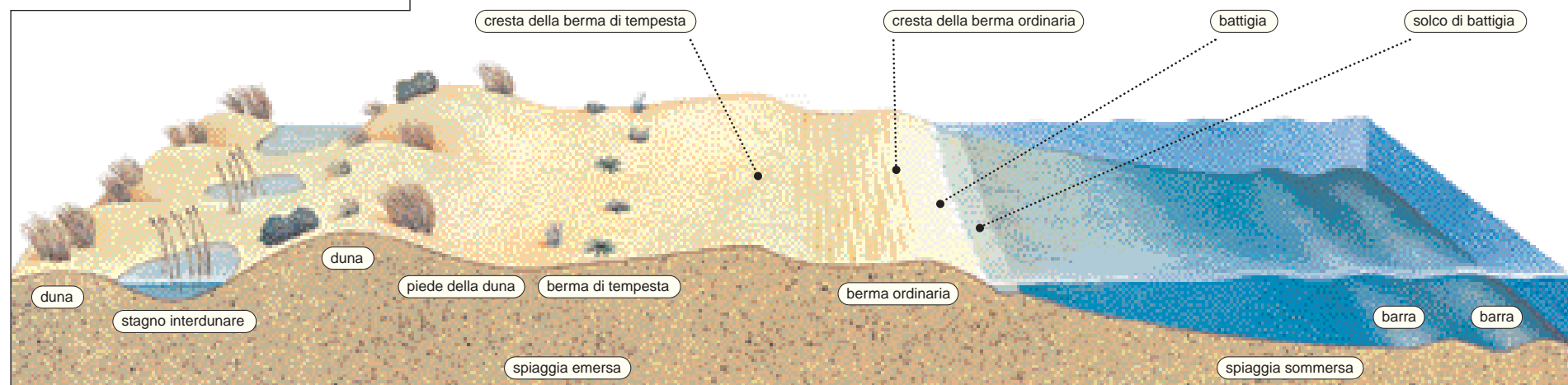
Le spiagge sabbiose sono costituite da sedimenti clastici incoerenti di origine sia alluvionale che marina, aventi granulometria fine ma non finissima (le *sabbie* sono convenzionalmente costituite da frammenti di diametro medio inferiore a 2 mm; quando i granuli hanno diametro di molto inferiore, compreso tra 0,06 e 0,004 mm, si parla di *silt* (= *limo*); se è ancora inferiore si parla di *argille*; se invece è superiore ai 2 mm, si parla di *ghiaie*).

Il termine "spiaggia" deriva da "piaggia", a sua volta derivato dal latino "*plaga*", che significa "estensione piatta" e dal greco "*plagio*", che significa "laterale", e dal relativo verbo "piaggiare" (navigare lungo la costa), unito al prefisso "s" con funzione durativa. Con il termine di "duna" marina si definisce invece il settore litoraneo o sublitoraneo normalmente stretto e allungato parallelamente alla linea di costa, caratterizzato da rilievi perlopiù di modesta entità (elevazione sul mare tra circa mezzo metro e una dozzina di metri in Italia, salvo qualche eccezione in Sardegna), formati dall'accumulo di sedimenti incoerenti per azione eolica. Le dune sabbiose sono quelle costituite da sabbie più o meno incoerenti, in funzione sia della loro diversa antichità, sia della vegetazione presente, in grado di compattarne almeno una certa percentuale degli strati più superficiali ed esposti. Il termine "duna" deriva dall'olandese medio "*dune*" che significa semplicemente "piccolo rilievo, collina, altura".

La maggior parte dei sistemi spiaggia-duna più estesi, stabili e complessi (e quindi più significativi sotto il profilo biocenotico) si formano in coincidenza di tratti di costa bassa caratterizzati verso l'interno dalla contiguità con più o meno ampie pianure, e verso il lato marino dalla presenza di fondali poco profondi.

■ Struttura di una spiaggia

Tecnicamente, quindi, una spiaggia è la zona del litorale costituita da materiale sciolto sottoposta ad un movimento indotto dal moto ondoso ed è, perlopiù, il



risultato di una fase costruttiva, sebbene localmente si possano alternare periodi o tratti sottoposti anche a fenomeni erosivi.

L'estensione di una spiaggia è assai variabile: se è collegata ad una costa rocciosa essa può limitarsi ad una stretta striscia di sedimenti sciolti lungo la quale la roccia affiorante non ha un contatto diretto con il mare, per ampliarsi poi nelle piccole baie. In un sistema di delta o estuario la spiaggia può svilupparsi, soprattutto in lunghezza, sino ad ostruire parte del sistema stesso, ma è al bordo delle estese pianure che le spiagge possono svilupparsi maggiormente con la formazione di vasti sistemi dunali. Convenzionalmente, la spiaggia si considera estesa, verso l'interno, fino al limite raggiunto dalle onde di tempesta, mentre verso il mare la si considera estesa fino ad una profondità media pari a circa la metà della media della lunghezza d'onda durante le fasi di mareggiata. Si ritiene infatti che lo spostamento delle particelle di sabbia provocato oltre tale profondità dal moto ondoso sia sostanzialmente trascurabile.

Nell'ambito di questo tratto di litorale relativamente ampio, sempre a partire dal lato terrestre verso quello marino, si possono convenzionalmente distinguere tre settori, rispettivamente quello della *spiaggia emersa* (spesso chiamata anche *arenile*), della *spiaggia intertidale* e della *spiaggia sommersa*.

La *spiaggia emersa* è l'area, normalmente appunto emersa, compresa tra il limite raggiunto dalle onde di tempesta e la così detta *berma ordinaria*, ovvero il gradino più o meno distinto, modellato dai flutti ordinari (in parte per erosione e in parte per accumulo) al limite interno della linea di battigia, dove per battigia si deve intendere quel tratto della spiaggia più o meno inclinato verso il mare su cui avviene il moto alternato dei flutti montanti e della risacca (il ritorno verso il

mare dell'acqua di volta in volta spinta verso terra dalle onde sotto forma di flutti montanti); naturalmente si potrà determinare una battigia di alta marea e una di bassa marea, con un'escursione verticale tra le due linee di battigia (cioè le linee ideali che congiungono tra loro i punti della spiaggia di volta in volta bagnati dai flutti montanti) che nei mari italiani si aggira di norma intorno ad una trentina di centimetri, salvo alcune eccezioni. All'interno della spiaggia emersa può essere distinguibile un ulteriore gradino, la *berma di tempesta*, che indica il limite massimo raggiunto dai flutti montanti nell'ultima occasione di mare ingrossato che abbia rimodellato la spiaggia in questione, preceduto di norma da un breve pendio in brusca discesa, detto *scarpa*.

La *spiaggia intertidale* è quella parte della spiaggia compresa tra il livello medio raggiunto dalle alte maree e il livello medio delle basse maree. Verso terra il suo primo sottosettore coincide con la già citata *battigia* di alta marea. Di norma la fine del tratto che verso il basso delimita il trasporto di sabbia da parte della risacca in alta marea coincide con un ulteriore *gradino*, che appunto delimita sul versante marino la stessa area di battigia. Al di là di tale gradino è presente di regola un così detto *terrazzo di bassa marea*, talora interessato dalla presenza di *barre* o *scanni* (modesti rilievi longitudinali, paralleli o subparalleli alla riva), che si formano nella spiaggia temporaneamente sommersa in parte per effetto delle onde, in parte per l'azione di eventuali correnti locali. I limiti superiore e inferiore della battigia sono ovviamente variabili, in funzione dell'altezza delle onde e in relazione al momentaneo livello delle maree.

La *spiaggia sommersa* o *sottomarina* è infine il tratto a mare più esterno del sistema spiaggia, quello compreso tra il livello medio delle basse maree e la

già indicata profondità media, attestata intorno alla metà della media della lunghezza d'onda durante le fasi di mareggiata. Anche nell'ambito della spiaggia sottomarina sono di norma presenti *barre* o *secche* più o meno marcate, precedute da più o meno definiti affossamenti, denominati *truogoli*.

Una spiaggia può in sintesi essere considerata un pendio di inclinazione variabile, in cui l'energia dei flutti si va a smorzare. Di norma tale pendio è tanto più ripido quanto più grossolano è il materiale incoerente trasportato e rimosso continuamente dal moto ondoso; questo fenomeno è facilmente spiegabile in termini idrodinamici, considerando come la pendenza dell'area di battigia sia determinata dal movimento alternato del materiale in risalita, sulla spinta del flutto montante, e in discesa, per azione della risacca. A parità di energia cinetica, il trascinarsi verso il basso può essere realizzato su un pendio appena inclinato per i materiali più fini come le sabbie, molto più inclinato per i materiali più grossolani come le ghiaie o i ciottoli. Ovviamente il rimodellamento e il riadattamento della battigia di una determinata spiaggia si attesta di continuo intorno ad un provvisorio e dinamico equilibrio.

A livello della spiaggia emersa, dove la sabbia è di norma asciutta, può infine far presa l'azione del vento, in grado di innescare il processo di costruzione e modellamento di eventuali dune e sistemi dunali sabbiosi.

■ Dinamica, formazione ed erosione di una spiaggia sabbiosa

Genesi ed evoluzione di una spiaggia sabbiosa sono strettamente correlate a diversi fattori, tra i quali i più rilevanti sono le possibilità di rifornimento di materiale detritico, la conformazione e la natura geologica delle aree litoranee contigue e le modalità di trasporto e di deposizione dei detriti da parte del moto ondoso e delle correnti. Sono infatti il moto ondoso e secondariamente quello delle correnti, gli agenti principali che modellano le spiagge, ma rilevante è, soprattutto per il tratto generalmente emerso, anche il ruolo giocato direttamente dall'azione eolica che, del resto, è la causa prima del moto ondoso. Minore è invece il ruolo giocato dalle maree anche se ad esse è, in taluni casi, legata una notevole estensione del tratto di spiaggia definito come intertidale.

Il rifornimento di materiale detritico può essere consentito dalla vicinanza di fiumi e corsi d'acqua che fungono da efficaci agenti di trasporto di sabbie, fanghi e detriti alluvionali di varia natura e granulometria. Oppure può essere consentito dalla parallela erosione di tratti di costa contigui a quello in esame, per effetto della natura omogeneizzatrice e regolarizzatrice del moto ondoso, che tende a smussare le sporgenze litoranee, prelevandone del materiale che viene poi ridepositato ai lati della sporgenza stessa, frequentemente entro baie più o meno delimitate. Altro materiale sabbioso può infine essere prelevato ed eroso da bassi fondali esistenti presso la costa in esame o al largo di questa.

Nel caso di spiagge prossime a foci fluviali, la grande disponibilità di materiali inerti consente di norma una facile rideposizione degli stessi nei settori litoranei contigui, almeno in quelli con coste basse. Ampi depositi fluviali consentono un grande rimaneggiamento dei detriti, con la separazione degli stessi in base al loro peso e in funzione della quantità di energia disponibile per il trasporto. Con fondali di forte pendenza, la gravità agevola la discesa dei detriti verso il largo, spesso rendendoli indisponibili alla ripresa da parte del moto ondoso. Con fondali di debole pendenza, al contrario, varie linee di frangenti si formano al largo, e solo onde a bassa energia giungono presso la costa, che così spesso diventa paludosa, con prevalenza di argille e silt. Altrove la deposizione è frutto soprattutto dell'azione combinata del trasporto sulla battigia, e del così detto *trasporto longitudinale*, ossia quello parallelo alla riva.

Per comprendere le dinamiche di trasporto degli inerti da parte delle onde, è utile analizzare alcuni aspetti della dinamica e della cinetica del moto ondoso stesso. Le onde, come ben noto, sono perlopiù provocate dal vento, che trasmette all'acqua superficiale una parte della propria energia, spingendola sotto forma di moto ondoso che si trasmette orizzontalmente secondo determinate direzioni di propagazione, ortogonali alle creste delle onde stesse. In vicinanza della costa, le onde possono subire cambiamenti di direzione, forma ed energia, in funzione della natura, della pendenza e dell'orientamento dei fondali e della costa stessa. Particolare importanza riveste la formazione dei cosiddetti *frangenti di spiaggia*, quando l'acqua sospinta sulla cresta dell'onda supera la velocità di propagazione dell'onda stessa, ricade formando un *frangente*, e con più o meno marcata turbolenza sfrutta la propria energia cinetica, risalendo la



Evidenti segni di erosione in una spiaggia siciliana

spiaggia come *flutto montante*, fino all'esaurimento dell'energia cinetica. A questo punto per gravità l'onda recede sotto forma di *risacca*.

Questa situazione muta di intensità nelle diverse stagioni: durante le forti mareggiate invernali la forza dei frangenti è maggiore e parte della sabbia che costituisce la battigia può essere ripresa in carico dal moto ondoso e può formare una o più barre nel tratto di spiaggia sommersa o essere trasportata verso il mare aperto. In estate questa situazione si inverte e le deboli onde della bella stagione fanno sì che questo materiale venga gradualmente ritrasportato verso la linea di costa. Esiste quindi una notevole differenza fra la morfologia di una spiaggia sabbiosa nelle diverse stagioni: nel periodo estivo essa risulta generalmente più ampia per una maggior disponibilità di materiale sabbioso che, in inverno, è depositato nel tratto sommerso sotto forma di barre più accentuate.

■ Struttura di una duna sabbiosa litoranea

Le dune sabbiose non sono altro che forme di accumulo di materiale sabbioso, di forma più o meno definita, e costruite principalmente per azione eolica. Si sono già viste in precedenza le principali condizioni di formazione di spiagge emerse più o meno ampie, che consentono la successiva costruzione di dune litoranee sabbiose, per rimozione eolica delle sabbie depositate dal moto ondoso e in particolare dalle mareggiate. Le dune sabbiose costiere non differiscono sostanzialmente, se non per la loro particolare posizione, rispetto a molti altri tipi di dune, che si sviluppano perlopiù nell'interno di ampie masse continentali, in situazioni di elevata erosione eolica dei substrati.



Si distinguono vari tipi di dune, in funzione del loro orientamento e della loro disposizione relativa rispetto alla direzione dei venti dominanti. Le dune sabbiose litoranee sono di norma *dune trasversali*, quindi con disposizione essenzialmente ortogonale rispetto alla direzione dei venti dominanti, oppure si organizzano in *dune paraboliche* alle spalle di spiagge e baie sabbiose arcuate.

Le dune costiere, a prevalente andamento trasversale, presentano il lato sopra vento (di norma quello sul versante marino) con inclinazione inferiore rispetto a

quello sottovento (di norma quello sul versante terrestre). Infatti lungo il versante sopravento la sabbia è sospinta in salita per saltazione o per rotolamento, fino a raggiungere la cresta, da dove i singoli granuli cominciano a ricadere sul lato opposto per gravità. Spesso le dune litoranee possono avere creste con andamento più o meno sinuoso, legato all'influsso di venti che soffiano alternativamente in direzioni opposte o comunque contrastanti.

Le dune sabbiose litoranee differiscono dalla maggior parte delle dune mobili degli entroterra continentali essenzialmente per la presenza di vegetazione costiera, che, tramite un effetto siepe, ne blocca più o meno efficacemente la potenziale avanzata verso l'entroterra. Appena la vegetazione psammofila pioniera attecchisce e si consolida, questa fa in modo che l'apporto eolico di altra sabbia ne veda l'accumulo e il consolidamento prevalentemente *in situ*, condizionando quindi enormemente l'evoluzione geomorfologica della duna stessa. Considerato che la vegetazione può instaurarsi in maniera stabile solo ad una determinata distanza della linea di costa, la genesi di una duna litoranea non può che avvenire con una disposizione più o meno parallela alla stessa linea di costa, in alcuni casi solo in parte dipendente dalla direzione dei venti dominanti che trasportano i granuli sabbiosi.

■ Dinamica e formazione di una duna litoranea sabbiosa

Le sabbie, erose, trasportate e ridepositate altrove dal moto ondoso e dai venti, vengono sovente accumulate all'interno di insenature (le così dette *spiagge di fondo di baia*, di norma con andamento più o meno arcuato), oppure vanno a



I sistemi dunali di Is Arenas (Sardegna) sono tra gli esempi più imponenti sui litorali del nostro paese

costituire strisce di terra allungate, chiamate *cordoni litoranei*, che si formano in prevalenza in posizione laterale (sotto vento) rispetto ai punti di rifornimento di sabbia, chiudendo insenature di bassa profondità, o unendo piccole isole prossime alla terraferma con la terraferma stessa, e creando in tal modo delle penisole. Quando tali cordoni litoranei sono in seguito sormontati da dune, essi prendono il nome di *tomboli*, come vedremo più avanti.

I cordoni litoranei, chiamati anche col diffuso ma non sempre appropriato termine di *lidi*, possono presentarsi come isole o penisole allungate, o essere congiunti alla terraferma ad entrambe le estremità. Sovente i cordoni litoranei si originano a partire da scanni subacquei, ove ci sia abbondanza di rifornimento di materiale detritico, che a poco a poco emergono sotto forma di dossi sabbiosi. Salienti sabbiosi di forma particolare, spesso cuspidati o subtriangolari, si formano invece quando due opposte correnti di trasporto di materiale detritico si incontrino in una zona intermedia, di norma in coincidenza di protrusioni litoranee (capi) che separino linee costiere di differente orientamento.

Di particolare rilievo sono i già citati *tomboli*, ovvero le formazioni dunali sabbiose che vengono modellate dal vento e in parte dal moto ondoso sui cordoni litoranei, per via della spesso ridotta estensione trasversale, che li rende ambienti particolarmente fragili e dinamici.

Alcuni di questi tomboli evolvono peraltro verso un completo interrimento del



Geomorfologia di un'area costiera

cordone litoraneo stesso che, se associato al continuo spostamento verso mare della linea di costa (legato a sua volta, come abbiamo già visto, alla presenza di massicci apporti fluviali di materiali incoerenti), può comportarne la trasformazione in *dune fossili sublitoranee* (o *paleodune*). Questi ambienti sono quasi sempre estremamente interessanti sotto il profilo naturalistico, e in delicato equilibrio evolutivo, legato alla inevitabile e continua trasformazione del substrato e dei suoli superficiali. I processi genetici dei tomboli possono far sì che questi vengano ad unire un'isola alla terraferma trasformando l'insieme in una sorta di penisola. Caso classico è quello del Promontorio dell'Argentario che è unito alla terraferma da due tomboli attivi e da un cordone litoraneo centrale sul quale sorge l'abitato di Orbetello. Questi tre cordoni litoranei hanno così dato origine a due stagni costieri.

■ Natura del substrato delle spiagge e delle dune italiane

Dal punto di vista geomorfologico i sistemi spiaggia-duna vengono esaminati soprattutto analizzando gli agenti modellatori e la granulometria degli elementi che le costituiscono. Nel momento in cui, però, spiagge e dune vengono considerate soprattutto come habitat, grande importanza assume la caratterizzazione chimico-mineralogica del substrato, ovvero l'identificazione dei componenti



Foto aerea dell'area dell'Argentario con i tomboli che delimitano la Laguna di Orbetello (Toscana)

minerali che costituiscono i singoli grani e, di conseguenza, il chimismo del substrato stesso. Come detto, i granuli che costituiscono i sistemi spiaggia-duna sono in prevalenza quelli depositati dai fiumi nel mare o direttamente nelle spiagge e quindi la loro composizione mineralogica è funzione delle tipologie litologiche che affiorano nel bacino del fiume stesso. A questo dato fondamentale bisogna aggiungere la considerazione che i diversi litotipi, così come i minerali che li costituiscono, presentano differenti capacità di resistenza all'erosione ed al trasporto e, pertanto, a parità di granulometria hanno la possibilità di compiere un percorso maggiore i granuli più resistenti. Ad esempio essendo il quarzo, fra i minerali relativamente comuni, quello a maggiore resistenza, esso abbonda nelle spiagge originate da fiumi che hanno un percorso piuttosto significativo in pianura.

I granuli sabbiosi provengono dagli apporti fluviali ma la loro distribuzione non è simmetrica rispetto agli sbocchi dei corsi d'acqua al mare. Le correnti marine, infatti, fanno sì che la dispersione avvenga in maniera asimmetrica. Riferendosi ad esempio all'Alto Adriatico, i depositi fluviali tendono a sedimentare verso occidente rispetto alle foci: quelli dell'Isonzo giungono sino a Lignano, mentre quelli del Tagliamento giungono sino a Lesolo, ove si uniscono a quelli del Piave. Questi ultimi, a loro volta si disperdono sino alla Laguna di Chioggia.

In funzione delle province di alimentazione può variare sia la granulometria che la composizione mineralogica, e questi due valori sono in qualche modo legati fra loro. Sempre in riferimento alle spiagge dell'Alto Adriatico possiamo notare che quelle più settentrionali, i cui tributari drenano le aree alpine, presentano classi granulometriche al 95-99% comprese fra i 2 ed i 0,03 mm, mentre nelle spiagge prossime agli estuari dei fiumi che percorrono i depositi marnoso-arenacei dell'Appennino possono presentare percentuali significative di elementi più fini (fra il 10 ed il 20% di granuli inferiori agli 0,03 mm).



Veduta aerea della fascia costiera sabbiosa dell'Adriatico nell'area fra Bibione e Bibione Pineta (Veneto)

La composizione mineralogica mostra comunque variazioni ben più significative e complesse, ed i valori che vengono di seguito riportati sono medi e puramente indicativi. Nella fascia compresa fra Grado ed il Lido di Venezia dominano gli elementi calcareo-dolomitici, con percentuali fra l'80 ed il 90%, con una frazione di quarzo e selci presente attorno al 20%, coerentemente al fatto che i fiumi che alimentano queste spiagge drenano soprattutto formazioni rocciose carbonatiche.

Le spiagge alimentate da Brenta ed Adige mostrano un deciso aumento delle percentuali di quarzo (attorno al 40%) e di altri elementi provenienti da vulcaniti acide (che diminuiscono poi nell'area romagnola) a discapito delle componenti carbonatiche (calcaree e non dolomitiche) che presentano valori attorno al 15-30%. Scendendo verso Marche ed Abruzzo si ha una debole ripresa dei carbonati (30-60%) con discesa della frazione quarzosa (20-40%). L'area campano-laziale presenta una significativa percentuale di feldspati (anche il 20%) con quarzo (25%) e carbonati attorno al 40%. I lidi toscani mostrano valori di carbonati bassi a Nord e Sud (attorno al 20%) con risalita nell'area centrale (50%). Si inverte la situazione del quarzo con valori alti agli estremi (oltre il 50%) e inferiori al centro (20%), mentre attorno a Follonica il quarzo raggiunge il 60%.

Le spiagge della Sardegna settentrionale sono costituite prevalentemente da elementi carbonatici (dal 30 all'80%), con quarzo che varia dal 10 al 30%, mentre spostandosi verso Sassari i valori di carbonato si riducono notevolmente (anche al 10%) a favore del quarzo che raggiunge il 40%, condizioni analoghe a quelle che si ritrovano nel Golfo di Orosei. L'area di Alghero presenta notevoli variazioni, ma è sempre dominata dall'insieme quarzo-carbonati. In tutte le coste sarde diventa significativa la percentuale di ferro, presente con valori anche dell'1-3%. In Sicilia le coste dell'area catanese presentano elevati valori di quarzo (oltre 60%) e pochi carbonati (20%).

a sinistra si nota un'area allo stato naturale mentre a destra sono evidenti i segni dell'intervento antropico



Paleogeografia e biogeografia

PAOLO AUDISIO · GIUSEPPE MUSCIO · SANDRO PIGNATTI

23

L'assetto biogeografico del nostro territorio affonda le sue radici nella complessa situazione della Penisola Italiana, profondamente incuneata nel bacino mediterraneo. Gli attuali assetti floristici e faunistici, non a caso fra i più ricchi e diversificati dell'intera Eurasia, sono condizionati, quindi, dall'evoluzione geologica di quest'area che ha visto, negli ultimi milioni di anni, diverse e variabili possibilità di connessioni fra differenti aree circum-mediterranee e europee. Una trattazione che riguardi spiagge e sistemi dunali italiani deve quindi allargarsi all'intero Mediterraneo ed alla sua storia più o meno recente, risalendo nel tempo almeno sino agli avvenimenti più importanti che ne hanno determinato l'attuale morfologia costiera e condizionato la struttura dei popolamenti animali e vegetali.

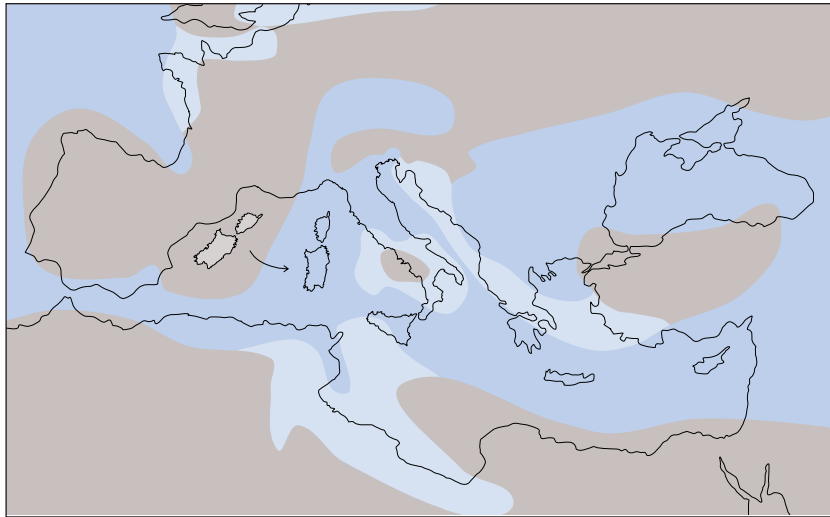
■ Il quadro paleogeografico, paleoclimatico e biogeografico

Nel Paleocene, all'inizio del Cenozoico, circa 65 milioni di anni fa, Europa e Asia erano separate l'una dall'altra da uno stretto braccio di mare epicontinentale (quindi di bassa profondità) che univa le attuali aree marine del Golfo Persico con il Mare Artico, passando a Est degli attuali limiti orientali dei Monti Urali (Mare di Turgai o Uralico). Contemporaneamente, l'attuale Mediterraneo era largamente collegato verso Est con l'Oceano Indiano, formando così un mare, in parte epicontinentale, in alcuni punti relativamente stretto in latitudine ma enormemente esteso in longitudine, noto con il nome di Tetide. La Penisola Italiana non si era ancora delineata, così come quella Balcanica, ed il clima lungo i margini della Tetide era in linea di massima di tipo tropicale o subtropicale. Verso la fine dell'Eocene, una quarantina di milioni di anni fa, il Mare di Turgai si prosciugò, consentendo un facile collegamento terrestre tra l'Asia e l'Europa, mentre lungo l'asse Est-Ovest permase ancora ampia la connessione marina tetidea.

Nell'Oligocene, a partire da circa 36 milioni di anni fa, l'Eurasia era costituita da un ampio scudo che comprendeva la quasi totalità dell'attuale Asia settentrionale e l'Europa centro-settentrionale, mentre a Sud-Ovest dell'intero sistema si cominciavano ad organizzare e a riconoscere alcune zolle di terraferma, emergenti dal mare, che avrebbero poi dato origine a buona parte delle attuali terre emerse del Mediterraneo settentrionale. Con l'avvicinamento della placca con-

continentale Africana verso quella Euroasiatica si avvia l'orogenesi Alpina, e comincia a stringersi verso Est il mare tetideo. Come in un macroscopico puzzle, iniziano a comparire e a dislocarsi verso la loro posizione finale alcune tessere che andranno poi a costituire l'insieme della Penisola Italiana e delle Grandi Isole. Verso Ovest Corsica, Sardegna e Baleari sono ancora unite alle aree catalano-provenzali, ma, già all'inizio del Miocene (circa 23 milioni di anni or sono), cominciano a distaccarsi da queste per iniziare una migrazione che le porterà, nel volgere di una decina di milioni di anni, fino alla loro attuale posizione. Microzolle subparallele all'Arco Sardo-Corso-Balearico si muovono a loro volta, dando origine all'attuale Arco Calabro-Peloritano verso Est, e a parte delle aree costiere e montane subcostiere dell'attuale Algeria settentrionale verso Sud-Ovest. Contestualmente, già comincia a essere riconoscibile verso Sud-Est la Penisola Salentina, con varie e ancora discusse connessioni oligoceniche con altre aree del Mediterraneo centro-orientale, balcaniche e anatoliche occidentali.

Sempre nel Miocene prosegue l'avvicinamento della placca Africana all'Europa, attivando la formazione di altre importanti catene montuose verso Est; questo fenomeno coincide con un parallelo e globale abbassamento del livello dei mari, principalmente dovuto alla crescita della calotta glaciale dell'Antartide occidentale. La Tetide si chiude così progressivamente verso Est, consentendo un importante collegamento tra le faune e flore africane e quelle euroasiatiche, fino ad allora rimaste separate.

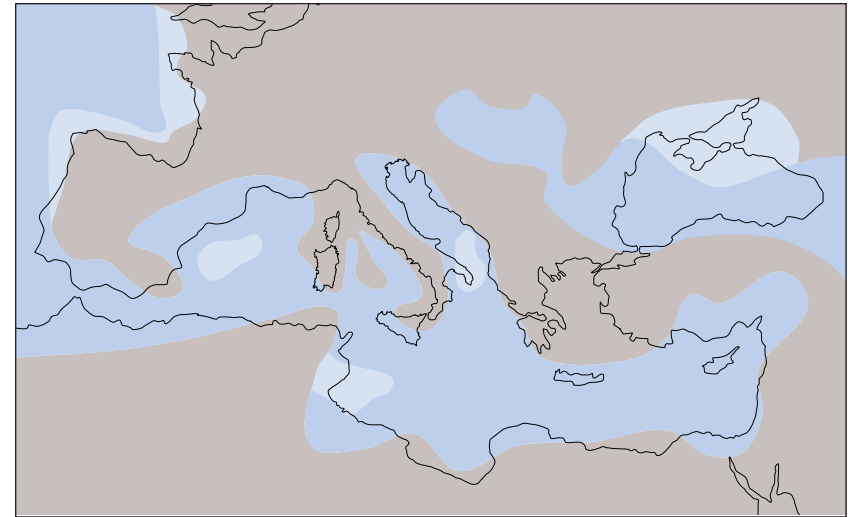


Paleogeografia semplificata del Mediterraneo nel Paleocene; marrone: aree emerse, grigio: piattaforme, azzurro: bacini marini. Viene indicata anche la posizione approssimata della zolla sardo-corsa

Intorno a 15 milioni di anni or sono la parte occidentale della Tetide, in via di separazione rispetto all'Oceano Indiano, si divide in due ampi bracci distinti: il primo, sud-occidentale, dà origine a quello che diventerà il vero e proprio Mar Mediterraneo, mentre il secondo, nord-orientale, chiamato Paratetide, esteso fino ai settori sud-orientali della Germania e alla regione pannonica, passa in modo relativamente rapido dallo stato di mare epicontinentale di bassa profondità a quello di un "Lago-Mare" salmastro (si veda il box "Marcatori di spiagge" a pag. 27). In seguito questo Lago-Mare progressivamente si prosciuga, lasciando infine solo una serie di grandi laghi salmastri, di cui il Mar Caspio e il Mar Nero (solo molto più tardi rientrato in connessione con il Mediterraneo propriamente detto) sono la principale testimonianza.

Poco meno di 6 milioni di anni fa un altro avvenimento ha poi un impatto devastante sull'intera area Mediterranea: il più o meno ampio braccio di mare che separava la maggior parte dell'attuale Penisola Iberica e del sistema Betico-Rifano dalla massa continentale Africana, a causa del già ricordato abbassamento planetario dei livelli dei mari, combinato con un innalzamento delle aree ad esso prospicienti, si chiude abbastanza repentinamente, isolando quindi il Mediterraneo dall'Oceano Atlantico.

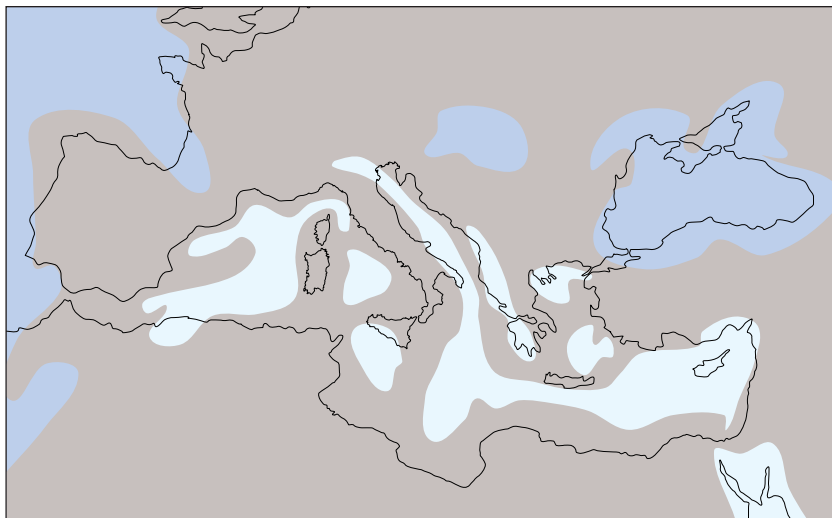
Questo fenomeno, che sulla morfologia costiera ha prodotto conseguenze soltanto locali, mette rapidamente in evidenza il bilancio idrico netto pesantemente negativo del Mediterraneo. Infatti, a fronte di un apporto idrico medio di circa 1400 chilometri cubi di acqua dolce all'anno (acqua dei bacini idrografici che



Paleogeografia semplificata del Mediterraneo nel Miocene medio; marrone: aree emerse, grigio: piattaforme, azzurro: bacini marini

insistono sul Mediterraneo + acqua meteorica rovesciata dalle piogge sulla superficie del Mediterraneo stesso), il “*Mare nostrum*” manifesta una cessione annuale all’atmosfera per evaporazione di quasi 4800 chilometri cubi di acqua, con un deficit netto annuale di poco meno di 3400 chilometri cubi. Considerando che il volume di acqua complessivo del Mediterraneo è valutabile intorno a 3,7 milioni di chilometri cubi, è facile calcolare cosa accadrebbe anche ai giorni nostri se lo stretto di Gibilterra (ed eventualmente anche il Canale di Suez) fossero chiusi all’improvviso: nell’arco di un migliaio di anni l’intero Mediterraneo si prosciugherebbe ($3,7 \text{ milioni} / 3400 = 1088$ anni; gli anni necessari potrebbero essere anche meno, calcolando che le precipitazioni meteoriche nell’intera area, inevitabilmente inaridita, si ridurrebbero localmente per trasferirsi più a Est).

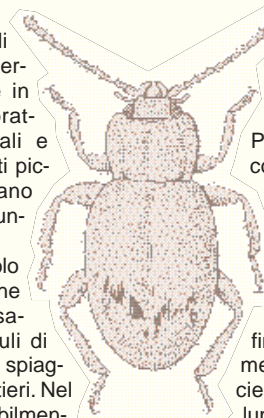
Ciò che accadde verso la fine del Miocene fu esattamente quanto descritto in questa ipotesi dal sapore quasi fantascientifico: nel Messiniano, tra 5,6 e 5,0 milioni di anni fa circa, il Mediterraneo si prosciugò in buona parte, le linee di costa si spostarono in modo centripeto verso e intorno le aree di maggiore profondità, e importanti collegamenti territoriali si instaurarono per alcune centinaia di migliaia di anni tra il Nord Africa, la Penisola Iberica, la Sicilia, la Corso-Sardinia e l’Italia peninsulare. Il Tirreno e parte del Canale di Sicilia si trasformano in grandi laghi salati, dove i fiumi provenienti dalle terre emerse scaricano le proprie acque a quote di centinaia di metri inferiori rispetto al livello degli oceani, scavando profondissime gole. Le conseguenze di questo prosciugamento



Paleogeografia semplificata del Mediterraneo nel Miocene superiore (Messiniano); marrone: aree emerse, azzurro: bacini marini, chiaro: bacini evaporitici

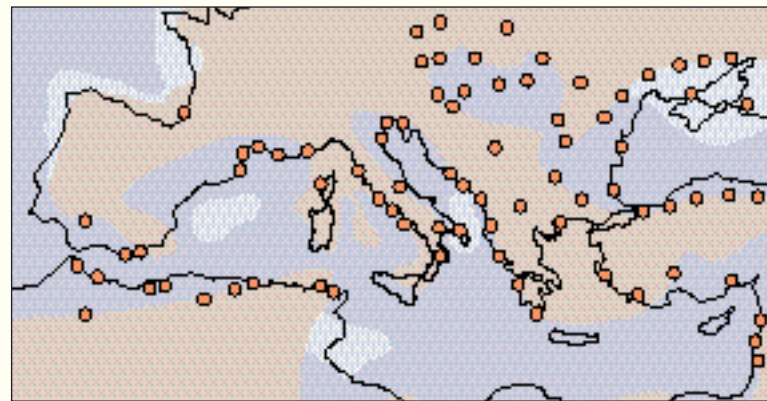
La maggior parte dei coleotteri endomicchidi della sottofamiglia licoperdini (= eumorfini) vive in ambienti forestali, soprattutto nei paesi tropicali e subtropicali, dove questi piccoli insetti si sviluppano soprattutto a spese di funghi arborei.

Le *Dapsa* sono un piccolo gruppo di licoperdini, che si sono invece curiosamente adattati ai cumuli di detriti vegetali lungo le spiagge o nei salicornieti costieri. Nel tardo Oligocene, probabilmente a partire dalle aree tetidee nord-orientali, i più antichi rappresentanti di questo genere cominciarono a diffondersi e a differenziarsi verso Ovest, riuscendo a colonizzare con una certa rapidità gli ambienti umidi sabbiosi peritorali dell’intera Tetide, dalle coste nord-orientali dell’Atlantico a quelle nord-occidentali del Pacifico. A seguito di molteplici fenomeni di trasgressione e regressione marina, e seguendo l’evoluzione dei margini costieri tetidei e del Paleomediterraneo, diverse popolazioni e specie di *Dapsa* si ritrovarono di



volta in volta isolate anche in aree continentali interne, dove un tempo era giunto qualche braccio di mare epicontinentale (come la Paratetide). Altre furono invece coinvolte in fenomeni tettonici di emersioni (es. Isole Canarie) o migrazioni (es. microzolle cabiliche in Algeria settentrionale) di interi sistemi insulari circummediterranei. Lo scenario finale vide infine il differenziamento di una quarantina di specie, molte delle quali distribuite lungo le coste dell’attuale Mediterraneo o della Macaronesia, ma con svariate entità ora isolate in aree continentali abbandonate dal mare già da milioni di anni, e riadattatesi a ecosistemi umidi forestali o ripariali dell’interno.

Sovrapponendo l’attuale distribuzione delle *Dapsa* con quella delle aree marine nel Miocene medio, una dozzina di milioni di anni or sono, possiamo vedere come questi curiosi e rari coleotteri possano “funzionare” come dei veri e propri “marcatori di spiaggia” dei paleosistemi costieri.



gamento a livello delle comunità biotiche sono, come ovvio, molto gravi soprattutto per gli organismi marini, che si trovano confinati in laghi iperalini e si estinguono in grande percentuale per questa devastante “crisi di salinità”. Nelle faune e nelle flore terrestri gli elementi più xerofili, termofili e alofili (tra le piante ad esempio le *Tamarix* e molte chenopodiacee alofile) in gran parte di provenienza nordafricana, medio-orientale o centroasiatica, si diffondono largamente soprattutto lungo le aree costiere e subcostiere. Anche molti elementi più mesofili e igrofili, pur trovando condizioni accettabili di sopravvivenza presso le aste fluviali, i bacini lacustri, e in aree montane, riescono comunque a utilizzare queste nuove connessioni territoriali per colonizzare le aree del Mediterraneo Occidentale, spesso dando poi origine a forme endemiche. Altri elementi riescono a giungere da Est verso la Penisola Italiana in formazione. Durante il Messiniano e la sua fase arida conseguente al parziale prosciugamento del bacino Mediterraneo, che assume per ampi tratti un carattere di deserto salato, si assiste comunque a drammatici fenomeni di estinzione anche negli habitat terrestri, soprattutto nella flora.

Alla fine del Miocene, circa 5 milioni di anni or sono, e con l'inizio del Pliocene, si forma lo stretto di Gibilterra, che segnerà da allora la presenza di un definitivo collegamento marino tra il Mediterraneo e l'Oceano Atlantico. Ben presto il Mediterraneo si riempie e le faune marine, in gran parte di origine Atlantica, lo colonizzano con grande velocità. Il ripopolamento post-Messiniano degli ambienti terrestri avviene sia per immigrazioni dalle aree vicine, sia per sviluppo dell'elemento autoctono che durante la fase arida aveva potuto mantenersi soprattutto sulle catene montuose e negli estuari dei sistemi fluviali che avevano potuto conservarsi. Sebbene il Messiniano abbia costituito una fase relativamente breve, lo sviluppo della flora e fauna mediterranee, quale noi oggi le conosciamo, è dunque in buona parte successivo a questi avvenimenti.

La Penisola Italiana e la Sicilia si vanno formando nella loro facies attuale, e le linee di costa si assestano intorno alle quote attuali, e in posizioni non del tutto dissimili da quelle odierne. Una marcata eccezione è rappresentata dall'Italia settentrionale, dove un vasto golfo occupa la quasi totalità dell'area ora occupata dalla Pianura Padana, che emergerà solo più tardi, nel Pleistocene medio-superiore, circa 2 milioni di anni or sono. Si sono avute fasi marine più o meno corrispondenti a quelle attuali a partire dal Pliocene e fino all'Olocene: tuttavia questo avveniva in condizioni di clima subtropicale, e la flora aveva ad esempio un carattere molto differente da quello che noi oggi conosciamo, strutturalmente più simile a quanto possiamo invece riscontrare in alcuni settori del sud-asiatico.

Nel Pliocene il clima, inariditosi nel Messiniano, torna ad essere caldo-umido, ma va via via facendosi più temperato, consentendo l'arrivo da Est e da Nord di molte specie animali e vegetali di origine continentale. La situazione peggiora

bruscamente con la formazione dell'istmo terrestre di Panama, che unisce l'America meridionale con quella settentrionale, modificando il ciclo di trasporto delle correnti calde tropicali verso l'Atlantico settentrionale. Il conseguente raffreddamento dell'Atlantico settentrionale, in combinazione con altri complessi fattori di carattere astronomico, innesca la formazione dei ghiacci artici, il conseguente raffreddamento di buona parte dell'emisfero settentrionale, e la brusca modificazione delle faune e delle flore sia europee che mediterranee in senso temperato, con la scomparsa o la massiccia riduzione della maggior parte degli elementi xerofili, termo-igrofili o di origine subtropicale, sia a livello terrestre che marino. Tra gli elementi terrestri, molti trovano però rifugio proprio lungo le aree costiere marine e alle foci dei fiumi, dove permangono condizioni termiche e idriche più favorevoli.

Intorno a un paio di milioni di anni or sono, all'inizio del Pleistocene, quindi anche del Quaternario, i raffreddamenti climatici si fanno ciclici, e si manifestano le glaciazioni, con almeno sei picchi principali nell'estensione delle calotte glaciali che hanno interessato massicciamente l'emisfero settentrionale e le aree euro-mediterranee in particolare. In ciascun ciclo glaciale, al raffreddamento climatico corrisponde la formazione di ghiacciai estesi su ampi settori del continente europeo, dello spessore anche di 1000-2000 metri a ridosso delle aree alpine e scandinave, con conseguente sottrazione di enormi quantità di acqua dal mare e marcato abbassamento del livello marino, da valutare nell'ordine del centinaio di metri o più, dovuto in parte anche all'aumento della den-



Paleogeografia semplificata del Mediterraneo nel Würmiano; marrone: aree emerse, azzurro: bacini marini, verde: coltri glaciali più estese

sità media delle acque per effetto dell'abbassamento termico. Le linee di costa dei mari meno profondi (come ad esempio l'Adriatico) si spostano quindi anche di centinaia di chilometri, seguiti dalle loro faune e flore costiere e sublitoranee, consentendo brevi ma nuove connessioni o avvicinamenti territoriali tra i piccoli gruppi insulari subcontinentali, la Penisola Italiana, le aree Balcaniche settentrionali, la Sicilia, il Nord Africa, e il sistema Sardo-Corso. Un grande numero di specie di origine siberiana o centroasiatica penetra inoltre verso Sud-Ovest in Europa e raggiunge il Mediterraneo, dove si stabilizza sia nelle aree submontane, sia in quelle pianiziarie più fresche e umide, anche a ridosso dei litorali. Negli interglaciali più temperati queste flore e faune lungo il Mediterraneo spesso riguadagnano quota, in parte si estinguono localmente, ma alcuni elementi rimangono come relitti in aree pianiziarie più umide, specialmente a ridosso delle foci dei fiumi perenni. Contemporaneamente, specialmente durante le fasi intermedie tra i picchi glaciali e i massimi miglioramenti climatici degli interglaciali, importanti componenti di specie steppiche di origine centroasiatica o asiatica sud-occidentale si spostano verso Sud e verso Ovest in Europa, raggiungendo anche le aree costiere del Mediterraneo.

Molti di questi elementi si estinguono nei glaciali successivi, molti altri all'apice degli interglaciali si spostano in habitat steppici o parasteppici di quota, ma alcuni sopravvivono e si adattano agli habitat strettamente litoranei, sia rupestri che dunali.

Nell'Olocene, ben dopo la fine dell'ultima Glaciazione (quella di Würm, il cui ultimo picco glaciale è datato meno di 20.000 anni or sono), si assiste ancora all'alternanza di minori picchi freddi e caldi. Un picco caldo importante sembra si sia avuto intorno a 8.500 anni or sono, mentre un altro di un certo rilievo coincide con un periodo relativamente caldo tra i 5.000 e i 3.000 anni fa; in corrispondenza di questo molte specie mediterranee, incluse parecchie tra quelle ad attuale distribuzione mediterraneo-atlantica che colonizzano più o meno stabilmente le spiagge e i litorali sabbiosi, hanno potuto raggiungere latitudini relativamente elevate dell'Europa nord-occidentale, sfruttando il clima litoraneo particolarmente favorevole.

Durante i secoli dell'Impero Romano il clima si mitiga nuovamente, con un aumento della temperatura abbastanza sensibile soprattutto in Europa centro-settentrionale, fino all'inizio del dodicesimo secolo, a partire dal quale comincia una blanda fase di raffreddamento fino al diciottesimo secolo; da qui in poi si assiste, pur con alcuni brevi periodi in controtendenza, ad un leggero ma progressivo aumento della temperatura, tuttora in atto. Sull'evoluzione a breve e medio termine del clima, e sulle potenziali conseguenze a carico degli ambienti litorali, si veda quanto discusso più avanti nel capitolo relativo alla conservazione e gestione degli ecosistemi sabbiosi costieri.

■ Il quadro bioclimatico attuale

Le spiagge e i sistemi dunali del nostro paese sono tutti affacciati sul Mediterraneo (non si hanno sistemi significativi di dune interne): il popolamento di questi ambienti va quindi inquadrato nel contesto biogeografico della regione mediterranea. Questo vale sia per gli animali che per le piante, anche se nei due casi si hanno, come vedremo fra breve, problemi biogeografici differenti.

La zona biogeografica mediterranea viene definita dalle sue caratteristiche climatiche: temperatura media annua compresa tra 14° e 18° C, precipitazioni più o meno abbondanti (400-900 mm, ed anche localmente fino a 1500 mm e più) concentrate nella stagione fredda, mentre in estate si ha un periodo arido di (2)3-5 mesi. In nessun mese la temperatura media scende al di sotto di 0° C; precipitazioni nevose e gelate sono rare e si verificano solo sporadicamente. Queste caratteristiche permettono la vita a specie sempreverdi, che possono continuare la fotosintesi anche nei mesi invernali e che si riproducono anche nell'ambiente delle spiagge. Queste condizioni sono oggi prevalenti in tutto il bacino mediterraneo, ma non esclusive di questo, in quanto esse si manifestano anche in altre zone del mondo, come la California, il Cile centrale, alcune aree meridionali del Sudafrica e alcuni settori dell'Australia occidentale e meridionale.



Sistemi dunali stabilizzati dalla vegetazione lungo le coste della Sardegna sud-occidentale

Per quanto riguarda gli ambienti litoranei italiani, si può osservare come non tutti siano però associati a territori con caratteristiche di vera mediterraneità. Infatti, come sopra ricordato, la mediterraneità viene definita dal clima, e non dalla posizione geografica.

Nel nostro paese hanno clima mediterraneo le isole, tutte le coste occidentali dalla Liguria alla Calabria, e le coste joniche, così come la Puglia. Invece le coste della Pianura Padano-Veneta si differenziano nettamente per un clima più fresco (12°-13° C di temperatura media annua), ed un periodo estivo con piogge scarse, ma abbastanza regolari. Dunque, l'Alto Adriatico ha clima di tipo temperato medioeuropeo, mentre nelle Marche, Abruzzo e Molise il clima ha un carattere di transizione verso il tipo mediterraneo, che diviene prevalente soltanto nella Puglia. Queste caratteristiche climatiche si riflettono anche su flora, fauna, e soprattutto vegetazione. A queste caratteristiche generali del clima, si sovrappongono poi altri effetti, di carattere locale. Si tratta soprattutto, nel caso delle spiagge, dell'azione termoregolatrice della massa idrica marina, che tende a riscaldarsi in estate e quindi a cedere calore durante i mesi autunnali ed invernali, mentre in primavera-estate le acque, raffreddatesi durante l'inverno, assorbono calore, temperando il clima litoraneo. Questa azione è particolarmente sensibile lungo le coste dell'Adriatico, che, essendo poco profondo e chiuso su tre lati, è un mare con maggiore tendenza al surriscaldamento durante i mesi estivi.

■ Il quadro fitogeografico

Gli elementi floristici nel bacino del Mediterraneo si ricollegano ai popolamenti associati ai continenti limitrofi (Africa ed Eurasia), a correnti migratorie occidentali oppure orientali e ad un'intensa attività di speciazione in situ ("elemento autoctono"). La componente endemica è globalmente abbastanza elevata, e può raggiungere, secondo le valutazioni di Quèzel e coll., il 25 % della flora. Su spiagge e dune la situazione è abbastanza differente, in quanto i gruppi legati all'ambiente continentale sono relativamente poco rappresentati, ed anche l'endemismo autoctono è scarso: sembrano invece prevalere gli elementi associati a passate connessioni floristiche lungo una direttrice Est-Ovest.

L'elemento occidentale è costituito da specie ampiamente diffuse sulle coste atlantiche, o comunque collegate a gruppi della flora oceanica. L'ingresso nel Mediterraneo di specie provenienti dalla costa oceanica si verifica, come visto, alla fine del Messiniano, con la definitiva apertura dello stretto di Gibilterra. Non si hanno prove dirette, ma si può ipotizzare che di questo gruppo facciano parte *Ammophila littoralis*, *Elytrigia juncea*, *Euphorbia paralias*, *Calystegia soldanella*.



Salsola erba-cali (*Salsola kali*)

Tuttavia per ogni specie va fatto un discorso diverso, come in generale accade in molti aspetti della biologia. Infatti, *Euphorbia paralias* e *Calystegia soldanella* sono diffuse anche sulle coste atlantiche, hanno grandi capacità di diffusione per semi o rizomi portati dal mare, ed una migrazione diretta è senz'altro possibile. Per *Ammophila* la connessione occidentale è chiara, in quanto l'areale di questa specie si estende sia nel Mediterraneo che sulle coste atlantiche, mentre essa manca sul Mar Rosso e nell'Oceano Indiano; tuttavia le affinità di questa specie non vanno tanto in direzione di gruppi di altre graminacee litoranee, quanto piuttosto verso grosse graminacee di ambiente desertico. *Elymus* appartiene invece ad un gruppo con gravitazione distributiva nei deserti asiatici, che da questi ha potuto espandersi sulle coste atlantiche ed infine, con un viraggio a 180°, è rientrato nel Mediterraneo, come viene dimostrato dall'aumento progressivo del numero cromosomico. Potrebbe essere un buon esempio di immigrazione post-messiniana.

Quanto all'elemento orientale, esso va collegato al bacino tetideo, dunque ad un ciclo evolutivo molto più antico di quello collegato all'Oceano Atlantico. In particolare, in questo contesto, l'elemento di base è rappresentato da specie di ambiente di deserto salato, che ancora oggi è largamente diffuso nell'Asia Centrale e nel Vicino Oriente, con chenopodiacee, plumbaginacee, zigofillacee ed alcuni gruppi di composite, giuncacee e graminacee. Un tipico adattamento morfologico in questi gruppi è la succulenza e, dal punto di vista fisiologico, si ha la tolleranza verso la salinità. Tuttavia questi adattamenti non sembrano di



Vegetazione retrodunale con *Limonium*

particolare rilevanza per la flora delle spiagge e delle dune, perché, come si vedrà in seguito, le sabbie di questi ambienti litoranei hanno di norma un basso contenuto di sale marino. Si tratta di una flora ampiamente diffusa negli ambienti salati, sulle sponde lagunari, ma che sulle spiagge fa una comparsa sporadica, e per lo più limitata ad ambienti marginali. Tra queste si potrebbe ricordare la chenopodiacea *Salsola kali* e forse anche la crucifera *Cakile maritima*, che però è molto diffusa anche sulle coste atlantiche.

Nella flora dei suoli salati lagunari si nota una netta differenza tra gli ambienti mediterranei e quelli dell'Europa temperata, causata dal fatto che sulle coste atlantiche si hanno oscillazioni tidali (di marea) molto forti, con escursioni persino di alcuni metri tra alta e bassa marea; nel Mediterraneo invece la marea, salvo poche eccezioni, è poco sensibile (perlopiù 2-3 decimetri). In Italia fa eccezione l'Alto Adriatico, con maree abbastanza cospicue (70-90 cm e più nelle sizigie), anche se non paragonabili a quelle dell'Atlantico; le alte maree a Venezia, come è noto, costituiscono comunque un problema gravissimo.

Queste condizioni si riflettono anche sull'evoluzione della flora: nella Laguna di Venezia abbiamo densi popolamenti della graminacea *Spartina stricta* (= *Spartina maritima*), specie atlantica, che qui ha la sua unica enclave nella regione mediterranea; tra la flora algale va ricordato *Fucus virsoides*, l'unico rappresentante mediterraneo delle fucacee (alghie brune, con numerose specie sulla costa atlantica). Entrambe le specie sono strettamente legate alla vita in ambiente tidale. Non sembra invece che queste condizioni ecologiche abbiano

avuto qualche importanza nella speciazione della flora delle spiagge. Effettivamente le piante delle spiagge vivono sempre ad un livello decisamente superiore a quello delle alte maree, e rimangono sottratte alle conseguenze di questo fenomeno, altrimenti tanto importante nel determinare la periodicità dei fenomeni vitali, soprattutto negli animali.

Va osservato che l'elemento autoctono nella flora delle spiagge e delle dune è relativamente poco rappresentato: molte specie psammofile hanno distribuzione mediterranea, ma non sembra possibile citare esempi di specie per le quali si possa ipotizzare una origine per divergenza avvenuta nell'ambiente di spiaggia, almeno per quanto riguarda la flora delle spiagge del nostro paese. Questa constatazione è in acuto contrasto con la flora delle rupi costiere, dove al contrario si ha un gran numero di specie endemiche, che limitano a volte il loro areale a pochi chilometri di costa, soprattutto nel genere *Limonium* (plumbaginacee), ma anche in altri gruppi del tutto diversi (*Anthyllis*, *Antirrhinum*, *Centaurea*, *Dianthus*, *Erodium*, *Helichrysum*, *Primula*, ecc.). Al contrario, le poche specie endemiche sulle spiagge e dune sabbiose italiane sono per lo più differenziazioni di elementi derivati da gruppi continentali, ad esempio *Centaurea tommasinii* e *Silene colorata*.

Pur con queste limitazioni, la flora dei litorali sabbiosi mantiene una sua grande peculiarità: nessuna specie delle sabbie marine può venire ritrovata negli ambienti continentali, e molto rari sono i casi di specie continentali che possono sopravvivere sulle spiagge. La flora dei litorali sabbiosi dunque rappresenta un *unicum*. Questo è particolarmente evidente lungo la linea di costa, dove i fattori selettivi dell'ambiente marino sono più forti. Invece, quando ci si addentra verso l'entroterra, compaiono gli elementi continentali, che sulle dune interne tendono a diventare sempre più frequenti, fino ad essere del tutto prevalenti dove l'azione diretta del mare è scarsamente sensibile.

Da questi rapporti si può concludere che la flora e la vegetazione delle spiagge non sono, come si potrebbe pensare, una differenziazione della flora continentale, causata dall'azione del mare, ma qualcosa di completamente differente, originatosi perlopiù in aree lontane (in molti casi al di fuori del Mediterraneo), che è venuto ad inserirsi tra il popolamento degli ambienti continentali ed il mare. La vegetazione delle spiagge rappresenta dunque una sorta di diaframma, oppure un'interfaccia che collega l'ambiente marino a quello continentale.

In conclusione, va osservato che i litorali sabbiosi ospitano una flora altamente specializzata, che non trova nulla o assai poco di simile negli ambienti continentali, e per questo può essere interpretata come un punto focale della biodiversità; tuttavia questa flora è il risultato di processi che si sono sviluppati in maniera più o meno uniforme su tutto il bacino mediterraneo, senza dare luogo ad una massiccia microevoluzione legata a singoli gruppi oppure a singole aree.



Pimelia grossa (tenebrionidi), tipico elemento siculo-maghrebino

■ Il quadro zoogeografico

Gli eventi biogeografici storici e i processi dinamici che hanno prodotto gli attuali popolamenti faunistici dei litorali sabbiosi italiani sono ovviamente molto simili a quelli che hanno condizionato i popolamenti vegetali, ma sostanzialmente differenti sono state le conseguenze in termini di tasso di endemismo, valori di ricchezza in specie e relittualità. In effetti nella fauna queste differenze rispetto alla flora possono essere scarsissime in alcuni casi, ma molto appariscenti in altri, in funzione

sia delle diverse tipologie ambientali prese in esame (fauna intertidale e di spiaggia sabbiosa umida, fauna dunale, fauna psammo-alofila o psammo-igrofila delle lagune interdunali e dei salicornieti, ecc.), sia soprattutto dei singoli gruppi tassonomici, dei rispettivi ruoli trofici, e delle rispettive velocità di speciazione.

Non vi è dubbio che la grande maggioranza degli elementi faunistici che vivono più a stretto contatto con l'interfaccia mare-terra (i componenti quindi delle faune intertidali e di spiagge sabbiose umide), a prescindere dalle loro dirette capacità di dispersione attiva, siano specie ad ampia distribuzione, spesso mediterranea o mediterraneo-atlantica, non poche essendo perfino cosmopolite o subcosmopolite. Ciò non deve stupire, considerando come molti di questi organismi siano in grado di tollerare forti escursioni termiche, esposizione protratta all'acqua di mare e stress fisiologici di varia natura; queste caratteristiche ne fanno degli elementi assolutamente adatti per spostarsi attivamente o essere facilmente trasportati in ambienti costieri tramite correnti marine, vento, uccelli, o attività antropiche.

Nella maggior parte dei casi si tratta quindi di elementi specializzati ecologicamente e troficamente, spesso esclusivi di questi ambienti, ma con grandi potenzialità di dispersione attiva e passiva e soggetti probabilmente a dinamiche di tipo metapopolazionale (ovvero costituiti da un insieme di popolazioni locali spesso piccole ma con elevate interconnessioni potenziali e grande ricambio, soggette quindi a continui processi di locale estinzione e ricolonizzazione). Questi elementi hanno dunque seguito piuttosto facilmente le spesso drastiche variazioni costiere del Mediterraneo e dell'Italia nel corso degli ultimi milioni di anni, manifestando di norma una scarsa propensione al facile differenziamento specifico.



Sepidium siculum (tenebrionidi), endemita siculo

Un discorso diverso interessa invece la fauna delle dune e dei retroduna, sia aridi che umidi o salsi, dove, almeno per gli invertebrati più specializzati, troviamo delle differenze significative sia tra quelli detritivori, saprofagi e psammofili o psammo-alofili, che tra quelli fitofagi associati a piante psammofile. In questi casi sembra infatti che fattori quali rarità, piccole dimensioni delle popolazioni locali, elevata specializzazione trofica, bassa capacità di dispersione e frammentazione degli habitat abbiano interagito efficacemente, producendo con una certa frequenza ele-

menti endemici ad areale ristretto oppure elementi ad areale frammentato e relitto. Come vedremo nell'ampio capitolo dedicato agli invertebrati, molte e di grande interesse conservazionistico e biogeografico sono infatti entrambe queste tipologie distributive, con particolare riferimento a specie presenti lungo le coste meridionali di Sicilia e Sardegna, e ad alcuni settori occidentali della Penisola.

Circa i tempi della penetrazione e dell'eventuale isolamento degli elementi faunistici litoranei nel nostro Paese, è veramente difficile tentare delle generalizzazioni. Mai come nel caso degli ambienti costieri, lo zoogeografo storico deve continuamente subire gli "agguati" di talora sconcertanti e inattesi dinamismi attivi e passivi presentati da molte specie; sarebbe insomma azzardato tentare di redigere elenchi di specie o generi la cui presenza negli ambienti costieri italiani sia certamente associabile a questo o quel fenomeno paleogeografico o paleoclimatico. È lecito piuttosto segnalare alcune componenti faunistiche di un certo rilievo, per le quali è ragionevole ritenere che l'influenza di questo o quel fenomeno paleogeografico o paleoclimatico sia stato potenzialmente rilevante.

Con queste doverose premesse, possiamo comunque ritenere che la maggior parte della fauna strettamente litoranea italiana sia di origine relativamente recente, probabilmente condizionata soprattutto dagli eventi paleoclimatici del Quaternario.

D'altra parte, gli ambienti litoranei (quelli sabbiosi in particolare) hanno rappresentato sia in senso figurato che reale "l'ultima spiaggia" per un gran numero di componenti floristiche e faunistiche dislocate dalle aree di origine, sotto la pressione dei severi cambiamenti climatici intervenuti durante il Plio-Pleistocene. Questo tipo di fenomeni ricorrenti è intervenuto con particolare

I forti interventi antropici a carico delle coste, verificatisi soprattutto nel secolo scorso, fanno sì che ci si trovi a descrivere l'estensione di sistemi di lidi sabbiosi che ben raramente sono completati dalle zone dunali e retrodunali che dovrebbero, in condizioni naturali, integrarli. Dei circa 7500 km di costa italiani, oltre 3000 sono infatti rappresentati da tratti sabbiosi più o meno utilizzati dall'uomo. Malgrado ciò, sulle coste italiane le spiagge sono distribuite un po' dovunque, sia come ampi cordoni dunali, sia come spiaggette seminascoste nelle cale, magari sotto ampie scogliere rocciose o al margine di modeste aree portuali, talora raggiungibili soltanto dal mare.

Le coste adriatiche presentano, di fatto, un lungo lido sabbioso che si estende da Monfalcone sino al Gargano, con la sola eccezione del promontorio del Conero (Ancona) e di alcune aree fra Ortona e Vasto. Il tratto settentrionale di questo litorale sabbioso, interrotto dalle lagune di Grado-Marano e Venezia-Chioggia, rappresenta il più ampio sistema di dune italiano, ed è costituito da una serie di litorali sabbiosi che si sviluppano in maniera quasi continua da Grado a Rimini. Le spiagge dell'alto Adriatico hanno una ridottissima pendenza, con valori che, riferiti al tratto fra la linea di costa e l'isobata 5 m, sono compresi fra 0,3 e 0,7 % per salire a valori oltre l'1% attorno a Pesaro e compresi fra 3 e 8% nell'area attorno al Monte Conero.

L'intero sistema dunale è il risultato, a quanto sembra, di un lungo periodo di stabilità del litorale, che si sarebbe avuto al termine della fase di riscaldamento climatico dopo l'ultima culminazione glaciale. Si ipotizza che la formazione di questo sistema dunale risalga a circa 5000 anni fa, quando il naturale abbassamento della costa, in atto da tempi geologici, ha potuto essere equilibrato dall'innalzamento dovuto all'isostasi in conseguenza della fusione della calotta



glaciale alpina. In quell'epoca il clima era più caldo di quello attuale e questo avrebbe permesso al leccio di espandersi sul litorale; esso rimane tuttora in popolazioni isolate sulle dune di Mesola, Rosolina ed al Bosco Nordio di S. Anna di Chioggia. In seguito il Po ruppe il cordone di dune e queste, oggi, sono separate dal mare da alcuni chilometri di terraferma; sul delta le foci del Po sono avanzate molto addentro nell'area un tempo occupata dal mare. A sua volta invece il mare ha rotto la duna in vari punti, formando le lagune. La formazione del delta e delle lagune sono avvenimenti di epoca storica e di essi ci rimangono anche testimonianze da documenti dei contemporanei. Per secoli, a partire dal Medio Evo, la Repubblica di Venezia ha attuato opere idrauliche imponenti per mantenere la laguna: i tagli per deviare i fiumi che sboccavano in laguna ed i Murazzi come difesa a mare. Queste opere hanno contribuito a modellare il litorale e sono state proseguite fino ai primi del secolo XX. Nonostante i cospicui interventi dell'uomo, il sistema di dune dell'Alto Adriatico offre tuttora il più ampio sviluppo di spiagge del nostro paese; esse negli ultimi decenni sono divenute sede di importanti attività turistiche, che hanno portato il benessere in un'area prima malarica e quasi disabitata, ma il cui peso ambientale è evidente a tutti. Alcune aree di notevole valore

ambientale, fortunatamente, si possono ancora riconoscere in fasce come quelle fra Bibione e Caorle o fra Chioggia e Ravenna.

Le spiagge si prolungano ancora su gran parte della costa adriatica a Sud di Rimini, nelle Marche ed Abruzzo fino ad oltre Pescara, però in generale l'arenile forma una striscia abbastanza sottile, essendo limitato verso l'interno dalla ferrovia, da strade, centri abitati e dalle superfici utilizzate da fiorenti attività orticole. Sempre

sull'Adriatico va ricordata l'ampia fascia sabbiosa che da Termoli si sviluppa fino ai settori settentrionali del Gargano.

L'Adriatico meridionale e lo Jonio presentano una continua alternanza di coste alte, rocciose e di lidi sabbiosi. Le spiagge sono estese con continuità solo a Sud di Manfredonia, poi nel resto della Puglia le coste sono per lo più rocciose, pur non mancando importanti tratti residui di più o meno sottili sistemi dunali, soprattutto nel Salento (vedi foto). Più ampi e profondi sistemi spiaggia-duna sono ancora presenti nel tratto fra Taranto, Metaponto e Policoro (qui con pendenze medie fra 1 e 1,5%), mentre spiagge di una certa estensione si sviluppano poi all'estuario dei maggiori fiumi (Piana di Sibari, Lidi di Catanzaro).

Il basso Tirreno in Campania, Basilicata e Calabria presenta analoghe caratteristiche, con coste prevalentemente alte e rocciose, alternate a brevi lidi sabbiosi (Piana di Gioia Tauro, Piana di Sant'Eufemia, Golfo di Policastro); le spiagge, alcune di grande bellezza, hanno quindi soltanto sviluppo locale. Risalendo si incontra l'ampia Piana del Sele, che si estende fra Paestum e Salerno, poi le spiagge riprendono a Nord della

Penisola Sorrentina solo in alcuni tratti lungo le espansioni vulcaniche dell'area di Napoli. Da Terracina verso Nord riprende il dominio dei lidi sabbiosi, interrotti da alcuni promontori rocciosi (Circeo, Civitavecchia, Argentario, Uccellina, Livorno, Punta Ala, Piombino). I valori medi delle pendenze tendono a diminuire da Sud verso Nord (1% attorno a Viareggio).



Distribuzione spaziale dei sistemi spiaggia-duna italiani

La Liguria presenta infine coste prevalentemente alte cui si possono alternare brevi lidi sabbiosi, soprattutto in corrispondenza di piccole foci fluviali, caratterizzati sempre da pendenze significative (3-6%), e da sviluppo solo locale.

Come visto, il secondo esteso complesso di litorali sabbiosi peninsulari italiani si sviluppa sull'alto e medio Tirreno tra Viareggio e la Piana del Sele. Le coste sabbiose tirreniche di questo ampio settore differiscono profondamente da quelle adriatiche, sia come morfologia, sia soprattutto nel popolamento vegetale che è caratterizzato da un mediterraneismo molto più marcato. Tra gli elementi vegetali tirrenici che mancano sull'Adriatico si possono ricordare una miriade di agamospecie di *Limonium* (i gruppi di *L. multiforme*, *L. pontium*, *L. remotispiculum* ed altri), la palma nana (*Chamaerops humilis*) ed *Anthyllis barba-jovis*, che tuttavia si concentrano sulle coste rocciose; anche sulle spiagge e nelle macchie litorali si hanno comunque specie che non risalgono il versante orientale della Penisola.

Anche sulle isole maggiori vi sono ampie spiagge, a volte assai ben conservate, ma più spesso esposte ad un forte impatto turistico. In Sicilia (soprattutto in quella settentrionale) le coste sono prevalentemente alte, ma vi si alternano lidi sabbiosi, generalmente brevi, in corrispondenza delle baie e degli estuari fluviali. La pendenza media di questi lidi è generalmente

attorno all'1-2%. Nelle vicinanze di Palermo, Mondello e Sferracavallo, spiagge un tempo di grande bellezza anche naturalistica, sono ormai in gran parte urbanizzate; ancora di rilievo è invece il sistema di spiagge del Golfo di Castellammare. Le uniche fasce sabbiose abbastanza continue, estese, e, come vedremo, in alcuni tratti ancora di grande rilievo ambientale, sono quelle del versante sudoccidentale dell'Isola che si affacciano sul Canale di Sicilia (particolarmente importanti quelle dei litorali intorno a Gela), quelle del Siracusano e del Ragusano, e quelle della Piana di Catania.

In Sardegna si possono ricordare soprattutto le coste occidentali e meridionali dell'Isola, in particolare quelle del Golfo dell'Asinara, le spiagge connesse al Golfo d'Oristano e del Sulcis, il Poetto, la spiaggia di Quartu. Dune di rara bellezza sono quelle di Is Arenas (vedi foto), a Sud di Oristano, alcune delle quali sono alte decine di metri, e quelle tra Marina di Arbus e Capo Pecora, sempre nell'Oristanese.

Con questo elenco si sono indicati soltanto i più cospicui esempi di litorali sabbiosi, nei quali si possono trovare ambienti di particolare interesse naturalistico, senza avere assolutamente la pretesa di completezza ed omettendo molte zone di grande interesse turistico che però, proprio per questo, spesso hanno ormai perduto gran parte del loro valore ambientale.



rilievo e con effetti di grande portata, specialmente nelle aree euro-mediterranee, dove una discreta percentuale dei sistemi dunali è localizzata lungo penisole molto estese latitudinalmente (come quella italiana), o in grandi isole, che nei periodi catatermici (freddi) hanno rappresentato già nel loro insieme delle importantissime aree rifugiali. L'effetto combinato della "sindrome dell'ultima spiaggia" e dell'abbassamento del livello dei mari durante i picchi glaciali, con le conseguenti ampie connessioni territoriali sia verso Est che verso Sud-Ovest, hanno spesso causato una sovrapposizione multipla di componenti faunistiche e floristiche di tipo prevalentemente ma non esclusivamente xero-termofilo, originatesi non solo in ambienti strettamente litorali o perilitorali (macchie e garighe mediterranee o submediterranee), ma anche in praterie steppiche, brughiere, in ambienti sabbiosi interni perifluviali e perilacustri, o in aree salmastre interne. In questo senso non va probabilmente troppo sottovalutato nemmeno il ruolo svolto proprio dagli ambienti dunali e retrodunali sabbiosi come stretto "istmo ecologico termofilo" durante i periodi glaciali. Ciò potrebbe avere consentito l'accesso perilitoraneo recente di non trascurabili componenti alofile, igrofile ma anche moderatamente termofile, quindi non solo di provenienza settentrionale, ma anche sud-orientale (Balcani) e sud-occidentale (Sistema Sardo-Corso, Sicilia, Nord Africa), sfruttando le mutevoli continuità territoriali consentite dall'abbassamento dei livelli del mare.

Soprattutto in alcune aree del Paese, come i settori meridionali della Penisola, la Sicilia e la Sardegna, gli eventi del Messiniano, e in alcuni casi anche quelli oligocenici, hanno certamente lasciato un'impronta di grande rilievo, consentendo l'ingresso di molti elementi xerofili, psammo-igrofilo o psammo-alofili, perlopiù di origine o a prevalente distribuzione nordafricana, saharo-sindica oppure asiatica sud-occidentale che, seppure con alterne fortune, hanno potuto sopravvivere ed in molti casi differenziarsi localmente a livello specifico.

L'insieme di queste circostanze ha comunque prodotto anche nella fauna percentuali insolitamente alte di elementi specializzati ("specialisti" psammofili o psammo-alofili sia primari che secondari) negli attuali ambienti dunali, rispetto al numero totale di specie che attualmente ne costituiscono in modo più o meno stabile le comunità biotiche.



Calicnemis latreillei (dinastidi), elemento specializzato psammo-alofilo ad areale frammentato



La vegetazione delle spiagge

SANDRO PIGNATTI

43

■ Le piante colonizzano l'arenile e la duna

Generalmente le spiagge interessano soprattutto chi va al mare per divertimento; può sembrare inatteso che esse abbiano un grande valore anche dal punto di vista naturalistico e costituiscano una componente piccola ma importante della nostra identità culturale. In particolare, la flora delle spiagge è già da secoli oggetto di studio, per le sue caratteristiche biologiche ed ecologiche del tutto peculiari. Nel 1787 J. W. Goethe, giunto da poco a Venezia, andava sul Lido, allora quasi deserto, per una prima presa di contatto con il litorale mediterraneo: fu in questa occasione, che, dall'osservazione del teschio di un bovino restituito dal mare, ebbe la prima intuizione della teoria vertebrale del cranio.

Il litorale, nella sua fascia più esterna, a diretto contatto con il mare, il cosiddetto bagnasciuga, è sempre privo di vegetazione. Qui infatti si hanno condizioni ambientali che risultano proibitive a causa delle variazioni che si succedono con estrema rapidità: con l'alta marea, oppure durante le mareggiate, l'acqua marina spazza il litorale, che rimane impregnato di sale, mentre quando il mare si ritira, la sabbia superficiale si secca quasi completamente; basta una breve pioggia, perché il sale venga rapidamente dilavato. In questa fascia si accumulano i detriti portati dalle onde: a seconda delle condizioni dei fondali antistanti sono in generale costituiti da nicchi di molluschi oppure da alghe ed erbe marine come zosteria e posidonia. Su questi resti organici si sviluppa una fauna molto ricca, costituita in parte notevole da animali che si possono spostare rapidamente quando le condizioni si fanno sfavorevoli: specie marine che risalgono nelle pozze e sulla sabbia umida, oppure uccelli ed insetti in grado di volare. Per le piante, che non hanno possibilità di spostarsi, questo ambiente è invece del tutto inospitale: i semi vengono spazzati qua e là dal continuo rimescolamento della sabbia, una plantula che eventualmente riuscisse a germinare è sottoposta all'alternanza dello stress salino con l'alta marea e dell'atmosfera calda e secca quando la radiazione solare è più intensa. Queste sono condizioni estreme, che nessun vegetale è in grado di tollerare. Per questi motivi, sull'arenile la vita è limitata alla componente animale. Soltanto nella fascia più interna, al di sopra del livello massimo di marea, e dove le mareggiate possono arrivare soltanto in casi del tutto eccezionali, si possono osservare i primi rappresentanti del mondo vegetale.

Crucianelleto nell'area dell'Argentario (Toscana)

Sparto (*Ammophila littoralis*)*Elytrigia juncea*

Le pioniere. Nella prima fascia, in generale a 50 m e più dalla linea di costa, la vegetazione è costituita soltanto da specie a ciclo breve: si tratta di piante che germinano in autunno oppure alla fine dell'inverno ed hanno un periodo vegetativo che a volte dura soltanto 1-2 mesi, nel quale compiono la fioritura, producono frutti e quindi si seccano. Ai primi di giugno i frutti si aprono e lasciano cadere i semi che, coperti dalla sabbia, rimangono quieti fino all'autunno. La specie più comune è il ravastrello marittimo (*Cakile maritima*), una succulenta. Nella fascia più arretrata si nota la comparsa di graminacee perenni come gramigna delle spiagge (*Elytrigia*) e sparto (*Ammophila*), e la loro diffusione avvia il processo di formazione della duna.

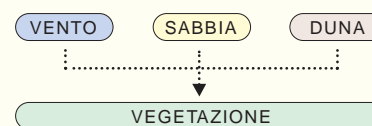
L'occupazione del suolo effettuata da *Cakile* è un fenomeno del tutto occasionale, nel quale si associano altre specie a ciclo breve come la salsola erba-cali (*Salsola kali*) e l'eufobia delle spiagge (*Euphorbia peplis*): la copertura della superficie è molto bassa, spesso appena il 5 % del totale, ed alla fine

del periodo vegetativo rimangono soltanto pochi sterpi secchi, che vengono portati via dal vento; i semi nell'anno successivo germineranno probabilmente altrove. Si tratta dunque di una fase pioniera del tutto instabile. Tuttavia essa è già sufficiente a formare un ostacolo alla sabbia portata dal vento, che in qualche punto comincia ad accumularsi.

Dune embrionali. In questo processo si inserisce *Elytrigia juncea* (più nota con il nome di *Agropyrum junceum*), che è una graminacea perenne psammofila, cioè adattata alla vita sulla sabbia. Essa ha la necessità di distanziare l'apparato radicale dalla falda profonda del suolo, che è costituita da acqua salmastra, e soltanto i semi caduti su questi accumuli di sabbia producono piante in grado di svilupparsi. A differenza di *Cakile* e *Salsola* si tratta di una specie che produce rizomi orizzontali: questi strisciano sulla sabbia oppure si propagano a

Nella fascia più interna le spiagge hanno la tendenza a modellarsi e costituire ondulazioni alte 4-6 m sul livello del mare: le dune. Nelle fasce sabbiose più ristrette può trattarsi soltanto di sabbia accumulata contro un argine oppure la scarpata della strada litoranea; dove invece la formazione sabbiosa è ampia, le dune costituiscono una fascia profonda centinaia di metri. Si tratta di un ambiente il cui aspetto primigenio viene immediatamente percepito dal visitatore, dove volentieri ci si ferma a campeggiare, ed anche un obiettivo classico per le ricerche dei naturalisti.

La prima interpretazione scientifica di questo ambiente è dovuta ad uno studioso francese, Kuhnholz-Lordat, che attribuisce la genesi delle dune all'interazione tra vento e vegetazione, che costituiscono il "binomio dinamico": in realtà anche un terzo fattore è necessario, e cioè la presenza di sabbia, perché se il suolo fosse roccioso le dune non si potrebbero formare. Sembra dunque più realistico parlare di un trinomio dinamico:



Il vento, sostanzialmente la brezza marina, che si ripete quasi ogni giorno, sposta la sabbia verso l'interno; la vegetazione che si impianta su questa costituisce un ostacolo e la sabbia si ammucchia formando la duna. Quando si hanno bufere con vento intenso le parti più elevate e più esposte vengono invece erose e la sabbia viene portata lontano, e questo processo è tanto più intenso quanto più alta è la duna. Si stabilisce così un livello di compensazione, nel quale deposizione ed erosione si equilibrano ed in questo modo viene regolata l'altezza della duna. Sulle coste che fronteggiano gli oceani si possono avere dune molto elevate, fino a 20-30 m e più.

La duna è un ambiente del tutto speciale. Le particelle della sabbia non sono in grado di trattenere l'umidità e le piante debbono adattarsi ad un substrato quasi privo di acqua e che sotto l'azione del sole può raggiungere temperature elevate; invece la salinità è molto bassa, contrariamente a quanto si potrebbe pensare, data la vicinanza del mare, in quanto il sale portato dall'aerosol marino viene facilmente dilavato dalle piogge. Tutti i fenomeni della vita vegetale ed animale debbono essere regolati in modo da poter tollerare senza danni queste condizioni.

Ravastrello marittimo (*Cakile maritima*)



Calcatreppola marittima (*Eryngium maritimum*)

qualche centimetro di profondità e consolidano il suolo sabbioso; i culmi fioriferi sono alti 3-4 dm. Alla fase pioniera segue così una vera e propria colonizzazione: la differenza è essenziale, perché le piante di *Elytrigia juncea* si mantengono per molti anni e l'occupazione del suolo diviene permanente; sull'ostacolo rappresentato dai fusti di questa graminacea la sabbia si deposita formando piccoli accumuli, alti talora fino a pochi decimetri: le dune embrionali. Si offre così ad altri semi la possibilità di germinare ad una certa distanza dalla falda salmastra e la vegetazione si propaga.

Anche in questo caso la copertura della superficie rimane bassa, tuttavia essa può raggiungere il 20-30 % del

totale. Inizia in questo modo un processo di auto-organizzazione: la vegetazione si costruisce il proprio ambiente.

Formazione della duna. Un ulteriore processo di sviluppo si avvia quando sulla duna embrionale compare un'altra graminacea psammofila perenne: lo spar-to pungente (*Ammophila littoralis* = *A. arenaria*). La differenza rispetto ad *Elytrigia juncea* è importante, benché si tratti di specie della stessa famiglia. In *Elytrigia juncea* i culmi crescono isolati e le foglie sono distanziate l'una dall'altra, flaccide e spesso aderenti alla superficie della sabbia; invece *Ammophila* ha robusti culmi eretti, alti fino a un metro e mezzo, le foglie sono anch'esse erette e formano un cespo denso alto un metro e più. La pianta cresce formando una copertura generale del suolo, che può estendersi su parecchi metri quadrati, e dove è impossibile decidere se si tratta di un solo individuo oppure di molti individui inestricabilmente mescolati. Questo costituisce una barriera alla sabbia portata dal vento, che si deposita tra i fusti di *Ammophila*, alzando il livello della duna; fusti e foglie crescono a loro volta e la duna s'innalza. Il processo di auto-organizzazione continua.

La duna è un ambiente estremamente instabile. La sabbia si accumula alla base di *Ammophila*, mentre i lati della duna, in forte pendenza, sono spesso sede di intensi processi erosivi. Sulle coste tirreniche, una singola libeccata con forte vento, della durata di poche ore, può asportare strati di sabbia anche di parecchi decimetri, che ovviamente vengono ridepositati su altre dune vici-



Camomilla marina (*Anthemis maritima*)

ne. Non è raro, dopo queste burrasche, vedere piante di *Ammophila* completamente scalzate dal suolo e con le radici scoperte. In generale dopo questi traumi però la graminacea rimane vitale ed in poco tempo si deposita nuova sabbia che permette alle radici di riprendere la loro funzione vegetativa.

Con la costruzione della duna la vegetazione psammofila raggiunge uno stadio di maturità. Nell'ammofileto troviamo ancora: erba medica marina (*Medicago marina*), assieme a vilucchio marittimo (*Calystegia soldanella*), zigolo delle spiagge (*Cyperus capitatus*), euforbia marittima (*Euphorbia paralias*), calcatreppola marittima (*Eryngium maritimum*), finocchio litorale spinoso (*Echinophora spinosa*), giglio marino comune (*Pancratium maritimum*), camomilla marina (*Anthemis maritima*), ginestrino delle spiagge (*Lotus commutatus*), violaciocca (*Matthiola* spp.) ed altre; la copertura sale di norma al 50-70 %.

Anche la vita animale è abbondante, soprattutto per la presenza di numerosissimi esemplari di alcuni molluschi (in particolare *Theba pisana*): i nicchi vengono spostati facilmente dal vento ed accumulati sul fianco della duna, assieme a resti delle conchiglie spiaggiate sulla riva del mare. I nicchi vengono sbriciolati ed il carbonato che li costituisce va ad arricchire il suolo.

L'ammofileto è uno stadio durevole, pur nelle continue variazioni imposte dal vento, e si può mantenere indefinitamente. Le prime dune verso il litorale (dune bianche) sono le più esposte al vento marino, mentre le dune più interne (dune grigie) sono maggiormente protette. Nelle dune più esposte le piante possono mantenersi solo con speciali adattamenti: *Ammophila* non viene mai sommer-

Santolina delle spiagge (*Otanthus maritimus*)Ononide screziata (*Ononis variegata*)Efedra (*Ephedra* sp.)

sa dalla sabbia perché le sue foglie sono molto più lunghe di quanto si possa accumulare in breve tempo; altre specie sono invece annuali ed affidano la sopravvivenza ai semi. Negli ambienti più protetti è permessa la sopravvivenza anche a piante che, per avere gemme prossime al terreno (camefite), potrebbero venire danneggiate dai movimenti della sabbia. Si prepara così un ulteriore cambiamento della vegetazione.

Le dune consolidate. Le dune della fascia più interna hanno altezza simile a quelle che ospitano l'ammofiletto, però si distinguono per un profilo più dolce, con fianchi in lieve pendio. *Ammophila* rimane presente anche in questa fascia, però in generale si tratta di individui di dimensioni minori e con crescita meno densa. Il substrato anche qui è sabbioso, tuttavia con una certa componente di terra fine, così da risultare maggiormente compatto. La copertura del suolo è più ampia che nelle fasi precedenti, grazie alla presenza di specie di piccole dimensioni. La deposizione di sabbia portata dal vento qui è quasi completamente cessata, ed anche i processi erosivi, grazie alla copertura vegetale, sono ridotti: la serie dunale qui appare abbastanza stabilizzata.

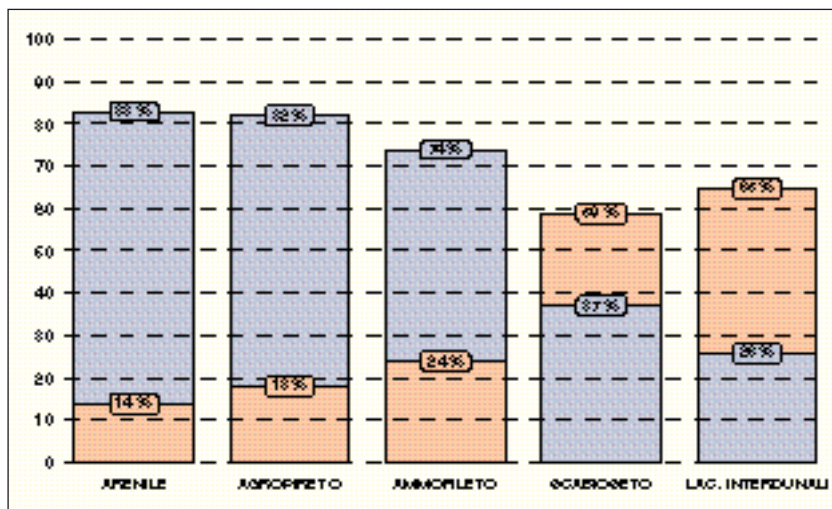
Sulle coste mediterranee in questo ambiente si ha il "crucianelleto", con specie psammofile lignificate alla base quali la camomilla marina, *Crucianella maritima* (che dà il nome all'associazione), la santolina delle spiagge (*Otanthus maritimus*=*Diotis maritima*); nella Sardegna settentrionale a queste

si aggiunge lo spillone delle spiagge (*Armeria pungens*). Sulle coste dell'Alto Adriatico, da Grado a Rimini, si ha invece lo scabioseto, con *Scabiosa argentea* var. *alba* (vedovina delle spiagge) e l'apocino veneto (*Trachomitum venetum*), mentre spesso la superficie della duna è coperta da un tappeto del muschio *Tortula ruraliformis*, assieme a vari licheni: questa vegetazione crittogamica si sviluppa soprattutto nei mesi invernali, quando la sabbia è più umida, e può arrivare anche ad una copertura totale del suolo. Anche le specie annuali sono molto diffuse e soprattutto in primavera possono dare splendide fioriture, ad esempio ononide screziata (*Ononis variegata*) e *Silene colorata*.

È molto interessante notare come su queste dune consolidate possa comparire, sia pure sporadicamente, qualche individuo di piante legnose, che normalmente crescono come arbusti o alberi, ma qui rimangono in generale di piccole dimensioni: qualche ginepro, leccio o lentisco sulle coste meridionali, oppure la ginestra (*Spartium junceum*, ginestra odorosa) sulle coste venete. Si tratta di una tendenza che col tempo si affermerà sempre più fino alla formazione della macchia e della selva litoranea. Lungo le dune consolidate delle regioni meridionali compaiono con una certa frequenza anche altre leguminose arbustive, come la rara ginestra bianca (*Retama raetam* subsp. *gussonei*) in Sicilia o le curiose efedracee del genere *Ephedra* (*Ephedra fragilis* ed *E. distachya*). Soprattutto lungo le dune nei pressi di foci fluviali lungo quasi tutta la Penisola e le Isole maggiori o in corrispondenza di ampie fiumare nel meridione, abbondano sovente anche le tamerici (*Tamarix* spp.).

Le lacune interdunali. Nel paesaggio dunale stabilizzato si viene tuttavia a formare un ambiente di aspetto del tutto differente, modellato dallo scorrimento dell'acqua meteorica verso le vallecole interposte tra l'una e l'altra duna. Si avviano in questo caso dei processi che spostano materiale dal sommo della duna alla base di questa: si tratta delle particelle più fini e della materia organica derivante dal disfacimento dei vegetali. Inoltre l'acqua arricchita di anidride carbonica ha funzione debolmente acida e scioglie il calcare presente nelle sabbie oppure nei nicchi dei molluschi accumulati sulla duna. In questo modo si ha un processo di dilavamento, la lacuna interdunale tende lentamente ad abbassarsi e si compatta sempre più; nel suolo si accumula il materiale fine (limo e argilla) e l'acqua della falda ha maggiore possibilità di risalire per capillarità. Dopo un tempo prolungato, che va misurato in decenni oppure un secolo o più, tra le dune consolidate si forma una fascia di ambienti umidi, a volte con vero e proprio carattere palustre, almeno in inverno.

Nella fascia interdunale flora e fauna sono del tutto differenziate rispetto all'ambiente di duna. Vengono a mancare i problemi meccanici generati dalla mobilità delle sabbie e dall'azione del vento ed il fattore selettivo primario diviene la capacità di raggiungere con le radici la falda acquifera. Per questo si nota subi-



Composizione granulometrica della sabbia sulla duna di Punta Sabbioni, Venezia. In rosso la sabbia fine (200-50µ) e in blu la sabbia grossolana (1000-200µ)

to una prevalenza delle geofite, piante con rizomi sotterranei come giunco nero comune (*Schoenus nigricans*), giunco marittimo (*Juncus maritimus*), giunco pungente (*Juncus acutus*) ed altre. Tuttavia qui si innesta un problema che finora aveva avuto poco significato: la salinità. Le piante di duna utilizzano soprattutto l'acqua piovana e - come già detto - non hanno particolari problemi di resistenza alla salinità. Invece le piante delle lacune interdunali attingono alla falda che, data la poca distanza dal mare, è infiltrata di acqua marina. In generale si tratta di acqua salmastra, cioè con salinità ridotta, però con forti variazioni stagionali: in inverno, quando le piogge sono abbondanti, l'ambiente ha acqua quasi dolce, in estate invece, mancando le piogge, la forte evaporazione accentua la risalita dell'acqua salmastra, ed in superficie si concentra la salinità. La risposta delle piante a questo fattore ecologico può variare; troveremo quindi:

- alofite obbligate (specie che vivono esclusivamente in ambiente con salinità bassa ma più o meno costante): canna del Po (*Eriophorum pectinatum*), giunchetto minore (*Holoschoenus romanus*), *Juncus maritimus*, *Juncus acutus*, *Limonium caspium*, piantaggine a foglie grasse (*Plantago crassifolia*);
- specie alo-tolleranti (che di regola vivono in ambienti continentali, ma possono sopportare la salinità, purché bassa): centauro giallo (*Blackstonia serotina*), *Centaurium* spp., elleborine palustre (*Epipactis palustris*), genziana mettimborza (*Gentiana pneumonanthe*), gramigna altissima (*Molinia altissima*), cannuccia di palude (*Phragmites australis*), piantaggine di Cornut (*Plantago cornuti*) e giunco nero comune.



Come già affermato, il fattore ecologico primario per le piante di spiaggia è dato dalla mobilità della sabbia per effetto del vento e dalla difficoltà di procurarsi l'acqua, e non dalla presenza di sale.

Per comprendere il significato del sale nell'ambiente della spiaggia, bisogna tenere presente che la sabbia è un substrato costituito da particelle molto più grandi di quelle di un normale terreno agrario o forestale. Nei suoli si possono distinguere tre componenti, di diametro progressivamente minore: sabbia, limo e argilla. Nei suoli dell'interno, limo e argilla prevalgono, nella spiaggia invece la sabbia costituisce il 100 % o quasi del substrato. I granelli di sabbia sono piccoli e non arrivano a costituire una massa compatta come le particelle di limo e di argilla: caratteristica essenziale della sabbia è quindi di rimanere incoerente. Per questo la sabbia risulta estremamente permeabile all'acqua.

Il sale è disciolto in grande quantità (concentrazione del 34-37 ‰) nell'acqua marina; non si tratta del solo cloruro di sodio, ma esso è accompagnato da quantità minori di altri cloruri, bromuri, solfati, ecc.

L'acqua marina imbeve la sabbia e costituisce una falda salata: le radici che potessero raggiungerla non potrebbero assorbire acqua a causa dell'elevata pressione osmotica determinata dai sali in soluzione. Così le piante di duna si tengono lontane dalla falda salata e allungano le loro radici orizzontalmente, negli strati superficiali, formando una

rete sviluppatissima. L'acqua piovana inumidisce la sabbia, e le radici di *Ammophila* (vedi foto) e delle altre specie psammofile sono in grado di catturarla prima che scenda per gravità e si mescoli alla falda salata. Dunque, le specie delle dune utilizzano l'acqua delle precipitazioni, come qualsiasi pianta dell'interno, e non si avvantaggiano dalla vicinanza dell'immensa quantità di acqua marina.

Il solo apporto salino nell'ambiente delle dune è dato dall'aerosol provocato dal moto ondoso: in prossimità della costa l'atmosfera porta una notevole quantità di acqua contenente sale in concentrazione poco differente da quella dell'acqua marina. Però il frangere della risacca sui lidi sabbiosi in regime di brezza è un fenomeno limitato, almeno da noi (sulle coste dell'oceano la situazione può essere differente) e la deposizione di sale si limita ad una fascia di qualche decina di metri, talora solo pochi metri dal bagnasciuga. Il fenomeno è più marcato durante le burrasche invernali e sulle coste rocciose, dove l'apporto salino può essere sensibile anche 100 e più metri al di sopra del livello del mare.

L'acqua salata eventualmente portata dall'aerosol si deposita sulla superficie della sabbia e sulle piante che vivono su questa: l'acqua evapora ed il sale rimane in forma cristallina, dunque relativamente innocua per la pianta. Alla prima pioggia il sale, che è solubilissimo, si scioglie, passa nella sabbia, fortemente diluito, e non disturba ulteriormente la pianta. Per questi motivi solo raramente si constatano danni da sale causati a piante della duna.

Da queste considerazioni si può comprendere perché le specie delle lacune interdunali, che attingono direttamente alla falda salmastra, risultino adattate ad un ambiente del tutto distinto da quello della duna.

Pino marittimo (*Pinus pinaster*)

In questo ambiente si ha pure la presenza di una ricca avifauna, che contribuisce a regolare i rapporti tra le specie vegetali. Si può ricordare un episodio molto significativo. Durante la seconda guerra mondiale a S. Nicolò di Lido, sul litorale veneziano, erano stati costruiti dei bunker in cemento, nascosti tra le dune dell'ammofiletto. Alla fine delle ostilità (aprile 1945) vennero fatti esplodere e ne rimasero dei crateri profondi alcuni metri; sul fondo di questi la falda formava un piccolo laghetto salmastro. Già nel 1950 si poteva constatare come alcuni di questi laghetti fossero stati invasi dalla palla-lisca costiera (*Schoenoplectus litoralis*), con fusti alti più di un metro. Si tratta di una specie che nonostante il nome non è

esclusiva dei litorali, mai osservata sull'isola del Lido di Venezia, ma sporadicamente diffusa alle foci dei fiumi dal Piave all'Isonzo. Le popolazioni più prossime distavano una ventina di chilometri; i frutti sono piccoli, sferici, lisci, non possono venire portati dal vento, e non avrebbero potuto arrivare galleggiando sulle acque, perché i laghetti di S. Nicolò erano privi di ogni connessione con altre acque dolci o salate. La spiegazione più verosimile è un trasporto da parte di uccelli, perché i frutti possono aderire al piumaggio, oppure più probabilmente, attraverso il canale intestinale (disseminazione endozoocora). Rimane comunque impressionante il breve tempo sufficiente perché questa specie riuscisse ad occupare la nicchia vacante.

Le zone umide interdunali ospitano una flora di grande valore ambientale e le interazioni tra le specie a livello di comunità sono del tutto peculiari: però questi ecosistemi sono ora in fase di rapida scomparsa, come in generale tutte le zone umide in Europa.

■ Macchia e selve litoranee

La vegetazione dei litorali sabbiosi raggiunge la sua forma più complessa nella fascia di transizione all'ambiente continentale, quando la superficie viene occupata da specie legnose: in generale una macchia di piante cespugliose costituisce la fase pioniera, che, quando le condizioni diventano favorevoli, viene sostituita da foresta d'alto fusto.

Pino d'Aleppo (*Pinus halepensis*)Pino domestico (*Pinus pinea*)

La vegetazione cespugliosa delle dune può venire osservata solamente in zone a clima mediterraneo: essa è costituita da ginepri di grandi dimensioni. Anche le specie accompagnatrici sono per lo più arbustive, come lentisco, fillirea ed i cisti; ad esse a volte si unisce anche il leccio, però sempre a portamento arbustivo. Su antichi complessi dunali ormai consolidati si possono avere altri tipi di vegetazione arbustiva, come la macchia a cisti oppure la macchia a lentisco ed olivo selvatico con la palma nana (*Chamaerops humilis*), il mirto (*Myrtus communis*), la fillirea a foglie strette (*Phillyrea angustifolia*), l'asparago pungente (*Asparagus acutifolius*) e l'edera spinosa (*Smilax aspera*). La macchia mediterranea è ampiamente trattata nel relativo volume di questa collana.

La selva litoranea è in generale costituita da pinete, tuttavia non si deve da questo dedurre che la vegetazione delle spiagge tenda naturalmente verso la pineta. Infatti nella maggior parte dei casi si tratta di pinete impiantate, o per lo meno mantenute tali, dall'uomo. Ce ne rendiamo conto anche dalle specie di pini che vi compaiono: *Pinus pinea*, *P. pinaster* e *P. halepensis*. Il primo è specie spontanea nella parte meridionale della Penisola Iberica e da noi compare soltanto come specie coltivata, salvo - forse - la pineta dei Peloritani in Sicilia. Il pino marittimo (*Pinus pinaster*), nonostante il nome, è specie dell'entroterra, diffusa in Liguria e Toscana settentrionale; sulle dune della costa tirrenica invece è in condizioni di coltura. Il pino d'Aleppo infine è spontaneo nelle zone più calde della Penisola e nelle Isole, però si presenta soprattutto in ambiente rupestre, ed anche qui le pinete litoranee, come ad esempio a Palinuro ed in

Sardegna a Porto Pino, sono probabilmente coltivate. Le pinete litoranee hanno uno splendido effetto paesaggistico, ma dal punto di vista ambientale sono piuttosto scadenti, fatta eccezione per quelle realmente naturali. Nelle pinete di rimboschimento in generale si ha un eccezionale accumulo di aghi sul terreno, ed essi soffocano o banalizzano il sottobosco: alla fine il pino rimane solo, in una sorta di monocultura. Soltanto mediante diradamenti successivi è possibile indurre la ripresa delle specie di macchia, ed avviare una conversione verso la lecceta nella zona mediterranea.

Sulla costa dell'Alto Adriatico, da Ravenna a Grado, dove il clima è del tipo temperato, le latifoglie arbustive (fillirea, corniolo, ligustro, ecc.) soppiantano progressivamente il pino ed avviano il passaggio verso il querceto. Il tipo più complesso di vegetazione sulle dune più arretrate è costituito dalle querce: nella zona mediterranea si tratta del leccio (*Quercus ilex*), mentre sulla costa tirrenica e sull'Alto Adriatico si tratta di querceto misto con farnia, farnetto, cerro (*Quercus robur*, *Q. frainetto*, *Q. cerris*). Il querceto misto è un ambiente forestale di grande bellezza (cfr. il volume "Le foreste della Pianura Padana" di questa collana): gli individui più maestosi possono raggiungere 4-5 secoli di età ed un'altezza di 18-25 m; la flora del sottobosco è ricca di specie arbustive, ma la massima differenziazione è raggiunta dalla flora erbacea.

Meno ricca è la flora della lecceta, perché in generale si tratta di un bosco molto fitto, nel quale il denso fogliame dello strato arboreo sottrae quasi completamente la luce al sottobosco. La specie dominante è il leccio, quercia sempreverde, di dimensioni minori rispetto alle latifoglie (alta in generale 12-20 m), ma in questo ambiente estremamente rigogliosa (cfr. il volume "La macchia mediterranea" di questa collana).

■ Adattamenti

Per comprendere il significato degli adattamenti delle piante delle spiagge, è anzitutto necessario approfondire alcuni aspetti dell'ecologia del tutto particolare di questo ambiente. Infatti esso presenta per le piante condizioni che possono venire considerate estreme, cioè ai limiti della sopravvivenza per la maggior parte delle specie della nostra flora, e per questo si può ritenere che le psamofite (cioè le piante delle sabbie) debbano superare stress che sulla maggior parte delle altre piante avrebbero conseguenze letali. Come si è già visto nelle pagine precedenti, questi stress non derivano tanto dalla salinità, nonostante la vicinanza del mare, ma dalla secchezza dell'ambiente e dal calore. La secchezza è dovuta soprattutto al fatto che la sabbia, per le caratteristiche fisiche dei granelli che la compongono, trattiene l'acqua piovana solo in piccola parte e comunque per breve tempo. Il calore è dovuto alla radiazione solare, direttamente incidente sulla superficie della sabbia. I due effetti sono connessi tra loro,

almeno in parte: quindi il calore provoca l'evaporazione dell'umidità contenuta nella sabbia e contribuisce a renderla più secca; d'altra parte, la sabbia si surriscalda proprio per il fatto di essere secca.

Si nota un costante aumento dall'arenile aperto alla duna ed infine all'ambiente colonizzato dalle specie legnose (macchia e selva). Questo è dovuto al progressivo accumularsi di una frazione di terra fine (limo ed argilla), che riesce a trattenere una crescente quantità di acqua; comunque si tratta di valori estremamente bassi. In effetti, come tutti sanno, la sabbia durante le ore meridiane in superficie è del tutto secca, almeno nei mesi estivi. Le radici si sviluppano in profondità, dove però i valori di umidità restano molto bassi, e comunque non possono attingere alla falda che è salina e risulterebbe tossica.

Le temperature sulla spiaggia sono molto diversificate: ce ne rendiamo facilmente conto durante una giornata di vacanza al mare in estate. L'acqua del mare presso la costa può arrivare nei nostri mari a 22°-25° e sopra la superficie del mare la temperatura atmosferica è poco superiore, in generale tra 25° e 30°; sul bagnasciuga la continua evaporazione dell'acqua ha un effetto decisamente refrigerante e le temperature possono essere anche inferiori. Però, quando ci si inoltra sull'arenile, le temperature crescono rapidamente e verso il mezzogiorno ben pochi riescono a camminare sulla sabbia a piedi nudi: la sensazione di dolore sulla pianta del piede compare quando la temperatura della sabbia supera i 48°-50°. Sulla duna si possono avere temperature massime di 60° e più.

Una prima generale conseguenza per le piante consiste in una drammatica difficoltà di procurarsi l'acqua indispensabile per mantenere attivo il metabolismo cellulare. Le alofite sono le piante che vivono sul fango lagunare salato. Esse hanno un problema analogo e l'hanno risolto elevando la pressione osmotica dei liquidi cellulari: in questo modo riescono ad assorbire l'acqua della falda, lasciando il sale nel substrato. Questo tuttavia alle piante di spiaggia non riesce di alcuna utilità: infatti quando l'acqua nel suolo non c'è, non si può cercare di assorbirla, ed alzare la pressione osmotica non serve a nulla.

Consideriamo ora i principali adattamenti delle piante di spiaggia a queste proibitive condizioni ecologiche. Va in ogni caso affermato chiaramente che ogni



Euphorbia peplis, un'euforbiacea prostrata su una duna siciliana

Erba medica marina (*Medicago marina*)Finocchio litorale spinoso (*Echinophora spinosa*)Giglio marino comune (*Panicum maritimum*)

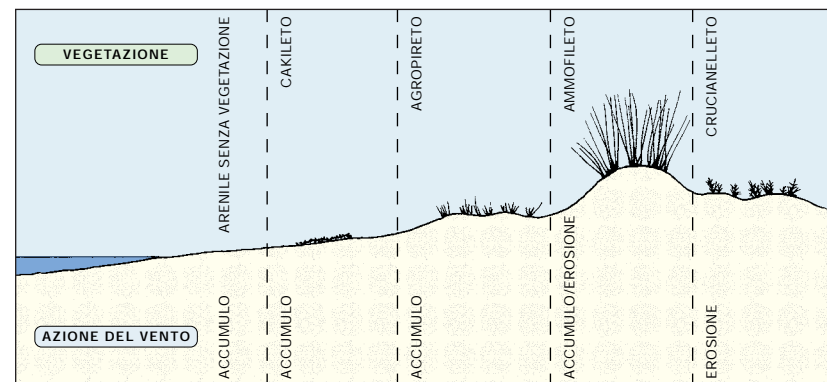
pianta ha una propria strategia diversa da quella di ogni altra e che, comunque, su questo argomento ne sappiamo ancora ben poco; possiamo soltanto limitarci ad alcuni esempi:

- **Succulenza.** Le piante di spiaggia che posseggono parti carnose, nelle quali possono conservare una riserva d'acqua, sono relativamente poche, ad esempio *Calystegia soldanella*, *Cakile maritima*.

- **Pelosità.** Le foglie ed i fusti giovani sono coperti da un feltro compatto di peli, che protegge la pianta da una eccessiva traspirazione, ad esempio *Otanthus maritimus*, erba medica marina (*Medicago marina*).

- **Rizomi striscianti sotto la sabbia.** Gli apparati radicali vengono sottratti alle temperature troppo elevate della coltre sabbiosa. Li si può osservare nelle piante di tipo graminoidi di quest'ambiente: *Ammophila littoralis*, *Cyperus capitatus*, *Elytrigia juncea*, *Sporobolus pungens*. Queste specie presentano la base del culmo avvolta da un manicotto di guaine fogliari secche, ed anche questo può costituire una protezione dal surriscaldamento. Presentano un apparato sotterraneo ben sviluppato, pur non essendo graminacee, anche *Eryngium maritimum*, *Euphorbia paralias*, *Echinophora spinosa* e il giglio marino comune (*Panicum maritimum*).

- **Foglie coriacee.** La spessa cuticola e la scarsità di stomi limitano la perdita d'acqua per traspirazione, come avviene in *Salsola kali*, *Echinophora spinosa*, *Crucianella maritima*, *Eryngium maritimum*.



Serie della vegetazione in un sistema di spiaggia-duna

- **Annualità.** Un adattamento di tipo temporale e non morfologico è dato dal ristretto periodo vegetativo. La vita si svolge nel breve periodo invernale-primaverile, quando le piogge sono più frequenti ed il calore non raggiunge i picchi estivi: *Euphorbia peplos*, *Ononis variegata*, *Pseudorhiza pumila* (lappola delle spiagge), *Silene colorata*, *Vulpia fasciculata* (paleo delle spiagge). Probabilmente gli adattamenti più importanti sono però di carattere ecofisiologico, riguardano cioè la capacità di compiere determinati processi vitali anche in condizioni estreme di secchezza e disidratazione, tuttavia su questo argomento siamo ancora scarsamente informati.

■ Successione della vegetazione

La vegetazione, come ogni oggetto vivente, è un sistema aperto, in continua trasformazione. L'immagine che noi possiamo avere della vegetazione non è dunque statica ma essenzialmente dinamica. Si parlerà quindi di "successione" quando, come scrive Mc Cormick: "...in un determinato sito differenti fitocenosi (ossia aggruppamenti vegetali) si presentino in successione temporale". Si tratta cioè di formazioni vegetazionali che prendono il posto l'una dell'altra in un alternarsi ben definito e per nulla casuale.

L'insieme delle associazioni che regolarmente si presentano in una successione costituisce una serie (ad esempio la serie dal cakileto alla macchia).

Le spiagge sono un classico esempio per gli studi sulle successioni: su questo argomento Kuhnholz Lordat ha fondato la sua teoria del binomio (o trinomio) dinamico, ed addirittura Lancisi per primo, già nel sec. XVIII, propose la "successione" come modello scientifico. Ridotta ai suoi termini essenziali, il succedersi della vegetazione delle spiagge può venire esemplificato come in figura.

Questo modello, che evidenzia la serie dal cakileto alla macchia, è sufficientemente chiaro ed è facilmente riscontrabile in moltissimi esempi nel Mediterraneo e sulle coste oceaniche, tuttavia esso lascia un po' insoddisfatti: infatti descrive cambiamenti che riscontriamo nella vegetazione percorrendo un transetto lineare, dalla riva del mare verso l'interno. È lecito però chiedersi dove risieda il dinamismo di tipo temporale, se cioè la successione avvenga sia nello spazio (dal litorale verso l'interno) che nel tempo, nel corso degli anni. La realtà è infatti molto più complessa.

Per chiarire le cose si possono confrontare due modelli, rispettivamente sincronico e diacronico, che in questo caso rappresentano diversi livelli di approfondimento nella comprensione del fenomeno:

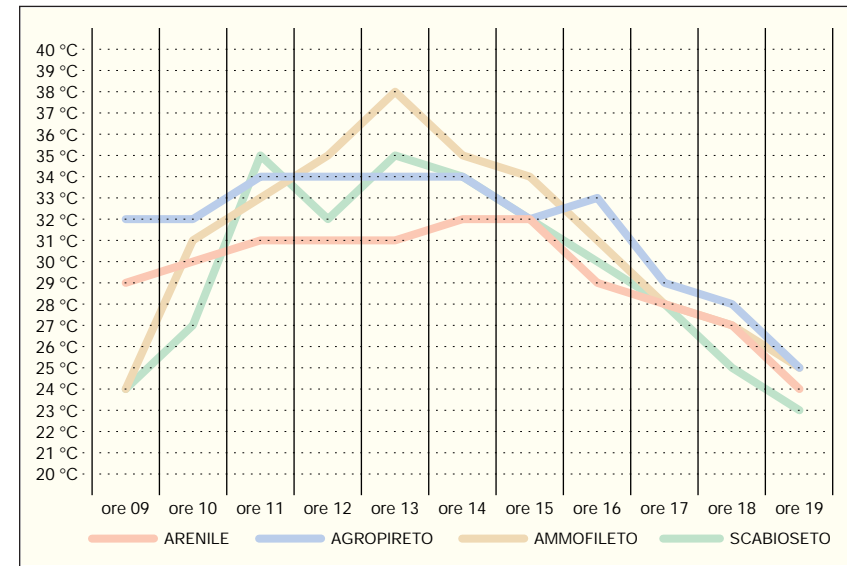
- Sincronico. L'insieme della vegetazione vista in un momento dato, corrisponde sostanzialmente allo schema di pag. 57.
- Diacronico. La successione, come ci appare quando venga seguita nel corso degli anni, decenni, secoli; ad esempio in un sistema ad elevata dinamicità come quello spiaggia-duna, in uno stesso punto si possono susseguire, anche in lassi di tempo relativamente brevi, associazioni vegetazionali differenti.

In realtà i fenomeni biologici hanno in generale andamento ciclico, ed anche la successione presa in esame rientra in questo modello.

Ad ogni passaggio di stagione e via via negli anni (a meno di grossi turbamenti esterni, quali catastrofi naturali o interventi antropici) i vari tipi di vegetazione (che nel modello sincronico appaiono stabili nella loro posizione) si stabiliscono su posizioni più avanzate. Alla fine avremo di nuovo un modello sincronico uguale al precedente ma il tutto è frutto di un processo diacronico che si è svolto durante decenni.

Ogni anno la vegetazione ha una determinata crescita, poi seguono fioritura, fruttificazione, alcune piante perdono le foglie, altre si seccano completamente, poi nell'anno successivo il ciclo riprende con crescita, fioritura, ecc., però su posizioni un po' più avanzate, e poi avanti, avanti, si passa da uno stadio all'altro, da un'associazione all'altra. Si ottiene quindi lo schema precedente, sincronico, ma il processo è intrinsecamente diacronico: esponendolo in maniera sincronica il fenomeno viene linearizzato e se ne perde la complessità.

In effetti può anche succedere di aver l'occasione di osservare il fenomeno in serie diacronica. Sulla spiaggia di Punta Sabbioni, presso Venezia, venne costruito, ai primi del sec. XX, il molo foraneo per evitare l'insabbiamento del porto. Esso, secondo la cartografia del tempo, si addentrava nel mare su fondali di 1-2 metri. Dopo la costruzione del molo, la sabbia ha cominciato ad accumularsi sul lato ad Est. Nel 1950-52, in occasione di rilevamenti sulla vegetazione, la spiaggia era avanzata nel mare di oltre 500 m rispetto a quanto verificato nel 1937-39. Oggi la linea di spiaggia è di oltre un km più avanzata



Variazione della temperatura in un sistema spiaggia-duna

rispetto alla situazione di sessant'anni prima. In questo periodo di tempo si è effettivamente avuta la successione delle associazioni come mostrato nello schema (pag. 57), però in maniera molto più caotica, con continue azioni e reazioni. Nel complesso, il modello diacronico appare più realistico, anche se più complicato; ma sappiamo tutti che i fenomeni vitali sono complicati.

La successione nella vegetazione trova una spiegazione nelle progressive variazioni delle caratteristiche del substrato. Quando si percorre la duna sembra che la sabbia sia sempre uniforme, invece precise analisi fisiche e chimiche possono rivelare differenze molto significative che ci permettono di comprendere come avvengano le fini variazioni in questo ambiente. Non si può in questa sede entrare nei dettagli, tuttavia sembra sufficiente fornire qualche dato sulle variazioni delle dimensioni delle particelle che compongono la sabbia (vedi pag. 50).

Si nota come l'arenile privo di vegetazione abbia la sabbia più grossolana (diametro da 200 a 1000 micron); le dimensioni dei granelli rimangono quasi identiche nell'agropireto, mentre nell'ammofileto si ha una netta diminuzione; nello scabioseto ed ancor più nelle lacune interdunali la sabbia grossolana diviene molto meno abbondante e viene in gran parte sostituita da sabbia fine con particelle a diametro inferiore a 200 micron. A queste si accompagnano le parallele variazioni del microclima (vedi grafico sopra), e combinando questi due dati è possibile definire una nicchia ben precisa per ciascuna delle associazioni considerate.

Giunco pungente (*Juncus acutus*)

■ L'origine della flora litoranea

Alcune evidenze ci permettono di ipotizzare che l'origine della flora litoranea sia molto antica: infatti si ritrovano simili gruppi e adattamenti sui due lati dell'Atlantico settentrionale, in Europa e Nordamerica, quindi si può supporre che questa vegetazione fosse già esistente nel Terziario quando gli scambi floristici tra i due continenti erano ancora possibili.

Alcuni casi possono venire discussi: *Elymus farctus* s.l. è un gruppo (che include anche gli affini generi *Agropyrum*, *Elytrigia* ed *Eremopyrum*) concentrato negli ambienti subdesertici dell'Asia Centrale; si hanno diverse sottospecie distribuite sulle coste atlantiche e sulle spiagge mediterranee.

Sembra, dai dati cromosomici, che il tipo atlantico sia quello ancestrale, mentre la stirpe diffusa nel Mediterraneo rappresenterebbe l'ultimo arrivato nell'evoluzione del gruppo.

Anche in *Ammophila* si hanno sottospecie distinte sulle coste atlantiche e mediterranee, qui però si tratta probabilmente di un gruppo di derivazione occidentale. Più problematica è l'interpretazione di *Juncus litoralis*, che è strettamente collegato a *J. acutus*, specie decisamente alofila, largamente distribuita sui suoli salati. *J. litoralis* è invece strettamente localizzato nell'ambiente delle lacune interdunali, su suolo sabbioso salmastro: è stato lungamente ritenuto specie endemica in Italia (con il nome di *J. tommasinii*) ed altrove confuso con *J. acutus*.

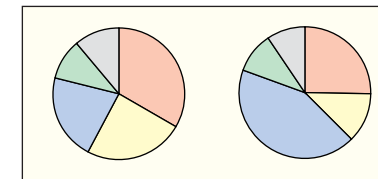
Da questi ed altri esempi sembra di poter confermare che la flora delle spiagge mediterranee si sia sviluppata in epoca relativamente recente, probabilmente dopo il Messiniano, cioè durante gli ultimi 5 milioni di anni, anche in connessione con le continue variazioni di livello del Mediterraneo durante le glaciazioni.

Questa flora litoranea non è composta da un numero molto elevato di specie: nelle figure a destra, vengono rappresentati i grafici costruiti sulla flora delle spiagge vicino a Venezia, che comprende in tutto 110 specie. Sono state analizzate sia le forme biologiche (cioè gli adattamenti rispetto alla stagione avversa) che i tipi corologici (cioè la distribuzione geografica delle singole specie). Tanto le forme biologiche che i tipi corologici hanno una distribuzione che varia

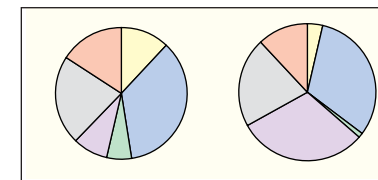
decisamente rispetto a quella della flora italiana considerata nel suo complesso.

In particolare, per quanto riguarda la forme biologiche si nota che sulle spiagge prevalgono specie annuali e specie erbacee con organi sotterranei, mentre nella flora italiana il gruppo prevalente è costituito dalle erbacee perenni.

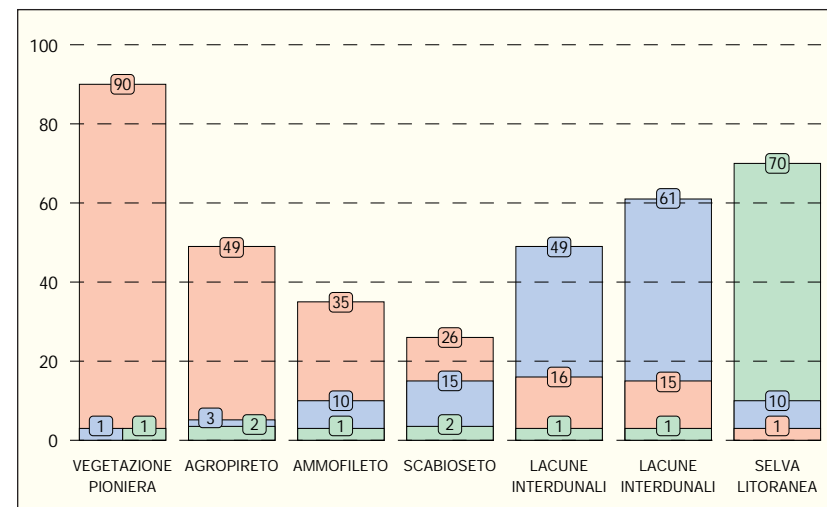
Più complessa appare la situazione per quanto riguarda i corotipi: le mediterranee (specie meridionali) sono ampiamente rappresentate in entrambi i casi, ma le specie settentrionali, molto abbondanti nella flora italiana, sulle spiagge sono ridotte ad una componente del tutto secondaria; invece sulle spiagge sia le specie occidentali che quelle orientali sono decisamente più abbondanti che nel totale della nostra flora.



Incidenza percentuale delle forme biologiche nella flora delle spiagge, a Venezia (sinistra) e nella flora d'Italia (destra).
Azzurro: specie annuali; rosa: erbe con rizomi sotterranei; giallo: erbe perenni; verde: arbusti nani; marrone: cespugli e alberi.



Incidenza percentuale dei tipi corologici nella flora delle spiagge, a Venezia (sinistra) e nella flora d'Italia (destra).
Azzurro: specie occidentali; rosa: specie meridionali; giallo: orientali; verde: specie settentrionali; marrone: specie eurasiatiche; arancio: specie cosmopolite ed esotiche.



Variazioni delle forme biologiche nella successione delle spiagge a Venezia. In rosso: specie erbacee annuali; in blu: erbe perenni; in verde: cespugli ed alberi