

SEGRETERIATO GENERALE DELLA
PRESIDENZA DELLA REPUBBLICA

**L'AMBIENTE COSTIERO:
LA DUNA PRESENTE NELLA TENUTA
DI CASTELPORZIANO**



*Commissione Tecnico Scientifica della
Tenuta Presidenziale di Castelporziano*

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE
DETTA DEI QUARANTA



ROMA 2014

SEGRETARIATO GENERALE DELLA
PRESIDENZA DELLA REPUBBLICA

**L'AMBIENTE COSTIERO:
LA DUNA PRESENTE NELLA TENUTA
DI CASTELPORZIANO**

Loretta Gratani, Andrea Bonito

*Commissione Tecnico Scientifica della
Tenuta Presidenziale di Castelporziano*

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE
DETTA DEI QUARANTA



ROMA 2014

Loretta Gratani è Professore Ordinario di Ecologia Vegetale presso il Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma, è Rappresentante del CNR presso l'International Union for Conservation of Nature (IUCN) ed è fra gli esperti della IUFRO – International Directory of Woody Plant Physiologists.

Andrea Bonito è Dottore di Ricerca in Scienze Ecologiche presso il Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma e fotografo naturalista.

Aleandro Tinelli è Capo Area Funzionale “Studi Ambientali e rapporti con gli enti scientifici e di Ricerca” nell'ambito del servizio tenute e Giardini, responsabile dell' Osservatorio multidisciplinare per lo studio degli Ecosistemi costieri mediterranei della Tenuta di Castelporziano.

Fotografie di Andrea Bonito

Indice

Presentazione	4
Introduzione	5
Le strategie delle specie della duna sabbiosa	13
La duna all'interno della Tenuta di Castelporziano	21
Differenze fra le specie presenti sulla duna a “Grotta di Piastra” e a “La Focetta”	36
Analisi della biomassa e dell'indice di area fogliare (LAI)	44
Il ciclo fenologico delle specie della duna	44
La riqualificazione ambientale della duna all'interno della Tenuta di Castelporziano <i>(a cura di Aleandro Tinelli)</i>	49
Conclusioni	53
Specie citate nel testo	55
Bibliografia	56

Presentazione

Lungo le coste del Mediterraneo, le dune sabbiose sono la testimonianza delle vicende che da due milioni di anni hanno segnato la vittoria delle terre emerse sul mare che, però, non ha mai cessato di rivendicare il suo dominio.

Nella Tenuta di Castelporziano, le dune sono rimaste a lungo indisturbate e la diffusione della flora e della fauna sono state regolate soltanto dalle onde del mare, dalla forza e dalla direzione dei venti.

Dagli inizi del secolo scorso, le attività lungo la costa si sono intensificate ed in questi ultimi decenni la pressione antropica per la fruizione turistica a favore delle popolazioni dell'entroterra ha imposto la realizzazione di infrastrutture che hanno accentuato la separazione tra le dune recenti e quelle antiche, modificando in più punti l'assetto del territorio.

Per ovviare a questo inconveniente, il Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica ha concesso al Comune di Roma una vasta superficie dunale della Tenuta, predisponendo, al tempo stesso, norme precise per la difesa ed il monitoraggio della parte rimanente dell'ecosistema costiero, secondo quanto stabilito dalla legislazione della Regione Lazio e dalle Direttive europee.

Questa pubblicazione, a cura di Loretta Gratani, Professore Ordinario di Ecologia Vegetale dell'Università di Roma Sapienza e di Andrea Bonito, Dottore di Ricerca presso la stessa Università, rappresenta un contributo originale finalizzato a far conoscere al pubblico gli aspetti più significativi della vegetazione della duna costiera attraverso la descrizione delle specie e dei loro habitat, unendo al rigore scientifico la magia del colore dei loro fiori.

Nel ringraziare il Segretariato Generale, il Servizio Tenute e Giardini e gli Autori per il loro notevole impegno, la Commissione Tecnico Scientifica della Tenuta si augura che una maggiore comprensione dell'ambiente delle dune da parte di migliaia di frequentatori annuali del litorale possa contribuire ad assicurare la loro conservazione.

Ervedo Giordano

Presidente della Commissione Tecnico Scientifica

Introduzione

A partire dall'ultimo secolo i crescenti livelli di antropizzazione hanno determinato una trasformazione del paesaggio la cui gestione necessita di metodologie idonee finalizzate alla conservazione e alla fruizione sostenibile. Il crescente interesse per le problematiche ambientali e l'attenzione dell'opinione pubblica per i problemi connessi alla salvaguardia del territorio sottolineano l'importanza di una politica di gestione del patrimonio ambientale, in particolare per le aree ad elevata valenza. Considerando che la conservazione della biodiversità è uno degli obiettivi prioritari della Comunità Scientifica Europea, in accordo con le raccomandazioni della Convenzione sulla Biodiversità (CBD), dell'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN) e dell'Important Plant Areas (IPA) per l'identificazione delle aree geograficamente più importanti per il mantenimento della biodiversità, nasce la necessità di mantenere l'equilibrio fra la conservazione (valore naturale), l'utilizzo delle risorse (valore economico) e la fruizione (qualità della vita), finalizzato alla tutela della biodiversità e alla valorizzazione del paesaggio, anche in considerazione di un incremento dello sviluppo sociale ed economico. La gestione dell'ambiente diventa quindi un problema culturale, politico ed economico per la sua grande incidenza a tutti i livelli sociali.

Fra gli ecosistemi di tipo mediterraneo le dune sabbiose (Fig. 1) costituiscono un caso esemplare di ambiente dove l'azione delle forze fisiche e chimiche consente l'affermazione di specie altamente specializzate [21, 27, 30, 35, 40, 43, 44, 45, 47, 48, 53, 68, 72].

Una delle caratteristiche dell'ecosistema dunale è la diversità ecologica in termini di geomorfologia, eterogeneità ambientale e presenza di specie.

La sabbia è un aggregato incoerente di particelle di dimensioni comprese tra 2 e 0.063 mm, il cui colore può variare dal bianco delle sabbie calcaree, al rosato delle sabbie feldspatiche, al grigio scuro delle sabbie ilmenitiche del Tirreno meridionale, in relazione alla diversa tipologia di rocce da cui le sabbie derivano e a seguito dei processi di demolizione ad opera di agenti atmosferici. La sabbia è caratterizzata da un modesto contenuto di sostanza organica (in media 0.19 %) e nutrienti (K, Na, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu < 1 %) [35] e da una scarsa capacità di ritenzione idrica [30, 35, 44, 53] (Tab. 1).



Fig. 1. Le dune sabbiose lungo il litorale che si sviluppa all'interno della Tenuta di Castelporziano.

	pH	sostanza organica g/100g	carbonato di calcio g/100g	azoto totale mg/100g	sabbia %	limo %	argilla %
Dune mobili	7.5	0.15	22.36	14.00	98.0	2.0	0.0
Dune fisse	7.0	0.39	14.22	12.50	99.6	0.0	0.4

Tab. 1. Caratterizzazione chimico-fisica della sabbia (campioni prelevati a 30 cm di profondità nelle dune mobili e nelle dune fisse) all'interno della Tenuta di Castelporziano (da Gratani 1987, modificato).

Il vento è l'elemento dominante nel determinare e modificare la forma delle dune. Nelle zone costiere il vento sottrae materiali detritici alle spiagge e li sospinge nell'entroterra, dove possono invadere superfici anche molto ampie e dove i cordoni sabbiosi si sviluppano parallelamente alla linea di riva, in direzione quasi perpendicolare a quella dei venti che spirano con maggiore frequenza ed intensità. Il vento sospinge i granelli di sabbia sul fianco ad esso esposto e li riversa oltre la sommità, da dove cadono per gravità, formando dune mobili, che avanzano secondo la direzione dei venti dominanti [1, 75].

Nei sistemi sabbiosi costieri in ambiente Mediterraneo l'effetto dei fattori di stress diminuisce all'aumentare della distanza dalla zona afitoica, determinando, verso l'entroterra, un aumento di diversità e densità delle specie vegetali [47, 57, 88] (Fig. 2).



Fig. 2. Variazione della diversità e densità delle specie vegetali dalla zona afitoica verso l'entroterra.

La vegetazione gioca un ruolo fondamentale nella stabilizzazione delle dune sabbiose attraverso la mitigazione dell'erosione marina e degli eventi di burrasca [66].

I fattori che maggiormente incidono sulla presenza delle specie sono la salinità del substrato, la scarsa disponibilità idrica e le elevate temperature, associate a alti livelli di radiazione e ai venti carichi di salsedine [4, 36, 40, 43, 53, 55, 90].

In particolare, subito dopo la zona afitoica, dove il moto ondoso e la forte salinità non consentono la colonizzazione, si possono distinguere verso l'entroterra fasce di vegetazione in cui le specie colonizzatrici costituiscono comunità caratterizzate da una ridotta ampiezza ecologica. Le dune embrionali sono continuamente modellate dal vento e sono seguite dalle dune mobili, dalle dune semifisse e da quelle fisse. Tali tipologie di duna, in ambiente non antropizzato ospitano specie diverse capaci di utilizzare le risorse disponibili, di sostenere l'effetto dei venti e le dinamiche della costa [44, 53, 55, 76, 78].

Tuttavia, l'ambiente delle dune costiere è vulnerabile non solo per le caratteristiche intrinseche, ma anche per gli elevati livelli di pressione antropica [44, 53, 80] che, dalla metà del ventesimo secolo ad oggi, hanno determinato un susseguirsi di cambiamenti di uso del suolo, quali lo sviluppo urbanistico, gli insediamenti industriali, la realizzazione di porti e infrastrutture turistiche, queste ultime considerate una delle cause principali del degrado della duna costiera e dell'erosione dei litorali, e non da ultime la fruizione e le attività legate alla balneazione [2, 9, 21, 44]. È importante sottolineare che i danni meccanici, come ad esempio l'uso ripetuto dei trattori negli stabilimenti balneari, contribuiscono significativamente alla scomparsa della vegetazione, in particolare di quella delle prime fasce dunali [55](Fig.3). Tale fenomeno è evidente nelle aree costiere del Bacino del Mediterraneo [7, 16, 19, 65, 79], dove si osserva una profonda alterazione della seriazione delle fasce di vegetazione, associata ad una trasgressività delle specie all'interno di tali fasce e da notevoli livelli di arretramento, con la scomparsa di numerose specie endemiche [3, 24, 44, 63].



Fig. 3. Arretramento delle fasce di vegetazione sulla duna che si sviluppa lungo il litorale di Ostia.

Le dune costiere sono ampiamente presenti in Europa, sebbene la loro distribuzione non sia uniforme [56] e solo in pochi casi non risultano antropizzate. Attualmente, nell'allegato I della Direttiva "Habitat" 92/43/CEE risultano inseriti 17 diversi habitat che descrivono l'eterogeneità ambientale delle dune sabbiose in Europa [11] (Tab. 2).

Codice Natura 2000	Habitat
21	Dune marittime delle coste atlantiche, del Mare del Nord e del Baltico
2120	Dune mobili del cordone litorale con presenza di <i>Ammophila arenaria</i> (dune bianche)
2130*	Dune costiere fisse a vegetazione erbacea (dune grigie)
2140*	Dune fisse decalcificate con presenza di <i>Empetrum nigrum</i>
2150*	Dune fisse decalcificate atlantiche (<i>Calluno-Ulicetea</i>)
2160	Dune con presenza di <i>Hippophaë rhamnoides</i>
2170	Dune con presenza di <i>Salix repens</i> ssp. <i>argentea</i> (<i>Salicion arenariae</i>)
2180	Dune boschive delle regioni atlantica, continentale e boreale
2190	Depressioni umide interdunari
21A0	Machair (* in Irlanda)
22	Dune marittime delle coste mediterranee
2210	Dune fisse del litorale del <i>Crucianellion maritimae</i>
2220	Dune con presenza di <i>Euphorbia terracina</i>
2230	Dune con prati dei <i>Malcolmietalia</i>
2240	Dune con prati dei <i>Brachypodietalia</i> e vegetazione annua
2250*	Dune costiere con <i>Juniperus</i> spp.
2260	Dune con vegetazione di sclerofille dei <i>Cisto-Lavenduletalia</i>
2270*	Dune con foreste di <i>Pinus pinea</i> e/o <i>Pinus pinaster</i>

Il segno * indica i tipi di habitat prioritari

Tab. 2. Gli habitat relativi alle dune marittime in Europa, inseriti nell'allegato I della Direttiva "Habitat" 92/43/CEE.

Lo scopo di tale Direttiva è stato quello di creare il network "Natura 2000" per proteggere il patrimonio naturalistico presente in Europa (<http://www.minambiente.it/pagina/rete-natura-2000>). Natura 2000 rappresenta infatti il principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità. Si tratta di una rete ecologica diffusa su tutto il territorio dell'Unione per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie minacciate della flora e della fauna.

La rete Natura 2000 è costituita dai Siti di Interesse Comunitario (SIC), identificati dagli Stati Membri secondo quanto stabilito dalla Direttiva Habitat, che vengono successivamente designati quali Zone Speciali di Conservazione (ZSC). Comprende inoltre le Zone di Protezione Speciale (ZPS), istituite ai sensi della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli", concernente la conservazione degli uccelli selvatici. Nelle aree che compongono la rete Natura 2000 le attività umane non sono escluse. Infatti la Direttiva Habitat intende garantire la protezione della natura tenendo anche conto delle esigenze economiche,

sociali e culturali nonché delle particolarità regionali e locali (<http://www.minambiente.it/pagina/rete-natura-2000>). Le liste nazionali dei Siti di Interesse Comunitario ad oggi contengono approssimativamente 10.000 siti, che coprono circa il 12% del totale delle terre dell'Unione Europea [11]. I sistemi dunali costieri rappresentano aree relativamente piccole nell'ambito di tali siti tuttavia, poiché ospitano una elevata biodiversità, rientrano anche nella categoria III (si tratta generalmente di piccoli siti individuati per una o più caratteristiche naturali) delle aree protette della WCPA (World Commission on Protected Areas) e della IUCN (International Union for Conservation of Nature).

Le coste italiane, che hanno una lunghezza di 8300 km, per il 42% del totale sono interessate da fenomeni di erosione legati all'antropizzazione [59]. Inoltre le previsioni sul cambiamento climatico includono l'aspettativa che nel Bacino del Mediterraneo l'aumento dell'intensità e della lunghezza dello stress da aridità possa essere un fattore discriminante la presenza delle specie vegetali, in particolare di quelle più sensibili, che sono caratterizzate da una bassa soglia di tolleranza, al fine di non vanificare le funzioni (servizi ecosistemici) che la vegetazione delle dune svolge nel contenere l'erosione delle coste causata dai forti venti e dalle mareggiate e limitare la presenza di specie alloctone, in particolare delle specie aliene invasive (IAS, Invasive Alien Species), che contribuiscono a determinare alterazioni a livello fisionomico-strutturale [77]. Si sottolinea che le attività di giardinaggio nelle vicinanze delle zone costiere favoriscono l'introduzione di specie alloctone [54] (Fig.4, Fig.5), considerando che la competitività, in particolare delle IAS, è legata al loro livello di tolleranza alla salinità e all'elevato tasso di accrescimento delle stesse, che consente l'occupazione in breve tempo di aree perturbate [8, 13, 18, 22, 44, 84].



Fig. 4. *Carpobrotus* sp. in fiore



Fig. 5. Esempio fiorito di *Yucca gloriosa* L.

Per quanto riguarda l'Italia, le specie a rischio inserite nelle Liste Rosse Regionali sono *Pancreatium maritimum* L. categoria di rischio CR (gravemente minacciata) per la Liguria, le Marche e l'Abruzzo, *Matthiola sinuata* (L.) R.Br. categoria di rischio VU (Vulnerabile) per la Toscana, *Medicago marina* L. categoria di rischio VU per il Veneto, la Toscana e le Marche e *Malcolmia littorea* (L.) R.Br. categoria di rischio EN (minacciata) per l'Italia.

Il problema attualmente dibattuto a livello della comunità scientifica internazionale è quello di prevedere come il cambiamento climatico potrà interagire con l'antropizzazione nel determinare variazioni a livello di specie in sistemi diversi, con conseguenti danni a livello naturalistico e paesaggistico e ricadute negative a livello economico [5, 26]. Prevedere l'impatto del clima sul sistema dunale è complesso poiché gli effetti possono ripercuotersi a livelli diversi e uno dei fattori maggiormente critici potrebbe essere la variazione del livello del mare, che influenza sia la formazione che l'erosione delle dune [75]. Per quanto riguarda gli effetti del clima sulla vegetazione si può ipotizzare che l'aumento della concentrazione atmosferica di anidride carbonica (CO₂) potrebbe determinare un aumento della biomassa mentre l'aumento della temperatura un prolungamento dell'attività vegetativa [71, 91], con variazioni non prevedibili sulle comunità.

Si deve inoltre considerare che sono pochi gli studi relativi al restauro o al ripristino di aree degradate [5, 26] e che alcuni di questi sottolineano come la causa dell'insuccesso sia nell'impossibilità di interrompere un impatto antropico incontrollabile (Fig. 6).



Fig. 6. Costruzioni presenti lungo il litorale laziale.

Inoltre le azioni di contenimento dell'erosione costiera sono complesse e raramente risolutive a lungo termine e l'origine e la storia di ogni sistema dunale dovrebbe essere tenuta in considerazione nell'ambito di tali azioni [75]. Diventa quindi fondamentale approfondire la conoscenza sulla soglia di tolleranza delle specie ai fattori multistress (cambiamento climatico globale, interferenze antropiche, fattori naturali), finalizzata alla sostenibilità delle risorse dell'ecosistema sabbioso costiero [60] e al mantenimento dei pochi lembi a basso impatto antropico lungo le coste italiane [10, 53]. In tale ambito la conoscenza dei tratti chiave delle specie della duna può essere importante per progetti di reintroduzione nel caso di popolazioni wild di numero ridotto o dove l'habitat è frammentato [53, 69].

Le strategie delle specie della duna sabbiosa

Gli studi sulla tolleranza delle specie psammofile ai fattori di stress si dovrebbero concentrare sui tratti chiave utili per il monitoraggio. Si deve infatti sottolineare che per le specie che vivono in ambienti dove l'acqua è un fattore limitante è importante utilizzare efficientemente le risorse disponibili nei periodi favorevoli per la crescita. In particolare la temperatura influenza la lunghezza del ciclo fenologico e l'inizio dell'attività vegetativa [40, 43, 45,]. Inoltre la struttura delle foglie ha importanti implicazioni sulla capacità di risposta ai fattori di stress, poiché è in relazione alla capacità di fotosintetizzare e nello stesso tempo limitare le perdite di acqua per traspirazione [37, 53].

Le specie della duna sabbiosa vengono definite alofite poiché si sviluppano su un substrato ricco di sali e sono caratterizzate da una elevata diversità a livello morfologico, fisiologico e riproduttivo [17]. A livello fisiologico il potenziale osmotico del succo cellulare delle foglie varia da -4 a -20 bar e, in casi particolari, da -50 a -80 bar. In altre alofite lo strato endotermico della radice costituisce una barriera osmotica, mentre altre sono caratterizzate da succulenza (alto rapporto volume/superficie). Molte succulente aprono gli stomi di notte e fissano l'anidride carbonica in acidi organici come l'acido malico (Metabolismo Acido delle Crassulacee, CAM) per limitare le perdite di acqua, sebbene non tutte le alofite siano CAM. Una specie CAM può effettuare gli scambi gassosi perdendo solo 50-100 g di acqua per ogni grammo di anidride carbonica assorbito dall'atmosfera contro i 250-500 g di specie che hanno differenti meccanismi. Alcune alofite sono specie C_4 e sono caratterizzate da una anatomia fogliare (Kranz) determinata da una corona di cellule fotosintetiche, generalmente con pareti ispessite, che costituiscono la guaina del fascio. In tal modo le cellule del mesofillo fissano il carbonio in acido malico ed aspartico (C_4), che vengono in seguito trasferiti nelle cellule della guaina dove avviene la decarbossilazione con rilascio di CO_2 fissata dal ribulosio difosfato in acido tre fosfoglicerico, portando

alla formazione di saccarosio attraverso il ciclo di Calvin, ma limitando la perdita di CO₂ attraverso gli stomi, come avviene invece nelle specie C₃. Altre alofite possono abbassare il potenziale osmotico con un accumulo dell'amminoacido prolina nei vacuoli o nel citoplasma [81].

Fra le specie psammofile le *Poaceae*, come ad esempio *Elymus farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis (Fig. 7) e *Ammophila arenaria* (L.) Link. (Fig. 8, Fig. 9), si moltiplicano anche per via vegetativa, sviluppando estesi apparati radicali sia orizzontalmente che verticalmente e, minacciate continuamente di seppellimento, prolungano indefinitamente i loro rizomi in palchi successivi, imbrigliando la sabbia e svolgendo un ruolo determinante nel processo di consolidamento della duna [30] (Fig.10).



Fig. 7. *Elymus farctus*.



Fig. 8. *Ammophila arenaria*.



Fig. 9. Infiorescenza di *Ammophila arenaria*.

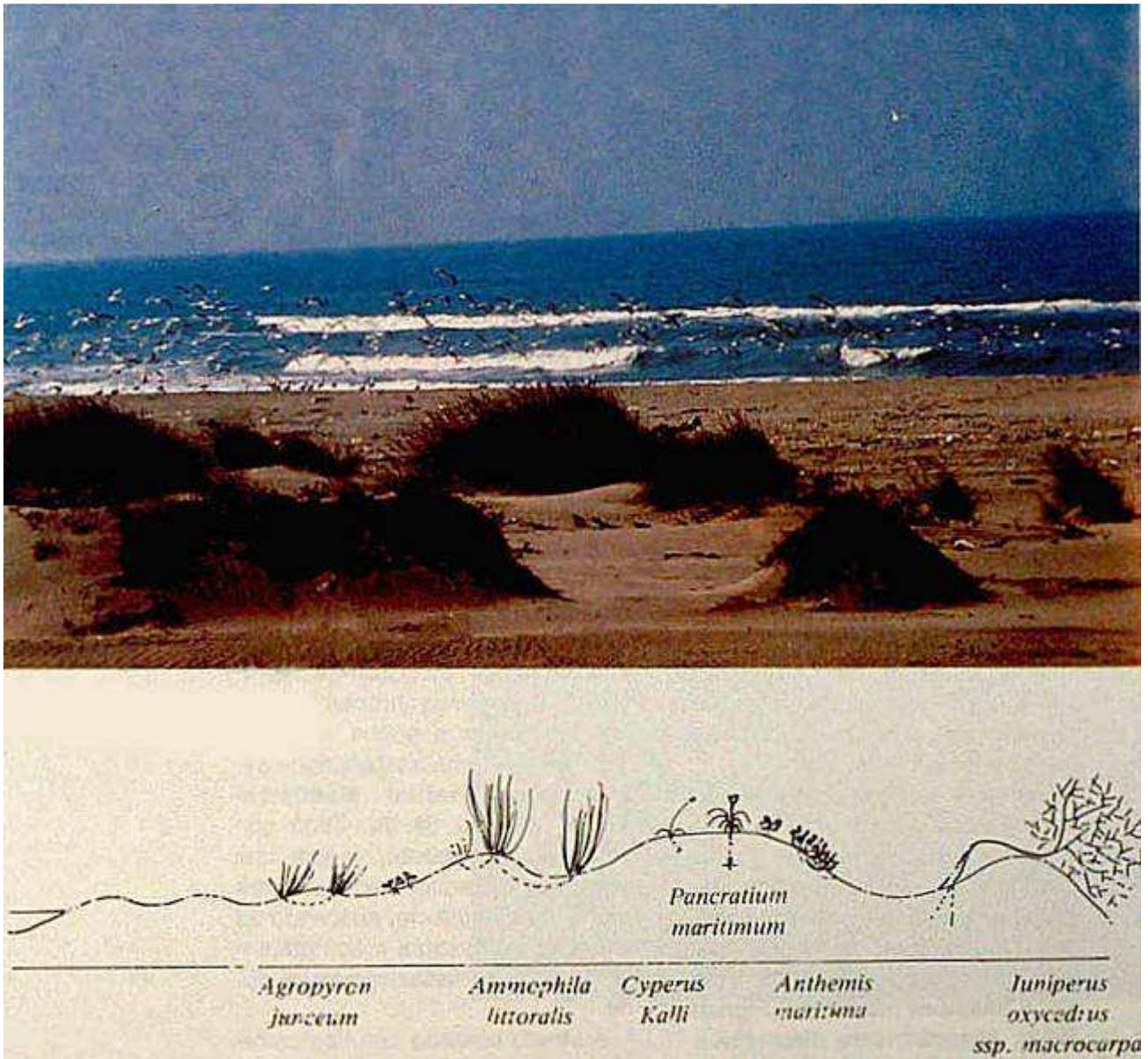


Fig. 10. In alto, una immagine del 1987 delle dune mobili colonizzate da *Ammophila arenaria*; in basso, schema delle specie colonizzatrici dalla zona afitoica verso le dune fisse colonizzate da *Juniperus oxycedrus* ssp. *macrocarpa* (da Gratani e Marinucci, 1985).

Altre specie, come ad esempio *Cakile maritima* Scop. (Fig. 11, Fig. 12), mostrano un elevato contenuto di acqua nei tessuti, che consente tassi fotosintetici sufficientemente alti associati ad un controllo stomatico elevato (Gratani et al., dati non pubblicati). *Cakile maritima* è caratterizzata dalla presenza di cellule che contengono tannini con funzione di protezione contro il disseccamento e possibili danni causati da animali [25].



Fig. 11. *Cakile maritima*.



Fig. 12. Infiorescenza di *Cakile maritima*.

Calystegia soldanella (L.) R.Br. (Fig. 13, Fig. 14) è una specie C_4 che generalmente colonizza le dune embrionali ed è caratterizzata da un rizoma perenne, foglie carnose e parenchima specializzato per la riserva di acqua vicino alla nervatura centrale. È distribuita in Europa meridionale e occidentale e nell'Europa settentrionale fino alla Scozia e alla Danimarca. Presenta inoltre tricomi ghiandolari specializzati nel mantenimento di una concentrazione di ioni nei limiti fisiologici in condizioni di aridità [15].



Fig. 13. *Calystegia soldanella* nella fase di fioritura.



Fig. 14. *Calystegia soldanella*.

Euphorbia paralias L. è una specie C_4 cespitosa perenne, con foglie carnose ed embricate, parenchima laticifero e aerenchima [15]. È presente in Europa meridionale e occidentale, dall'Irlanda, ai Paesi Bassi e alla Romania.

Otanthus maritimus (L.) Hoffmanns. & Link è una specie C_4 perenne, ricoperta di peli, con il parenchima vicino alle nervature centrali specializzato per l'accumulo dell'acqua e cristalli di inulina nelle cellule sotto l'epidermide. Presenta tricomi non ghiandolari su entrambe le superfici dell'epidermide, che svolgono un ruolo protettivo contro le elevate temperature e gli erbivori, mentre i tricomi ghiandolari producono composti con funzione antimicrobica [23, 83] e un effetto repellente contro gli insetti [14, 89]. È presente in Europa meridionale e occidentale fino al Sud-Est dell'Irlanda [15].

La duna all'interno della Tenuta di Castelporziano

La Tenuta di Castelporziano (41°41'5"N; 12°22'44"E) è una Riserva Naturale Statale istituita con D.M. il 12 maggio 1999 che comprende due SIC (IT6030027 "Castelporziano - fascia costiera" e IT6030028 "Castelporziano - querceti igrofil") ed una ZPS (IT6030084 per l'intera Tenuta) (Fig.15, Fig.16).

Il clima della zona di Castelporziano è di tipo mediterraneo, caratterizzato da una temperatura media minima del mese più freddo di 3.6 °C (febbraio), da una temperatura media massima del mese più caldo di 30.4 °C (agosto) e da una piovosità totale di 727 mm, distribuita in particolare in autunno-inverno (451 mm). Il periodo di aridità si presenta da giugno a agosto (dati della Stazione Meteorologica interna alla Tenuta, media del periodo 1985 – 2013) (Fig. 17).



Fig. 15. Fascia costiera della Tenuta di Castelporziano.



Fig. 16. La duna all'interno della Tenuta di Castelporziano.

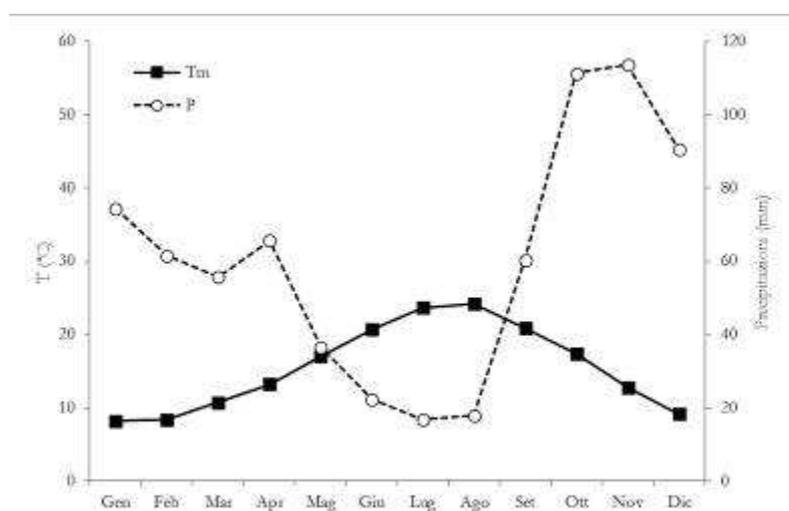


Fig. 17. Diagramma ombrotermico relativo alla Tenuta di Castelporziano (Stazione Meteorologica di Castelporziano) per il periodo 1985-2013. Tm = temperatura media mensile; P = precipitazioni totali mensili.

All'interno della Tenuta sono presenti lembi di vegetazione della duna organizzati in seriazioni per i bassi livelli di pressione antropica che la caratterizzano.

Si sottolineano tuttavia diversi livelli di conservazione, in particolare la zona de “La Focetta” ($41^{\circ}41'0.4''\text{N}$; $12^{\circ}22'30''\text{E}$) (Fig. 18) presenta uno stato di conservazione quasi inalterato mentre la zona di “Grotta di Piastra” ($41^{\circ}41'56''\text{N}$; $12^{\circ}20'57''\text{E}$), dove viene consentita la balneazione al personale della Tenuta e dove, seppure in modo limitato, viene fatto uso di mezzi meccanici, sono evidenti le conseguenze dell'impatto antropico (Fig. 19).



Fig. 18. La zona de “La Focetta”.



Fig. 19. La zona di “Grotta di Piastra”.

È possibile comparare lo stato di conservazione della duna a Castelporziano utilizzando i dati rilevati nella serie di studi effettuati dal gruppo di ricerca “vegetazione” negli anni 1980-1990 e negli anni 2009-2014 [47, 44].

Negli anni 1980-1990 la vegetazione della duna era caratterizzata dalla tipica seriazione che annoverava, subito dopo la zona afitoica, la fascia del *Salsolo-Cakiletum aegyptiacae* (Costa & Manzanet 1981) (*Cakiletum maritimae* Pignatti 1953), con la presenza di *Cakile maritima* Scop., *Chamaesyce pepelis* (L.) Prokh. e *Salsola kali* L.

A questa associazione seguiva l'*Echinophoro spinosae-Elymetum farcti* Géhu 1987 (*Agropyretum mediterraneum* (Kuhn.) BR.BL. 1933), con la presenza di *Elymus farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis, *Sporobolus pungens* (Schreb.) Kunth e *Cyperus capitatus* Vand. Fra le specie trasgressive erano presenti *Ammophila arenaria* (L.) Link., *Echinophora spinosa* L. e *Pancratium maritimum* L.

A contatto con l'agropireto e a volte frammisto ad esso, si rinveniva la successiva associazione *Echinophoro spinosae-Ammophiletum arundinaceae* (Géhu, Riv.-Mart. & R. Tx. in Géhu et al., 1984) (*Ammophiletum arundinaceae* BR.BL. 1933), caratterizzata da *Ammophila arenaria*, con la presenza di *Echinophora spinosa* L., *Ononis variegata* L. e *Medicago marina* L.

Verso l'entroterra era presente il *Loto cytisoidis-Crucianelletum maritimae* (Alcaraz et al. 1989) (*Crucianelletum maritimae* BR.BL. 1933), scomparso o impoverito nella maggior parte delle coste italiane, con la presenza di *Crucianella maritima* L. e *Pancratium maritimum* L. Erano inoltre presenti *Anthemis maritima* L., *Cutandia maritima* (L.) Benth., *Vulpia membranacea* (L.) Dumort., *Calystegia soldanella* (L.) R.Br. e *Eryngium maritimum* L. [47, 48] (Tab.3).

Seguiva la fascia a *Juniperus macrocarpa* Sm. (*Juniperus oxycedrus* L. subsp. *macrocarpa* (Sm.) Neilr.) e i primi elementi della macchia mediterranea [47] (Fig. 20).

	primavera			estate			autunno			inverno		
	Int. lum. $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	T °C	Vento Km/h	Int. lum. $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	T °C	Vento Km/h	Int. lum. $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	T °C	Vento Km/h	Int. lum. $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	T °C	Vento Km/h
Dune mobili	648	12	16.87	1212	28	14.92	592	10	14.76	537	7	16.68
Dune fisse	888	12	16.25	1406	28	14.37	629	9	14.22	592	8	16.07

Tab. 3. Variazioni dell'intensità luminosa (Int. lum., $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), della temperatura (T, °C) e della velocità del vento (vento, Km/h) rilevate a livello delle dune mobili e di quelle fisse durante l'anno 1985 (da Gratani 1987, modificato).



Fig. 20. La fascia a *Juniperus macrocarpa* (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*) e la macchia mediterranea a Castelporziano nel 1985.

Alcune considerazioni erano state fatte su *Ammophila arenaria* [30], evidenziando la sua capacità di colonizzazione a livello delle dune mobili (a 50-60 metri dalla linea di costa) (Fig. 21) e delle dune fisse a 80-100 metri dalla linea di costa (Fig. 22), con un decremento di biomassa in queste ultime.



Fig. 21. *Ammophila arenaria* sulla duna mobile di “Grotta di Piastra”.



Fig. 22. *Ammophila arenaria* sulle dune fisse di “Grotta di Piastra”.

Tale decremento è stato associato a una ridotta presenza di spore fungine nell'apparato radicale (G. Puppi, dati non pubblicati) determinanti per la fissazione dell'azoto, considerando il basso contenuto in elementi minerali di tale substrato, in accordo ai risultati di Koske e Havolrson [61], Koske et al. [62] e Nicolson [70], associato ad un minore contenuto in carbonato di calcio (ridotto del 36% nelle dune fisse) [30], in accordo ai risultati di Huiskes [58].

I risultati degli studi condotti negli anni 2009-2014, mettono in evidenza, nell'area de "La Focetta", subito dopo la zona afitoica, la presenza di *Cakile maritima*, *Chamaesyce peplis* e *Salsola kali* (Fig. 23, Fig. 24, Fig. 25).



Fig. 23. "La Focetta": la fascia a *Cakile maritima*, *Chamaesyce peplis* e *Salsola kali* dopo la zona afitoica.



Fig. 24. *Salsola kali*.



Fig. 25. *Chamaesyce peplis*.

Questa zona è seguita da quella delle dune embrionali con la presenza di *Elymus farctus*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Calystegia soldanella*, *Ammophila arenaria*, *Anthemis maritima*, *Salsola kali*, *Chamaesyce peplis* e *Cakile maritima* (Fig. 26, Fig. 27).



Fig. 26. Infiorescenza di *Eryngium maritimum*.



Fig. 27. *Echinophora spinosa*.

La duna mobile è colonizzata da *Ammophila arenaria*, *Anthemis maritima*, *Eryngium maritimum*, *Elymus farctus*, *Echinophora spinosa*, *Salsola kali*, *Chamaesyce pepelis*, *Pseudorhiza pumila* (L.) Grande, *Calyptegia soldanella*, *Silene colorata* Poir. e *Medicago marina* L. (Fig. 28, Fig. 29).



Fig. 28. Fioritura di *Anthemis maritima* sulle dune mobili de “La Focetta”.



Fig. 29. *Silene colorata* in fiore.

Seguono le dune semifisse con *Cutandia maritima*, *Silene colorata*, *Anthemis maritima*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Elymus farctus*, *Cyperus capitatus*, *Sporobolus pungens*, *Medicago marina*, *Calystegia soldanella*, *Vulpia membranacea*, *Centaurea sphaerocephala* L., *Plantago coronopus* L., *Pseudorlaya pumila*, *Pancreatium maritimum* e *Pbleum arenarium* L. (Fig. 30, Fig. 31).



Fig. 30. Infiorescenza di *Centaurea sphaerocephala*.



Fig. 31. *Pancratium maritimum* in fiore.

La duna fissa è caratterizzata dalla presenza di *Crucianella maritima* L., *Pancratium maritimum*, *Anthemis maritima*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Elymus farctus*, *Cyperus capitatus*, *Sporobolus pungens*, *Medicago marina*, *Calystegia soldanella*, *Vulpia membranacea*, *Silene colorata*, *Centaurea sphaerocephala*, *Plantago coronopus*, *Pseudorhiza pumila* e pochissimi individui di *Ononis variegata* L. e *Medicago littoralis* Loisel. (Fig. 32, Fig. 33).



Fig. 32. Dune semifisse e dune fisse nella zona de “La Focetta”.



Fig. 33. *Crucianella maritima*.

Segue la fascia a *Juniperus macrocarpa* (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*) e, a contatto, i primi elementi della macchia mediterranea (Fig. 34, Fig. 35).



Fig. 34. *Juniperus macrocarpa* (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*).



Fig. 35. Frutti di *Juniperus macrocarpa* (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*).

Differenze fra le specie presenti sulla duna a “Grotta di Piastra” e a “La Focetta”

Alcune differenze si osservano nella zona di “Grotta di Piastra” (Fig.36), dove il disturbo antropico ha determinato un arretramento delle fasce di vegetazione di circa 20 m rispetto alla situazione che si presentava negli anni 1985-1990, associata ad una elevata trasgressività delle specie nelle diverse fasce.

In questa zona la prima fascia è caratterizzata da *Cakile maritima* (10 individui su 270 m di costa) e pochi individui di *Chamaesyce peplis* e *Salsola kali* (Fig. 37).



Fig. 36. Le dune nella zona di “Grotta di Piastra”.

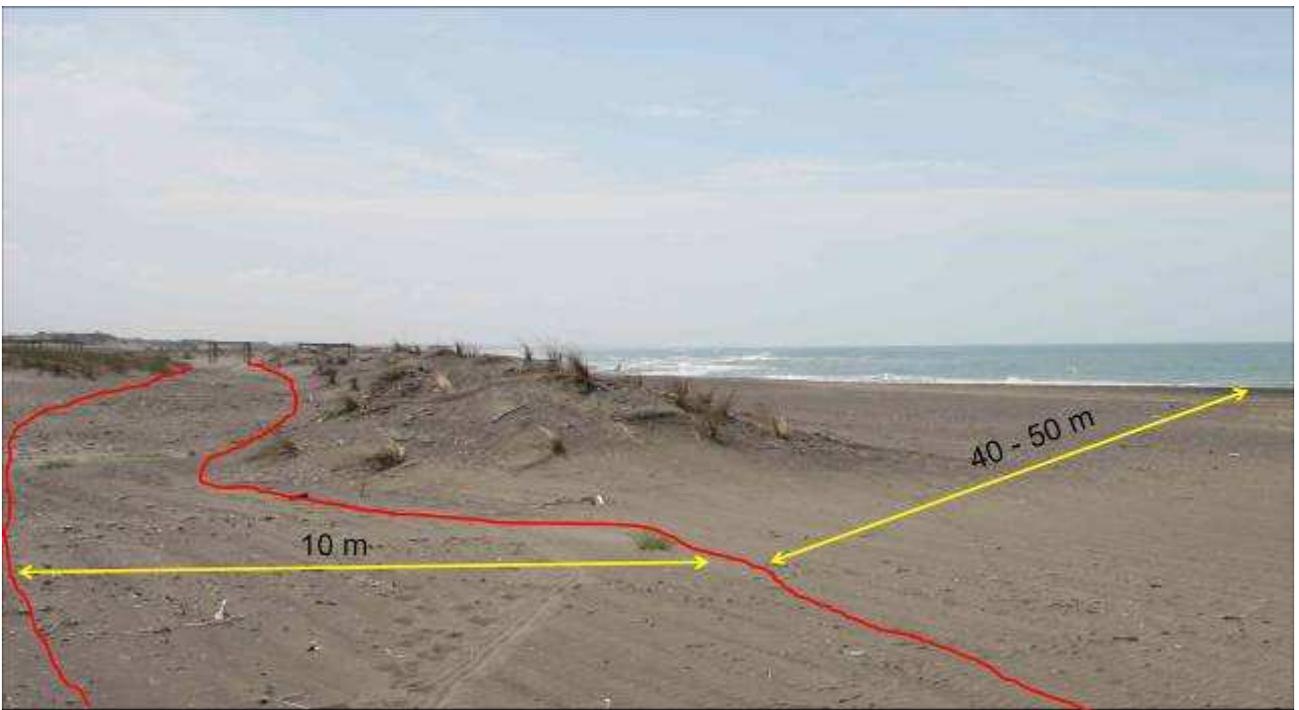


Fig. 37. Arretramento della prima fascia di vegetazione nella zona di “Grotta di Piastra” (giugno 2011).

Nelle dune embrionali sono presenti *Elymus farctus*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Ammophila arenaria*, *Cakile maritima*, *Salsola kali*, *Chamaesyce peplis* e pochissimi esemplari di *Calystegia soldanella* (Fig. 38).



Fig. 38. Le dune embrionali nella zona di “Grotta di Piastra”.

La duna mobile è colonizzata da *Ammophila arenaria*, *Anthemis maritima*, *Eryngium maritimum*, *Elymus farctus*, *Echinophora spinosa*, *Cyperus capitatus*, *Cakile maritima*, *Salsola kali* e *Chamaesyce peplis* (Fig. 39, Fig. 40). Inoltre, rispetto alla zona de “La Focetta”, è assente *Medicago marina* e *Calystegia soldanella*, mentre sono presenti *Ononis variegata*, *Cutandia maritima* e *Silene colorata*. Segue la duna semifissa con *Cutandia maritima*, *Ononis variegata*, *Silene colorata*, *Anthemis maritima*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Elymus farctus*, *Cyperus capitatus*, *Sporobolus pungens*, *Medicago marina*, *Chamaesyce peplis*, *Salsola kali*, *Pseudorlaya pumila* e *Vulpia membranacea* (Fig. 41, Fig. 42, Fig. 43).



Fig. 39. Le dune mobili nella zona di “Grotta di Piastra”.



Fig. 40. Infiorescenze di *Anthemis maritima*.



Fig. 41. *Ononis variegata* in fiore.



Fig. 42. *Medicago marina* in fiore.



Fig. 43. Fioritura di *Silene colorata* e *Anthemis maritima* sulle dune semifisse di “Grotta di Piastra”.

Sono assenti, a differenza dell'area de "La Focetta", *Centaurea sphaerocephala* e *Plantago coronopus*, mentre sono presenti alcuni individui di *Carpobrotus* sp. (Fig. 44).

La duna fissa è caratterizzata da *Crucianella maritima*, *Pancratium maritimum* e numerosi individui di *Ammophila arenaria*, *Anthemis maritima*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Elymus farctus*, *Cyperus capitatus*, *Ononis variegata*, *Sporobolus pungens*, *Medicago marina*, *Vulpia membranacea*, *Silene colorata*, *Plantago coronopus* e *Pseudorlaya pumila*, mentre è assente, rispetto a "La Focetta", *Calystegia soldanella* (Fig. 45).

Conclude la seriazione la fascia a *Juniperus macrocarpa* (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*) seguita dai primi elementi della macchia mediterranea (Fig. 46).



Fig. 44. *Carpobrotus* sp. a "Grotta di Piastra".



Fig. 45. Le dune fisse nella zona di “Grotta di Piastra”.



Fig. 46. La fascia a *Juniperus macrocarpa* (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*) a “Grotta di Piastra”.

Analisi della biomassa e dell'indice di area fogliare (LAI)

Gli studi condotti negli anni 1980-90, relativi alla determinazione dell'Indice di Area Fogliare (LAI, calcolato dalla superficie fogliare totale sull'area coperta al suolo) e della biomassa (calcolata dal peso del materiale vegetale sull'unità di superficie, g m^{-2}), quest'ultima effettuata attraverso il metodo allometrico, che si basa sulla relazione matematica fra il peso del materiale vegetale espresso su unità di superficie e la copertura, e su metodi diretti [48, 67], hanno consentito la realizzazione di carte tematiche, in particolare la “Carta della Biomassa Vegetale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano, Roma” e la “Carta dell'Indice di Area Fogliare (LAI) della Tenuta Presidenziale di Castelporziano, Roma”. Nel 2013 è stato effettuato un controllo del LAI per le tipologie vegetazionali presenti nella Tenuta e, per la vegetazione della duna, non sono risultate differenze significative rispetto al valore misurato negli anni 1980-90 ($\text{LAI} = 0.8 \pm 0.3$) [41].

Il ciclo fenologico delle specie della duna

La letteratura internazionale evidenzia alterazioni del ciclo fenologico di specie di ecosistemi diversi in relazione all'aumento della temperatura [40, 43, 45, 73, 74]. In particolare variazioni della lunghezza delle diverse fenofasi possono consentire di evidenziare precocemente la risposta ai fattori di stress, attraverso, ad esempio, una senescenza precoce o un'alterata produzione di biomassa. In generale i fattori climatici che incidono maggiormente sul ritmo fenologico sono la disponibilità idrica e la temperatura dell'aria e, in particolare, la temperatura minima che incide sull'inizio dell'attività vegetativa e quella massima che determina la sua conclusione [40].

Per quanto riguarda l'andamento delle fasi fenologiche nel corso dell'anno, gli studi condotti sulla vegetazione psammofila a Castelporziano [40, 43, 45] evidenziano, per la maggior parte delle specie, l'inizio dell'attività vegetativa alla fine di febbraio, in relazione all'aumento della temperatura, che si stabilizza intorno a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il massimo sviluppo vegetativo è favorito, nei mesi di aprile-maggio, da temperature intorno a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e da una buona disponibilità idrica a seguito delle piogge invernali. Tali fattori associati ad un allungamento del fotoperiodo determinano il fenomeno dell'antesi, che si verifica mediamente tra aprile ed agosto. All'inizio dell'estate, l'aumento della temperatura ($25.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura media massima), associato alla forte radiazione (in media $2000\text{ }\mu\text{mol}$ di fotoni $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e ad una ridotta disponibilità idrica (in media 6%, umidità del suolo) (Fig. 47) determinano l'inizio della fase di senescenza (Fig. 48). Alla fine dell'estate a seguito delle piogge di fine agosto, l'aumento della

disponibilità idrica e l'abbassamento della temperatura (22 °C, temperatura media massima a settembre) consentono alla maggior parte delle specie una seconda ripresa vegetativa, che è comunque più breve rispetto a quella primaverile, a causa del sopraggiungere delle basse temperature.

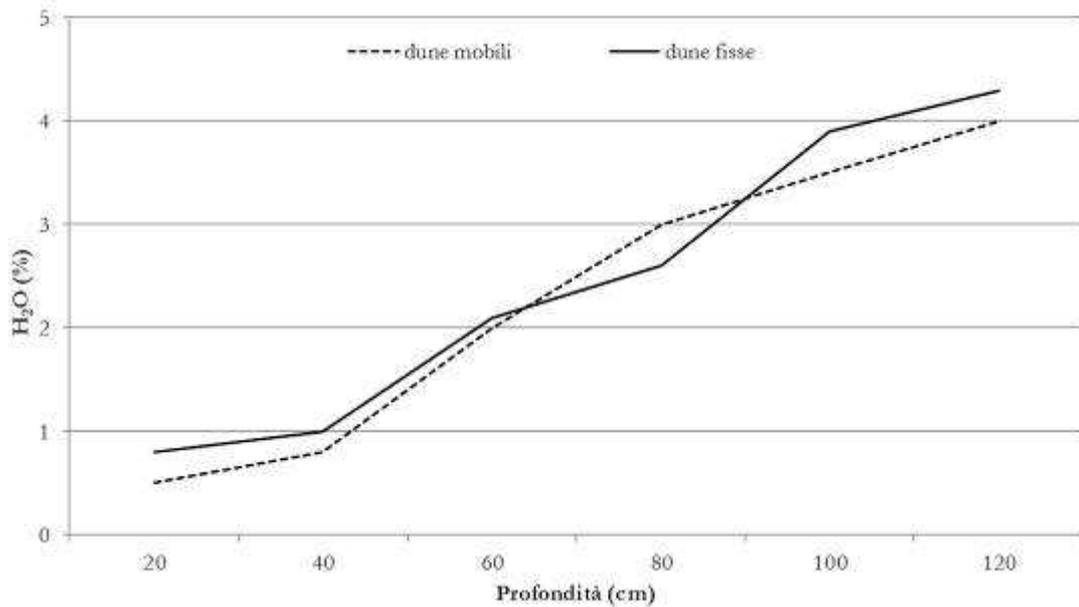


Fig. 47. Variazione dell'umidità del suolo nella sabbia delle dune mobili e delle dune fisse (da Gratani, 1987, modificato).



Fig. 48. Fase di senescenza della porzione epigea delle specie della duna dopo il periodo di aridità estiva.

Alcune specie (*Ammophila arenaria*, *Anthemis maritima*, *Eryngium maritimum* e *Cyperus capitatus*) conservano per tutta la stagione invernale la porzione secca, che svolge un ruolo di protezione per la formazione delle nuove gemme alla fine dell'inverno-inizio della primavera. Tuttavia esaminando singolarmente l'andamento fenologico delle diverse specie si mettono in evidenza differenze significative nel ritmo fenologico. In particolare *Cakile maritima* e *Ammophila arenaria* iniziano l'attività vegetativa a metà febbraio, *Anthemis maritima*, *Elymus farctus*, *Pancratium maritimum*, *Eryngium maritimum*, *Cyperus capitatus* e *Ononis variegata* fra la fine di febbraio e gli inizi di marzo. *Anthemis maritima* presenta un lungo periodo di fruttificazione (fine maggio–fine luglio) mentre *Pancratium maritimum* ed *Eryngium maritimum* il periodo di fruttificazione più breve (Fig. 49, Fig. 50).

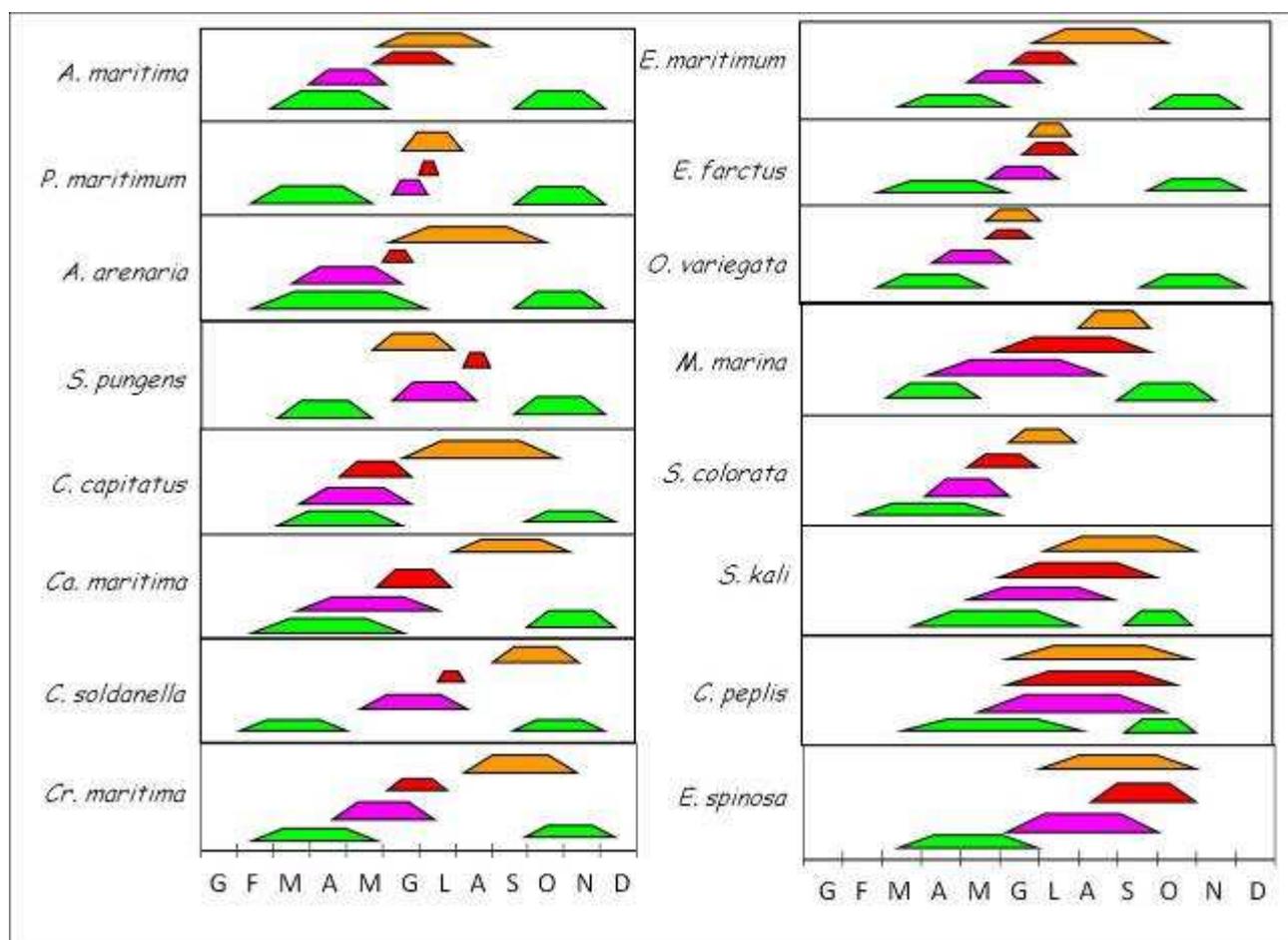


Fig. 49. Diagramma fenologico delle specie della duna (Gratani et al., dati non pubblicati).



Fig. 50. *Salsola kali*.

Differenze climatiche interannuali possono determinare variazioni del ritmo fenologico, soprattutto per quanto riguarda l'inizio dell'attività vegetativa. In particolare, dal confronto dei rilievi effettuati in anni caratterizzati da condizioni climatiche diverse [40, 43, 45], è stato osservato ad esempio che diminuzioni di 1-2 °C della temperatura media minima ritardano l'inizio dell'attività vegetativa di circa 7-10 giorni in *Elymus farctus*, *Ammophila arenaria* e *Anthemis maritima*.

Le specie psammofile sono caratterizzate da un tasso relativo di sviluppo (RGR) di 0.045 ± 0.009 cm giorno⁻¹, che è nel range di quello delle specie mediterranee [12, 33, 35, 38, 43, 48]. Il tasso relativo di sviluppo è un parametro specie-specifico [12, 42, 85] e valori elevati di RGR sono vantaggiosi in condizioni di stress [32]. In particolare, *Calystegia soldanella* è la specie con il più basso RGR (0.025 ± 0.002 cm giorno⁻¹), seguita da *Cakile maritima* (0.033 ± 0.001 cm giorno⁻¹) e da *Pancratium maritimum*, che presenta il valore più alto di RGR (0.064 ± 0.0004 cm giorno⁻¹).

L'analisi di regressione effettuata fra le fasi fenologiche (attività vegetativa, fioritura, fruttificazione, senescenza), l'altezza e il tasso relativo di sviluppo, ha evidenziato una correlazione significativa fra la durata del periodo di attività vegetativa e la temperatura dell'aria, consentendo di raggruppare le specie. In particolare ad un primo gruppo appartiene *Pancratium maritimum*, che è la specie con il più alto RGR

(0.064 ± 0.001 cm giorno⁻¹), il più breve periodo di fioritura (16 ± 1 giorni), un breve periodo di attività vegetativa (87 ± 1 giorni) ed un periodo di senescenza mediamente lungo (53 ± 2 giorni).

Un secondo gruppo è costituito da *Elymus farctus*, *Ammophila arenaria* e *Cyperus capitatus*, caratterizzate da valori più bassi di RGR (0.051 ± 0.004 cm giorno⁻¹), valori più alti di fioritura (55 ± 2 giorni), associati a un periodo più lungo di attività vegetativa (115 ± 8 giorni) ed un periodo di senescenza più breve (32 ± 6 giorni), rispetto al primo gruppo. In particolare *Elymus farctus* ed *Ammophila arenaria* hanno valori più elevati di RGR e una maggiore durata della fase di senescenza rispetto a *Cyperus capitatus*.

Un terzo gruppo è costituito da *Anthemis maritima*, *Cakile maritima* e *Calystegia soldanella*, caratterizzate da un valore più basso di RGR (0.036 ± 0.008 cm giorno⁻¹) ed un periodo più lungo di fioritura (101 ± 3 giorni) e di attività vegetativa (99 ± 5 giorni) ed uno più breve di senescenza (32 ± 3 giorni). *Anthemis maritima* è la specie con il più alto RGR e *Calystegia soldanella* quella con il più basso. Un quarto gruppo è costituito da *Eryngium maritimum*, *Sporobolus pungens*, *Ononis variegata* e *Crucianella maritima*, che presentano valori di RGR (0.044 ± 0.002 cm giorno⁻¹) più alti rispetto al terzo gruppo, un periodo più breve di fioritura (88 ± 9 giorni), un breve periodo di attività vegetativa (60 ± 5 giorni) ed una fase di senescenza più lunga (57 ± 5 giorni).

Dal punto di vista fisiologico le specie psammofile mostrano un andamento simile dell'attività fotosintetica e del contenuto in pigmenti, con un picco fra la fine di aprile e la metà di maggio, favorito da temperature di 13.3-17.5 °C. *C. maritima* e *A. maritima* hanno tassi più elevati (18.9 ± 0.1 e 15.6 ± 0.3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) rispetto ad *A. arenaria* e *O. variegata* (9.8 ± 1.1 e 8.4 ± 0.8 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Nei mesi di giugno e luglio l'aumento della temperatura (temperatura media massima di 28.4 °C) e la ridotta disponibilità idrica determinano un decremento di circa il 45% dei tassi fotosintetici e del 38% del contenuto in clorofilla totale [29, 43, 45, 47]. In questo periodo l'aumento del rapporto carotenoidi/clorofilla riduce il rischio di danni foto-ossidativi all'apparato fotosintetico [28, 53]. La fase di senescenza è attestata da una significativa diminuzione del tasso fotosintetico (63%), del contenuto in clorofilla (53%), del contenuto in acqua (28%) e da un incremento del rapporto carotenoidi/clorofilla (67%) [28, 53].

I risultati delle ricerche consentono di definire le strategie adattative delle specie psammofile. In particolare *Ammophila arenaria* e *Elymus farctus* possono fotosintetizzare per lunghi periodi anche quando la temperatura è maggiore di 30 °C, in relazione all'elevata consistenza fogliare (LMA rispettivamente 30.6 ± 1.6 e 21.9 ± 1.2 mg cm⁻²), che limita i tassi di traspirazione. Elevati valori di LMA, calcolata dal rapporto fra la massa fogliare secca e la superficie fogliare fresca, sono ricorrenti nelle specie che si sviluppano in condizioni di clima Mediterraneo [31, 34, 39, 46, 50, 51, 52, 82]. Al contrario, *Cakile maritima* e *Anthemis maritima* hanno tassi fotosintetici più alti, a cui contribuiscono l'elevata succulenza e

il basso LMA (rispettivamente 96.4 ± 0.9 e 49.9 ± 0.6 mg cm⁻² e 8.4 ± 0.4 e 8.2 ± 0.5 mg cm⁻²). *Eryngium maritimum*, *Pancreatum maritimum* e *Ononis variegata* sono in una posizione intermedia.

In considerazione del cambiamento climatico globale e dei tratti caratterizzanti, si può ipotizzare che *Ammophila arenaria* e *Elymus farctus* potrebbero avere un vantaggio competitivo rispetto alle altre specie per la loro capacità di fotosintetizzare a tassi sufficientemente elevati anche in condizioni di un aumento di temperatura [49, 53, 64].

La riqualificazione ambientale della duna all'interno della Tenuta di Castelporziano

A cura di Aleandro Tinelli

Come è stato precedentemente sottolineato sono pochi gli studi relativi alla riqualificazione ambientale o al ripristino di aree di duna degradate ed alcuni di questi sottolineano la difficoltà di risoluzione a lungo termine.

A tale proposito, nel 1995 è stato effettuato all'interno di Castelporziano un intervento di ricostruzione della duna, secondo le indicazioni della Commissione Tecnico Scientifica.

Il progetto ha considerato l'individuazione della tipologia dei cordoni dunali (dune consolidate, dune mobili e dune embrionali), la distanza dalla zona afitoica, la direzione prevalente dei venti e l'azione erosiva del mare. Tali tratti hanno determinato la valutazione delle dimensioni delle dune artificiali [86, 87]. In particolare sono state utilizzate due tipologie d'intervento relative a dune isolate e a cordoni dunali. Per le prime è stata realizzata una struttura costituita da pali piantati nel terreno lungo un perimetro triangolare, congiunti con frasche raccolte sulla spiaggia, per le seconde un'intelaiatura realizzata con pali alti 1.5 m ed assi di legno inchiodate [59]. Le strutture sono state sommerse artificialmente con la sabbia. È stata sottolineata l'importanza di utilizzazione di materiali poveri e facilmente reperibili in loco [87].

In particolare sono state realizzate 40 dune suddivise in due fasce, di cui una situata a meno di 50 m dalla battigia e l'altra a più di 70 m [87]. Due dune per fascia sono state lasciate alla colonizzazione naturale delle specie pioniere, mentre nelle rimanenti 36 è stata impiantata l'*Ammophila arenaria*, che era stata precedentemente moltiplicata vegetativamente e messa in fitocella nel vivaio di Castelporziano [87].

Dopo l'intervento è stato effettuato il monitoraggio stagionale, nel periodo 1996-2001, relativamente allo stato funzionale di *Ammophila arenaria* e alla colonizzazione da parte di altre specie psammofile [87].

Il controllo effettuato dopo 5 anni dall'intervento iniziale ha evidenziato che la copertura di *Ammophila arenaria* era di circa il 40% e la zona maggiormente colonizzata era quella fra 40 e 70 m dalla linea di costa. La mortalità di *Ammophila* messa a dimora è risultata del 6% e 4% rispettivamente per la fascia a 50 e a 70 m [87].

Sebbene nel primo anno di controllo sia stata osservata una maggiore rigenerazione della specie impiantata a livello della prima fascia, negli anni successivi è stato invece osservata una maggiore rigenerazione a livello della seconda fascia [87]. Dopo otto mesi dalla realizzazione del progetto è stato osservato l'accumulo della sabbia a ridosso della duna, un livellamento e arrotondamento dell'altezza della duna artificiale del 40-50% e un incremento della copertura vegetale del 60% [87].

La colonizzazione di altre specie ha riguardato *Anthemis maritima*, *Cakile maritima*, *Elymus farctus*, *Cyperus capitatus*, *Ononis variegata* e *Eryngium maritimum*.

Il successo dell'operazione è stato determinato dalla scelta della distanza ottimale dalla battigia [20].

Nel 2008, nel tratto di litorale denominato i "Cancelli", e più precisamente all'altezza del 3° cancello, all'esterno della Tenuta, è stato completato un progetto patrocinato dall'Assessorato all'Ambiente del XIII Municipio e realizzato dal CEA (Centro di Educazione Ambientale) della Riserva "Litorale Romano", in collaborazione con il WWF [6, 59]. Il progetto ha riguardato la realizzazione di quattro quadrati permanenti, realizzati con pali di castagno e rete metallica elettrosaldata alta 1.5 m, per monitorare il processo di formazione della duna. In particolare nel primo quadrato sono state messe a dimora alcune specie della duna precedentemente coltivate in vivaio, nel secondo le specie sono state seminate, nel terzo è stata osservata la crescita di plantule germinate spontaneamente e nell'ultimo sono stati misurati gli apporti sabbiosi.

Nel 2011 è stato realizzato un nuovo progetto di ripristino della duna all'interno della Tenuta di Castelporziano, in località "Grotta di Piastra", con la realizzazione di recinzioni frangivento per la creazione delle dune e l'impianto di individui di *Ammophila arenaria*, a cui sono seguiti altri interventi nel 2013 e 2014.

I risultati confermano quelli precedenti relativi al buono stato funzionale di *Ammophila arenaria* e alla susseguente colonizzazione dell'area da parte di altre specie psammofile. Attualmente si rileva la presenza di *Elymus farctus*, *Cakile maritima*, *Salsola kali*, *Chamaesyce peplis*, *Eryngium maritimum*, *Echinophora spinosa* e *Anthemis maritima* (Fig. 51, Fig. 52, Fig.53).



Fig. 51. Le recinzioni frangivento nella zona di “Grotta di Piastra”, realizzati nel 2013 e nel 2014.



Fig. 52. Colonizzazione delle specie autoctone all'interno delle recinzioni frangivento nella zona di “Grotta di Piastra”.



Fig. 53. Recinzione frangivento parzialmente sommersa dalla sabbia nella zona di “Grotta di Piastra”.

Conclusioni

Le ricerche condotte dagli anni 1985 ad oggi, nel loro insieme, sottolineano che la gestione conservativa che viene effettuata all'interno della Tenuta di Castelporziano ha consentito la protezione dell'ecosistema dunale per la quasi totalità dell'area lungo il litorale interessato, rispetto ad aree limitrofe come ad esempio il litorale di Ostia, dove la forte pressione antropica ha determinato la colonizzazione delle specie psammofile in una fascia ristretta a 70-90 m dalla battigia [44] (Fig. 54, Fig. 55). L'utilizzo di *A. arenaria* può svolgere un ruolo positivo nella stabilizzazione delle dune, contribuendo alla colonizzazione, in condizioni favorevoli, da parte di altre specie autoctone. Si vuole sottolineare che la diversità di specie e la capacità di recupero dipende in gran parte dalla deposizione della sabbia insieme alla limitazione dell'impatto antropico ed all'uso di mezzi meccanici.

I risultati evidenziano inoltre l'importanza del monitoraggio a breve e lungo termine della vegetazione attraverso la definizione della soglia di tolleranza delle specie ai fattori di stress. L'individuazione delle strategie adattative delle specie psammofile consentono di disegnare futuri scenari finalizzati alla sostenibilità delle risorse dell'ecosistema sabbioso costiero all'interno di Castelporziano.



Fig. 54. Retrocessione delle dune in un tratto di litorale laziale (Ostia) a forte pressione antropica, nella zona gestita dal Comune di Roma.



Fig. 55. Le dune lungo il litorale di Ostia; presenza delle specie psammofile a 80 m dalla zona afitoica.

Specie citate nel testo

- *Ammophila arenaria* (L.) Link.
- *Anthemis maritima* L.
- *Cakile maritima* Scop.
- *Calystegia soldanella* (L.) R.Br.
- *Carpobrotus* sp.
- *Centaurea sphaerocephala* L.
- *Chamaesyce pepelis* (L.) Prokh.
- *Crucianella maritima* L.
- *Cutandia maritima* (L.) Benth.
- *Cyperus capitatus* Vand.
- *Echinophora spinosa* L.
- *Elymus farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis
- *Eryngium maritimum* L.
- *Euphorbia paralias* L.
- *Juniperus macrocarpa* Sm. (*Juniperus oxycedrus* L. subsp. *macrocarpa* (Sm.) Neilr.)
- *Malcolmia littorea* (L.) R.Br.
- *Matthiola sinuata* (L.) R.Br.
- *Medicago marina* L.
- *Medicago littoralis* Loisel.
- *Ononis variegata* L.
- *Otanthus maritimus* (L.) Hoffmanns. & Link
- *Pancratium maritimum* L.
- *Plantago coronopus* L.
- *Phleum arenarium* L.
- *Pseudorlaya pumila* (L.) Grande
- *Salsola kali* L.
- *Silene colorata* Poir.
- *Sporobolus pungens* (Schreb.) Kunth
- *Vulpia membranacea* (L.) Dumort.
- *Yucca gloriosa* L.

Bibliografia

- [1] Accordi B., Lupia Palmieri E. (ed.), 1987. *Il Globo Terrestre e la sua Evoluzione*. Zanichelli Editore, Bologna, Italia, 505 pp.
- [2] Acosta A., Blasi C., Stanisci A., 2000. Spatial connectivity and boundary patterns in coastal dune vegetation in the Circeo National Park, Central Italy. *Journal of Vegetation Science*, 11, 149-154.
- [3] Arens S.M., Geelen L.H.W.T., 2006. Dune landscape rejuvenation by intended destabilisation in the Amsterdam Water Supply Dunes. *Journal of Coastal Research*, 22, 1094-1107.
- [4] Avis A.M., Lubke R.A., 1996. Dynamics and succession of coastal dune vegetation in the Eastern Cape, South Africa. *Landscape Urban Planning*, 34, 347-354.
- [5] Bamberg S.A., Major J., 1968. Ecology of the vegetation and soils associated with calcareous parent materials in three alpine regions of Montana. *Ecological Monographs*, 38, 127-167.
- [6] Bardi S., Lombardo B., Villani M.G., de Lorenzis A., Gregg S., Sordini F., Mertens A., Leonelli M., 2010. *Studio di valutazione dell'impatto antropico sulla vegetazione e la morfologia delle dune del Litorale romano*. WWF Ricerche e Progetti per conto della Tenuta Presidenziale di CastelPorziano, Roma, Italia, 240 pp.
- [7] Bertacchi A., Lombardi T., 2014. Diachronic analysis (1954 –2010) of transformations of the dune habitat in a stretch of the Northern Tyrrhenian Coast (Italy). *Plant Biosystems*, 148, 227-236.
- [8] Brooks M.L., D'Antonio C.M., Richardson D.M., Grace J.B., Keeley J.E., Ditomaso J.M., Hobbs R.J., Pellant M., Pyke D., 2004. Effects of invasive alien plants on fire regimes. *BioScience*, 54, 677-688.
- [9] Brown A.C., McLachlan A., 2002. Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025. *Environmental Conservation*, 29, 62-77.
- [10] Carboni M., Carranza M.L., Acosta A., 2009. Assessing conservation status on coastal dunes: a multiscale approach. *Landscape Urban Planning*, 91, 17-25.
- [11] Carranza M.L., Acosta A., Stanisci A., Pirone G., Ciaschetti G., 2008. Ecosystem classification for EU habitat distribution assessment in sandy coastal environments: an application in central Italy. *Environmental Monitoring Assessment*, 140, 99-107.
- [12] Castro-Díez P., Montserrat-Martí G., Cornelissen J.H.C., 2003. Trade off between phenology, relative growth rate, life form and seed mass among 22 mediterranean woody species. *Plant Ecology*, 166, 117-129.
- [13] Catoni R., Gratani L., 2013. Morphological and physiological adaptive traits of Mediterranean narrow endemic plants: the case of *Centaurea gymnocarpa* (Capraia Island, Italy). *Flora*, 208, 174-183.
- [14] Christodouloupoulou L., Tsoukatou M., Tziveleka L.A., Vagias C., Petrakis P.V., Roussis V., 2005. Piperidinyl amides with insecticidal activity from the maritime plant *Otanthus maritimus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1435-1439.

- [15] Ciccarelli D., Forino L.M.C., Balestri M., Pagni A.M., 2009. Leaf anatomical adaptations of *Calystegia soldanella*, *Euphorbia paralias* and *Otantbus maritimus* to the ecological conditions of coastal sand dune systems. *Caryologia*, 62, 142-151.
- [16] Converio F., Fanelli G., Villani M.G., 2007. La protezione dell'ecosistema dunale a Focene (Litorale romano). *Fitosociologia*, 44, 111-116.
- [17] Corbetta F., Gratani L., Moriconi M., Pirone G., 1989. Lineamenti vegetazionali e caratterizzazione ecologica delle spiagge dell'arco ionico da Taranto alla foce del Sinni. *Colloques phytosociologiques*, 19, 461-521.
- [18] Crescente M.F., Gratani L., 2013. Differences in morphological, physiological and growth traits between two endemic subspecies of *Brassica rupestris* Raf.: implication for their conservation. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 42-50.
- [19] Curr R.H.F., Koh A., Edwards E., Williams A.T., Davies P., 2000. Assessing anthropogenic impact on Mediterranean sand dunes from aerial digital photography. *Journal of Coastal Conservation*, 6, 15-22.
- [20] De Lillis M., Costanzo L., Bianco P.M., Tinelli A., 2004. Sustainability of sand dune restoration along the coast of the Tyrrhenian sea. *Journal of Coastal Conservation*, 10, 93-100.
- [21] De Luca E., Novelli C., Barbato F., Menegoni P., Iannetta M., Nascetti G., 2011. Coastal dune systems and disturbance factors: monitoring and analysis in central Italy. *Environmental and Monitoring Assessment* 183: 437-450.
- [22] Dukes J.S., Mooney H.A., 2004. Disruption of ecosystem processes in western North America by invasive species. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77, 411-437.
- [23] El-Shazly A., Dorai G., Wink M., 2002. Chemical composition and biological activity of the essential oils of *Senecio aegyptus* var. *discoideus* Boiss. *Zeitschrift für Naturforschung B*, 57c, 434-439.
- [24] Faggi A., Dadon J., 2011. Temporal and spatial changes in plant dune diversity in urban resorts. *Journal of Coastal Conservation*, 15, 585-594.
- [25] Fahn A., 1967. *Plant Anatomy*. Pergamon Press, Oxford, UK, 534 pp.
- [26] Forey E., Michalet R., Lortie C.J., 2009. Spatial patterns of association at local and regional scales in coastal sand dune communities. *Journal of Vegetation Science*, 20, 916-925.
- [27] Gornish E.S., Miller T.E., 2010. Effects of storm frequency on dune vegetation. *Global Change Biology*, 16, 2668-2675.
- [28] Gratani L., 1985. Variability in chlorophyll content along a gradient in a mediterranean ecosystem. *Ecologia Mediterranea*, 11, 55-63.
- [29] Gratani L., 1986. Seasonal study on the chlorophyll content of several species in a mediterranean ecosystem. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, 119, 74-80.

- [30] Gratani L., 1987. A critical approach to the problem of the vigour of *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm. *Ecologia Mediterranea*, 13, 53-60.
- [31] Gratani L., 1993. Response to microclimate of morphological leaf attributes, photosynthetic and water relations of evergreen sclerophyllous shrub species. *Photosynthetica*, 29, 573-582.
- [32] Gratani L., 1995. Structural and ecophysiological plasticity of some evergreen species of the mediterranean maquis in response to climate. *Photosynthetica*, 31, 335-343.
- [33] Gratani L., 1996. Leaf and shoot growth dynamics of *Quercus ilex* L. *Acta Oecologica*, 17, 17-27.
- [34] Gratani L., 1997. Canopy structure, vertical light profile and photosynthetic function in a *Quercus ilex* evergreen forest. *Photosynthetica*, 33, 139-149.
- [35] Gratani L., Amadori M., Marinucci C., Moriconi M., 1982. Study of the relations between biomass and specific cover in psammophile vegetation (Circeo National Park – Italy). *Annali di Botanica (Roma)*, 40, 97-106.
- [36] Gratani L., Capannesi G., 1984. Cambiamenti in vigore di *Ammophila littoralis* in relazione alla sua posizione sulle dune. *Collana dei Rapporti Tecnici dell'ENEA*, ENEA-RT/PAS/84/18, 3-12.
- [37] Gratani L., Catoni R., Varone L., 2011. Photosynthetic and leaf respiration activity of *Malcolmia littorea* (L.) R.Br. in response to air temperature. *Photosynthetica*, 49, 65-74.
- [38] Gratani L., Catoni R., Varone L., 2013. Morphological, anatomical and physiological leaf traits of *Q. ilex*, *P. latifolia*, *P. lentiscus*, and *M. communis* and their response to Mediterranean climate stress factors. *Botanical Studies* 54: 1-12.
- [39] Gratani L., Covone F., Larcher W., 2006. Leaf plasticity in response to light of three evergreen species of the Mediterranean maquis. *Trees – Structure and Function*, 20, 549-558.
- [40] Gratani L., Crescente M.F., 1995. Fenologia e stagionalità delle specie psammofile. *Colloques phytosociologiques*, 24, 27-32.
- [41] Gratani L., Crescente M.F., 2000. Map-makings of plant biomass and leaf area index for management of protected areas. *Aliso*, 19, 1-12.
- [42] Gratani L., Crescente M.F., Fabrini G., Varone L., 2008. Growth pattern of *Bidens cernua* L.: relationships between RGR and its physiological and morphological components. *Photosynthetica*, 46, 179-184.
- [43] Gratani L., Crescente M.F., Varone L., 2007. Ecologia della duna: ritmo fenologico delle specie psammofile. *Fitosociologia*, 44, 11-16.
- [44] Gratani L., Crescente M.F., Varone L., Gini E., Ricotta C., Bonito A., 2013. Sand dune species distribution and size variations in two areas inside a natural protected area subjected to different human disturbance. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 1899-1910.
- [45] Gratani L., Fiorentino E., Fida C., 1986. Phenological behaviour as a function of temperature for several species of psammophilous vegetation. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 43, 125-135.

- [46] Gratani L., Ghia E., 2002. Adaptive strategy at the leaf level of *Arbutus unedo* L. to cope with Mediterranean climate. *Flora*, 197, 275-284.
- [47] Gratani L., Marinucci C., 1985. *Castelporziano*. Edizioni Coopsit, Frascati, Italia, 79 pp.
- [48] Gratani L., Marinucci C., Amadori M., Bruno F., 1983. Relationship between phytosociological table and biomass estimation of psammophilous vegetation at Castelporziano (Rome) Italy. *Acta Oecologica-Oecologia Generalis*, 4, 307-314.
- [49] Gratani L., Pesoli P., Crescente M.F., Aichner K., Larcher W., 2000. Photosynthesis as a temperature indicator in *Quercus ilex* L. *Global and Planetary Change*, 24, 153-163.
- [50] Gratani L., Sartori F., Varone L., Granata M.U., Catoni R., 2013. Leaf structure and photosynthetic properties to the intra canopy light gradient in the reserve “Siro Negri” (Italy): comparison among tree species. In: *Abstracts, 4th Croatian Botanical Symposium*, September 27-29, 2013, Split, Croatia, 201 (abstract).
- [51] Gratani L., Varone L., 2004. Adaptive photosynthetic strategies of the Mediterranean maquis species according to their origin. *Photosynthetica*, 42, 551-558.
- [52] Gratani L., Varone L. 2007. Plant crown traits and carbon sequestration capability by *Platanus hybrida* Brot. in Rome. *Landscape and Urban Planning*, 81, 282-286.
- [53] Gratani L., Varone L., Crescente M.F., 2009. Photosynthetic activity and water use efficiency of dune species: the influence of temperature on functioning. *Photosynthetica*, 47, 575-585.
- [54] Grime J.P., 2002. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. J. Wiley and Sons, Chichester, UK, 456 pp.
- [55] Grunewald R., Schubert H., 2007. The definition of a new plant diversity index “ H'_{dune} ” for assessing human damage on coastal dunes—Derived from the Shannon index of entropy H' . *Ecological Indicators*, 7, 1-21.
- [56] Heslenfeld P., Jungerius P.D., Klijn J.A., 2004. European coastal dunes: ecological values, threats, opportunities and policy development. In: *Coastal Dunes Ecology and Conservation* (M.L. Martinez, N.P. Psuty, ed.), Springer, Berlin, Germany, 335-351.
- [57] Hesp P.A., 2011. Dune coasts. In: *Treatise on Estuarine and Coastal Science* (E. Wolanski, D.S. McLusky, ed), Academic Press, Waltham, MA, vol 3, 193-221.
- [58] Huiskes A.H.L., 1979. Biological flora of the British Isles: *Ammophila arenaria* (L.) Link. (*Psamma arenaria* (L.) Roem. et Schult; *Calamagrotis arenaria* (L.) Roth.). *Journal of Ecology*, 67, 363-382.
- [59] ISPRA, 2009. Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree protette. Rapporti 100/2009.
- [60] Kay R.C., Alder J., 2005. *Coastal Planning and Management*. E & F Spon, London, UK, 400 pp.
- [61] Koske R.E., Halvorson W.L., 1981. Ecological studies of vesicular-arbuscular mycorrhizae in a barriersand dune. *Canadian Journal of Botany*, 59, 1413-1422.

- [62] Koske R.E., Sutton J.C., Sheppard B.R., 1975. Ecology of *Endogone* in Lake Huron sand dunes. *Canadian Journal of Botany*, 53, 87-93.
- [63] Lammerts E.J., Pegtel D.M., Grootjans A.P., van der Veen A., 1999. Nutrient limitation and vegetation changes in a coastal dune. *Journal of Vegetation Science*, 10, 111-122.
- [64] Larcher W., 1994. Photosynthesis as a tool for indicating temperature stress events. In: *Ecophysiology of Photosynthesis* (E.D. Schulze, M.M. Caldwell, ed.), Springer, Berlin, Germany, 261-277.
- [65] Ley de la Vega C., Favennec J., Gallego-Fernández J., Pascual Vidal C. (ed.), 2012. *Conservation des Dunes Côtières: restauration et Gestion Durables en Méditerranée Occidentale*. UICN, Gland, Suisse et Malaga, Espagne, 125 pp.
- [66] Liu J.P., Curry J.A., Rossow W.B., Key J.R., Wang X., 2005. Comparison of surface radiative flux data sets over the Arctic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 110, C02015, 1-13.
- [67] Marinucci C., Gratani L., 1983. Cartografia della vegetazione e della biomassa. *Annali di Botanica (Roma)*, 41, 113-131.
- [68] Maun M.A., 1997. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes. *Canadian Journal of Botany*, 76, 713-738.
- [69] Münzbergová Z., Mildén M., Ehrlén J., Herben T., 2005. Population viability and reintroduction strategies: a spatially explicit landscape-level approach. *Ecological Applications*, 15, 1377-1386.
- [70] Nicolson T.H., 1959. Mycorrhizae in the Gramineae I. Vesicular- arbuscular endophytes with special reference to the external phase. *Transactions of the British Mycological Society*, 42, 421-438.
- [71] Nowak R.S., Ellsworth D.S., Smith S.D., 2004. Tansley review: functional responses of plants to elevated atmospheric CO₂ – Do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? *New Phytologist*, 162, 253-280.
- [72] Peinado M., Aguirre J.L., Delgadillo J., Macías M.Á., 2008. A phytosociological and phytogeographical survey of the coastal vegetation of western North America. Part I: plant communities of Baja California, Mexico. *Plant Ecology*, 196, 27-60.
- [73] Peñuelas J., Boada M., 2003. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, 9, 131-140.
- [74] Piñol J., Terradas J., Lloret F., 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in Coastal Eastern Spain. *Climatic Change*, 38: 345-357.
- [75] Provoost S., Jones M.L.M., Edmondson S.E., 2011. Changes in landscape and vegetation of coastal dunes in northwest Europe: a review. *Journal of Coastal Conservation*, 15, 207-226.

- [76] Psuty N.P., 2004. The coastal foredune: a morphological basis for regional coastal dune development. In: *Coastal dunes: Ecology and Conservation* (M.L. Martinez, N.P. Psuty, ed.), Springer, Berlin, Germany, 11-27.
- [77] Rejmánek M., 1999. Invasive plant species and invulnerable ecosystems. In: *Invasive Species and Biodiversity Management* (O.T. Sandlund, P.J. Schei, A. Viken, ed.), Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 79-102.
- [78] Ripley B.S., Pammenter N.W., 2004. Physiological characteristics of coastal dune pioneer species from the Eastern Cape, South Africa, in relation to stress and disturbance. In: *Coastal Dunes: Ecology and Conservation* (M.L. Martínez, N.P. Psuty, ed.), Springer, Berlin, Germany, 137-154.
- [79] Rochette J., 2009. Challenge, dialogue, action. Recent developments in the protection of coastal zones in Italy. *Journal of Coastal Conservation*, 13, 131-139.
- [80] Rodriguez-Echeverria S., Freitas H., 2006. Diversity of AMF associated to *Ammophila arenaria* ssp. *arundinacea* in Portuguese sand dunes. *Mycorrhiza*, 16, 543-552.
- [81] Salisbury F.B., Ross C.W., 1994. *Fisiologia Vegetale*. Zanichelli Editore, Bologna, Italia, 808 pp.
- [82] Salleo S., Nardini A., 2000. Sclerophylly: evolutionary advantage or mere epiphenomenon? *Plant Biosystems*, 134, 247-259.
- [83] Setzer W.N., Vogler B., Schmidt J.M., Leahy J.G., Rives R., 2004. Antimicrobial activity of *Artemisia douglasiana* leaf essential oil. *Fitoterapia*, 75, 192-200.
- [84] Shumway S.W., Bertness M.D., 1992. Salt stress limitation of seedling recruitment in a salt marsh plant community. *Oecologia*, 92, 490-497.
- [85] Tardieu F., Granier C., Muller B., 1999. Modelling leaf expansion in a fluctuating environment: are changes in specific leaf area a consequence of changes in expansion rate? *New Phytologist*, 143, 33-43.
- [86] Tinelli A., De Lillis M., Costanzo L., 1998. Riqualficazione ambientale del sistema dunale costiero del litorale romano. In: *La Progettazione Ambientale nei Sistemi Costieri*, IAED International Association for Environmental Design, Roma, Italia, 12, 59-68.
- [87] Tinelli A., Tinelli P., Maffei L., 2010. I sistemi dunali. In: *Restauro della foresta mediterranea* (R. Mercurio, ed.), CLUEB, Bologna, Italia, 368 pp.
- [88] Tresca A., Ruz M.H., Grégoire P., 2014. Coastal dune development and sand drifting management along an artificial shoreline: The case of Dunkirk harbour, northern France. *Journal of Coastal Conservation*, 17, 1-10.
- [89] Tsoukatou M., Vagias C., Harvala C., Roussis V., 2000. Essential oil and headspace analysis of the maritime *Bombycilaena erecta* and *Otanthus maritimus* species growing wild in Greece. *Journal of Essential Oil Research*, 12, 360-364.
- [90] Yura H., Ogura A., 2006. Sandblasting as a possible factor controlling the distribution of plants on a coastal dune system. *Plant Ecology*, 185, 199-208.

- [91] Ziska L.H., Bunce J.A., 2006. Plant responses to rising atmospheric carbon dioxide. In: *Plant Growth and Climate Change* (J. Morison, M. Morecroft, ed.), Blackwell Publishing, Oxford, UK, 17-47.