

MAURO BRAGALONI

I FUNGHI MICORRIZICI ARBUSCOLARI DEL LITORALE PONTINO:
DALLA LOTTA ALL'EROSIONE DEI SUOLI
ALL'AGRICOLTURA SOSTENIBILE E AGLI ALIMENTI SOSTENIBILI

Riassunto

Negli anni '90 alcuni studiosi hanno descritto il ruolo dei funghi micorrizici arbuscolari nel favorire l'insediamento delle piante e la loro resilienza nelle dune costiere sabbiose. In tale ambiente, infatti, i partner fungini conferiscono alle piante ospiti migliori, relazioni idriche e nutrizionali e una maggiore resistenza agli stress in particolare a quelli ambientali. La ricerca scientifica ha chiarito che le capacità di stabilizzare le dune sabbiose è dovuta anche al contributo delle ife dei funghi simbiotici in grado di formare aggregati stabili del suolo e di incrementare la sostanza organica. L'equilibrio instaurato in questo ecosistema è tuttavia molto fragile in quanto il disturbo del suolo dovuto alla forte e crescente influenza antropica sta provocando in diverse aree una forte erosione. Si riporta un approfondimento, utilizzando come modello il caso studio del Parco Nazionale del Circeo, dove già sono disponibili dati e studi svolti in precedenza dall'autore, per prospettare le possibili soluzioni per la gestione delle piante autoctone micorrizzate al fine di evitare la degradazione di tali aree e la conseguente erosione delle dune.

La protezione delle dune dall'erosione permette di conservare anche la biodiversità dei funghi micorrizici di particolare interesse per le applicazioni in agricoltura sostenibile. Nel Parco Nazionale del Circeo e anche in molti Parchi della Regione Lazio le aree sottoposte a tutela convivono con quelle destinate all'agricoltura perché instauratesi, in molti casi, prima dell'istituzione dei Parchi stessi. Si discute sull'utilizzo e sulla gestione dei funghi micorrizici autoctoni per convertire l'agricoltura convenzionale ad una agricoltura più sostenibile ed evitare la non intenzionale diffusione di specie fungine aliene tramite inoculi commerciali. Infine, ci si sofferma sulla possibilità di riduzione di fertilizzanti e di pesticidi attuando colture sostenibili con piante micorrizzate e sulla qualità dei prodotti ed alimenti sostenibili che ne deriverebbero.

Abstract

In the 1990s scientists defined the role of arbuscular mycorrhizal fungi in favoring plant settlement and their resilience in sandy coastal dunes. In this environment, in fact, the fungal partners confer to the host plants better water and nutritional relationships and a greater resistance to stress especially to the environmental one. The scientific research has clarified that the ability to stabilize the sand dunes is also due to the contribution of symbiotic hyphae able to form stable aggregates of the soil and to increase the organic substance. The equilibrium established in this ecosystem is however very fragile as the disturbance of the soil due to the strong human influence is causing a severe erosion in various areas. It is provided a scientific-technical insight, using as a model of the case study the Circeo National Park, where data and studies previously conducted by the author and many other scientists are already available, to envisage workable solutions for the management of autochthonous mycorrhizal plants to avoid the degradation of these areas and the consequent erosion of the dunes.

The protection of the dunes from erosion allows also preserving the biodiversity of the arbuscular mycorrhizal fungi of interest for applications in sustainable agriculture. In the Circeo National Park and in Parks of the Lazio Region the protected areas coexist with those destined for agriculture because they were established, in many cases, before the Parks themselves. There is discussion on the use and management of autochthonous mycorrhizal fungi to convert conventional agriculture to more sustainable agriculture and to avoid the unintentional spread of alien fungal species.

Finally, it presents a focus on sustainable products and foods since mycorrhizal fungi play a key role in allowing the production of quality food and the reduction of chemicals and water waste.

Parole chiave Erosione del suolo, disturbo del suolo, dune costiere, funghi arbuscolari micorrizici, agricoltura sostenibile, biostimolanti, specie alloctone, specie invasive, alimenti sostenibili.

Keyword Soil erosion; soil disturbance; coastal dune, arbuscular mycorrhizal fungi; sustainable agriculture; biostimulants, allochthonous species, invasive species, sustainable foods.

Evoluzione e cause dell'attuale stato di degradazione dell'ecosistema delle dune costiere del litorale pontino e ruolo dei funghi micorrizici nel contrasto all'erosione.

In Italia, tra gli anni '80 e '90, sono state svolte diverse indagini sulla presenza dei funghi arbuscolari micorrizici (FAM) delle dune sabbiose del litorale pontino e della costa laziale che hanno valutato la biodiversità, la funzionalità e l'ecologia di questi microrganismi (PUPPI *et al.* 1986; BRAGALONI 1990). Nel corso degli anni successivi diversi lavori scientifici sono stati rivolti a comprendere meglio il possibile ruolo fisiologico nei confronti delle piante ospiti riguardo alle relazioni idriche ed alla nutrizione minerale, in particolare nelle piante di interesse agronomico e forestale (BRAGALONI *et al.* 1996; BRAGALONI & REA, 1998; PIRAZZI *et al.* 1999; BRAGALONI *et al.* 1999). Analoghi studi sono stati compiuti utilizzando ceppi fungini micorrizici isolati anche da altri ambienti ed i risultati, in termini di nutrizione minerale delle piante, sono stati ben riassunti nel compendio "*Mineral nutrition in the Higher Plants*" (MARSHNER 1995). Non si cita la copiosa letteratura consultabile di livello nazionale e internazionale che ha continuato a confermare in maniera univoca fino ad oggi che i funghi micorrizici sono efficaci nel promuovere la crescita delle piante ospiti e la loro nutrizione minerale. Tuttavia, se si vuole approfondire la fisiologia di questi funghi ed avere una visione di insieme sul loro ruolo, si può fare riferimento all'opera scientifica edita nel 2010 da KOLTAI AND KAPULNIK. In buona sostanza, può essere assunto che i FAM sono partner fungini in grado di migliorare le relazioni idriche e nutrizionali delle loro piante ospiti e che i ceppi isolati dalle dune costiere, sulla base di risultati ottenuti con prove di efficienza micorrizica in condizioni controllate, sono risultati molto efficaci nel promuovere la crescita delle piante ospiti (BRAGALONI & REA 1996; BRAGALONI 1996). Tale risultato è dovuto alla selezione naturale ed al relativo adattamento ad un ambiente stressante. I FAM si sono co-evoluti per lungo tempo con le piante ospiti con il risultato di un'aumentata capacità di entrambi a poter accedere e a fonti di elementi nutritivi poco disponibili e ad un migliore sfruttamento delle risorse minerali poco mobili nella soluzione del terreno, in particolare del fosforo (SMITH & READ 2008). Risorse limitatamente o per nulla accessibili alle piante nel colonizzare l'area delle dune e sopravvivere in maniera stabile in assenza dei FAM. Questa specializzazione è avvenuta nei FAM accompagnandosi ad una riduzione della variabilità a livello molecolare degli isolati fungini partner e ciò ha permesso di dimostrare come i suoli con diversi livelli di fosforo possano esercitare una pressione selettiva sulla variabilità molecolare in termini di OTUs ("*Operational Taxonomic Units*"). Tale pressione selettiva determinerebbe una riduzione, osservata sui suoli molto poveri, dei ceppi fungini meno efficaci nello sfruttamento del suolo determinando conseguentemente una selezione di quelli più efficaci (KRÜGER *et al.* 2015). Questi risultati confermano su base molecolare che isolare ceppi di funghi micorrizici dall'ecosistema dunale, ambiente su cui insistono diversi tipi di stress, significa di fatto avere a disposizione nell'immediato ceppi fungini specializzati da poter utilizzare per la produzione di inoculo massiva per il reinsediamento delle piante autoctone micorrizzate nell'ecosistema della duna e per l'introduzione in agricoltura sostenibile di quelle piante micorrizzate coltivabili ed utilizzabili (BRAGALONI & REA 1997; REA & BRAGALONI 1997). Il lungo tempo di selezione naturale in un ambiente stressante determinato dalle azioni eoliche del vento, dal grande contenuto in sale del suolo, dalle variazioni repentine dovute alle precipitazioni meteorologiche, dal basso contenuto in elementi minerali e dal basso contenuto idrico che li ha resi meno mobili nella soluzione del suolo, come avviene in particolare per il fosforo, ha modellato e reso disponibili

dei ceppi fungini molto specializzati nel promuovere la crescita delle piante in condizioni limitanti. Per quanto sopra, i FAM delle dune del Circeo possono rivestire un particolare interesse per un'applicazione biotecnologica in agricoltura sostenibile che prevede, tra i diversi obiettivi, la riduzione di apporto di fertilizzante e di pesticidi e l'aumento della sostanza organica (BAGYARAJ 2006). Ne consegue che le piante micorrizzate dell'ecosistema delle dune si sono co-evolute con tali ceppi fungini determinando la copertura vegetale con le sole piante micorrizzate soprattutto della fascia avanzata della duna che, per le caratteristiche edafiche ed ambientali limitanti, non può essere accessibile a quelle non micorrizzate (SRIDHAR 2006). Si è così stabilita nel corso di un lungo processo la formazione delle dune in termini di ecosistema climacico e resiliente. Esistono però altri aspetti, spesso considerati marginalmente, che hanno contribuito in maniera sostanziale alla formazione e al consolidamento delle dune. I FAM hanno la capacità di produrre altri effetti benefici che si instaurano nel suolo a livello della micorrizosfera poiché sono in grado di limitare l'erosione dei suoli aumentando la sostanza organica e gli aggregati stabili di essa con il suolo menzionati in letteratura come "*soil organic matter aggregates*" (HARTMUT *et al.* 1995; MARDHIAHAB *et al.* 2016; MILLER & JASTROW 1990, 2000). Per quanto sopra i FAM sono considerati di grande interesse quando l'agricoltura raggiunge alti tenori intensivi di sfruttamento del suolo e necessita di essere convertita a sistemi più sostenibili oppure quando tali suoli, dopo anni di sfruttamento agricolo, vengono abbandonati e devono essere necessariamente recuperati per non rischiare ulteriore degradazione e perdita di suolo e/o di superficie coltivabile. La capacità dei funghi micorrizici arbuscolari di stabilizzare la componente suolo ha sicuramente contribuito alla realizzazione delle formazioni dunali fisse e mobili che si rinvergono nel litorale laziale, tra cui le più rilevanti sono quelle di Castel Porziano, Sabaudia e Latina. In questi litorali è possibile osservare in diversi siti la formazione di una o più fasce dunali che si sono stabilizzate nel corso del tempo che si insediano all'interno anche fino ad un centinaio di metri ed oltre. Risulta molto rilevante l'estensione dunale lungo il litorale di costa laziale. L'area di dune che insiste nel Parco Nazionale del Circeo, a Sabaudia e a Latina, raggiunge in lunghezza più di 20 chilometri di estensione. Il Parco è stato censito e riconosciuto come sito naturale di grande interesse (EUNIS, EEA, Natura 2000 site-code IT6040015). Sul sito dell'ente Parco è possibile avere informazioni molto dettagliate e aggiornamenti sulla flora e sulla fauna del territorio (<http://www.parcocirceo.it/pagina.php?id=27>). L'ISPRA ha compiuto uno studio molto approfondito sulla flora e sulla fauna del territorio che è stato pubblicato nel 2015 (AA. VV. 215/2015). A partire dagli anni '30, sulle dune di Sabaudia e Latina, l'azione antropica ha iniziato a perturbare l'equilibrio climatico e la capacità di resilienza di tali ecosistemi, al punto che oggi gli stessi vengono definiti "ecosistemi fragili". In questi stadi iniziali, l'effetto antropico era di difficile lettura e valutazione mentre tra gli anni '70, '80 e '90 si è palesato in maniera sempre più evidente in relazione a una più intensa frequentazione delle spiagge. Il primo grande danno è avvenuto a carico della strada che percorreva le dune di Borgo Grappa da Rio Martino, all'altezza di via del Mare, fino alla Strada della Lavorazione nella zona della cosiddetta "Bufalara". Questa strada ormai chiusa al traffico veicolare è stata propriamente denominata "Strada interrotta Rio Martino-Bufalara" che qui di seguito sarà menzionata nel testo come "Strada interrotta". Più volte la stampa locale ha riportato, a seguito delle intemperie climatiche e delle mareggiate, le avversità che hanno arrecato danno alla strada che si estende tra Foce Verde e il promontorio di San Felice Circeo. Notizie che hanno prestato molta attenzione al danno sulle infrastrutture insistenti sul territorio della duna ormai completamente degradata situata tra Foce Verde e Capo Portiere dove sono presenti molte attività turistiche e commerciali. Più raramente, nelle notizie riportate dalla stampa, è stato preso in considerazione il danno arrecato all'ecosistema dunale e alla sua preservazione ecologica e biologica. Tuttavia, anche in queste rare occasioni le diverse testate giornalistiche locali hanno evidenziato gli effetti derivanti dalle mareggiate più intense e frequenti derivanti dai cambiamenti climatici causati dall'uomo.

Tale approccio allontana di fatto le responsabilità di affrontare più compiutamente il problema dell'erosione, nell'immediato e localmente, rappresentando la questione generale come risolvibile solo con interventi di molteplici forze e/o grazie all'intervento di più attori internazionali. Ne consegue che gli interventi sino ad ora attivati sono stati soprattutto di natura tecnico-ingegneristica e hanno riguardato i ripascimenti con sabbia, spesso con sedimenti di diversa origine, la costruzione di pennelli e di accessi agli arenili in legno. Recentemente il Comune di Latina ha presentato e approvato, ma non ancora realizzato, un progetto riguardante una serie di barriere strutturali e artificiali nell'ultimo tratto della strada da Foce Verde a Capo Portiere al confine con l'ente Parco limitrofo. In realtà esistono altre possibili soluzioni alternative per intervenire sulla situazione in cui versa attualmente il litorale di Sabaudia e di Latina. In questo tratto di litorale le cause del problema di erosione dunale sono molto più circoscritte ed è quindi possibile stabilire idonei interventi di immediata efficacia di natura biologica da integrare eventualmente, ed in casi specifici e necessari, con gli interventi infrastrutturali appena descritti. Per comprendere meglio le cause che hanno determinato l'attuale situazione erosiva bisogna necessariamente approfondire la situazione tornando indietro nel tempo ovvero a quando si è iniziato a perturbare queste dune con la costruzione della strada tra San Felice Circeo e Foce Verde. Certo in tale occasione sarebbe bastato porre la strada più internamente rispetto alle dune ma la posizione dei laghi salmastri avrebbe portato la strada distante dal mare di almeno 200 metri o più. Una strada retrostante al mare e ai laghi in realtà è stata realizzata in seguito poco tempo dopo. All'epoca una soluzione del genere poteva forse apparire insensata e, non garantendo un più veloce accesso alla spiaggia da parte dei fruitori della stessa, non rispondente ad un adeguato sviluppo delle attività turistiche future insistenti sul territorio. Una testimonianza dei lavori effettuati all'epoca, proprio in concomitanza con l'istituzione del Parco Nazionale del Circeo, è conservata dall'Archivio Luce nel filmato del 1934 intitolato "Sabaudia. La costruzione della nuova strada da S. Felice Circeo a Foce Verde." disponibile al link <https://youtu.be/K0wtuph0A9A>. Nel filmato, di breve durata, realizzato in bianco e nero con sonoro (codice filmato: B040603; R.C.A. Photophone; 1 minuto e 52 secondi) si può vedere che l'intero lavoro di apertura della strada sulle dune viene realizzato completamente a mano con vanghe e mediante l'ausilio di carrelli viaggianti su un binario per movimentare la sabbia. Negli anni a venire l'impermeabilizzazione e la conseguente riduzione di assorbimento di acqua pluviale al suolo risultante dalla realizzazione del manto bituminoso lungo tutto il tratto stradale ha causato un maggiore accumulo della quantità di acqua superficiale durante le precipitazioni meteoriche, diretta conseguenza della riduzione di assorbimento del suolo, ed una maggiore velocità di scorrimento della stessa lungo la strada e sulle vie di scolo artificiali create o su quelle di fuga scavate dall'acqua verso il mare o verso la porzione retrostante della duna. La costruzione della strada, e quindi l'impermeabilizzazione del suolo, è stato il primo fattore antropico che ha contribuito all'inizio dell'erosione causato da un veloce scorrimento delle acque meteoriche sulla superficie stradale e da qui attraverso le vie di scolo dove si sono formate le prime erosioni dell'ecosistema e la perdita di vegetazione come rappresentato schematicamente in **Figura 1**. Questo aspetto dell'erosione viene spesso trascurato dando più spesso maggiore rilievo ai danni da erosione per effetto delle mareggiate. In realtà, la quantità e la velocità dell'acqua di scorrimento superficiale sono sicuramente tra le prime cause in grado di determinare dei varchi verso mare e dei punti di debolezza sulla vegetazione della duna. Improvvise e grandi quantità di acqua possono convergere per forza di gravità scavando dei solchi anche molto profondi. Si determina, inoltre, una forte variazione osmotica sul percorso dell'acqua a carico delle piante che assorbono elementi dal suolo. Le poche sostanze nutritive possono essere liscivate e le spore dei funghi micorrizici possono essere disperse verso mare riducendo il potenziale micorrizico del sito. Le spore possono colonizzare altri siti via mare ed infettare nuove piante ospiti (Koske *et al.* 1996). La situazione è andata peggiorando a partire dagli anni '70 e '80 sino ad oggi



Figura 1. Rappresentazione schematica e sommaria delle principali possibili direzioni (frece gialle e blu) di dispersione della sabbia operata dalla pioggia e dal vento in una area dove iniziano a presentarsi punti e zone di erosione a livello del piano stradale e degradazione con riduzione della duna avanzata e delle piante pioniere (area delimitata dall'alone in verde).

a causa del forte aumento delle frequentazioni balneari e dell'insediamento delle diverse attività stagionali estive. L'afflusso di gente ha comportato un grande effetto di disturbo a livello del suolo che si è progressivamente acuitizzato con l'aumento di infrastrutture e strumenti di servizio transitorio a ridosso della duna determinato dalle attività delle stazioni balneari (Figura 2). Le attività legate alla gestione delle stazioni balneari insistono sulle piante pioniere della duna mobile e, in parte, su quelle della duna stabile. Tali attività sono in primo luogo di disturbo del suolo e di impatto negativo soprattutto sulla capacità di formazione e mantenimento della duna avanzata da parte delle piante pioniere. Queste attività si sommano o agiscono in sinergia con un altro grosso effetto di disturbo al suolo causato dalle pulizie della spiaggia. Le pulizie sono tuttavia ineludibili per la grande frequentazione di massa delle spiagge. Purtroppo, sono di forte impatto fisico-meccanico per il suolo della duna mobile avanzata perché spesso eseguite utilizzando mezzi meccanici di grandi dimensioni (Figura 3). Ci si riferisce in particolare alla riduzione delle aree di copertura nella fascia mobile delle dune avanzate dove si rinviene *Calamagrostis arenaria* (L.) Roth subsp. *arundinacea* (Husn.) Banfi, Galasso & Bartolucci (basionimo: *Ammophila arenaria* (L.) Link var. *arundinacea* Husn.), in seguito citata con il nome italiano "ammofila arenaria", e ad altre specie tipiche di questo ambiente considerate "formatrici" delle dune (BRAGALONI & REA 1997). La riduzione di presenza, o la scomparsa, di ammobila arenaria e/o di altre essenze vegetali formatrici della duna, hanno determinato negli ultimi 20 anni la perdita di copertura vegetale con demolizione, erosione e scomparsa della duna avanzata. In tali aree, dove la duna avanzata è stata distrutta, la duna stabile si trova ad affrontare direttamente le mareggiate con conseguenti danni da erosione e perdita di copertura vegetale. Nella duna stabile si rinviene in prevalenza il ginepro coccolone, (*Juniperus macrocarpa* Sm.) insieme con altre specie vegetali caratteristiche di questa associazione vegetale. Il recupero o il reinsediamento delle piante della duna stabile hanno tempi molto lunghi e la loro distruzione rappresenta un danno molto più grave di quello apportato alla duna avanzata perché le dune stabili sono molto più grandi ed allocate in prossimità del piano stradale. La ricostituzione della duna stabile obbligatoriamente comporta anche la ricostituzione della duna avanzata onde evitare nuovi danni in occasione della prima mareggiata. Nel dettaglio tale risultato deleterio si presenta a seguito dell'apertura di grandi varchi con eventi franosi a partire da iniziali punti di debolezza dell'ecosistema delle dune in corrispondenza del limite con il piano stradale. Le ampie zone franate possono coinvolgere anche il manto stradale e le opere idrauliche connesse (Figura 2). Dalla strada, dove sono posizionate le essenze arbustive, le forze generate dallo scorrimento superficiale delle acque meteoriche generano un'erosione verso il mare. In altre condizioni meteorologiche l'erosione può avvenire con una direzione di dispersione della sabbia in senso opposto. In molti casi questa azione eolica può presentarsi anche in assenza di precipitazioni meteoriche. Infatti, nelle giornate ventose, si può verificare un movimento della sabbia e dei detriti vegetali verso l'interno, invece che verso il mare. Il manto stradale può arrivare a formare pericolose raccolte di sabbia e detriti che arrivano in prossimità della vegetazione della duna retrostante alla strada. La zona di costa è colpita durante l'anno da forti venti meridionali (Libeccio, Scirocco e Ostro) che ovviamente nei punti di vegetazione alterati e corrotti non incontrano la barriera del ginepro coccolone e delle altre piante di carattere arbustivo. Come se non bastasse, nella prima fascia di duna avanzata, la perdita dell'ammofila e delle piante pioniere fa venire meno un vero e proprio sistema di opposizione allo spostamento della sabbia. Quando si raggiunge un forte stato di alterazione e regressione della duna l'ecosistema non è più in grado di reagire alle mareggiate in maniera resiliente ovvero non è più in grado di ricostituire in breve tempo la fase avanzata e mobile della duna mediante le piante pioniere. In questo ambiente le piante di ammobila arenaria agiscono come frangivento intrappolando cospicue quantità di sedimento trasportato dal vento e contemporaneamente stabilizzando la duna avanzata formata con le profonde radici micorrizzate. Quando all'incapacità del sistema nel ricostituire la duna mobile avanzata e nel mantenere la duna fissa stabile si

aggiungono l'apertura di ampi varchi, spesso seguiti da frane, e la formazione di zone ampie prive di vegetazione, si arriva a compromettere la capacità di resilienza di questo ecosistema in maniera irreversibile. In questa situazione le dune non sono più resilienti e quando arrivano forti mareggiate le poche dune e piante rimaste vengono aggredite e distrutte così come tutte le infrastrutture adiacenti. Con buona approssimazione, il raggiungimento di questa stadiazione finale è la storia di quello che è accaduto nel tratto tra Foce verde e Capo Portiere a partire dagli anni '30 ad oggi con il risultato della completa degradazione dell'ecosistema costiero originario.

Impatto dei processi di erosione sull'ecosistema delle dune di Sabaudia e Latina e introduzione di specie aliene ed invasive.

La storia di quello che è accaduto per la Strada Interrotta e la degradazione totale nel tratto tra Foce verde e Capo Portiere dovrebbero essere di monito e dovrebbero sensibilizzare le autorità competenti a mettere in campo tutte le azioni utili a salvare e mantenere almeno la parte di duna non ancora completamente compromessa. Si ritiene utile descrivere in maniera più dettagliata l'attuale situazione in cui versa il tratto costiero tra Foce Verde e Capo Portiere. Oggi troviamo la quasi totalità della duna degradata e ricostituita per brevi parti dove si rinviene, insieme ad altre specie di tamerici del litorale (ANZALONE *et al.* 2010), la tamerice a fiori piccoli (*Tamarix parviflora* DC.), pianta considerata invasiva ed aliena (CONTI *et al.* 2005), introdotta più o meno recentemente. Questa specie aliena ha grandi capacità di formare dune ed è attualmente diffusa in diversi punti del tratto di costa Foce Verde-Capo Portiere andando di fatto a sostituire il ginepro coccolone di cui rimangono pochi esemplari. Un'altra specie che si è molto diffusa in tutto il litorale Pontino è il carpobroto, *Carpobrotus acinaciformis* (L.) L.Bolus, noto come "fico degli Ottentotti" o "fico di Mare". Questa specie invasiva ed aliena, originaria delle zone desertiche di altri continenti è stata introdotta nelle coste italiane da molto più tempo, probabilmente fine '800 o primi '900, con lo scopo di frenare i processi erosivi dei terreni sottoposti ad eccessiva desertificazione. Il carpobroto può ridurre il processo di erosione delle spiagge per l'estrema velocità di propagazione ma proprio per questa caratteristica invasiva questa pianta aliena ha sostituito molta della flora locale. In questo modo, invece, di risolvere un problema è stata determinata un'alterazione e un danno alla biodiversità. Anche questa volta, "spolverando i filmati" nella cineteca dell'Archivio Luce, (<https://patrimonio.archivioluca.com/luce-web/detail/IL3000088464/1/-49265.html>) possiamo visionare un documento del 1955 di testimonianza tangibile dell'alterazione degli ambienti litorali italiani a seguito dell'introduzione del carpobroto e di altre specie aliene. Quest'alterazione è stata operata forse con buone intenzioni con la finalità di recuperare, o forse più propriamente utilizzare, zone desertificate o soggette a desertificazione. Sono stati, di fatto, i primi tentativi di "ingegneria ambientale" anche se non è stata una scelta felice quella di utilizzare ed introdurre specie vegetali non autoctone. Nel 1955 non si era ancora formata una coscienza ecologica di protezione dalle specie biologiche invasive ed aliene e le pesanti ricadute potevano essere solo immaginate. La realizzazione degli impianti di protezione ed il trapianto hanno portato alla veicolazione di moltissime specie aliene invasive sui nostri territori di costa e non solo del carpobroto. Il documentario in questione, prodotto dall'Istituto Nazionale Luce "Dune Verdi" (regia di Fausto Saraceni; anno di produzione 1955; durata: 00:08:38; colore, sonoro, codice filmato D040601) a consulenza dell'ispettore forestale Giovanni Quattrocchi, indica nel titolo l'obiettivo da raggiungere. L'intervento tecnico-progettuale descritto è quello di insediare nelle dune un discreto numero di piante così da ottenere una copertura verde di una area considerata deserta ed inutilizzata. Il carpobroto in questo filmato viene menzionato come mesebriantemo in riferimento al precedente inquadramento tassonomico nel genere *Mesembryanthemum* (*Mesembryanthemum acinaciforme* L.). Il filmato descrive le operazioni di trapianto operate su molte delle coste italiane citando esempi di interventi analoghi operati in altri Paesi.

Per il tratto di costa Foce Verde-Capo Portiere, ormai completamente degradato, il recupero naturalistico ambientale si presenta di difficile realizzazione tecnica, costoso, e di difficile consenso pubblico considerata la forte urbanizzazione e la frequentazione balneare intensiva instaurata da anni. Il recupero è di difficile realizzazione anche per la grande presenza delle specie aliene e invasive già citate che, comunque, dovrebbero essere sottoposte a controllo almeno al fine di limitare il rischio di diffusione delle stesse nelle aree adiacenti al Parco Nazionale del Circeo anche bonificando le aree già compromesse. L'area di costa tra Capo Portiere e Rio Martino, recentemente colpita a settembre di quest'anno da forti mareggiate, aveva già subito danni alla strada ed erosioni dunali nel 1996. Il bilancio era stato particolarmente pesante indebolendo parte della vegetazione in particolare in prossimità della zona di Capo Portiere. Si tratta di un tratto esteso per circa quattro chilometri e mezzo nell'area di mare antistante il lago di Fogliano. Nelle aree dove la vegetazione era stata più intaccata le mareggiate ripetute e persistenti hanno provocato diverse frane in prossimità del manto stradale. In tale occasione erano state individuate le possibili indicazioni di intervento conservativo (BRAGALONI & REA 1997). Nella segnalazione si faceva presente che gli interventi di recupero come i ripascimenti in sabbia, le strutture fisiche per mitigare le onde e le mareggiate potevano dare una soluzione temporanea e meramente palliativa se non integrata da interventi di natura biologica sulla vegetazione insistente sulla duna. Si rimanda a tale pubblicazione, precisando che le osservazioni segnalate allora non furono prese in considerazione dagli Enti preposti. Non ci furono interventi di salvataggio nonostante già in passato simili eventi e dinamiche avessero colpito la Strada Interrotta. Tali eventi hanno poi comportato la successiva chiusura del tratto della Strada Interrotta, una linea di costa di circa 3 km tra il porto di Rio Martino e la Bufalara. Ancora oggi il tratto di strada è chiuso al traffico veicolare e la vegetazione si è impossessata quasi completamente della superficie stradale. Nel corso degli anni la situazione, per il tratto di costa tra Capo Portiere e Rio Martino, è andata peggiorando e quest'anno con le precipitazioni di settembre si sono verificati danni erosivi tali da comportare un provvedimento da parte del Comune di Latina per scongiurare possibili situazioni di rischio pubblico. Il Dirigente Servizio Trasporti, Mobilità, Piste Ciclabili e Marina del Comune di Latina con propria ordinanza (Ordinanza del dirigente n. 165 del 28/09/2022), a seguito della constatazione di gravi danni riscontrati e della situazione di rischio, ha disposto la chiusura del tratto di strada, in un senso di marcia e di parcheggio, esattamente quello lato mare verso la costa (Figura 3). Si riportano i tratti salienti dell'ordinanza: *"IL DIRIGENTE (omissis) Viste le violente perturbazioni atmosferiche che si sono abbattute su tutto il territorio comunale nelle scorse giornate, caratterizzate da forti mareggiate e forti venti, le quali hanno causato evidenti danni con erosione degli strati sottostanti la carreggiata stradale, in Via Lungomare, nel tratto compreso tra Rio Martino e Capoportiere; Preso atto degli esiti del sopralluogo effettuato congiuntamente dallo scrivente Servizio, dal Comando di Polizia Locale e dal Servizio Decoro, nel corso del quale sono state rilevate criticità tali da arrecare pregiudizio alla normale circolazione in detta Via; (omissis) Ritenuto, per quanto rilevato, opportuno emettere ordinanza di limitazione del traffico veicolare e della sosta lato mare, in Via Lungomare, nel tratto compreso tra Rio Martino e Capo Portiere, fino a corretta messa in sicurezza del tratto interessato; (omissis) ORDINA IL SENSO UNICO DI MARCIA CON DECORRENZA IMMEDIATA in Via Lungomare tratto e percorrenza compreso tra Rio Martino e Capoportiere fino all'eliminazione dello stato di pericolo. IL DIVIETO DI SOSTA CON RIMOZIONE FORZATA PER TUTTI I VEICOLI in Via Lungomare tratto e percorrenza compreso tra Rio Martino e Capoportiere, lato mare, fino all'eliminazione dello stato di pericolo."* Sarebbe auspicabile che all'immediata messa in sicurezza per scongiurare i pericoli dei cittadini si facessero seguire i necessari interventi ricostruttivi che possano tenere in dovuto conto tutti gli studi sino ad oggi effettuati e i relativi possibili interventi prospettati. Tra questi sicuramente si dovrebbe optare *in primis* per la ricostruzione della duna come ecosistema e non limitarsi alla ristrutturazione della infrastruttura stradale e della ricostituzione della costa mediante interventi di ripascimento ricostruttivo delle spiagge. La biodiversità delle specie



Figura 2. Nella foto a sinistra si può osservare la degradazione della duna e della copertura vegetale che si verifica in prossimità di una delle tante stazioni balneari che insistono sul territorio del Comune di Latina e Sabaudia. A destra è possibile osservare il varco aperto nella zona in cui la vegetazione non è più presente. Il suolo franato ed eroso in corrispondenza di tale area parte dal piano stradale e la base su cui poggia il manto asfaltato inizia a cedere.

vegetali autoctone ma anche dei funghi micorrizici partner che insistono sul territorio, come vedremo più avanti, sono a rischio ed è quindi necessario valutare con attenzione tutti gli interventi possibili per ripristinare lo *status* originario.

La riduzione delle piante autoctone e la diffusione di specie aliene ed invasive nella duna degradata: analisi preliminari dell’impatto sulla biodiversità dei funghi arbuscolari micorrizici.

La tassonomia dei FAM è degna sicuramente di una trattazione a parte per la sua complessità. Si vogliono dare alcuni cenni con un breve inquadramento di orientamento poiché questi funghi hanno subito una vera e propria “rivoluzione tassonomica”. Anche se noti in precedenza, i funghi micorrizici arbuscolari iniziano ad essere studiati a livello tassonomico solo negli anni ‘60 e la prima chiave di riconoscimento viene pubblicata da MOSSE & BOWEN (1968). Inizialmente i FAM sono inquadrati sulla base della dimensione, forma, struttura della parete e ifa sospensore della spora nella famiglia delle Endogonaceae, ordine delle Endogonales, all’interno degli Zygomycota per le caratteristiche cenocitiche delle ife e per le spore accostate impropriamente per analogia alle clamidospore. In seguito, alcuni autori, MORTON & BENNY (1990), separano dall’ordine delle Endogonales, un nuovo ordine (Glomerales), due subordini (Glomineae e Gigasporineae) e due nuove famiglie (Acaulosporaceae e Gigasporaceae). La famiglia delle Glomaceae, istituita nel 1989 da PIROZYNSKI & DALPÉ (1989), viene successivamente emendata a Glomeraceae per concordare con il nuovo ordine (WALKER & SCHÜSSLER 1989). In seguito, vengono individuate nuove famiglie e successivamente nel 2001 viene definito un nuovo *phylum* per raccogliere tutti i FAM (Glomeromycota) ad opera dei tassonomi Arthur Schüßler, Daniel Schwarzott e Christopher Walker (SCHÜSSLER & WALKER 2001). In poche parole, volendo portare un esempio di paragone, se prima avevamo a che fare con una piccola casetta ovvero una famiglia all’interno del quartiere degli Zygomycota oggi abbiamo scoperto che i FAM hanno un loro grande quartiere con tante case, ben separato e distante dagli altri quartieri. Il nuovo *phylum* Glomeromycota secondo altre indicazioni (National Center for Biotechnology information, NCBI:txid214504) dovrebbe essere ricondotto al rango di *subphylum* del *phylum* Mucoromycota (SPATAPHOA *et. al.* 2016). In questo momento, non abbiamo ancora una piena condivisione generale e i risultati ottenuti dai diversi tipi di analisi molecolari, principalmente sulla variabilità del rDNA, non hanno appianato le diverse opinioni nel merito anche per le complicate caratteristiche di questi funghi che ricordo sono cenocitici e le spore possono presentare da pochi a centinaia di nuclei. Per evitare ambiguità, le famiglie e le specie che saranno successivamente richiamate

in questo lavoro seguiranno gli inquadramenti di REDECKER *et al.* (2013). Per chi volesse approfondire si possono consultare alcuni lavori scientifici di riferimento (YOUNG 2012; TEDERSOO *et al.* 2018) e seguire il sito <http://www.amf-phylogeny.com/>, aggiornato continuamente sugli studi filogenetici e sui nuovi inquadramenti e commenti tassonomici. Tutto questo preambolo sulla complicata questione tassonomica è stato fatto per dare una migliore chiave di lettura delle famiglie e specie citate e dei risultati che vengono di seguito illustrati e che derivano da indagini, ancora in corso di svolgimento, volte a valutare la presenza dei funghi micorrizici nell'area degradata di tutto il tratto tra Foce Verde e Capoportiere. Si mostrano solo alcuni dati preliminari di una sola area situata a Capo Portiere e quindi collocata in prossimità dell'inizio del Parco Nazionale del Circeo nel tratto adiacente di costa Rio Martino-Capoportiere. Parte di questo studio ha previsto dei piccoli campionamenti di circa 25 grammi di sabbia ripetuti nelle quattro direzioni cardinali, in prossimità delle piante oggetto di indagine, a circa 5-10 cm di profondità e distanza. I quattro campioni, di ogni pianta, sono stati riuniti per ottenere un unico campione di circa 100 grammi che è stato trasferito in laboratorio per le indagini. Le spore sono state estratte mediante setacciamento e decantazione (GERDEMAN & NICOLSON 1963) e determinate sulla base delle caratteristiche morfologiche delle spore rinvenute mediante osservazioni e misurazioni effettuate allo stereoscopio. Parallelamente sono state allestite per ogni campione alcune piante trappola con trifoglio (*Trifolium repens* L. var. *huia*) i cui risultati sono ancora in corso di analisi ed elaborazione. A livello di nomenclatura tassonomica è stato fatto riferimento a REDECKER *et al.* (2013), come già precisato, mentre per la determinazione sono state utilizzate le caratteristiche morfologiche riportate nelle descrizioni dell'originale basionimo. Molte delle determinazioni sono state effettuate solo a livello di genere e correttamente inserite e conteggiate all'interno della famiglia di appartenenza. In **Tabella 1** si riassumono parte dei dati preliminari a cui si fa riferimento. I campionamenti sono stati effettuati tra maggio e settembre nel 2019, 2020 e 2021 in prossimità di Capo Portiere. Per ogni sito di campionamento sono state riportate le coordinate geografiche. Per lo studio sono state individuate sia alcune specie autoctone che alloctone ed invasive. I dati rilevati non sono ancora completi e sufficienti per ottenere degli indici di confronto sufficientemente attendibili e riguardano solo una parte del tratto di costa indagato. Tuttavia, i risultati sono comunque fortemente indicativi di una riduzione della biodiversità dei funghi micorrizici. In **Tabella 1** i risultati conglobati dei tre anni di indagini indicano la presenza di spore delle specie appartenenti alle Glomeraceae. Le spore delle specie della famiglia delle Scutellosporaceae sono state rinvenute occasionalmente e solo su alcune piante. Non sono state rilevate spore di altre famiglie. Tra tutti gli isolati identificati quelli rinvenuti molto frequentemente, riportati in **Figura 5**, sono *Funneliformis mosseae* (T.H.Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler e *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler. In passato, sono state svolte alcune indagini sulle dune di Sabaudia (PUPPI *et al.* 1986; BRAGALONI *et al.* 1998) nelle zone meno soggette all'erosione e all'antropizzazione, con diversi obiettivi e modalità di indagine. Non è possibile, pertanto, fare molti confronti. Tuttavia, è possibile individuare nei lavori pubblicati menzionati la presenza di spore appartenenti a diverse famiglie dei Glomeromycota. La presenza quasi esclusiva della famiglia delle Glomeraceae nell'area di indagine degradata di Capo Portiere è quindi indicativa di una possibile dominanza delle specie rinvenute e appartenenti a questa famiglia. Gli effetti causati dall'eccessiva antropizzazione, invasione di piante aliene e dall'erosione possono essere perciò indicati come possibili responsabili della frequenza elevata di queste sole specie dei FAM nella duna degradata. La riduzione di biodiversità della comunità delle piante native da parte di *Carpobrotus* spp. sono state già in altri ambienti descritte (SARMATI *et al.* 2019). Merita di essere approfondita l'influenza di questa ed altre specie invasive sulla diversità microbica, soprattutto dei FAM, negli ambienti degradati qualora si voglia recuperarli con opportuni interventi.

Ospite vegetale	Origine	Coordinate geografiche	Famiglie
1 <i>Ononis variegata</i> L.	Autoctona	Ø 41°24'32" N, λ 12°51'50" E	Glomeraceae
2 <i>Thinopyrum junceum</i> (L.) Á.Löve	Autoctona	Ø 41°24'32" N, λ 12°51'50" E	Glomeraceae, Scutellosporaceae**
3 <i>Carpobrotus acinaciformis</i> (L.) L.Bolus	Alloctona e Invasiva	Ø 41°24'27" N, λ 12°52'3" E	Glomeraceae,
4 <i>Thinopyrum junceum</i> (L.) Á.Löve	Autoctona	Ø 41°24'27" N, λ 12°52'3" E	Glomeraceae, Scutellosporaceae*
6 <i>Tamarix parviflora</i> DC.	Alloctona e Invasiv	Ø 41°24'28" N, λ 12°52'1" E	Glomeraceae
7 <i>Carpobrotus acinaciformis</i> (L.) L.Bolus	Alloctona e Invasiva	Ø 41°24'28" N, λ 12°52'1" E	Glomeraceae
8 <i>Pancreatium maritimum</i> L.	Autoctona	Ø 41°24'27" N, λ 12°52'1" E	Glomeraceae

* Rare spore rilevate a maggio e settembre 2019 e a settembre 2020; ** Spore rilevate a settembre 2019 e settembre 2020.

Tabella 1. Risultati ottenuti dal campionamento di sabbia e radici dalla micorrizosfera di ospiti vegetali nelle dune degradate del tratto di costa tra Capo Portiere a Latina in area limitrofa a quella di competenza del Parco Nazionale del Circeo. Le spore sono state estratte mediante setacciamento e decantazione (GERDEMAN & NICOLSON 1963) e determinate sulla base delle caratteristiche morfologiche.



Figura 3. Nella foto a sinistra si può osservare l'erosione della duna con dispersione della sabbia verso il manto stradale e la zona di duna interna oltre la strada causata dai forti venti meridionali. Al centro il segno lasciato dai mezzi meccanici di raccolta dei rifiuti sulla duna avanzata. A destra la strada chiusa nel senso di marcia lato mare disposta dal Comune di Latina a settembre.



Figura 4. Nella foto si osserva la duna quasi completamente degradata in prossimità di Capo Portiere-Latina (Latitudine 41°24'28" N, Longitudine 12°52'1" E). Visibili nella foto *Carpobrotus acinaciformis* (L.) L. Bolus in fioritura; in posizione retrostante *Tamarix parviflora* DC. entrambe specie aliene ed invasive oggetto di campionamento.

Biotechnologia della simbiosi micorrizica e lotta all'erosione dei suoli nelle dune sabbiose di Sabaudia e Latina

Non è obiettivo di questo lavoro descrivere in maniera analitica i diversi interventi sino ad oggi attuati per la difesa delle coste dall'erosione da parte degli enti locali e governativi pertanto si ritiene utile richiamare soltanto quelli principali e più importanti. Innanzitutto, si può riscontrare come il problema dell'erosione costiera dell'area pontina non sia stato affrontato in maniera organica tale da poter limitare gli effetti delle avversità climatiche in maniera soddisfacente. L'aumento di frequenza dei danni dovuti all'erosione costiera e gli studi condotti hanno indotto a maturare l'opinione che tale avversità andava inquadrata all'interno di processi di dinamica costiera legata non solo a cause naturali ma anche a molteplici effetti di natura antropica. In considerazione di tale assunto era fondamentale compiere azioni integrate, supportate da studi di approfondimento già esistenti, con l'obiettivo di definire le possibilità di difesa sostenibile delle coste italiane. Con questo spirito, nel 2016, il MATTM e le Regioni interessate hanno sottoscritto un protocollo di intesa istituendo un tavolo nazionale per l'erosione costiera (TNEC) con il compito di definire le "Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici" (MATTM-Regioni, 2018). Le linee guida avevano l'obiettivo di articolare in maniera coerente le



Figura 5. Nella foto si osserva a sinistra una spora del fungo micorrizico *Funnelformis mosseae* (T.H.Nicolson & Gerd.) C.Walker & A. Schüßler, mentre a destra si osservano diverse spore del fungo *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler.

specifiche iniziative di approfondimento e di sviluppo delle misure da adottare a livello nazionale in materia di gestione sostenibile della fascia costiera. L'ISPRA ha deciso di diffondere tali linee guida su un sito tematico (<http://www.erosionecostiera.isprambiente.it/>) e di avviare i confronti con la comunità scientifica. Sono stati avviati diversi convegni tematici di cui l'ultimo si è tenuto ad EcoMondo (<https://www.ecomondo.com/>) nel 2022. Le iniziative che stanno intraprendendo ISPRA e altri enti sono sicuramente encomiabili. Inoltre, nelle linee guida viene dato un discreto rilievo alla reintroduzione delle piante autoctone per ristabilire e consolidare le dune. Negli Stati Uniti erano state costituite già da tempo le prime linee guida per la formazione e il consolidamento delle dune (KNUTSON 1977) facendo riferimento, tra l'altro, all'utilizzo come formatrici della duna alla nostra ammfila arenaria ("*European Beachgrass*") e *Ammophila breviligulata* Fern. ("*American Beachgrass*"). Entrambe le specie sono state utilizzate per colonizzare e consolidare le dune e sono ormai diffuse nella costa orientale degli Stati Uniti, British Columbia (PAGE 2001), Washington (SEABLOOM & WIEDEMANN 1994), Oregon (MOSTOW *et al.* 2021) e California (BUELL *et al.* 1995). Le due specie sopracitate si sono ibridizzate e diffuse negli stati dell'Oregon e di Washington (MOSTOW *et al.* 2021) diventando invasive. L'errore di base è stato proprio quello di introdurre una specie europea alloctona, la nostra ammfila arenaria, per ristorare e consolidare le dune. Il risultato dell'invasione ha determinato la sostituzione di una grande parte della vegetazione autoctona della costa occidentale. Attualmente, nonostante i risultati positivi nella formazione e consolidamento delle dune, l'invasione ha raggiunto livelli tali che si stanno conducendo studi per limitare la diffusione di ammfila arenaria (PICKART 2021). Nel litorale pontino, invece, ammfila arenaria è pianta autoctona e quindi sicuramente questa specie rappresenta la scelta elettiva per riportare nelle condizioni originali la duna avanzata. Altri studi, progettazioni ed interventi di ristoro delle dune stabili e consolidate sono stati attuati con l'utilizzo del ginepro coccolone. Tale specie vegetale è da considerare come prevalente nel formare una barriera nella duna originaria stabile e consolidata di Sabaudia e Latina a livello del piano stradale. Il ginepro coccolone e altri ginepri sono molto presenti sulle coste del Mediterraneo. Sono stati anche compiuti diversi studi di ripristino del ginepro di cui si citano, solo a titolo di esempio, quelli condotti in Puglia (ROMANO *et al.* 2022), in Grecia (LIFE07NAT/GR/000296 JUNICOAST, 2014) e in Spagna (MUÑOZ-REINOSO *et al.* 2013). In tutti gli interventi attuati a difesa delle coste italiane però non è stata rinvenuta, sulla base delle ricerche bibliografiche, l'applicazione della biotecnologia della simbiosi micorrizica per recuperare aree di duna mediante l'utilizzo di piante micorrizzate autoctone ignorando gli studi compiuti sia a livello locale che internazionale (KOSKE & POLSON 1984; BRAGALONI & REA 1997; BRAGALONI *et al.* 1998). Inoltre, nel 2009 compaiono alcuni studi pratici sulla micorrizzazione in vivaio di talee di piante autoctone della duna finalizzate alla re-introduzione in ambiente dunale. Gli studi purtroppo rimangono circoscritti a valutazione in

vivaio sulla produzione di piante micorrizzate e sugli effetti dell'infezione micorrizica sulla radicazione (AA.VV. 2009b). Inoltre, non si evince chiaramente dal rapporto quali siano gli isolati dei funghi micorrizici e come siano stati selezionati per compiere gli esperimenti. In vivaio soprattutto non si riesce a far radicare e moltiplicare il ginepro coccolone. Altri studi contemporanei svolti dall'ISPRAg, considerano l'utilizzo di piante autoctone micorrizzate nel ripristino e nel consolidamento della duna (AA.VV. 2009a). In questi studi si precisa che all'atto delle future progettazioni di rinaturalizzazione o ripristino debba essere previsto l'utilizzo di materiale vegetale opportunamente preparato: "(omissis) *in vivai specializzati nella produzione di piantine micorrizzate che conservino il genoma dell'area interessata e i relativi ceppi fungini*". L'azione integrata descritta, sia pur generale, si allinea con linee di ricerca già pubblicate negli anni '90 inerenti all'applicazione della biotecnologia della simbiosi micorrizica nel contrasto all'erosione dunale (KOSKE & POLSON 1984; BRAGALONI & REA 1997; BRAGALONI *et al.* 1998). Nonostante tali conclusioni scientifiche, in base alle ricerche bibliografiche condotte, al momento non è dato segnalare alcuna azione e/o intervento a ricostituire e consolidare le dune mediante l'utilizzo della biotecnologia della simbiosi micorrizica. Si tenga presente che, mentre le coste italiane ancora oggi subiscono continui processi erosivi, nel continente americano lo studioso Koske oltre ad avere indicato l'utilità della biotecnologia della simbiosi micorrizica, è riuscito a ripristinare lo stato originale in diversi siti dunali della costa occidentale degli Stati Uniti (HALVORSON *et al.* 1986; GEMMA & KOSKE 1989; KOSKE *et al.* 1996). Allo stato attuale, nell'area di Sabaudia e Latina, non risultano essere stati attivati interventi di recupero e consolidamento della duna avanzata, stabile e consolidata mediante l'utilizzo di piante micorrizzate e funghi micorrizici autoctoni. Le TNEC del 2018 prevedono una difesa della costa mediante "rivegetalizzazione", termine questo utilizzato nelle guide stesse, ma non si fa riferimento ai funghi micorrizici e si indirizza il lettore per il dettaglio degli interventi: "(omissis) *Si rimanda a PAGANELLI *et al.* (2015) per i dettagli sulle principali tecniche di vegetalizzazione*". Purtroppo, nonostante le ripetute ricerche bibliografiche, non si è stato in grado di reperire il lavoro indicato. Si considera che, nel caso di un possibile refuso, esistono due lavori specifici nella tematica, quasi contemporanei, che risultano pubblicati dall'autore e richiamati nelle linee guida del TNEC 2018: PAGANELLI *et al.* 2013 e PAGANELLI *et al.* 2014. Nella pubblicazione del 2013 si parla di interventi sulle dune e di possibile ricaduta ed impatto sulle specie animali e vegetali valutabili con appositi sistemi "a matrice" da esperti botanici, naturalisti e geomorfologi. Lo studio, che serve a stabilire l'impatto sull'ecosistema prendendo in considerazione piante e animali per la componente biotica, non tiene in considerazione la microbiologia del suolo comportando una perdita di informazioni fondamentali al fine di valutare l'impatto sui simbionti micorrizici essenziali per la sopravvivenza delle piante in questo ambiente. Riguardo all'altro lavoro contemporaneo preso in considerazione, in PAGANELLI *et al.* (2014) tra le opere di difesa costiera vengono descritti gli interventi di ripristino e protezione delle dune. Tra le parti sviluppate sono presenti la ricostruzione morfologica delle dune costiere, le barriere frangivento, la gestione degli accessi ed anche il restauro e consolidamento dunale mediante la vegetazione con specifico riferimento a tecniche di "rivegetalizzazione". Tuttavia, rispetto a quest'ultima fattispecie, non si accenna nemmeno all'uso dei funghi micorrizici e quindi rimane inascoltata l'esortazione fatta anni prima, tra l'altro da parte di studiosi dello stesso ISPRA (AA.VV. 2009b), di tenere in considerazione l'impatto dei funghi simbionti micorrizici e di inserire nelle azioni di ristoro delle dune l'uso di piante micorrizzate e ceppi autoctoni. Ne consegue che attualmente nelle linee guida del TNEC 2018 non è descritto alcun protocollo di intervento in duna con l'uso dei funghi micorrizici né vi sono richiami e considerazioni in tal senso. Si auspica che la sperimentazione scientifica richiamata in questo lavoro, riguardo ai funghi micorrizici e al loro utilizzo per il ripristino delle dune, possa essere presa in considerazione da parte di tutti gli enti competenti chiamati ad intervenire e anche da quelli competenti ad erogare finanziamenti da destinarsi a tali attività. Nel 2008 è stato sottoscritto un protocollo di intesa per sviluppare un sistema

integrato di gestione della fascia costiera mediterranea (UNEP/MAP/PAP, 2008). Tale protocollo sottoscritto dall'Unione Europea e da altri Paesi del Mediterraneo (15 Paesi) è stato fortemente voluto dalla Direzione UNEP (United Nations Environment Programme). Ci si augura che, il prima possibile, gli aspetti microbiologici delle dune mediterranee siano tenuti in considerazione per tutte le coste del bacino del Mediterraneo. Si confida, possano essere di riferimento manuali che contengano disposizioni operative con l'uso dei FAM per la ricostruzione delle dune. Un esempio concreto in tal senso può essere il manuale "Dune Manual" (AA.VV. 2016) reso disponibile dal "New Jersey Sea Grant Consortium" o approcci di intervento simili che tengano in considerazione anche la componente microbiologica, in particolare quella delle micorrize. Il manuale, reso fruibile sul sito internet "<https://njseagrant.org/dunemanual/>", resta un modello di esempio da trasferire a seguito di appositi studi che ne permettano l'adattamento alle coste italiane e mediterranee dei relativi protocolli di intervento. Tale approccio, utilizzando tutte le opportune cautele e le competenze multidisciplinari necessarie all'attuazione, potrà essere di sicuro successo nella protezione delle nostre coste e della biodiversità, compresa quella che si trova sotto i nostri piedi.

Gestione dei funghi micorrizici endemici in alternativa ai biostimolanti commerciali a base di funghi micorrizici.

È stato descritto in questo lavoro l'impatto antropico come causa della degradazione delle dune e della riduzione della biodiversità dei funghi micorrizici nel tratto di costa tra Foce Verde e Capo Portiere. La riduzione della biodiversità dovuta all'effetto antropico, in particolare dove ci sono suoli particolarmente disturbati, è stata descritta e riportata anche da altri autori che hanno indicato la modifica dell'ambiente fisico del suolo come causa di alterazione dei FAM e delle interazioni delle piante (POWELL & RILLIG 2018). Questi studi hanno verificato che la variazione della diversità dei FAM può limitare il funzionamento dell'ecosistema, principalmente attraverso effetti sulla produttività primaria. L'ipotesi è che la biodiversità dei FAM andrebbe ad influire a livello multifunzionale sull'ecosistema andando a limitare soprattutto la quantità delle risorse ifali che vanno a costituire una rete di collegamento tra le piante, considerabili un livello gerarchico superiore, e la comunità microbica nel livello gerarchico inferiore. La biodiversità dei FAM rappresenta una preziosa risorsa anche per gli ecosistemi agricoli soprattutto per quelli inseriti nelle aree naturali protette o in loro prossimità. Tale aspetto è di particolare rilevanza per tutte quelle zone agricole, in particolare nel Lazio, che si trovano all'interno dei Parchi e delle aree naturali o situati nelle zone limitrofe ad esse. Nel Parco Nazionale del Circeo e nelle zone adiacenti ci sono diverse aree di produzione agricola, in prevalenza di tipo convenzionale, che sarebbe utile convertire ad una agricoltura più sostenibile. Tale conversione può essere resa possibile utilizzando i FAM nelle coltivazioni in quanto possono ridurre l'apporto di fertilizzanti e sostanze chimiche per il controllo delle malattie (BAGYARAJ 2006). Inoltre, la presenza dei FAM può ridurre anche l'erosione dei suoli agricoli aumentando gli aggregati stabili di sostanza organica del suolo e migliorandone la struttura (MILLER & JASTROW 1992). I FAM rinvenibili sul tratto di costa tra Sabaudia e Latina rappresentano una risorsa importante per l'agricoltura che andrebbe sfruttata ed utilizzata per le aree di coltivazione limitrofe dove sappiamo che l'agricoltura intensiva può causare una riduzione della biodiversità originaria con conseguente impatto sulle relazioni idriche e nutrizionali delle specie coltivate, sulle malattie delle piante e sull'erosione dei suoli agricoli (DOUDS & MILLNER 1999). Si propende per l'uso di ceppi di FAM autoctoni da gestire localmente piuttosto che per la somministrazione di biostimolanti "commerciali" per due principali motivi. Il primo motivo è determinato dai diversi riscontri che dimostrano che questi ceppi FAM sono capaci di aumentare la produzione e di promuovere la crescita delle specie coltivate perché già adattati alle condizioni estreme delle dune (BRAGALONI 1990; BRAGALONI & REA 1996; BRAGALONI *et al.* 1996; BRAGALONI & REA 1997;

BRAGALONI & REA 1998). Le indicazioni per la produzione di inoculo di massa ottenibile dai FAM delle dune del nostro litorale, da utilizzare nelle coltivazioni, sono stati già descritti in studi precedenti (BRAGALONI *et al.* 1998). Alla somministrazione di inoculo micorrizico deve seguire una corretta gestione sostenibile per l'incremento e il mantenimento dei ceppi fungini micorrizici nei suoli agricoli. Il secondo motivo risiede nell'elevato rischio di introduzione di ceppi fungini alloctoni determinata dai biostimolanti "commerciali" che possono diffondere tali ceppi indiscriminatamente in tutte le aree geografiche del nostro territorio. Infatti, nell'etichetta del prodotto e nei relativi certificati non vi è obbligo di riportare l'origine dei ceppi presenti nel biostimolante e, in molti casi, viene riportato spesso semplicemente il solo genere del fungo. Attualmente molti dei prodotti biostimolanti con funghi micorrizici commercializzati in Italia sono prodotti da imprese multinazionali o estere. Sappiamo ancora poco sulla persistenza di questi funghi nel suolo per cui, in base alle attuali conoscenze, sarebbe più sensato utilizzare inoculo prodotto localmente e gestire il mantenimento della biodiversità di tali funghi nei nostri ambienti agricoli piuttosto che somministrare biostimolanti con funghi di origine non nota. Si può superare tale problema cercando di passare alla commercializzazione di prodotti sviluppati *ad hoc* con ceppi di FAM autoctoni e intervenendo con apposite pratiche gestionali agricole per favorire il permanere di questi funghi nel suolo. Vi sono altri aspetti della simbiosi con i FAM che meritano sicuramente di essere segnalati. Infatti, oltre all'aumento della crescita e della fotosintesi delle piante ospiti micorrizzate è stata osservata una maggiore produzione ed accumulo di metaboliti secondari, vitamine o precursori di vitamine e minerali di importanza nutraceutica (GIOVANNETTI *et al.* 2012; BASLAM *et al.* 2013a; 2013b; CARILLO *et al.* 2020). Tra i metaboliti vegetali secondari ci sono il licopene, i carotenoidi, i fenoli, gli antociani e gli elementi minerali. Tali sostanze fitochimiche, che si accumulano nei prodotti, nella frutta e nella verdura, sono di grande valore per l'alimentazione umana. Si tratta di una valorizzazione dei prodotti agricoli perché un maggiore contenuto di tali sostanze nella frutta e nelle verdure, ottenuto con le piante micorrizzate, rappresenta un attributo qualitativo importante dal punto di vista nutrizionale in quanto il loro consumo, nell'ambito di una dieta equilibrata, è associato a un ridotto rischio di sviluppare malattie legate all'età e malattie infiammatorie e croniche degenerative (CHENG *et al.* 2017; NISHINO *et al.* 2009). In conclusione, condensando le informazioni di quanto già richiamato, l'uso di piante micorrizzate con i FAM isolati dalle dune di Sabaudia e Latina può permettere di ottenere prodotti e alimenti sostenibili di importante valore nutraceutico, un maggiore rispetto delle risorse naturali grazie alla conversione dell'agricoltura convenzionale a quella sostenibile con l'aumento di sostanza organica, il risparmio idrico, l'aumento di biodiversità, stabilità e fertilità del suolo coltivato con una sostanziale riduzione dell'apporto di fertilizzanti, pesticidi e sostanze chimiche inquinanti.

Riflessioni dell'autore

È impossibile non essere colpiti dalla bellezza naturalistica delle dune del Circeo. L'immaginario collettivo evoca la flora, la fauna, la storia ma anche gli artisti, gli scrittori e personaggi famosi che frequentano o hanno frequentato questi luoghi. Non pensiamo ai funghi micorrizici che sono i microrganismi che ancora oggi, nonostante le avversità, ci permettono di contemplare le bellezze di questo territorio particolarmente estremo per la vita. Questi funghi sostengono e mantengono la biodiversità delle piante attraverso una fitta rete di comunicazione, le ife. Per ogni pianta e tra pianta e pianta costituiscono, collegando le radici tra loro, un ulteriore sistema di trasferimento di sostanze minerali ed acqua equalizzando tutte le risorse dell'ecosistema. Una goccia d'acqua che raggiunge una pianta micorrizzata delle dune "indisturbate" non diventa proprietà esclusiva ma entra nel bilancio idrico di tutte le piante connesse in questa rete che diviene fragile solo quando gli esseri umani agiscono come "guastatori" disturbando il suolo. Spesso all'atteggiamento di convivenza con il problema

erosione segue la connivenza o la resa da un punto di vista operativo perché si pensa, tra l'altro, che il problema sia tutto da imputare ai cambiamenti climatici e che le cause arrivino da distante o da una situazione generale globale. Questo articolo spero possa esortare le coscienze perché tutti possiamo fare qualcosa per affrontare localmente e specificamente questo problema. L'obbiettivo è che si torni sulla questione prima che l'ennesima mareggiata strappi alle dune un altro pezzo di territorio così da non ritrovarci di fronte ad eventi come quello del 1996 e del 2022. Amo questo territorio e lo studio con grande passione da anni ma non posso negare che ho provato in alcuni momenti un po' di frustrazione nel sentirmi come Cassandra che non riuscì a salvare Troia. Non posso che scrollare questa sensazione dalle spalle continuando a cercare di divulgare la conoscenza per sensibilizzare le coscienze e a richiamare l'attenzione per favorire "tutti" gli interventi di difesa delle dune. Il nostro capitale naturale sta sotto i nostri piedi e la nostra alimentazione è strettamente dipendente. Fare valutazioni solo su quello che si vede al di sopra del suolo oppure considerare il suolo solo da un punto di vista fisico può condurre a scelte che possono compromettere il nostro futuro.

Indirizzo dell'autore

MAURO BRAGALONI

CREA Alimenti e Nutrizione

Via Ardeatina, 546 - 00178 Roma.

E-mail: mauro.bragaloni@crea.gov.it

Bibliografia

- AA.VV. – 2009a: *Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree protette*. ISPRA, Rapporti: 100/09, pp. 359.
- AA.VV. – 2009b: *CONVEGNO SOS DUNE Stato, problemi, interventi, gestione*. In: ATTI Roma, 23 OTTOBRE 2009, ISPRA – CATAP. ISPRA, Atti 2013, pp. 184. ISBN 978-88-448-0567-8.
- AA.VV. – 2015: *Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione*. ISPRA, Rapporti 215/2015, pp. 103. ISBN 978-88-448-0698-9.
- AA.VV. – 2016: *Dune Manual*. Published November 2016 by New Jersey Sea Grant Consortium, first edition. © 2016 New Jersey Sea Grant Consortium, pp. 76. <https://njseagrants.org/dunemanual/>
- ANZALONE B., IBERITE M. & LATTANZI E. – 2010: La Flora vascolare del Lazio. *Inform. Bot. Ital.*, 42 (1):187-317.
- BAGYARAJ D.J. – 2006: *Arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable agriculture*. In: *Techniques in Mycorrhizae*. I. Invited Lecture. Editors: M.J. BUKHARI & B. F. RODRIGUES. Government College, Quepem, Goa 403 705, pp. 87 + Plate I & II.
- BASLAM M, GARMENDIA I., & GOICOECHEA N. – 2013b: Enhanced Accumulation of Vitamins, Nutraceuticals and Minerals in Lettuces Associated with Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF): A Question of Interest for Both Vegetables and Humans. *Agriculture*, 3(1): 188-209. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture3010188>
- BASLAM M., ESTEBAN R., GARCÍA-PLAZAOLA J.I. & GOICOECHEA N. – 2013a: Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of major carotenoids, chlorophylls and tocopherol in green and red leaf lettuces. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*: 97(7): 3119-28. doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4526-x>
- BRAGALONI M. & REA E. – 1998: Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, isolated from sand dunes, on plant growth in white clover, lettuce and barley. *Micologia e Vegetazione Mediterranea*, Vol. XIII (1):103-112.
- BRAGALONI M. & REA E. – 1997: Funghi vescicolo-arbuscolari delle dune sabbiose: loro utilizzo per il mantenimento dell'ecosistema dunale e dei suoli in sistemi sostenibili. *Bollettino AMER*, 40(1):3-10. (ISSN: 1124-0520)
- BRAGALONI M. & REA E. – 1996: Impatto di endofiti micorrizici isolati da dune sabbiose su piante di interesse agrario. *Mic. Ital.*, 1:85-91. (ISSN: 0390-0460).

- BRAGALONI M., DI MONTE G., PIERANDREI F. & REA E. - 1996: *Valutazione dell'efficienza di un endofita micorrizico isolato da dune sabbiose*. Atti del XIII Convegno Nazionale della Società Italiana di Chimica Agraria, Firenze 2-4 ottobre 1995, Pàtron Editore, Bologna, pp. 213-218.
- BRAGALONI M., PIRAZZI R., REA & E. PUPPI, G. - 1999: Infection of valuable broadleaves hardwood trees by *Glomus mosseae*: growth and mineral nutrition. *Sciences of Soils*, 4(1): 1-13. Online Publication: July 21, 1999, SpringerLink Helpdesk © HintzeOnline and Springer 1999. doi: <https://doi.org/10.1007/s10112-999-0001-y>.
- BRAGALONI M., REA E. & PIRAZZI R. - 1998: Problematiche ed aspettative della produzione di inoculo di funghi vescicolo-arbuscolari isolati da dune sabbiose. *Mic. Ital.*, 2:61-67. (ISSN: 0390-0460).
- BRAGALONI M. - 1990: *Efficienza di un endofita micorrizico in relazione alle disponibilità nutrizionali e alla tessitura del terreno*, Tesi di Laurea, A.A. 1988-89 - 21.02.90, relatrice Prof. G. Puppi, Dipartimento di Biologia Vegetale, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", pp. 90 (depositato in Prefettura di Latina il 24.01.1994; alla Biblioteca Aldo Manuzio di Latina e alle Segreterie dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" [opac SBN] [Testo a stampa] [Monografia] [IT\ICCU\RMS\2241154]).
- BUELL A.C., PICKART A.J. & STUART J.D. - 1995: Introduction History and Invasion Patterns of *Ammophila arenaria* on the North Coast of California. *Conservation Biology*, 9(6), 1587-1593. JSTOR: <http://www.jstor.org/stable/2387202>
- CARILLO P., KYRATZIS A., KYRIACOU M.C., DELL'AVERSANA E., FUSCO G.M., CORRADO G. & ROUPHAEL Y. - 2020: Biostimulatory Action of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Enhances Productivity, Nutritional and Sensory Quality in 'Piennolo del Vesuvio' Cherry Tomato Landraces. *Agronomy* 10(6):911. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060911>
- CHENG H.M., KOUTSIDIS G., LODGE J.K., ASHOR A., SIERVO M. & LARA J. - 2017: Tomato and lycopene supplementation and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis. *Atherosclerosis*, 257, 100-108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2017.01.009>
- CONTI F., ABBATE G., ALESSANDRINI A. & BLASI C. - 2005: *An Annotated Checklist of the Italian Vascular Flora*. Palombi Editori, pp. 428. ISBN 88-7621-458-5.
- DOUDS D.D. & MILLNER P.D. - 1999: Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74 (1-3): 77-93. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00031-6)
- GEMMA J.N. & KOSKE R.E. - 1989: Field inoculation of American beachgrass (*Ammophila breviligulata*) with VA mycorrhizal fungi. *Journal of Environmental Management* 29:173-182.
- GERDEMANN J.W., & NICOLSON T.H. - 1963: *Spores of Mycorrhizal Endogone Species Extracted from Soil by Wet Sieving and Decanting*. Transactions of the British Mycological Society, 46, 235-244. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- GIOVANNETTI M., AVIO L., BARALE R., CECCARELLI N., CRISTOFANI R., IEZZI A. & SCARPATO R.M.J. - 2012: Nutraceutical value and safety of tomato fruits produced by mycorrhizal plants. *British Journal of Nutrition*, 107(2), 242-251. doi: <https://doi.org/10.1017/S000711451100290X>
- HALVORSON W.L., KOSKE R.E., & MORRIS D.P. - 1986: Dune stabilization on San Miguel Island (California). *Restoration and Management Notes*. 4(1):35.
- HARTMUT K., ELKE M. & SYBILLA H. - 1995: Soil microarthropods (Acari, Collembola) from beach and dune: characteristics and ecosystem context. *J. Coast Conserv.* 1, 77-86. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02835564>
- KNUTSON P.L. - 1977: *Planting Guidelines for Dune Creation and Stabilization*. U.S. Army Corps of Engineers Kingman Building Fort Belvoir, VA 22060 - Coastal Engineering Manual EM 1110-2-5003, pp. 30.
- KOLTAI H. & KAPULNIK Y. - 2010: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer Dordrecht, Eds KOLTAI H. & KAPULNIK Y., pp. 323. ISBN 978-90-481-9489-6. doi: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6>
- KOSKE R., BONIN C., KELLY J. AND MARTINEZ C. - 1996: Effects of Sea Water on Spore Germination of a Sand-Dune-Inhabiting Arbuscular Mycorrhizal Fungus. *Mycologia*, 88 (6): 947-950. doi: <https://doi.org/10.2307/3761057>
- KOSKE R.E. & POLSON W. R. - 1984: Are VA Mycorrhizae Required for Sand Dune Stabilization? *BioScience*, 34(7): 420-424. DOI: <https://doi.org/10.2307/1309630>
- KRÜGER M., TESTE F.P., LALIBERTÉ E., LAMBERS H., COGHLAN M., ZEMUNIK G. & BUNCE M. - 2015: The rise and fall of arbuscular mycorrhizal fungal diversity during ecosystem retrogression. *Molecular Ecology*, 24: 4912-4930. doi: <https://DOI.org/10.1111/mec.13363>

- LIFE07NAT/GR/000296 – 2014: Final Report, Covering the project activities from 01/01/2009 to 31/08/2013 - Reporting Date 31/01/2014 – *Actions for the conservation of coastal dunes with Juniperus spp. in Crete and the South Aegean (Greece)* – JUNICOAST. Beneficiary: CIHEAM- MAICh, Chania, Crete, Greece. Project Website: <http://www.junicoast.gr>
- MARDHIAHAB U., CARUSO T., GURNELLD C. & RILLIGAB M.C. – 2016: Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment. *Applied Soil Ecology* 99: 137-140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.11.027>
- MARSHNER H. – 1995: *Mineral nutrition in the Higher Plants*. Academic Press Inc., London Ltd. II edition pp. 889. ISBN: 9780080571874.
- MATTM-Regioni. – 2018: *Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici*. Versione 2018 - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp.
- MILLER R.M. & JASTROW J.D. – 1990: Hierarchy of Root and Mycorrhizal Fungal Interactions with Soil Aggregation. *Soil Biology and Biochemistry*, 22, 579-584. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90001-G](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(90)90001-G)
- MILLER R.M. & JASTROW J.D. – 2000: *Mycorrhizal Fungi Influence Soil Structure*. In: Kapulnik, Y. and Douds, D.D., Eds., *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*, Springer, Dordrecht, 3-18. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-017-0776-3_1
- MORTON, J.B. & BENNY G.L. – 1990: Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37: 471-491. ISSN: 0093-4666.
- MOSSE B. & BOWEN G.D. – 1968: *A key to the recognition of some endogone spore types*. Transactions of the British Mycological Society, 51 (3-4):469-483. doi: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(68\)80014-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(68)80014-2)
- MOSTOW R.S., BARRETO F., BIEL R., MEYER E. & HACKER S.D. – 2021: Discovery of a dune-building hybrid beachgrass (*Ammophila arenaria* × *A. breviligulata*) in the U.S. Pacific Northwest. *Ecosphere*, 12 (4): 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3501>
- MUÑOZ-REINOSO J.C., SAAVEDRA AZQUETA C. & REDONDO MORALES I. – 2013: *Restoration of Andalusian Coastal Juniper Woodlands*. In: MARTÍNEZ, M., GALLEGO-FERNÁNDEZ, J., HESP, P. (eds) *Restoration of Coastal Dunes*. Springer Series on Environmental Management. Springer, Berlin, Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33445-0_9
- NISHINO H., MURAKOSHI M., TOKUDA H. & SATOMI Y. – 2009: Cancer prevention by carotenoids. *Arch Biochem Biophys.*, 483, 165-168. doi: <https://doi.org/10.1016/j.abb.2008.09.011>
- PAGANELLI D., LA VALLE P., ERCOLE S., LISI I., TEOFILI C. & NICOLETTI L. – 2014: *Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera*. ISPRA, Manuali e Linee Guida 105/2014: pp. 73.
- PAGANELLI D., LA VALLE P., ERCOLE S., TEOFILI C. & NICOLETTI L. – 2013: Assessing the impacts of coastal defense structures on habitat types and species of European interest: a methodological approach. *Journal of Coastal Research*, 65: 1009-1014.
- PAGE N. – 2001: *Ammophila breviligulata* (Poaceae) new to British Columbia. Ceska, A. (ed.), *Botanical Electronic News*, 276. <https://www.ou.edu/cas/botany-micro/ben/ben276.html>
- PICKART A.J. – 2021: *Ammophila* Invasion Ecology and Dune Restoration on the West Coast of North America. *Diversity* 2021, 13, 629. doi: <https://doi.org/10.3390/d13120629>
- PIRAZZI R., REA E., & BRAGALONI M. – 1999: Improvement of micronutrient uptake of valuable broadleaves in interaction with *Glomus mosseae*. *Geomicrobiology Journal* 16(1):79-84. doi: <https://doi.org/10.1007/s10112-999-0001-y>
- PIROZYNSKI K.A. & DALPÉ Y. – 1989: Geological history of the Glomaceae with particular reference to mycorrhizal symbiosis. *Symbiosis*. 7: 1-36.
- POWELL J.R. & RILLIG M.C. – 2018: Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. *New Phytol*, 220: 1059-1075. doi: <https://doi.org/10.1111/nph.15119>
- PUPPI G., CHIAPPERI F., TABACCHINI A., SANVITO A. & CARFIGO F. – 1986: Endogonaceae del litorale Tirrenico. *Micologia Italiana*, 15: 7-14.
- REA E. & BRAGALONI M. – 1997: Protagonisti dell'agricoltura sostenibile: I funghi vescicolo-arbuscolari. *Bollettino AMER*, 41-42: 41-48. (ISSN: 1124-0520).

- REDECKER D., SCHÜSSLER A., STOCKINGER H., STÜRMER ST., MORTON JB. & WALKER C. – 2013: An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, (7): 515-31. doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0486-y>
- ROMANO G., RICCI G.F., LERONNI V. & GENTILE F. – 2022. *Soil bioengineering techniques for Mediterranean coastal dune restoration using autochthonous vegetation species*. *J. Coast. Conserv.*, 26: 71. doi: <https://doi.org/10.1007/s11852-022-00912-0>
- SARMATI S., CONTI L. & ACOSTA A.T.R. – 2019: *Carpobrotus acinaciformis* vs *Carpobrotus edulis*: Are there any differences in their impact on coastal dune plant biodiversity? *Flora*, 257:1-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151422>
- SCHÜSSLER A. & WALKER C. – 2010: *The Glomeromycota: A Species List with New Families and New Genera*. Schüssler, A., Walker, C., Gloucester, UK, published in libraries at Royal Botanic Garden Edinburgh, Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University, pp. 56. Printed copy available under ISBN-13: 978-1466388048, ISBN-10: 1466388048. Available [online] at <http://www.amf-phylogeny.com>
- SCHÜSSLER A., SCHWARZOTT D. & WALKER C. – 2001: A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105 (12) 1413-1421. doi: <https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>
- SEABLOOM E.W. & WIEDEMANN A.M. – 1994: Distribution and Effects of *Ammophila breviligulata* Fern. (American Beachgrass) on the Foredues of the Washington Coast. *Journal of Coastal Research*, 10 (1): 178-188. JSTOR: <https://www.jstor.org/stable/4298202>
- SMITH S.E. & READ D.J. – 2008: *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press and Elsevier London, New York City, New York, USA. ISBN 978-0-12-370526-6. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
- SPATAFORA J.W., CHANG Y., BENNY G.L., LAZARUS K., SMITH M.E., BERBEE M.L., BONITO G., CORRADI N., GRIGORIEV I., GRYGANSKYI A. & JAMES T.Y. – 2016: A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia* 108:1028–1046. doi: <https://doi.org/10.3852/16-042>
- SRIDHAR K.R. – 2006: *Arbuscular Mycorrhizal Fungi of Coastal Sand Dunes*. In: *Techniques in Mycorrhizae*. I. Invited Lecture. Editors: M. J. Bukhari & B. F. Rodrigues. Government College, Quepem, Goa 403 705, pp. 87 + Plate I & II.
- TEDERSOO L., SANCHEZ-RAMIREZ S., KÖLJALG U., BAHRAM M., DÖRING M., SCHIGEL D., MAY T., RYBERG M. & ABARENKOV K. – 2018: High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity* 90, 135–159. doi: <https://doi.org/10.1007/s13225-018-0401-0>
- UNEP/MAP/PAP – 2008: *Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean*. Split, Priority Actions Programme. United Nations Environment Programme, Mediterranean Action Plan, Priority Actions Programme. ISBN: 978-953-6429-60-8.
- YOUNG J.P.W. – 2012: A molecular guide to the taxonomy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* (2012) 193: 823–826. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.04029.x>

Siti consultati

www.indexfungorum.org e www.mycobank.org (ambidue consultati nel mese di novembre 2022);