Monografie di Geologia Ambientale

# LE DUNE COSTIERE

## valore ambientale, paesaggistico ed economico
## risorsa da proteggere e preservare

A cura di
Francesco Stragapede

Edizioni SIGEA



Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

www.sigea-aps.it

# 5X1000



Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

## Aiutaci a promuovere la CULTURA GEOLOGICA e la TUTELA DELL'AMBIENTE

DESTINA IL

## CINQUE X MILLE ALLA SIGEA-APS

## C.F. 04336801008

Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

www.sigea-aps.it - info@sigeaweb.it

**SIGEA** • Monografie di Geologia Ambientale

Monografie di Geologia Ambientale

# LE DUNE COSTIERE

## valore ambientale, paesaggistico ed economico risorsa da proteggere e preservare

A cura di
Francesco Stragapede

Edizioni SIGEA

MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Volume distribuito nell'ambito del progetto "Comunità consapevoli: erosione, cambiamenti climatici e geodiversità delle fasce costiere", cofinanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e realizzato in collaborazione con il Parco Naturale Regionale Dune Costiere da Torre Canne a Torre San Leonardo (Puglia), destinato agli studenti del Liceo Scientifico del Polo Liceale "G. Galilei – M. Curie" di Monopoli.

Con il patrocinio di

CNG
Consiglio Nazionale dei Geologi

Monografie di Geologia Ambientale

*Comitato scientifico*
Stefano Albanese, Valeria Ancona, Anna Barra Caracciolo, Eleonora Beccaloni, Vincenzo Belgiorno, Piero Bellotti, Mario Bentivenga, Giovanni Beretta, Aldino Bondesan, Francesca Bozzano, Alessandro Bratti, Vito Bruno, Nicola Casagli, Sergio Castenetto, Rachele Castro, Giorgio Cesari, Vera Corbelli, Erasmo D'Angelis, Francesco De Pascale, Donatella De Rita, Rosa Maria Di Maggio, Massimiliano Fazzini, Maria Dolores Fidelibus, Fabio Garbin, Giuseppe Gisotti, Fabrizio Gizzi, Maurizio Guerra, Massimiliano Lega, Fabio Luino, Sergio Madonna, Carlo Manzo, Luciano Masciocco, Carmine Massarelli, Davide Mastroianni, Giuseppe Mastronuzzi, Federica Paglietti, Mario Parise, Fabio Pascarella, Cinzia Pasquale, Laura Passatore, Raffaele Persico, Marco Petitta, Francesco Petracchini, Marco Petrangeli Papini, Gianluca Pirani, Francesco Pirozzi, Sabina Porfido, Enzo Pranzini, Elisabetta Preziosi, Antonio Rusconi, Fabio Sabetta, Gabriele Scarascia Mugnozza, Andrea Sconocchia, Paolo Sconocchia, Gianluca Selicato, Silvia Serranti, Rajanandrea Sethi, Andrea Sonnino, Giuseppe Spilotro, Maria Cristina Tullio, Vito Felice Uricchio, Giuseppe Vadalà, Gianluca Valensise, Igor Villani, Patrizio Zucca

*Comitato editoriale*
Silvano Agostini, Gigliola Alessandroni, Daniele Baldi, Andro Barabesi, Francesco Cancellieri, Lella Checchi, Eugenio Di Loreto, Maria Di Nezza, Daria Durante, Ilaria Falconi, Cesare Ferone, Adele Garzarella, Enrico Gennari, Giammarco Guidetti, Alessio Iacobini, Gianluca Lattanzi, Michele Macaluso, Carlo Malgarotto, Endro Martini, Fabio Oliva, Michele Orifici, Gaetano Osso, Vincent Ottaviani, Guido Pagliaga, Silvia Paparella, Aldo Papotto, Edoardo Robortella Stacul, Orietta Sala, Gaetano Sammartino, Paolo Sassone, Stefano Sorvino, Nino Tarantino, Salvatore Valletta, Pietro Zangheri

*Direttore scientifico*
Vito Felice Uricchio

*Direttore editoriale*
Antonello Fiore

*Progetto grafico e impaginazione*
Pino Zarbo - Fralerighe Book Farm
www.fralerighe.it

II edizione: giugno 2026
ISBN 979-12-80811-05-9
© copyright 2024 Edizioni SIGEA
E-mail: monografie@sigeaweb.it
Sito web: www.sigea-aps.it

*In copertina*: Bacino di Acquatina, Frigole, Lecce. Foto Stefano Margiotta, 2023
*In controcopertina*: passerella sopraelevata in legname sulle dune di Cala Mesquida (Maiorca, ES) - Foto Federico Boccalaro, 2010

Finito di stampare nel mese di giugno 2026 dalla Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

*Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e a norma delle convenzioni internazionali.*

# Indice

Prefazione
Arcangelo Violo ..... 7

Presentazione
Francesco Stragapede ..... 8

Le dune costiere: genesi, distribuzione geografica e gestione
Enzo Pranzini ..... 9

La fauna dei sistemi dunali costieri
Loris Galli, Matteo Zinni ..... 19

Custodi di sabbia: dune costiere fra specializzazioni e fragilità
Patrizia Menegoni ..... 24

Diversità e conservazione della fauna delle dune italiane
Simone Fattorini ..... 41

Dune costiere dell'Emilia-Romagna: cartografia e analisi sullo stato di conservazione e sull'evoluzione recente
Luisa Perini, Jessica Lelli, Lorenzo Calabrese ..... 59

Le dune del litorale marchigiano (Italia centrale adriatica)
Carlo Bisci, Gino Cantalamessa, Simona Casavecchia, Federico Spagnoli, Mario Tramontana ..... 72

L'erosione costiera in un'area protetta: il caso del Parco Migliarino San Rossore Massaciuccoli
Francesca Logli, Andrea Porchera ..... 87

Rilevazione dello stress idrico sulle dune costiere attraverso il telerilevamento
Giovanni Scardino, Saverio Mancino, Gerardo Romano, Domenico Patella, Giovanni Scicchitano ..... 91

Le dune violate: il caso di studio del Salento (Puglia, Italia)
Stefano Margiotta ..... 99

Analisi della distribuzione di plastiche e microplastiche in ambiente di spiaggia
Angela Rizzo, Teresa Fracchiolla, Isabella Lapietra, Stefania Lisco, Isabella Serena Liso, Antonella Marsico, Corrado Sasso, Angelo Sozio, Francesco Veneziano ..... 119

L'ultima spiaggia. Il declino degli ecosistemi dunali della Sicilia negli ultimi 50 anni
Salvatore Pasta, Giuseppe Garfì, Alessandro Silvestre Gristina, Corrado Marcenò, Riccardo Guarino, Ignazio Sparacio, Calogero Muscarella, Gabriele Giacalone, Emilio Badalamenti, Tommaso La Mantia, Bruno Massa ..... 127

Governance degli ambienti di duna costiera
Fabio Vallarola ..... 158

Ingegneria Naturalistica per la riqualificazione degli habitat costieri - un approccio ecologico
Federico Boccalaro ..... 178

La ricostruzione delle dune costiere: l'intervento a Lido di Volano (Comacchio, Emilia-Romagna)
Flavia Sistilli, Nunzio De Nigris, Andrea Maroncelli, Filippo Elia Pizzera ..... 195

Sistema Modulare Antierosione: un innovativo strumento di contrasto all'erosione ed alla salvaguardia delle fasce dunali costiere
Giuseppe Tamburrano ..... 212

Difesa e riqualificazione dunale con tecniche di ingegneria naturalistica: i progetti di difesa e riqualificazione del sistema dunale della Sterpaia in Comune di Piombino (LI)
Maurizio Bacci ..... 215

"We're Changing Day to Day". Habemus dune project: Coastal Habitat Restoration in Torvaianica (Lazio Region, Central Italy)
Amici I., Amodio M., Antinori T., Battista L., Bovina G., Braccia V., Carli E., Casafina C. ..... 222

Ripristino e rinaturalizzazione dei cordoni dunali lungo la litoranea di Ponente del Comune di Barletta: sinergia tra Istituzioni e Enti del Terzo Settore per il bene comune
Raffaele Corvasce, Giuseppe D'Alba, Angela Dinuzzi, Antonello Fiore, Raffaele Lopez, Anna Maria Riefolo ..... 229

Il delta del Tevere e le dune, una chiave storica per la valorizzazione
Tiberio Bellotti ..... 232

# Prefazione

È con grande piacere che ho accolto l'invito del Presidente Antonello Fiore ad occuparmi della parte introduttiva della Monografia di Geologia Ambientale, a cura del collega Francesco Stragapede, dal titolo *"Le dune costiere valore ambientale, paesaggistico ed economico: risorsa da proteggere e preservare"*.

Il consolidato rapporto di collaborazione tra il Consiglio Nazionale dei Geologi e SIGEA continua con rinnovato impegno, con l'interesse di promuovere e valorizzare la diffusione della geologia ambientale. Tra le attività messe in campo in collaborazione possiamo senz'altro considerare i nove webinar sul tema del sistema dunale costiero, che hanno riscontrato l'interesse e la partecipazione di centinaia di professionisti. Grazie al contributo del curatore dei webinar, il Dott. Francesco Stragapede, è stato possibile completare tale disseminazione inserendo nel testo i contributi scientifici dei relatori, culminando nella pubblicazione della Monografia, che si fregia del patrocinio, tra gli altri, anche del CNG.

La Monografia ha il grande merito di approfondire il tema, troppo spesso sottovalutato, della difesa degli ambienti costieri, evidenziando la funzione di protezione che svolgono le dune costiere, anche alla luce degli effetti dei cambiamenti climatici in atto, i quali tendono ad impattare notevolmente l'assetto naturale dei siti. Tali ecosistemi costieri caratterizzati da forme mutevoli ed in continua evoluzione, dal grande valore paesaggistico per la loro bellezza, sono fortemente minacciati dall'impatto antropico che compromette il loro stato di conservazione dal punto di vista geomorfologico e paesaggistico. La disordinata urbanizzazione del territorio costiero degli ultimi decenni ha infatti contribuito ad accelerare i fenomeni erosivi e, di conseguenza, a smantellare il sistema costiero delle dune. Questi sistemi vanno studiati e conosciuti nella loro modalità di formazione e nei meccanismi di evoluzione, solo così sarà possibile prevedere strategie efficaci di tutela e valorizzazione, stabilendo corrette politiche di gestione e promuovendo un uso attento in presenza di attività antropiche.

La recente modifica dell'art. 9 della Costituzione, che ha introdotto la tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi come principi fondamentali, segna uno spartiacque significativo verso una maggiore sensibilità istituzionale e sociale nei confronti della protezione e gestione del territorio e dei suoi ecosistemi.

La componente geologica gioca un ruolo centrale, poiché in grado di garantire che le politiche ambientali e di pianificazione si fondino su una conoscenza approfondita del territorio e della sua vulnerabilità. Attraverso un impiego consapevole della conoscenza geologica è, difatti, possibile approfondire le questioni tecniche, ma anche programmare un approccio preventivo e strategico che aiuti a definire politiche efficaci e sostenibili sotto l'aspetto ambientale, economico e sociale. E' in questo contesto di riferimento e azione che il ruolo del geologo diventa indispensabile nello sviluppo di politiche e progetti legati all'ambiente, nell'ottica di una maggiore sensibilità indirizzata anche verso le risorse naturali.

Andranno promosse sinergie più efficaci per avviare ulteriori percorsi condivisi con il mondo dell'associazionismo ambientale, di cui SIGEA costituisce un autorevole rappresentante. I temi da affrontare riguarderanno, ad esempio, il necessario rafforzamento del ruolo delle competenze geologiche nelle politiche ambientali; la revisione delle normative ambientali, con l'obiettivo di migliorare la pianificazione territoriale e la tutela del patrimonio geologico; la protezione degli ecosistemi naturali attraverso azioni che tutelino la biodiversità e geodiversità, preservando l'equilibrio naturale del suolo, fornendo, altresì, un maggiore impulso alla valorizzazione della componente geologica nel contesto del paesaggio.

Infine, in un contesto più ampio, e se vogliamo anche più trasversale, andranno ulteriormente implementate le attività finalizzate alla promozione delle geoscienze tra le nuove generazioni che si apprestano ad inserirsi in un contesto lavorativo e sociale sempre più in evoluzione, sostenendo pertanto l'insegnamento delle scienze della terra nelle scuole e in tutti i contesti formativi di riferimento.

Disseminare tra i giovani una consapevolezza più radicata sull'importanza di un'educazione geologica, da intendersi quale strumento per sapersi approcciare in modo responsabile verso l'ambiente e le risorse naturali, dovrà trasformarsi in un monito, che si spinga quanto più possibile verso l'esterno con l'obiettivo di raggiungere risultati tangibili anche di lungo periodo. Formare le nuove generazioni, trasferendo loro una conoscenza specifica sui temi ambientali è un dovere da compiere con responsabilità.

**Arcangelo Violo**
*Presidente Consiglio Nazionale dei Geologi*

# Presentazione

Questa Monografia vuole illustrare il sistema costiero dunale nella sua complessità, caratterizzato da una morfologia mutevole nello spazio e nel tempo e sempre in evoluzione, fortemente condizionato dalle oscillazioni del livello marino, dagli effetti delle variazioni climatiche in atto e dalla resilienza alle azioni antropiche di colonizzazione e fruizione, spesso sconsiderata, che interferisce con i delicati equilibri che contraddistinguono questi ambienti e che ne regolano l'accrescimento e la stabilità e ne arricchiscono la biodiversità.

I sistemi dunali costituiscono, pur nella loro fragilità, delle singolarità per geodiversità e per biodiversità in ciascuna delle aree in cui riescono ad esprimersi, caratterizzati da geometrie, natura litologica, cromatica e granulometrica differenti, con una ampia varietà di flora e fauna, tipica e specifica di ciascun tratto costiero.

Tratti costieri di "sabbia", che costituiscono una espressione arealmente sintetica di un complesso di fattori legati ai processi di erosione delle aree interne, alle caratteristiche geologiche dei territori che si affacciano su questi tratti di mare, alle modalità di trasporto dei sedimenti sulla costa, alla natura e granulometria dei materiali che il vento e il mare rimaneggiano, alle specie vegetali che stabilizzano il rilievo ed la colonizzazione biologica, che li arricchisce con una flora ed una fauna talora uniche, in forte competizione in un ambiente ostile e soggetto a rapida modificazione.

Tratti costieri di "sabbia", in cui si concentrano molte delle risorse economiche delle comunità rivierasche, legate prevalentemente al turismo, in particolare alla fruizione estiva, spesso attuata con strumenti e strategie poco attente alla conservazione di questi delicati habitat per le generazioni future e trascurando il mantenimento di quelle caratteristiche che costituiscono la loro specifica attrattiva.

Conoscere questi sistemi, nella loro modalità di formazione, nei meccanismi di evoluzione, di stabilizzazione e di consolidamento, anche come risorsa economica delle comunità e come strumento di contrasto alla erosione costiera, è il primo passo per promuovere strategie efficaci di tutela che permettono di valorizzare le peculiarità di questi ambienti e di sceglierne le modalità di gestione, garantendo comunque il necessario rispetto per questi ambienti e promuovendo la loro capacità di resilienza alla frequentazione ed alla utilizzazione antropica.

Non è infatti possibile gestire le aree dunali solo negli ambiti tutelati dei parchi e delle riserve: è necessario promuoverne un uso attento e ragionato anche nelle zone ordinariamente votate al solo turismo estivo o alla ordinaria frequentazione nei centri abitati costieri, nei quali è necessario mantenere comunque la qualità ambientale e promuovere la specifica biodiversità, per garantire nel tempo quel valore che costituisce la risorsa economica locale.

La condivisione delle conoscenze, delle esperienze e degli studi, a livello multidisciplinare, che con questa Monografia si intende promuovere, è quindi un mezzo per tutelare e valorizzare gli ambienti costieri del nostro territorio, con la dovuta consapevolezza di quali strumenti è possibile utilizzare per attuare opere di difesa efficaci ma rispettose del contesto ambientale in cui vengono inserite, progettate armoniosamente con il paesaggio.

I contributi di questa Monografia, che vuole essere uno dei molti mezzi in atto di diffondere la conoscenza delle peculiarità e delle problematiche di questi specifici ambienti, costituiscono l'impegno sinergico di esponenti della comunità scientifica, di professionisti geologi, ingegneri ambientali, botanici, agronomi, architetti pianificatori, di figure istituzionali e governative.

Ognuno, con le proprie specifiche competenze, attraverso la collaborazione multidisciplinare, condivide le scelte di pianificazione sino ad oggi attuate, le modalità di intervento già effettuate e gli esiti del monitoraggio delle opere di valorizzazione e difesa, nelle differenti tipologie adottate, fornendo agli addetti ai lavori ed agli appassionati quelle utili indicazioni di approfondimento che permettono di valorizzare al meglio ogni singolo aspetto di questi luoghi, sia come oggetto di attività professionali che come ospiti delle vacanze estive, la cui fruizione deve sempre essere guidata dal rispetto del territorio, dell'ambiente e della biodiversità che rende unico ogni tratto delle nostre coste.

**Francesco Stragapede**

# Le dune costiere: genesi, distribuzione geografica e gestione*

## Coastal dunes: genesis, geographical distribution and management

Enzo Pranzini
Università degli Studi di Firenze
Gruppo Nazionale pere la Ricerca sull'Ambiente Costiero

E-mail: enzo.pranzini@unifi.it

**Parole chiave**: morfologia costiera, litorali sabbiosi, interventi di difesa, trasporto eolico, sedimentologia
**Key words**: coastal morphology, sandy coasts, defense interventions, aeolian transport, sedimentology

## INTRODUZIONE

Le dune costiere sono formate dalla sabbia che il vento preleva dalla superficie della spiaggia ed abbandona poco all'interno, e costituiscono un elemento di transizione fra la spiaggia vera e propria e l'entroterra.

Anche se alcuni modelli concettuali prevedono la possibilità di sviluppo delle dune su litorali in erosione (Psuty, 1992), la loro formazione è il naturale risultato dei processi costieri quando la spiaggia è in equilibrio o in avanzamento. Nei litorali in arretramento i depositi eolici possono mancare o, se presenti, mostrano segni di erosione al piede ed apparati radicali della vegetazione scoperti.

Per molti anni la dinamica dei depositi eolici costieri non è stata oggetto di particolare attenzione da parte della comunità scientifica internazionale e la gran parte di quanto sapevamo era frutto delle ricerche pionieristiche svolte da Bagnold sulle dune in ambiente arido, i cui risultati sono stati pubblicati, nel 1941, sul volume *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, a cui tutti gli autori successivi hanno fatto riferimento per anni.



Figura 1. Jericoacoara (Brazil). Misure sul campo nell'ambito di un progetto finanziato dalla USA National Science Foundation e diretto Douglas Sherman.

Più recentemente, anche sulla spinta della necessità di comprendere meglio i processi a cui sono soggette queste forme al fine di impostare modelli di tutela e di gestione, si è visto un crescente interesse verso le dune costiere, con lo sviluppo di modelli evolutivi basati sia su criteri morfodinamici (Short e Heps, 1982) che sui bilanci sedimentari (Psuty, 1992), con una nuova attenzione alle misure sul campo (Baurer *et al.*, 1990; Robertson-Rintoul, 1990; Pelletier *et al.*, 2015, Fig. 1) e con l'organizzazione di congressi specifici (Carter, Curtis e Sheehy-Skeffington eds, 1992). In Europa molto lavoro sperimentale è stato svolto da Carter, mentre van der Meulen ha affrontato in particolare i problemi della gestione delle dune costiere, tenendo viva l'attenzione su queste tematiche anche attraverso il Journal of Coastal Conservation, di cui è stato editor per molti anni.

In Italia il problema è molto sentito da parte delle associazioni ambientaliste, che si sono impegnate anche in progetti di protezione dei sistemi dunari costieri, mentre la comunità scientifica ha spesso considerato marginale questo argomento e, salvo rare eccezioni (Simeoni *et al.*, 1999), è poco presente nella letteratura internazionale. Nel 2003 il Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica finanziò un progetto biennale per lo studio dei depositi eolici costieri italiani, che ha portato ad una cartografia completa di questi ambienti e ha dato impulso alle ricerche in questo settore.

Gli studi sulla morfologia dei sistemi dunari si è avvalsa da alcuni decenni della disponibilità di immagini Lidar acquisite in modo da penetrare la vegetazione e restituire accurati modelli digitali del terreno anche in zone con densa vegetazione (Fig. 2).

## 1. LA FORMAZIONE DELLE DUNE

Lungo i litorali sabbiosi non antropizzati, la presenza delle dune è una costante, tanto che molti ritengono che

* Questo articolo deriva in parte dal capitolo "Le dune costiere" del volume *La forma delle coste. Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali*, Zanichelli, 2004.

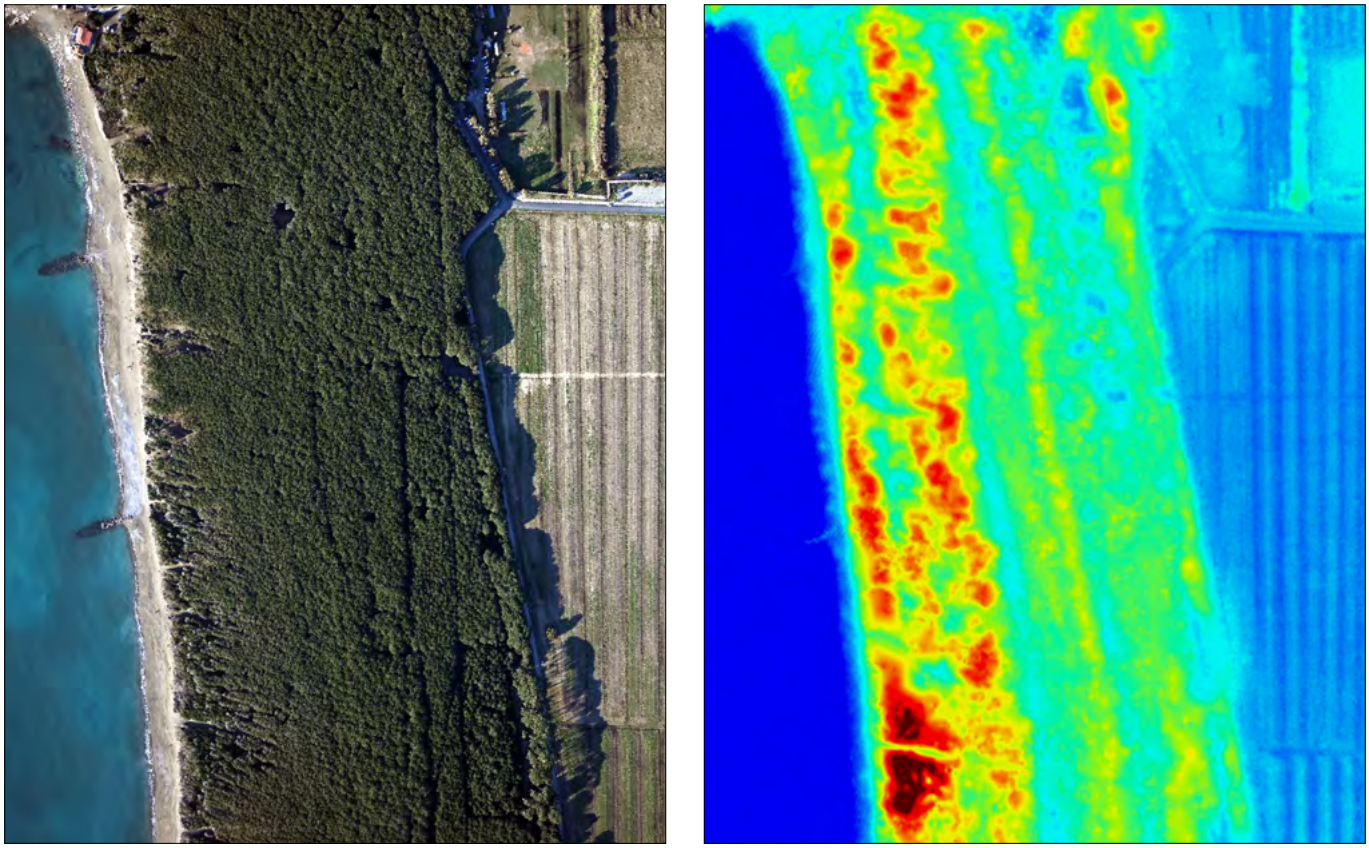


Figura 2. Foto aerea (a sinistra) e DTM prodotto da rilievo Lidar da aereo (a destra) di un tratto delle dune del Tombolo meridionale di Marina di Cecina.

non esistano spiagge che non abbiano alle spalle questi cordoni di sabbia, più o meno alti e più o meno vegetati.

La loro assenza è quasi sempre dovuta all'attività antropica, che può averle spianate per sostituirle con strade, ferrovie o passeggiate a mare, quando non per costruire case, villaggi turistici, alberghi o stabilimenti balneari.

Sulle spiagge costituite prevalentemente da sabbia, il vento, esercitando la propria forza sui granelli presenti in superficie, riesce a muovere le particelle più fini e a trasportarle fino a quando la sua velocità lo consente, spesso depositandole fra la vegetazione che delimita la spiaggia e che diventa un elemento fondamentale per la nascita e il mantenimento delle dune.

Il processo di prelievo della sabbia, chiamato deflazione, avviene secondo regole apparentemente complesse, perché le particelle estremamente fini, quali i limi e le argille sembrano opporsi all'erosione più di quanto non lo facciano le sabbie.

Facendo riferimento alla Fig. 3, si vede come, quando la velocità del vento supera i 3 metri al secondo i primi granelli che iniziano a muoversi hanno dimensioni di circa 0,06 mm (limite sabbia – limo), mentre le particelle più fini, ad esempio quelle di 0,02 mm, verranno messe in movimento solo quando il vento avrà già raggiunto i 5 m/s; ma allora nel flusso sedimentario troveremo anche granelli di 0,2 mm.

Di fatto, l'inizio del movimento di ciascuna classe dimensionale avviene un po' prima che il vento raggiunga la velocità prevista nella figura, perché l'impatto con il suolo delle particelle che si sono già mosse trasferisce ai granelli colpiti una certa quantità di moto.

La relazione descritta nella figura in realtà vale solo se i granelli dalle differenti dimensioni occupano superfici diverse, e i granelli fini, oltre ad essere estremamente coesivi, formano superfici poco scabrose dove il flusso laminare del vento ha difficoltà a distaccare i singoli grani; mentre in un deposito poco classato, quale spesso è quello di spiaggia, la superficie è scabrosa e la micro-turbolenza che si forma nell'interfaccia sabbia-aria può facilmente sollevare i granelli più piccoli, che poi vengono presi in carico dal vento e trasportati anche a grandi distanze. Bisogna però sottolineare che i granuli di queste dimensioni costituiscono una

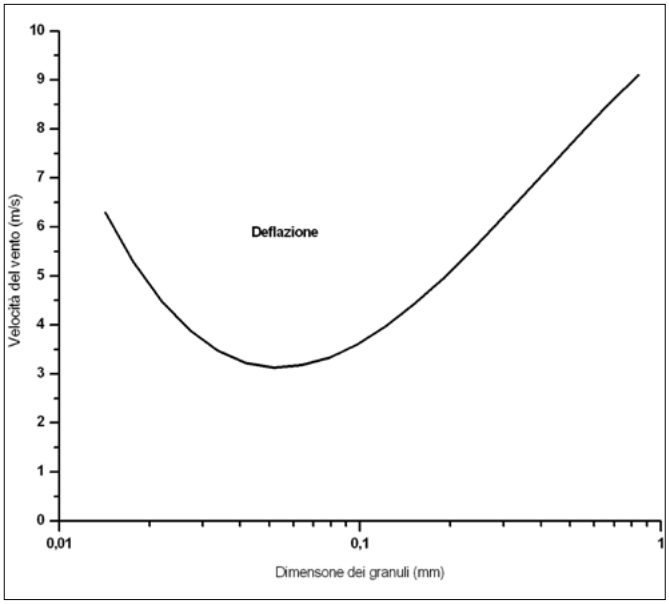



Figura 3. Velocità alla quale inizia la deflazione per granuli di diversa dimensione.

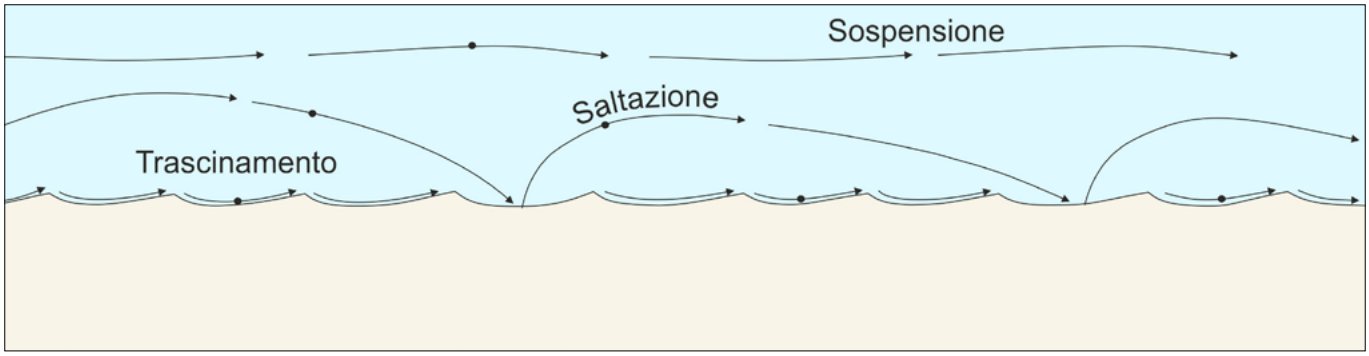



Figura 4. Modalità di trasporto della sabbia da parte del vento.

percentuale minima nei depositi di spiaggia, tanto che il trasporto in sospensione non incide in modo significativo sul bilancio sedimentario dei litorali.

Con l'aumentare della velocità, e grazie al flusso non laminare, anche i granelli più grossi possono essere sollevati, ma con una densità 2000 volte maggiore di quella dell'aria, difficilmente riescono a galleggiare e si limitano a fare dei piccoli salti (movimento per 'saltazione'). La particelle ancora più grosse, che non riescono a sollevarsi, si possono muovere scorrendo sulla superficie (*creeping*, reptazione) sia grazie alla spinta del vento radente, sia per l'impatto dei granuli che dopo ogni salto ricadono al suolo (Fig. 4).

ricade più avanti e innescare il movimento di un numero maggiore di granelli (Fig. 5).

Sotto l'azione del vento la superficie della spiaggia si modella in ripples (ondulazioni con creste aguzze), la cui altezza può raggiungere alcuni centimetri e la lunghezza alcuni decimetri, in funzione diretta con la velocità del vento e con le dimensioni dei granuli. In condizioni di vento particolarmente forte è stata osservata la formazione di ripples anche in spiagge con ghiaia di 3 cm di diametro, mentre sulle spiagge sabbiose con analoghe velocità le ripplse vengono cancellate e la superficie si presenta completamente piatta (Zenkovich, 1967).

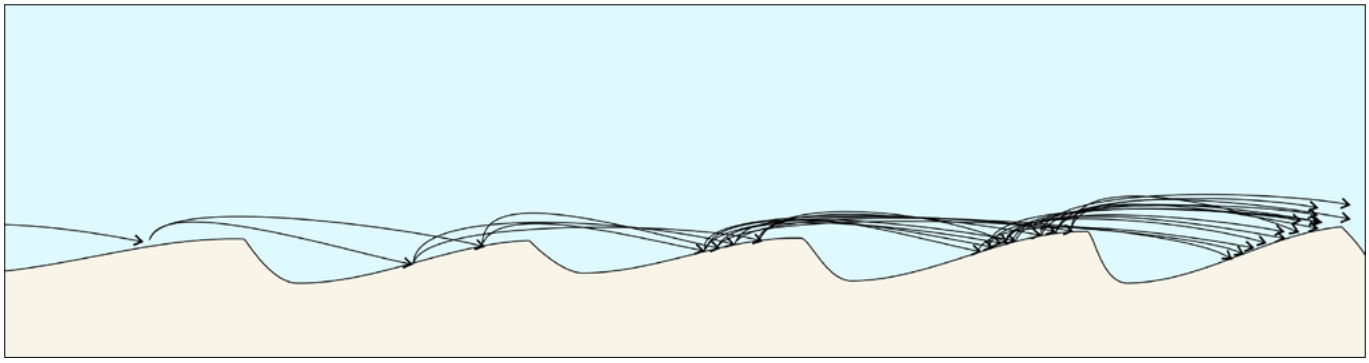


Figura 5. Un granello di sabbia può cadere al suolo e sollevarne due, che a loro volta ne solleveranno altri in un processo regolato da feed-back positivo.

Si stima che il 75% del volume della sabbia si muova in sospensione e il 25% per creeping (Pethic, 1984), ma comunque il 50% del flusso interessa i primi 5 cm dell'atmosfera (Zenkovich, 1967).

Il flusso della sabbia per saltazione è soggetto a feedback positivo in quanto un granello che ricade può trasferire l'energia cinetica acquisita in volo a due o più granelli che, sollevati, potranno essere presi in carico dal vento per

Osservando la superficie della spiaggia in una giornata di vento si può avere l'impressione che le *ripples* si muovano in direzione opposta a quella del flusso dell'aria, perché i granelli che ricadono al suolo hanno più probabilità di colpire il fianco sopravento che non quello sottovento delle ondulazioni (Fig. 6).

Tutti questi movimenti interessano comunque la frazione a granulometria minore di tutto il corpo della spiaggia,

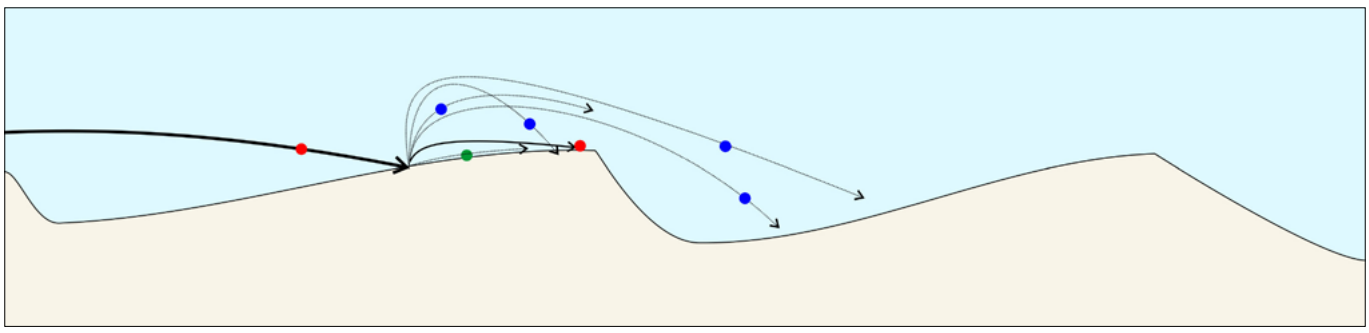


Figura 6. I granuli che si muovono per saltazione hanno più probabilità di cadere sul lato sopravento che non su quello sottovento delle *ripples*. Questo può dare l'impressione di uno scorrimento delle *ripples* in direzione opposta a quella del vento.

dove si forma un deposito "residuale" costituito da particelle di dimensioni medie maggiori rispetto a quelle del materiale originario.

In alcuni casi, questa erosione selettiva lascia una spiaggia con una corazza di ghiaia e ciottoli, che ripara e nasconde i sedimenti eterogenei sottostanti (Fig. 7). Molte spiagge ghiaiose sono in realtà spiagge miste sabbia più ghiaia, e non solo per effetto della deflazione, ma anche perché in condizioni di alta energia da moto ondoso la sabbia può rimanere solo intrappolata e protetta da ghiaia e ciottoli.



Figura 7. Corazza ciottolosa dovuta a deflazione selettiva sulla spiaggia mista di Skagen, Danimarca.

L'effetto di questi processi appare evidente analizzando le dimensioni dei granuli che costituiscono i vari depositi costieri: in genere una duna è costituita da materiali più fini e meglio classati rispetto a quelli che costituiscono la spiaggia antistante (Fig. 8).

Quando il vento incontra un ostacolo, che può essere costituito da vegetazione, rocce e manufatti, ma anche da materiale vegetale o di origine antropica portato dal mare sulla spiaggia, il suo flusso viene modificato sia in termini di direzione che di velocità. Localmente la velocità può anche aumentare, determinando erosioni concentrate, ma spesso si riduce, consentendo la deposizione di parte della sabbia trasportata.

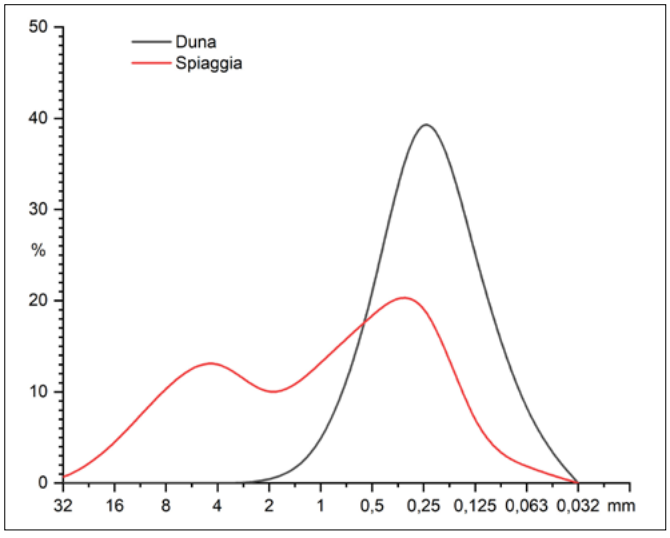



Figura 8. Distribuzione granulometrica di un sedimento di battigia e di uno di duna della stessa spiaggia (Marina di Bibbona, Toscana).

Elementi geometrici ben definiti, come recinzioni o edifici, determinano spesso un accumulo di sabbia sul lato sopravento, che può però essere separato dall'ostacolo da un profondo solco dovuto a correnti erosive localizzate o inversioni di direzione del flusso. Piccoli ostacoli, che non intercettano la sabbia in transito, possono avere una "coda" di sabbia dovuta alla caduta di velocità del vento sul lato riparato.

Il materiale che si muove per effetto del *creeping* è meno soggetto a questi processi e fluisce verso l'ostacolo fermandosi alla sua base, a meno che qui non si formino vortici capaci di allontanarlo.

La vegetazione costituisce un ostacolo meno rigido e frena il vento in modo graduale. Dove essa è presente non si formano mai dei solchi e la duna si raccorda in modo morbido con la spiaggia. Già le prime piante psammofile (che vivono sulla sabbia), presenti sulla parte più interna della spiaggia, costituiscono un ostacolo sufficiente a formare una prima duna embrionale che, se non intaccata dalle oscillazioni stagionali della linea di riva, avrà modo di crescere fino a costituire una duna vera e propria (*foredune*). In questo processo la vegetazione che continua a crescere sopra di essa ha un ruolo determinante, mantenendo sempre una barriera permeabile che "pettina" il vento e trattiene i granelli da esso trasportati. Nelle dune in accrescimento l'innalzamento di quota della sommità allontana le radici delle piante dalla falda acquifera, e le specie che hanno determinato la formazione della duna embrionale vengono sostituite da altre più adatte a vivere nel nuovo ambiente.

Una cosa che può sorprendere è il vedere che le dune costiere sono sempre parallele alla riva, anche se il vento dominante o regnante ha direzione non ortogonale alla costa. Il motivo è che, per nascere, la duna ha bisogno dell'ostacolo costituito dalla vegetazione, e questa può vivere solo oltre il limite raggiungo dalle onde, che corre parallelo alla costa.

Se la spiaggia è in accrescimento, la *foredune*, che nasce spesso sulla cresta di una berma di tempesta costruita da una mareggiata particolarmente intensa, può vedere davanti a sé la formazione di un altro cordone sabbioso che la priverà di una parte consistente dell'apporto eolico. La vecchia duna avrà quindi un'evoluzione più lenta, mentre si accrescerà rapidamente il nuovo cordone (Fig. 9). È così che con il passare del tempo, in spiagge soggette a progradazione, i cordoni sabbiosi si affiancano l'uno all'altro, formando sistemi dunari larghi anche svariati chilometri.

Se la progradazione della spiaggia è rapida, la nuova *foredune* si formerà ad una certa distanza dalla vecchia, lasciando fra le due una zona topograficamente depressa, che potrà successivamente ospitare uno stagno interdunare. È questa l'origine di molte delle aree umide con sviluppo parallelo a riva presenti anche lungo le nostre coste.

Ma questa rapida espansione della costa favorisce lo sviluppo di numerose dune embrionali, che non hanno però la possibilità di crescere e diventare vere e proprie *foredunes*, in quanto i nuovi cordoni che si formano davanti ad esse le privano dell'alimentazione eolica. Solo se la linea di riva non subisce consistenti spostamenti o se la crescita della spiaggia è molto lenta si possono formare dune costiere molto elevate.

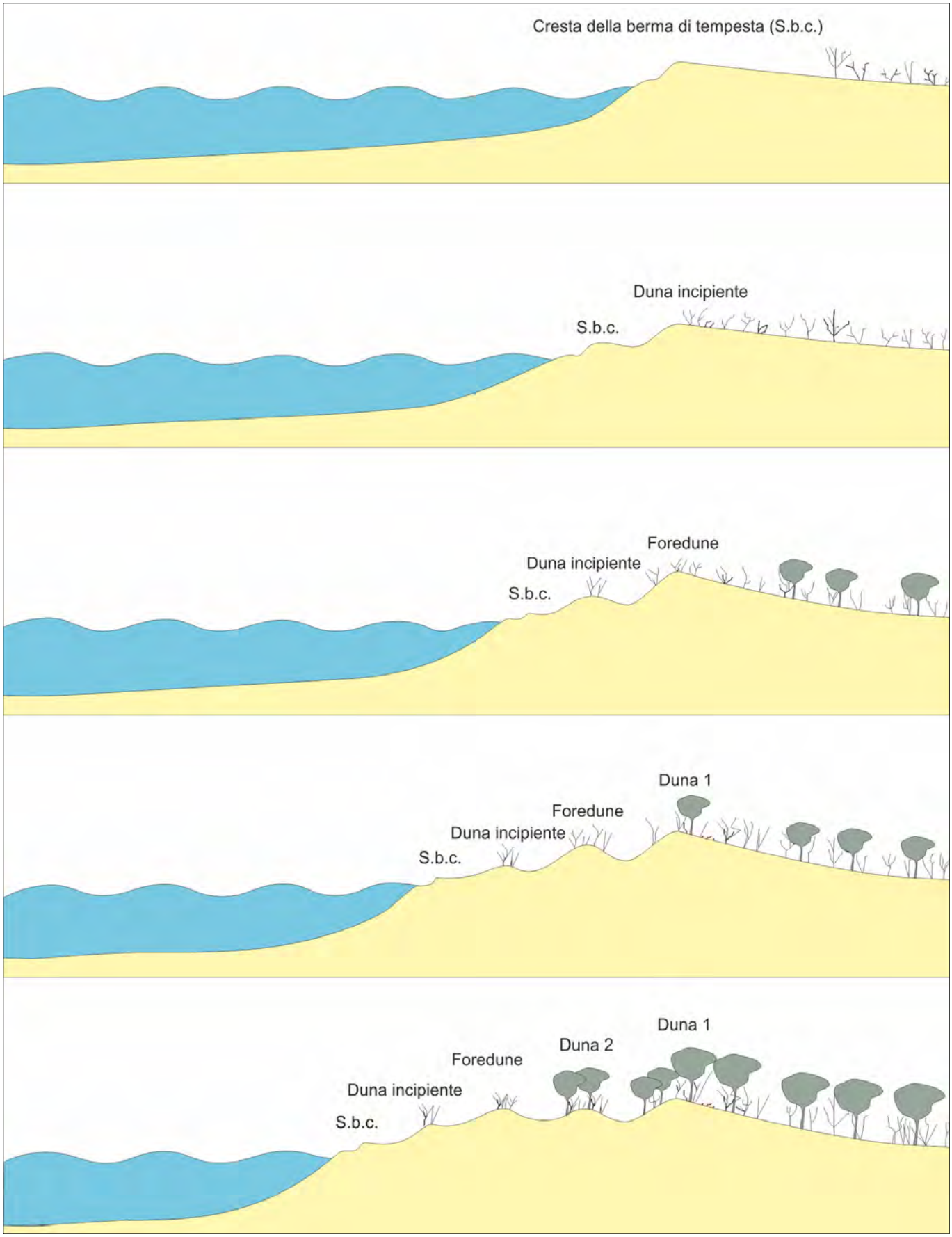



FIGURA 9. Sviluppo di dune parallele a costa

Se la vegetazione è importante per la formazione delle dune, la sua presenza rende meno evidenti i processi a cui sono soggette e la loro morfologia di può discostare da quella classica a cui siamo abituati dai libri di testo. Laddove la vegetazione è assente, si può apprezzare il profilo caratteristico dei depositi eolici, con il lato sopravento a debole pendenza e quello sottovento più ripido (Fig. 10).

Il primo riceve costantemente sabbia dalla spiaggia antistante, ma viene anche eroso dal vento, che trasporta i granuli in salita fino alla cresta della duna, dove la compres-



Figura 10. Tratto di duna non vegetata sulla costa della California (USA): il versante esposto al vento, a minore pendenza, è modellato da *ripples* di dimensioni centimetriche.

sto determina il movimento dell'intero corpo dunare, che può avvenire solamente con una copertura vegetale scarsa o assente.

Le dune non fissate dalla vegetazione si muovono piuttosto rapidamente, con una velocità direttamente proporzionale a quella del vento ed indirettamente proporzionale al volume del corpo sabbioso. Ecco che la Dune du Pylat (Fig. 12), posta sulla costa del Golfo di Guascogna ed alta più di 100 metri, si muove di un solo metro all'anno, mentre sulla costa sud-orientale dell'Australia dune alte circa 20 metri avanzano di 19 metri all'anno; e in dune più piccole sono state misurate velocità di ben 50 metri all'anno (Chapman *et al.*, 1982; in Bird, 2000).

In questa migrazione le dune possono spingersi in profondità nell'entroterra, accumularsi alla base dei rilievi o risalire anche ripide falesie per andare a posizionarsi alla loro sommità (*Clifftop dunes*), come avviene in alcuni tratti delle coste del Kent, mentre nelle coste dell'Australia meridionale Short (1996) ha osservato dune che sono state in grado di superare anche i promontori.

La duna di Piscinas, in Sardegna, che con i suoi 60 m di altezza passa per essere la più alta d'Italia, è di fatto una *clifftop dune* che in buona parte copre un substrato roccioso.

L'invasione dei territori abitati o coltivati da parte delle dune non è sono un fenomeno che avviene in aree desertiche, ma affligge anche molti territori costieri e la loro stabilizzazione (Fig. 13) non è perseguita solo per motivi

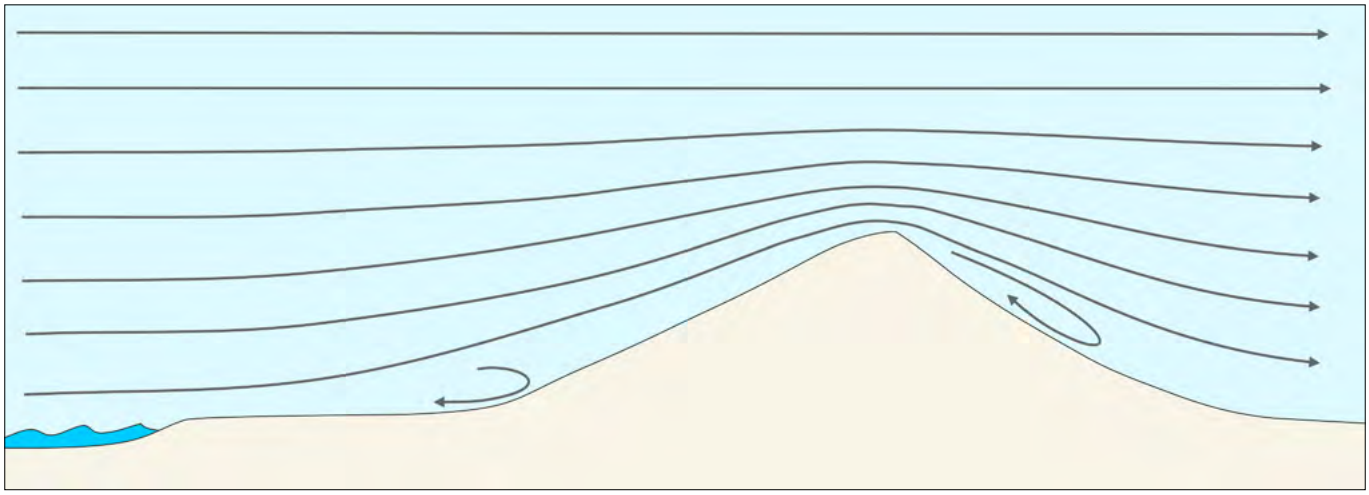


Figura 11. Linee di flusso dell'aria nel superamento di una duna.

sione del flusso (Fig. 11) fa registrare le massime velocità. Più alta è la duna e più veloce è il vento sulla cresta, tanto che un processo di *feedback* ne inibisce una crescita indefinita. Superata la cresta, il vento riduce la propria velocità ed abbandona parte delle particelle che trasportava; altre dalla cresta cadono per gravità per andare a costituire un versante con pendenza regolare e costante, determinata dall'angolo di riposo dei materiali. Questo è compreso fra i 32° ed i 34°, con i sedimenti più grossolani che tengono un angolo più ripido.

In entrambi i lati si possono generare vortici che determinano un'inversione dei flussi; quelli che si formano sul lato posto sottovento contribuiscono all'accrescimento di questo fianco della duna che, con l'erosione del lato oppo-



Figura 12. La Dune du Pylat, sulla costa del Golfo di Guascogna. La sua altezza varia in continuazione, e negli ultimi anni è oscillata fra i 104 ed i 114 m. La sua alimentazione è garantita dalla sabbia fine che costituisce i bassi fondali antistanti che rimangono scoperti durante la bassa marea.



FIGURA 13. Staccionate per ostacolare la migrazione delle dune a Valdevaqueros (Spagna). La spaziatura delle stecche è calcolata in modo da rallentare il flusso dell'aria senza indurre troppa turbolenza che aiuterebbe i granelli di sabbia a saltare l'ostacolo.

ecologici ma anche tenerle lontane da città, strade, ferrovie e campi coltivati.

## 2. DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA DELLE DUNE COSTIERE

Dato che le condizioni essenziali per la formazione di vasti campi di dune sono la disponibilità di sabbia fine e gli intensi e frequenti venti foranei, essi si troveranno prevalentemente in prossimità dello sbocco di grandi fiumi, che portano ingenti quantità di sedimenti fini, e su coste battute da forti venti, quali quelle esposte ai venti occidentali alle medie latitudini (Fig. 14). In aggiunta a ciò, con forti oscillazioni di marea, si scopre una ampia fascia di fondale costituito da sabbia fine, che, se il vento ha la possibilità di asciugare, costituisce una fonte inesauribile di sedimenti per lo sviluppo delle dune costiere. Nella fascia equatoriale, dove la vegetazione si spinge fin quasi sulla battigia, la possibilità di formazione delle dune costiere è più limitata. Inoltre, in queste zone, i venti sono per lo più deboli se non in occasione dei temporali che, comunque, bagnano la spiaggia impedendo così l'erosione eolica.

Sulle spiagge tropicali può accadere che l'intensa evaporazione lasci una crosta salina che cementa i granuli di sabbia bloccando la deflazione. In queste aree vi è però anche la possibilità che la fascia costiera sia abbondantemente rifornita di sedimenti delle dimensioni opportune da parte del vento che spinge le dune del deserto fin sulla spiaggia. Lungo le coste occidentali del Nord Africa, sottoposte all'azione degli Alisei che spirano dall'interno verso il mare, è proprio questo il processo che alimenta le dune che delimitano le spiagge.

Lungo le coste dell'Artico i depositi eolici sono meno frequenti di quanto potrebbe fare pensare l'ampia disponibilità di sedimenti prodotti, sia oggi che in passato, dall'erosione glaciale. Ciò può essere dovuto, oltre che alle dimensioni non ottimali di questi materiali, alla frequente presenza di suolo gelato ed ai venti catabatici che spirano spesso dall'interno verso il mare.

Analizzando la distribuzione delle dune costiere in Europa (Fig. 15), si vede bene come questi condizionamenti siano pressanti, e come i sistemi dunari più sviluppati siano ubicati lungo le coste atlantiche battute dai venti occidentali, in quei tratti in cui forte è l'escursione di marea e dove giungono fiumi con ampi bacini a bassa energia del rilievo.

In Italia la gran parte dei fiumi ha un corso breve ed a forte pendenza, tanto che i materiali che giungono al mare sono costituiti prevalentemente da sabbie grossolane e da ghiaie; l'oscillazione di marea è generalmente di poche decine di centimetri e i venti foranei non raggiungono certo la forza che si registra, ad esempio, sulle coste atlantiche di molti paesi europei. Ecco, quindi, che i vasti sistemi dunari sono assai pochi nel nostro Paese, ed anche per questo necessiterebbero di maggiore tutela.

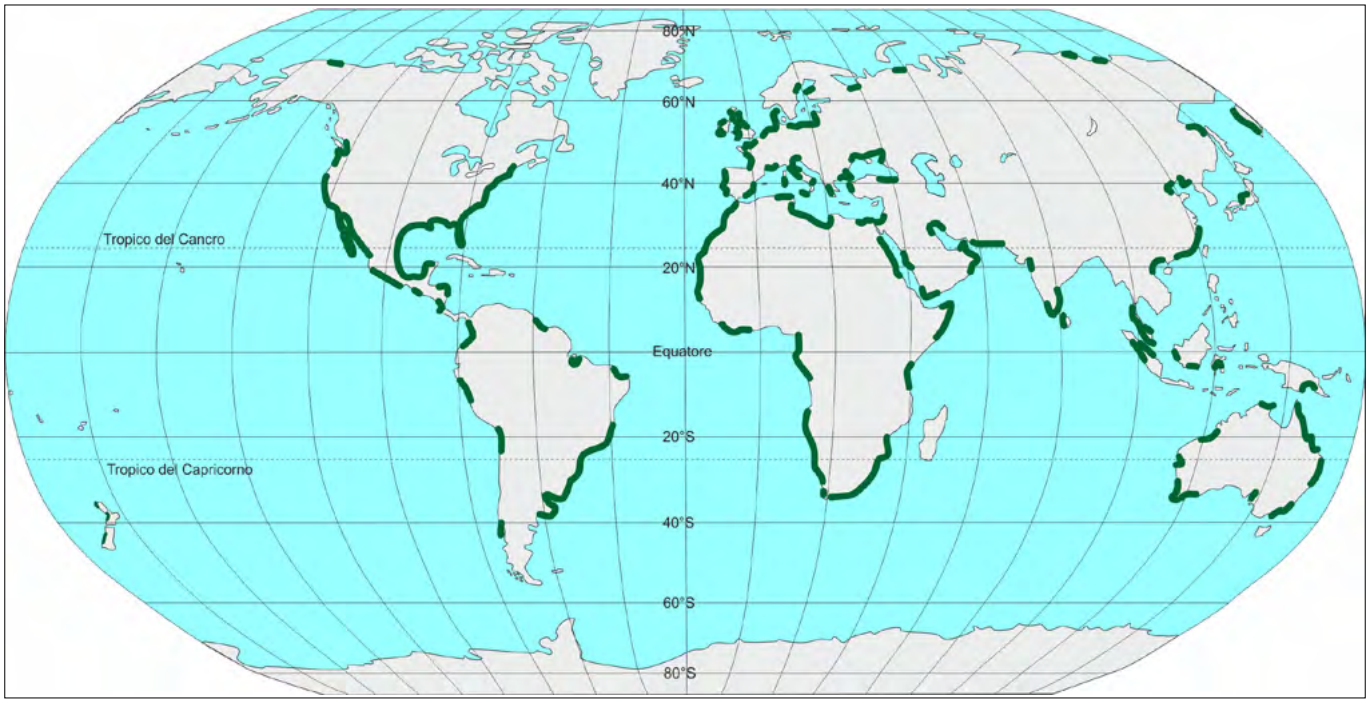



FIGURA 14. Distribuzione dei principali sistemi di dune costiere nel mondo.



Figura 15. Distribuzione dei principali sistemi di dune costiere in Europa.

Oltre che in vicinanza delle foci dei maggiori fiumi (Arno, Ombrone, Tevere, Volturno, Sele, Reno e Po), importanti sistemi dunari si trovano anche in tratti costieri esposti a forti venti, come sulla costa occidentale della Sardegna.

## 3. L'IMPATTO ANTROPICO E LA DIFESA DELLE DUNE

La forte attrazione esercitata dalle fasce costiere su tutte le attività antropiche è la causa principale del flusso demografico che vi si è instaurato, anche in Italia, dal momento in cui queste aree sono diventate salubri, a seguito della sconfitta della malaria, e sicure, per la fine delle scorrerie dei Saraceni. Ciò ha portato ad un progressivo degrado delle coste, che vede nella scomparsa di molti apparati dunari uno dei segnali più preoccupanti.

Questi, già minacciati dal generalizzato arretramento della linea di riva, spesso sono stati spianati per costruire vie di comunicazione, insediamenti urbani ed industriali e, più recentemente, villaggi turistici (Fig.16).



Figura 16. Villaggio turistico costruito sulla duna del Golfo di Follonica. L'erosione della spiaggia aveva causato gravi problemi di stabilità agli edifici ed ha imposto la costruzione di opere di difesa del litorale che hanno accentuato l'erosione nei settori di costa adiacenti.

In molti casi le dune sono state spianate con l'unico scopo di garantirsi una vista sul mare o un facile accesso alla spiaggia (Fig. 17), e dove ciò non è avvenuto, è stata l'intensa frequentazione dovuta all'utilizzazione della spiaggia a determinare il degrado della vegetazione e la rimobilizzazione delle dune con la formazione di conche di deflazione (*blow-outs)*. È infatti sufficiente una modesta riduzione della copertura vegetale per riattivare quei processi eolici che la vegetazione stessa aveva inibito (Short ed Hesp, 1982). In questi casi si possono sviluppare dune paraboliche, analoghe a quelle che si formano in aree continentali a clima arido, che migrano verso l'interno lasciandosi dietro lunghe ali e riducendosi progressivamente di quota se non alimentate dalla spiaggia.



Figura 17. Taglio della duna per favorire l'accesso a un nuovo stabilimento balneare (Tirrenia, Livorno).

I depositi eolici costieri non formano solo un elemento geomorfologico di particolare pregio paesaggistico, ma costituiscono anche una riserva di sabbia utile alla spiaggia in momenti di *deficit,* e la loro tutela deve fare parte di quell'insieme di interventi, tecnici e normativi, volti alla difesa dei litorali ed alla prevenzione delle inondazioni da mare. Queste barriere disposte parallelamente alla linea di riva, con la vegetazione che ospitano, sono anche un ostacolo contro i venti provenienti dal mare che spingono verso l'interno *spray* di acqua salata dannosa per le coltivazioni.

Le dune costiere costituiscono anche una riserva idrica, poiché una bolla di acqua dolce galleggia sulla falda di acqua salata (modello di Ghjiben-Herzber): dato che l'acqua di mare ha una densità di 1,025 g/cm$^3$, mentre per l'acqua dolce questo valore, è di 1,000 g/cm$^3$, all'interno delle dune si trova un 'gocciolone' di acqua dolce che galleggia su quella salata, con una parte sopra al livello del mare e quaranta parti sotto (Fig. 18). Nella realtà la superficie di separazione non è netta, ma vi è uno strato di acqua salmastra.

L'abbassamento di quota di un metro della duna può portare, in teoria, ad una riduzione dello spessore della falda dolce che può raggiungere i 40 metri. In un ambiente in cui la disponibilità di acqua di buona qualità è sempre minore e con picchi di utilizzazione concentrati in pochi mesi, quelli estivi, questa risorsa dovrebbe essere considerata strategica.

La difesa delle dune è quindi parte integrante della difesa del suolo e dell'ambiente nelle sue più svariate componenti, ed il recupero dei sistemi dunari diventa essenziale nella gestione integrata della fascia costiera. La riforestazione delle dune non è però un'operazione semplice, dato che

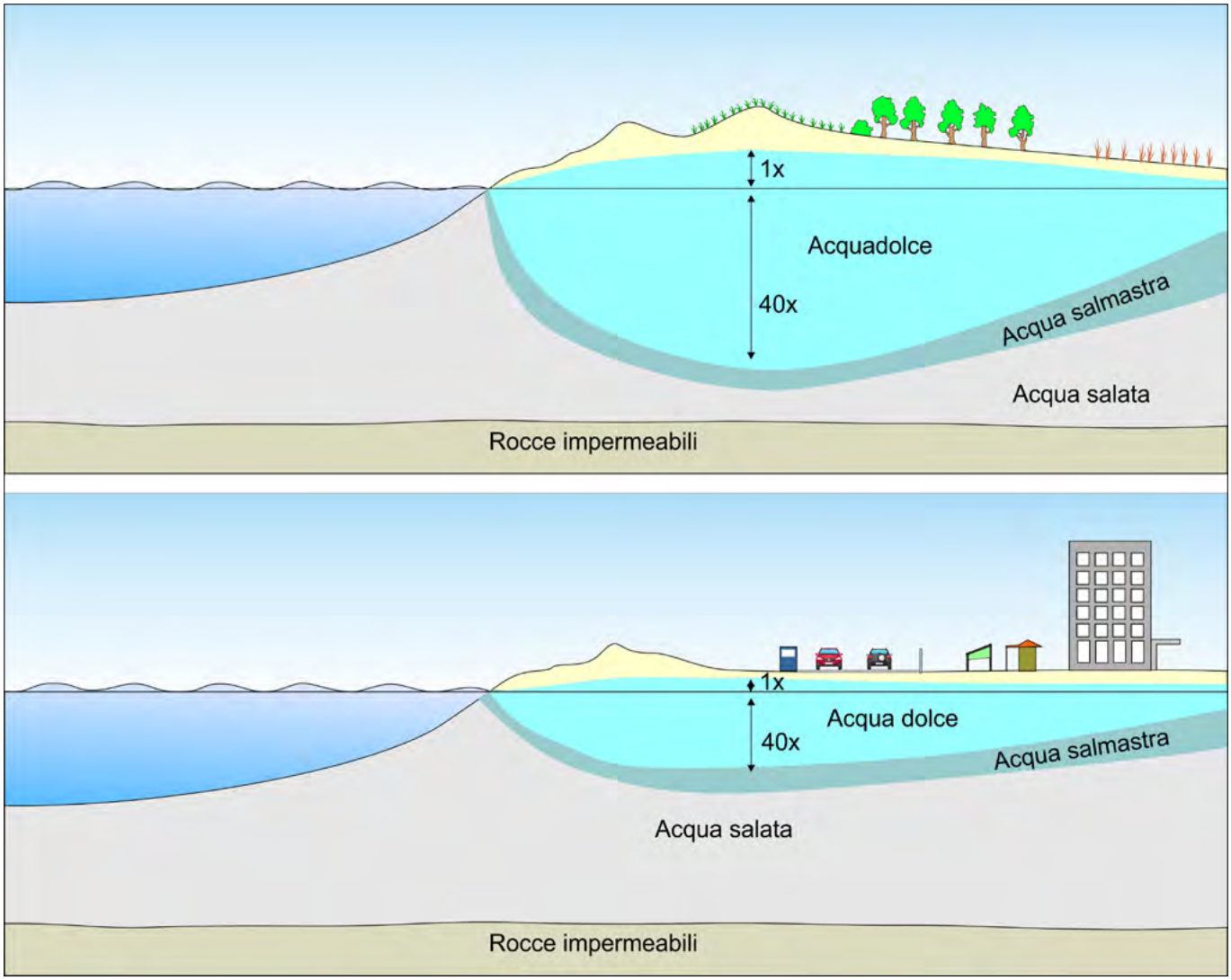



FIGURA 18. Modello di Ghjiben-Herzber, che spiega la presenza e lo spessore della falda di acqua dolce all'interno delle dune e la sua riduzione a seguito di un loro abbassamento.



FIGURA 19. New Jersey (USA): piantumazione delle dune con *Ammophila arenaria*.

il substrato è in continua evoluzione e le radici delle nuove pianticelle vengono continuamente scoperte dal vento. È quindi necessario stabilizzarle con siepi morte o con reti e pannelli prima di procedere alla piantumazione. Esempi di interventi di questo tipo si ritrovano sia in Italia che nel resto del mondo, e mostrano una grande varietà di tipologie che, in genere, convergono nella posa a dimora di piantine di Ammophila (Fig. 19).

È evidente che questi interventi richiedono la preclusione all'accesso, almeno fino al momento in cui la vegetazione non ha coperto completamente la duna; preclusione che si ottiene con la creazione di recinti e, molto più efficaci se attuati, con interventi sanzionatori, come quelli in atto lungo le coste degli Stati Uniti, dove chi viene sorpreso all'interno della zona piantumata paga una multa di 300 dollari.

Altri interventi sono volti a ridurre l'impatto della frequentazione, creando accessi al mare con andamento sinuoso, in modo che il vento non possa incanalarsi e scalzare alla base la vegetazione; questi possono avere alle estremità delle paratie in materiali naturali per riparare l'ingresso del tracciato. In alternativa, vengono creati percorsi soprelevati o stese pedane di legno in modo che il passaggio delle persone non generi un solco nel quale il vento possa incanalarsi (Fig. 20).



Figura 20. Passerella per l'attraversamento delle dune nel Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli.

Ovunque l'impianto di Ammophila è considerato strategico nella difesa e nella ricostituzione delle dune, tanto che la scarsità dei depositi eolici che caratterizza la costa nord-occidentale degli Stati Uniti sembra dovuta anche al fatto che l'Ammophila è stata introdotta solo nel 1869 nella Baia di San Francisco e nel 1919 nella Coos Bay (Oregon) (Goldsmith, 1982).

La protezione delle dune con l'introduzione di questa pianta ha comunque determinato, in molte zone degli Stati Uniti, un forte impatto sugli ecosistemi dunari, dato che è estremamente invasiva, tanto che oggi si tende a eliminarla. Anche in altri paesi l'introduzione dell'Ammophila per stabilizzare le dune ha avuto dei risvolti negativi, come in Australia, dove essa è andata a sostituire alcune specie autoctone (Bird, 2000). Mentre la stabilizzazione delle dune di Cape Hatteras (North Carolina), che impedisce una risposta elastica del sistema dunare ad occasionali erosioni del litorale, è ritenuta responsabile dell'incremento delle dimensione della sabbia sulla spiaggia, della riduzione di ampiezza dell'arenile e dell'aumento della pendenza del profilo di spiaggia (Dolan, 1972).

La tutela delle dune e la loro ricostituzione trovano comunque ostacoli da una parte della popolazione residente e dei frequentatori estivi, che vedono in ciò una limitazione allo sfruttamento della fascia costiera. Ecco perché è importante rimarcare l'importanza di questi ambienti e coinvolgere i cittadini nella loro tutela.

## BIBLIOGRAFIA


Bagnold R.A. (1941). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes.* William Morrow and Co., New York, pp. 256.

Baurer B.O., Sherman D.J., Nordstrom K.F. e Gared P.A. (1990). *Aeolian transport measurement and prediction across a beach and dune at Castroville, California.* In: Coastal dunes, forms and process, a cura di K.F. Nordstrom, N. Psuty e R.W.G., John Wiley & Sons, Chichester, England, pp. 39-55.

Bird E. (2000). *Coastal Geomorphology*. John Wiley and Sons, Chichester, 322 pp.

Carter R.W.G., Curtis T.G.F. e Sheehy-Skeffington M.J. (a cura di) (1992). *Coastal dunes: Geomorphology, Ecology and Management.* Balkema, Rotterdam. Pp.533.

Carter R.W.G., Nordstrom K.F. e Psuty N.P. (1990). *The study of coastal dunes*. In Nordstrom K.F., Psuty N. e Carter R.W.G. Eds.- Coastal dunes. Form and Process. John Wiley & Sons, Chichester. Pp. 1-16.

Chapman D.M., Geary M, Roy P.S. e Thom B.G. (1982). *Coastal evolution and coastal erosion in New South Wales.* Coastal Council of New South Wales, Sydney.

Dolan R. (1972). *Barrier dune system along the Outer Banks of North Carolina: A reappraisal*. Science, 176: 286-288.

Goldsmith V. (1982). *Coastal dunes and aeolian sedimentation*. In: The Encyclopedia of Beaches and coastal environments. M.L. Schwartz Ed., Hutchinson Ross Publishing Co., Stroundsburg, Pensylvania.

Pelletier, J.D. Sherman, D.J., Ellis, J.T., Farrell, E.J., Jackson, N.L., Li, B., Nordstrom, K.F., Maia, L.P., Omidyeganeh M. (2015). *Dynamics of sediment storage and release on aeolian dune slip faces: A field study in Jericoacoara, Brazil* Journal of Geophysical Research: Earth Surface, Vol. 120, Issue 9: 1911-1934.

Pethick J. (1984). *An introduction to coastal geomorphology*. Arnold, Londra. pp. 260.

Psuty N.P. (1992). *Spatial variation in coastal foredune development*. In Coastal dunes: Geomorphology, Ecology and Management. A cura di R.W.G.Carter, T.G.F. Curtis e M.J. Sheehy-Skeffington. Pp.3-13. Balkema, Rotterdam.

Robertson-Rintoul M.J. (1990). *A quantitative analysis of the near-surface wind flow pattern over coastal parabilic dunes.* In: Coastal dunes, forms and process, a cura di K.F. Nordstrom, N. Psuty e R.W.G. Carter. John Wiley & Sons, Chichester, England, pp. 57-78.

Short A.D. (1996). *Beaches of the Victorian coast and Port Phillip bay.* Australian beach safety and management program, Sydney, 298 pp.

Short A.D. e Heps P. (1982). *Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia.* Marine geology, 48: 259-284.

Simeoni U., Calderoni G., Tessari U. e Mazzini E. (1999). *A new application of System Theory to foredunes intervention strategies*. Journ. Coastal Research, 15: 457-470.

Zenkovich V.P. (1967). *Processes of coastal development.* Oliver & Boyd, Edimburgo, 738 pp.

# La fauna dei sistemi dunali costieri

## The fauna of the coastal dunes

Loris Galli
Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Università degli Studi di Genova, Genova
E-mail: loris.galli@unige.it

Matteo Zinni
Società Agricolture Biodiveristy and Technologies (Abit), Milano
E-mail: matteo.zinni@abit-agritech.com

**Parole chiave**: adattamenti all'ambiente, animali, biodiversità, fauna interstiziale, rete trofica
**Key words**: adaptations to the environment, animals, biodiversity, food web, interstitial fauna

## RIASSUNTO

Le dune costiere sono sistemi naturali estremamente complessi caratterizzati da un forte dinamismo e da notevoli pressioni selettive che ne condizionano profondamente la fauna. Si tratta, infatti, di ambienti caratterizzati da una ricchezza di specie non molto elevata. In essi, tuttavia, ad alcuni elementi più opportunisti della fauna costiera, si vanno ad affiancare specie animali estremamente adattate ai diversi microhabitat che si incontrano nel breve spazio che intercorre tra la battigia e il retroduna. Verranno, pertanto, illustrate le peculiarità eco-etologiche di alcune delle specie rilevate in questi ambienti in Italia, con particolare attenzione ai fattori ambientali essenziali alla loro conservazione.

## ABSTRACT

Coastal dunes are extremely complex natural systems characterized by strong dynamism and notable selective pressures which profoundly influence their fauna. In fact, they are environments characterized by a not very high species richness. In them, however, some more opportunistic elements of the coastal fauna are accompanied by animal species extremely adapted to the different microhabitats present in the short space between the coastline and the back of the dune. The eco-ethological peculiarities of some of the species present in these environments in Italy will then be illustrated, with particular attention to the environmental factors essential to their conservation.

## INTRODUZIONE

Le spiagge sabbiose e i retrostanti ambienti dunali (Fig. 1) rappresentano sistemi naturali molto articolati nei quali nell'arco delle poche centinaia di metri che separano la battigia dal retroduna si avvicendano diversi microhabitat (Acosta e Ercole, 2015; Ruffo, 2002).

Si tratta di habitat che interessano spesso aree di modesta estensione, isolate e caratterizzate da un intenso dinamismo naturale legato in particolare all'azione delle onde e del vento sul substrato sabbioso che li caratterizza (Ruffo, 2002). Questi ambienti sono soggetti in Italia ad un forte degrado (Genovesi *et al.*, 2014; Prisco *et al.*, 2020) soprattutto a causa di diverse forme dirette ed indirette di impatto antropico ed in particolare del turismo balneare (Defeo *et al.*, 2009; Nourisson *et al.*, 2018; Romiti *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2022).

Nel presente contributo verranno sinteticamente illustrati alcuni aspetti caratteristici delle comunità animali che popolano i sistemi dunali, con particolare attenzione alle caratteristiche etologiche e morfologiche di alcune specie che rappresentano adattamenti plasmati dalle pressioni ambientali alle quali sono sottoposte. Per una rassegna più ampia sull'argomento si rimanda a Ruffo (2002) ed a La Greca (2002) dai quali sono state attinte molte delle informazioni di seguito riportate.

## FATTORI AMBIENTALI

Le zoocenosi degli ambienti costieri italiani e mediterranei in generale sono sottoposte all'azione di numerosi fattori ambientali che ne condizionano la sopravvivenza (Acosta e Ercole, 2015; Ruffo, 2002). Un primo fattore favorevole alla



Figura 1. L'ambiente delle coste sabbiose e delle dune: San Rossore (Pisa) (Matteo Zinni ph.).

vita è la capacità di mitigazione termica e idrica della «massa marina» (dovuta all'elevato calore specifico dell'acqua) con un effetto particolarmente benefico in termini di limitazione dei rigori invernali. A questo, tuttavia, durante i mesi estivi si contrappone il forte soleggiamento cui le coste sono sottoposte, con conseguente aridità e accentuazione dell'escursione termica giornaliera. La vicinanza al mare, inoltre, comporta un'elevata salinità dell'acqua che imbibisce le sabbie prossime alla battigia ed i suoli sottoposti ad aerosol marino. Il substrato sabbioso, inoltre, è per sua natura caratterizzato da forte instabilità (mobilità dovuta all'azione del vento e delle onde), povertà di nutrienti e scarsa pedogenesi, per lo più limitata alla fascia più interna (duna e retroduna) nella quale si riesce a sviluppare una copertura vegetale stabile e abbastanza consistente. Va detto che la ventosità e l'esposizione alle mareggiate tendono ad ostacolare l'instaurarsi della vegetazione per cui le aree costiere in generale sono caratterizzate da una ridotta copertura del substrato. Questi fattori ambientali si distribuiscono secondo un gradiente mare-terra ben preciso per cui ad esempio salinità e ventosità tendono a diminuire allontanandosi dalla linea di costa, mentre la pedogenesi (con le concomitanti capacità di ritenzione idrica e la quantità di sostanza organica e nutrienti dei suoli) tende ad aumentare (Acosta e Ercole, 2015). Tutti i fattori limitanti di cui sopra si traducono in una riduzione della ricchezza specifica sia a livello floristico, sia a livello faunistico, con la presenza di poche entità occasionali o molto eclettiche, opportuniste e altamente adattabili (Fig. 2) oppure caratterizzate da adattamenti specifici a questi ambienti. A ciò si aggiunge l'importanza che le spiagge sabbiose possono avere nell'ambito dei cicli vitali di alcune specie marine: un esempio relativo all'Italia è quello delle tartarughe comuni *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) che, tra maggio e agosto, depongono le uova in buche scavate nella sabbia (cfr. Miller, 1997).

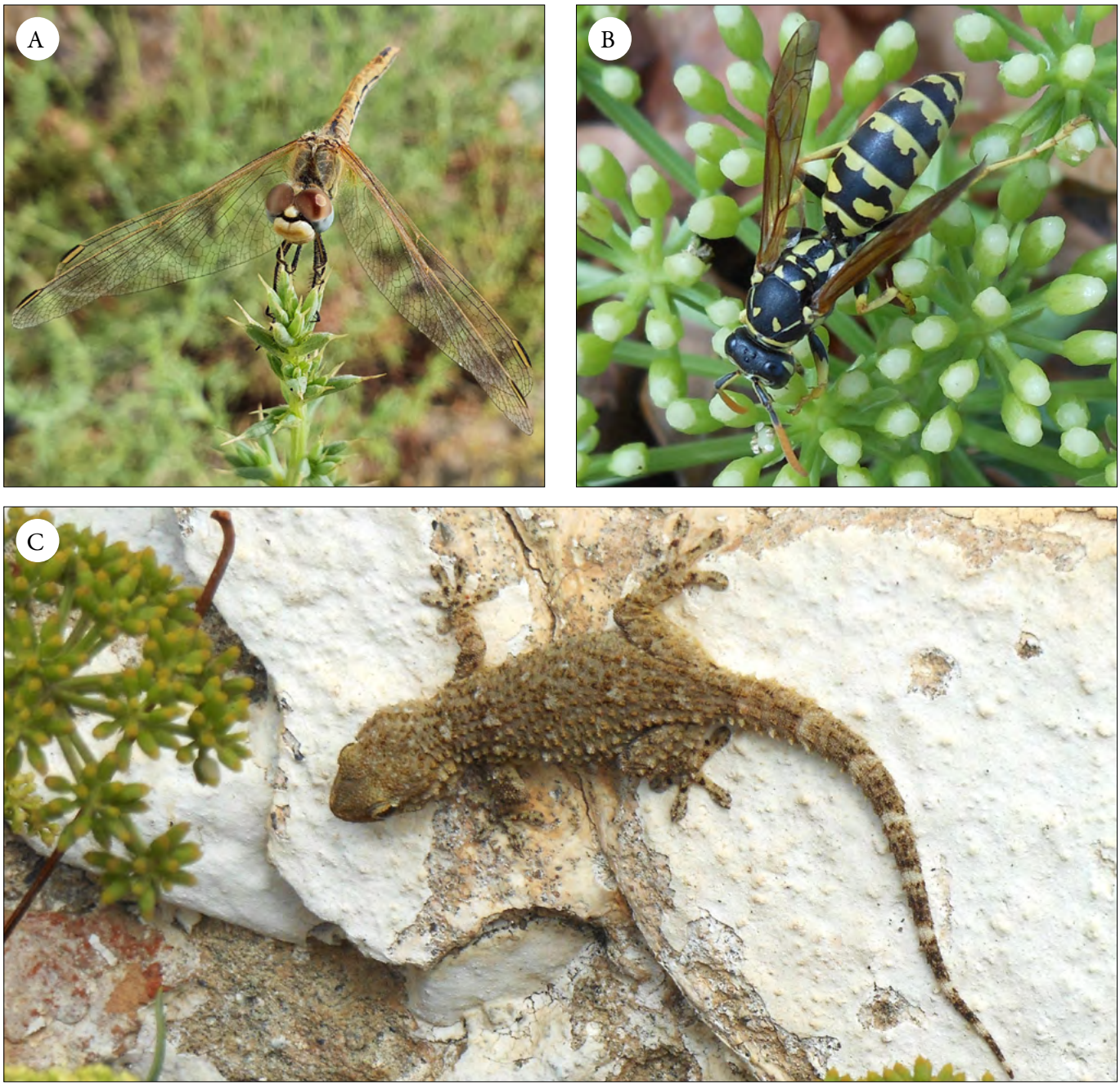



Figura 2. Alcuni esempi di specie osservabili lungo le coste sabbiose e in ambiente dunale anche se non strettamente legate a questi habitat: la libellula *Sympetrum fonscolombii* (A), la vespa cartonaia *Polistes dominula* (B) e il geco *Tarentola mauritanica* (C) (Loris Galli ph.).

In generale un importante ruolo ecologico svolto dal sistema delle spiagge sabbiose e delle dune costiere è quello di recupero di parte dei nutrienti che le acque meteoriche e fluviali sottraggono agli ecosistemi terrestri per riversarli in mare. Il detrito organico depositato sulle spiagge dal moto ondoso (legname, alghe, fanerogame marine, e altre spoglie di organismi vegetali e animali) costituisce la base delle reti trofiche degli organismi che vivono nei diversi habitat dei sistemi dunali nelle quali viene riconvertito in nutrienti nuovamente disponibili sulla terraferma (Hyndes *et al*., 2022).

## FAUNA INTERSTIZIALE

Una comunità molto particolare della zona di battigia delle spiagge sabbiose è quella costituita da una serie di organismi psammofili (cioè strettamente legati ai substrati sabbiosi) tipici dell'ambiente acqueo presente negli interstizi tra i granelli di sabbia che costituiscono il cosiddetto mesopsammon (Lüttgen, 2007). Questa cosiddetta fauna interstiziale è costituita da animali appartenenti a svariati gruppi tassonomici (es. Gastrotrichi, Chinorinchi, Tardigradi, Rotiferi, Briozoi, Priapulidi, Copepodi, Gasteropodi) i quali tipicamente si nutrono di detrito organico, microalghe (diatomee) e microorganismi. A dispetto della loro appartenenza a diversi gruppi animali, questi organismi condividono alcuni adattamenti comuni: dimensioni ridotte (0,1-0,5 mm), corpo sottile e allungato, spesso appiattito, scarsa o nulla pigmentazione, assenza di sistemi visivi, possesso di papille adesive.

Possono entrare a far parte di questo eterogeneo raggruppamento anche le larve di alcuni insetti come il dittero efidride *Scatella subguttata* (Meigen, 1830) che depone le uova nella sabbia e le cui larve si cibano di microalghe.

## ANIMALI DETRITIVORI E/O SAPROFAGI

Sono così definiti quegli animali che si nutrono di detrito organico e/o delle spoglie di organismi morti. Tra questi, una delle specie meglio studiate è la cosiddetta pulce di mare *Talitrus saltator* (Montagu, 1808). Di lunghezza compresa tra gli 8 ed 16 mm, questo crostaceo anfipode è diffuso lungo le coste europee e particolarmente abbondante nel mare Adriatico dove si ciba di alghe spiaggiate e detrito. Durante il dì rimane al riparo nella sabbia fresca e umida, ma effettua migrazioni giornaliere legate ai ritmi di marea lunghe fino a 200 m orientandosi in base al sole. In genere si muove nella fascia litorale, ma in giornate molto umide o piovose può spingersi fino alle dune. Migra dalla riva verso le zone più interne dove si nutre per lo più nel corso delle due o tre ore dopo la mezzanotte, per poi tornare a riva all'alba (Scapini, 2022). Un comportamento di pendolarismo alimentare analogo è stato riscontrato anche in altre specie quali ad esempio *Tylos europaeus* Arcangeli, 1938, isopode oniscide tipico delle spiagge a granulometria fine. Ritmi circadiani con attività notturna e abitudini fossorie (es. lo scavo di tane/gallerie nella sabbia in cui trovare riparo) rappresentano adattamenti caratteristici contro il soleggiamento. Tuttavia, altre specie affini sono sedentarie e più strettamente legate a zone specifiche del sistema spiaggia-duna: ad esempio l'isopode oniscide *Porcellio lamellatus* Budde-Lund, 1885 è tipico delle dune e retrodune del Mediterraneo Centrale.



Figura 3. Il giglio di mare *Pancratium maritimum*, pianta nutrice dei bruchi di *Brithys crini* (Loris Galli ph.).

Al gruppo dei detritivori/saprofagi si possono ascrivere anche numerose specie di Coleotteri quali ad esempio l'isteride *Xenonychus tridens* (Jacquelin du Val, 1852), il curculionide *Styphloderes exculptus* (Boheman, 1843), specie mediterranea occidentale che predilige alghe disseccate, e l'afodide *Rhyssemus sulcatus* (Olivier, 1789), specie mediterranea occidentale igro-psammofila che si rinviene tra le radici di piante erbacee ed i detriti vegetali. Ma il gruppo meglio rappresentato è quello dei Tenebrionidi (cfr Fattorini, 2023). A questi appartiene *Phaleria bimaculata* (Linnaeus, 1767), specie psammo-alobionte ad attività notturna, legata alla porzione di spiaggia compresa tra il bagnasciuga e la fascia di vegetazione pioniera della preduna. Altra specie tipica degli ambienti aridi e sabbiosi è *Pimelia bipunctata* (Fabricius, 1781): saprofaga, detritivora e coprofaga è attiva prevalentemente nelle prime ore dopo l'alba e verso il tramonto, mentre trova riparo sotto la sabbia durante le ore più calde della giornata. Come molte specie delle dune costiere, *P. bipunctata* è priva di ali. L'atterismo o il brachitterismo (ali brevi) sono una risposta adattativa alla scarsità di risorse, alla forte ventosità (che comporta un forte dispendio energetico per il volo attivo) ed al fatto che le dune sono ambienti isolati per cui è piuttosto improbabile che un individuo che se ne allontani ne trovi altre in cui insediarsi (per cui sono favorite le specie non propense alla dispersione).



Figura 4. Un ortottero frequente negli habitat costieri: *Anacridium aegyptium* (Loris Galli ph.).

## ANIMALI FITOFAGI

Sono fitofagi quegli organismi che si cibano di diverse parti delle piante. Un esempio relativo agli ambienti delle coste sabbiose è *Theba pisana* (O.F. Müller, 1774), gasteropode naturalmente diffuso in tutto il bacino del Mediterraneo, introdotto in diverse aree in Europa, Nord America, Africa, Asia, ed Australia, dove spesso risulta una specie invasiva. È una chiocciola tipica degli ambienti dunali, ma che si spinge anche all'interno, specie in prossimità di fiumi. Tornando agli Artropodi, *Brithys crini* (Fabricius, 1775) è una falena della famiglia dei Noctuidae, presente in Italia solo lungo le coste e tipicamente distribuita negli ambienti dunali e retrodunali. I suoi bruchi prediligono il cosiddetto giglio di mare *Pancratium maritimum* (Fig. 3). Altro esempio è *Zygaena orana* Duponchel, 1835, lepidottero che in Italia si trova solo negli ambienti di duna e nelle adiacenti garighe in Sardegna, dove i bruchi si cibano di *Lotus* e altre papilionacee psammofile. Inoltre, benché non strettamente legate a questi habitat, diverse specie di Ortotteri Acrididi possono frequentare la vegetazione delle coste sabbiose in virtù della loro tolleranza nei confronti della siccità: tra queste possiamo citare *Acrida ungarica* (Herbst, 1786) e *Anacridium aegyptium* (Linnaeus, 1764) (Fig. 4).

Si può inserire in questo contesto anche la testuggine di terra *Testudo hermanni* Gmelin, 1789, diffusa in Europa meridionale e spesso rinvenibile in ambienti dunali e retrodunali dove si ciba di foglie, germogli, ma anche di invertebrati (es. chiocciole). Per concludere, tra le specie fitofaghe delle coste sabbiose italiane non si può non citare il coniglio selvatico *Oryctolagus cuniculus* Linnaeus, 1758, specie nativa europea che rappresenta con ogni probabilità il mammifero più frequente nel retroduna.

## PREDATORI

Tra i predatori degli ambienti con substrato sabbioso in senso lato, meritano senza dubbio di essere menzionati i Neurotteri formicaleoni. Gli adulti, nonostante le lunghe ali e la somiglianza a libellule, sono pessimi volatori e predatori non particolarmente dinamici, attivi soprattutto nel corso delle ore crepuscolari e notturne. Le larve, invece, sono predatrici estremamente efficienti dotate di robustissime mandibole conformate a forcipe. Scavano nella sabbia una buca-trappola ad imbuto profonda alcuni centimetri e si piazzano all'interno di una piccola galleria al fondo di essa dalla quale spuntano solo col capo. Se un insetto, camminando sulla sabbia, arriva ai margini della trappola, scivola e fa rotolare granelli di sabbia verso la vorace larva al fondo di essa. Questa a sua volta può spruzzare sabbia sulla preda per aumentarne l'instabilità ed agevolarne la caduta. Una volta che la preda finisce vicino al fondo della trappola, la larva del formicaleone la cattura con le potenti mandibole e se ne ciba. Tra le specie legate all'ambiente costiero, possiamo citare *Myrmeleon inconspicuus* Rambur, 1842, specie tipica degli ambienti dunali e retrodunali con vegetazione psammofila. Merita un cenno anche *Myrmeleon mariaemathildae* Pantaleoni, Cesaroni & Nicoli Aldini, 2010, specie endemica di Tunisia e Sardegna. Sono predatrici anche le larve del coleottero elateride *Isidus moreli* Mulsant & Rey, 1875: in particolare esse sono specializzate nella predazione di insetti saproxilici che si sviluppano sul legno marcescente spiaggiato presso dune e spiagge sabbiose del Mediterraneo. Sono Coleotteri predatori degli ambienti sabbiosi costieri anche i Meliridi *Brachemys (Brachemys) brevipennis* (Laporte de Castelnau, 1838), diffuso in quasi tutto il bacino mediterraneo, il più raro *Brachemys (Atelestodes) peragalloi* (Perris, 1866), endemismo ligure-provenzale, nonché lo stafilinide *Cafius xantholoma* (Gravenhorst, 1806) predatore di *Talitrus*. Ma i Coleotteri predatori per eccellenza li troviamo soprattutto nella famiglia dei Carabidi. Tra questi, merita di essere menzionata *Eurynebria complanata* (Linnaeus, 1767) specie dell'Europa occidentale (in Italia è presente con popolazioni consistenti per lo più in Toscana) tipica dei litorali sabbiosi ed attiva predatrice di talitridi. Attiva di notte, durante il giorno si ripara sotto i tronchi ed il materiale ligneo spiaggiato, motivo per cui essa è oggi minacciata per la costante presenza antropica, il calpestio e la rimozione del legname dalle spiagge. Altrettanto tipico delle dune sabbiose litoranee è *Scarites buparius* (Forster, 1771), un grosso carabide (lungo circa 30-40 mm) nonché attivo predatore che di giorno resta nascosto alla base della vegetazione o in tane scavate nella sabbia e si muove soprattutto di notte. E' una specie in netta rarefazione a causa della riduzione degli ambienti dunali le cui prede possono essere alcune delle specie citate nei precedenti paragrafi quali *Theba pisana*, *Talitrus saltator*, i bruchi di *Brithys crini* o le *Pimelia*. Alla stessa famiglia (Carabidae, sottofamiglia Cicindelinae) appartengono anche le cicindele, attive e velocissime predatrici alcune delle quali presenti sui litorali sabbiosi e negli ambienti di duna e retroduna. Ne sono esempi *Cylindera trisignata* (Dejean, 1822), *Calomera littoralis* Fabricius, 1787 e *Lophyra flexuosa* (Fabricius, 1787), quest'ultima presente con due sottospecie endemiche di Sardegna (*L. f. sardea*) e Sicilia (*L. f. circumflexa*).

Cambiando ordine, vanno sicuramente annoverati tra i predatori dell'habitat in oggetto alcune vespe (Imenotteri) quali ad esempio *Philanthus venustus* (Rossi, 1790), crabronide euroasiatico che scava nella sabbia nidi profondi alcuni centimetri. In questi accumula apoidei (es. *Lasioglossum* spp.) paralizzati col proprio pungiglione come cibo per le proprie larve. *Nemka viduata* (Pallas, 1773), invece, è una specie europea di mutillide parassitoide delle larve e pupe delle vespe Crabronidi del genere *Bembecinus*. Queste ultime sono tipiche dei substrati sabbiosi dove creano aggregazioni di decine/centinaia di nidi vicini tra loro, nei quali inseriscono a propria volta insetti paralizzati (tra i quali alcune specie di vespe Sfecidi).

Due gruppi che includono animali predatori per eccellenza sono gli Aracnidi ed i centopiedi (Chilopodi). I primi sono rappresentati da ragni come *Tibellus maritimus* (Menge, 1875), specie olartica tipica della vegetazione erbacea dunale e retrodunale, e *Arctosa perita* (Latreille, 1799), specie psammofila a distribuzione Paleartica (introdotta in Nord-America), ma comprendono anche Acari, Opilionidi, Scorpioni e Pseudoscorpioni. Tra questi, come rappresentante tipico degli habitat costieri oggetto di trattazione si ci-

ta *Garypus beauvoisii* (Audouin, 1826), elemento Mediterraneo-Macaronesico che si rinviene sotto cumuli di alghe, fanerogame marine e piante spiaggiate. Per i Chilopodi, invece, si ricordano i geofilomorfi *Tuoba poseidonis* (Verhoeff, 1901) e *Hydroschendyla submarina* (Grube, 1872).

Per quel che riguarda la fauna vetrebrata, infine, ci sono diverse specie che si possono osservare a caccia di prede o rifiuti commestibili in questo habitat, benché non strettamente legate ad esso: ad esempio il Gabbiano reale mediterraneo *Larus michahellis* Naumann, 1840 e la Volpe *Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758. Tra gli Anfibi, l'unica specie che frequenta con una certa regolarità retrodune, dune e spiagge sabbiose a caccia di artropodi sabulicoli è il Rospo smeraldino *Bufotes viridis* (Laurenti, 1768). I Rettili, invece, hanno come rappresentante più tipico la Lucertola campestre *Podarcis siculus* Rafinesque, 1810. Ma la specie in assoluto più caratteristica è il fratino, *Charadrius alexandrinus* Linnaeus, 1758. Questo uccello sub-cosmopolita nidifica a livello dell'eulitorale o del sopralitorale sabbioso oltre che a ridosso delle lagune salmastre dove si dedica attivamente alla caccia di piccoli invertebrati terrestri ed acquatici.

## CONCLUSIONI

Lungi dall'aver trattato l'argomento in modo esaustivo, con questa sintesi si è cercato di mettere in luce l'importanza delle coste sabbiose e dei sistemi dunali in termini di biodiversità animale. Se è vero che la ricchezza specifica di questi ambienti è spesso modesta, è altrettanto importante sottolineare come molte delle entità rilevate siano specializzate o comunque fortemente adattate alla vita in questi habitat i quali, nel complesso, rendono alcuni importanti servizi ecosistemici tra i quali quelli legati al recupero di nutrienti e alla conservazione della risorsa idrica (Harris e Defeo, 2022).

Alla conservazione di queste risorse naturali si contrappone l'impatto antropico dovuto all'inquinamento marino, alla cementificazione delle coste ed al turismo balneare. Nella letteratura tecnico scientifica di settore (v. anche alcuni dei lavori pubblicati in questa monografia ed in quella del 2023 "Le coste caratteristiche, tendenze evolutive, erosione e interventi di difesa") abbondano gli esempi relativi a questi fenomeni di degrado, agli strumenti attraverso i quali monitorarli e ai possibili interventi di recupero e/o mitigazione. In alcuni casi potrebbero essere sufficienti misure gestionali facilmente praticabili e sostenibili al fine di garantire il mantenimento delle importanti zoocenosi legate a questi ecosistemi: ad esempio per le concessioni balneari si potrebbe prevedere di dare priorità ai gestori che propongono interventi quali la piantumazione di essenze tipiche delle spiagge e/o l'allestimento di piccole patches nelle quali lasciare esposti cumuli di detrito vegetale (ad es. legname e matte di *Posidonia*).

## BIBLIOGRAFIA


Acosta A.T.R., Ercole S. (Eds) (2015), *Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione*. ISPRA, Serie Rapporti, 215/2015, pp. 101.

Costa L.L., Fanini L., Ben-Haddad M., Pinna M., Zalmon I.R. (2022), *Marine litter impact on sandy beach fauna: A review to obtain an indication of where research should contribute more*. Microplastics, 1(3), 554-571.

Defeo O., McLachlan, A., Schoeman D.S., Schlacher T.A., Dugan J., Jones A., Lastra M., Scapini F. (2009), *Threats to sandy beach ecosystems: a review*. Estuar. Coast. Shelf Sci., 81(1), 1–12.

Fattorini S. (2023), *Adaptations of tenebrionid beetles to Mediterranean sand dune environments and the impact of climate change (Coleoptera: Tenebrionidae)*. Fragm. Entomol., 55(1), 1–20.

Genovesi P., Angelini P., Bianchi E., Dupré E., Ercole S., Giacanelli V., Ronchi F., Stoch F. (2014), *Specie e habitat di interesse comunitario in Italia: distribuzione, stato di conservazione e trend*. ISPRA, Serie Rapporti, 194/2014, pp. 330.

Harris L.R., Defeo O. (2022), *Sandy shore ecosystem services, ecological infrastructure, and bundles: New insights and perspectives*. Ecosyst. Serv., 57, 101477.

Hyndes G.A., Berdan E.L., Duarte C., Dugan J.E., Emery K.A., Hambäck P.A., Henderson C.J., Hubbard D.M., Lastra M., Mateo M.A., Olds A., Schlacher T.A. (2022), *The role of inputs of marine wrack and carrion in sandy-beach ecosystems: a global review*. Biol. Rev. Camb. Philos. Soc., 97(6), 2127-2161.

La Greca M. (2002), *Gli ambienti delle coste marine* (in *Fauna dei litorali rocciosi e sabbiosi*. Cap. 6.). In: Minelli A., Chemini C., Argano R. & Ruffo S. (Cur.), *La fauna in Italia*. Touring Club Italiano, DCN Ministero dell'Ambiente, Centro di Ecologia Alpina, pp. 230-241.

Lüttgen M. (2007), *Ökologie der interstitiellen Mikro- und Meiofauna - Ein Glossar zur Ökologie und Untersuchungsmethodik des Mesopsammon und Hyporheon*. Mikrokosmos, 96(4), 207–216.

Miller J.D. (1997), *Reproduction in sea turtles*. In: Lutz P.L., Musick J.A. (Eds.), *The biology of sea turtles*. CRC Marine Science Series; CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, pp. 51–81.

Nourisson D.H., Scapini F., Milstein A. (2018), *Small-scale changes of an arthropod beach community after hard-engineering interventions on a Mediterranean beach*. Reg. Stud. Mar. Sci., 22, 21–30.

Ruffo S. (Cur.) (2002), *Dune e spiagge sabbiose – Ambienti fra terra e mare*. Quaderni Habitat, Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, Vol 4, pp. 159.

Prisco I., Angiolini C., Assini S., Buffa G., Gigante D., Marcenò C., Sciandrello S., Villani M., Acosta AT. (2020), *Conservation status of Italian coastal dune habitats in the light of the 4th Monitoring Report (92/43/EEC Habitats Directive)*. Plant Sociol., 57(1), 55-64.

Romiti F., Pietrangeli E., Battisti C., Carpaneto G.M. (2021), *Quantifying the entrapment effect of anthropogenic beach litter on sand-dwelling beetles according to the EU Marine Strategy Framework Directive*. J. Insect Conserv, 25, 441–452.

Scapini F. (2022), *Ecology and Ethology of Littoral Amphipods*. Chapt. 8. In: Zupo V., *Crustaceans: Endocrinology, Biology and Aquaculture*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, pp. 12.

# Custodi di sabbia: dune costiere fra specializzazioni e fragilità

## Beach safeguard: coastal dunes between specializations and fragility

Patrizia Menegoni
ENEA Laboratorio Biodiversità ed Ecosistemi
E-mail: patrizia.menegoni@enea.it

**Parole chiave**: dune costiere, habitat, biodiversità, ecosistemi
**Key words**: coastal dunes, habitat, biodiversity, ecosystems

Le dune costiere litoranee sono tra gli habitat di Rete Natura 2000 maggiormente in pericolo sul territorio italiano, risultato di una politica territoriale rapace che ha trasformato questi ambienti in un tempo brevissimo, mettendo a repentaglio equilibri complessi raggiunti in tempi geologici.

Dei circa 7500 km di costa italiani, oltre 3000 sono rappresentati da tratti sabbiosi più o meno utilizzati dall'uomo. Le spiagge sono distribuite un po' dovunque, sia come ampi cordoni dunali, sia come spiaggette semi nascoste nelle cale, magari sotto ampie scogliere rocciose o al margine di modeste aree portuali, talora raggiungibili soltanto dal mare.

In Italia, i più significativi complessi dunari si distendono presso le foci del Po, dell'Arno, dell'Ombrone, del Tevere e del Volturno, là dove la mano dell'uomo non li ha ancora spianati.

Le coste adriatiche presentano, di fatto, un lungo lido sabbioso che si estende da Monfalcone sino al Gargano, con la sola eccezione del promontorio del Conero (Ancona) e di alcune aree fra Ortona e Vasto. Il tratto settentrionale di questo litorale sabbioso, interrotto dalle lagune di Grado-Marano e Venezia-Chioggia, rappresenta uno dei più ampi sistemi di dune italiani, ed è costituito da una serie di litorali sabbiosi che si sviluppano in maniera quasi continua da Grado a Rimini.

Tuttavia, è lungo la costa occidentale della Sardegna che si ergono le dune più alte del Paese, modellate non dalla forza dei fiumi, pressoché assenti in questa terra selvaggia, ma dal soffio impetuoso del vento, sovrano incontrastato di quelle coste.

Le dune costituiscono un tipico elemento morfologico del sistema spiaggia-pianura costiera. Esse, oltre a comprendere ambienti di importante interesse naturalistico ed ecologico, delimitano e proteggono, interponendosi al mare, ambienti umidi di grande importanza ecologica: i laghi e le paludi costiere.

I sistemi dunali costieri, piuttosto diffusi fino ad epoche recenti, sopravvivono attualmente in un numero alquanto ristretto di zone, in conseguenza delle bonifiche idrauliche che hanno determinato il loro smantellamento per contribuire principalmente allo sviluppo urbanistico. I restanti ambienti dunali sono tuttora minacciati da gravi e avanzati meccanismi di degrado legati essenzialmente alla diffusa antropizzazione e all'erosione dei litorali, che in Italia interessa oltre un terzo dei circa 3.000 km di spiagge ed è strettamente connessa all'alterazione dei cicli sedimentari causata dagli interventi antropici nei bacini idrografici e lungo costa.

L'arretramento della linea di riva è frequentemente associato alla demolizione delle dune.

I sistemi dunali costituiscono, infatti, allo stesso tempo un argine naturale alle acque alte, una protezione per gli ambienti di retrospiaggia e un accumulo di sabbia in grado di alimentare la spiaggia e quindi di contrastare in parte gli effetti dell'erosione. Da qui l'importanza della manutenzione e valorizzazione di tali sistemi, ricordando che al loro buono stato di conservazione è intimamente legato quello degli altri ambienti connessi, i quali, oltre alla funzione strettamente ecologica, rivestono anche un notevole valore economico

Questo ambiente, fragile ed in continuo movimento, è il risultato di un equilibrio dinamico tra gli apporti fluviali, il moto ondoso, le correnti marine e la forza incessante dei venti, elementi che lo rendono estremamente vulnerabile.

I sedimenti, strappati dall'azione erosiva dell'acqua alle maestose catene montuose dei bacini idrografici, intraprendono un lungo viaggio. Dapprima trasportati da piccoli torrenti e affluenti, si uniscono ai grandi fiumi fino a raggiungere il mare. Durante questo percorso, subiscono lenti processi di trasformazione, riducendosi in volume sotto l'effetto dell'erosione fisica e chimica, finché, ridotti a fini granelli di sabbia, giungono infine alle acque marine.

Qui, i sedimenti vengono nuovamente plasmati, selezionati e trasportati dalle correnti, che talvolta li spingono a grandi distanze, si tratta di un vero e proprio "nastro trasportatore litoraneo", che provvede alla selezione e distribuzione dei sedimenti. Quando, infine, dopo tanto vagare raggiungono la linea di costa, l'energia del vento li cattura, trasportandoli dalla battigia verso l'entroterra.

Questo trasporto avviene attraverso due fenomeni principali, a seconda della dimensione dei granelli e dell'intensità del vento: per salto o per rotolamento. In questo moto continuo e multiforme, i granelli di sabbia si accumulano in piccole alture, le dune, la cui sezione rivela una stratificazione festonata, testimone della danza eterna tra vento, sabbia e mare.

Per nascere, crescere, organizzarsi, questo prezioso materiale, ancor più se di modesta quantità, ha bisogno di stringere un'alleanza con la vita espressa in tono eroico da un nugolo limitato ma efficientissimo di specie vegetali: le psammofile, "amanti della sabbia". Esse con i lunghi appa-

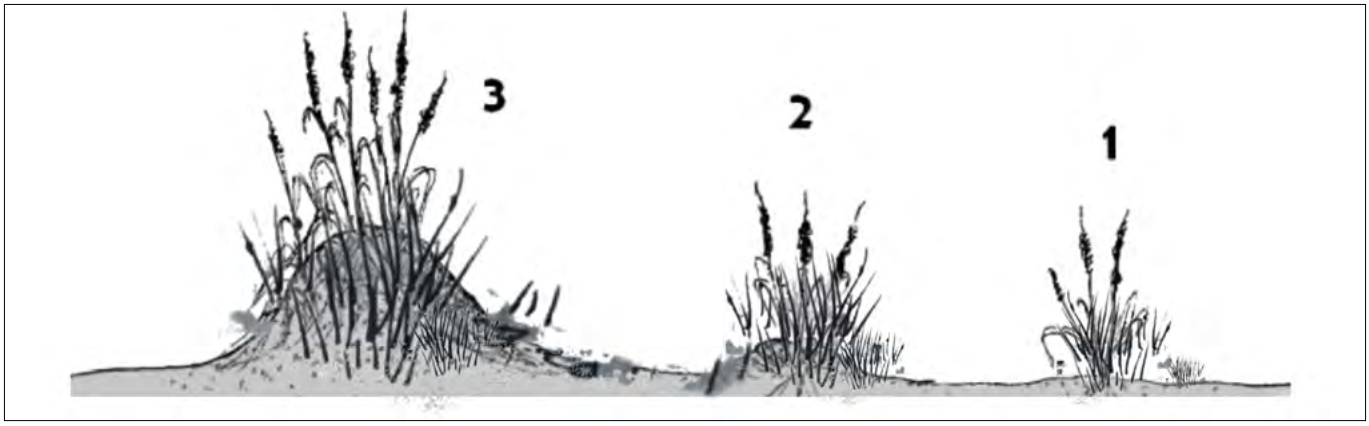



Figura 1. Meccanismo di formazione delle dune nella relazione con i vegetali.

rati radicali intrappolano le sabbie, con gli apparati fogliari rallentano il vento e fanno cadere i granuli alla base (Fig. 1).

Piante erbacee/arbustive annuali o perenni ad elevata specializzazione, frutto di una lunghissima evoluzione, le psammofile sono elementi centrali nella dinamica di questo ambiente, infatti dove la vegetazione viene distrutta, in modo volontario o involontario, la sabbia riprende a muoversi, si creano solchi nei quali essa non è protetta e nei quali il vento si incanala sempre di più, con un processo che si autoalimenta diffondendosi. È per questa ragione che la protezione delle dune coincide con la conservazione della loro vegetazione (Pignatti 2002).

A causa della limitata estensione e dei parametri abiotici fortemente limitanti che creano una condizione di grande stress ambientale, questi ecosistemi hanno selezionato specie vegetali ed animali particolari, spesso presenti esclusivamente in tali habitat. La flora di questi ecosistemi, infatti, presenta una grande peculiarità: nessuna specie delle sabbie marine può venire ritrovata negli ambienti continentali, e molto rari sono i casi di specie continentali che possono sopravvivere sulle spiagge.

Elevata mobilità del sedimento, mancanza di limo/argille, aridità, salinità, carenza di sostanze organiche, temperature elevate (oltre 60°C), elevata luminosità, nonchè forti venti sono le problematiche che le specie vegetali ed animali si trovano ad affrontare negli ambienti dunali costieri. Queste caratteristiche si modificano dalla linea di costa verso l'interno creando condizioni lineari differenti anche a distanze molto limitate (Fig. 2). È per questo motivo che la vegetazione si dispone su linee parallele alla linea di costa

Infatti è lecito chiedersi: ma se le dune le costruisce il vento, che può spirare in tutte le direzioni, perché il loro andamento è sempre parallelo alla costa?

Lo è in ragione delle condizioni nelle quali possono vivere le differenti comunità vegetali della duna. Esse infatti possono crescere solo a una ben determinata distanza dal mare, dove non vengono raggiunte dalle onde, e in questa posizione nascono, parallele alla riva, le dune.

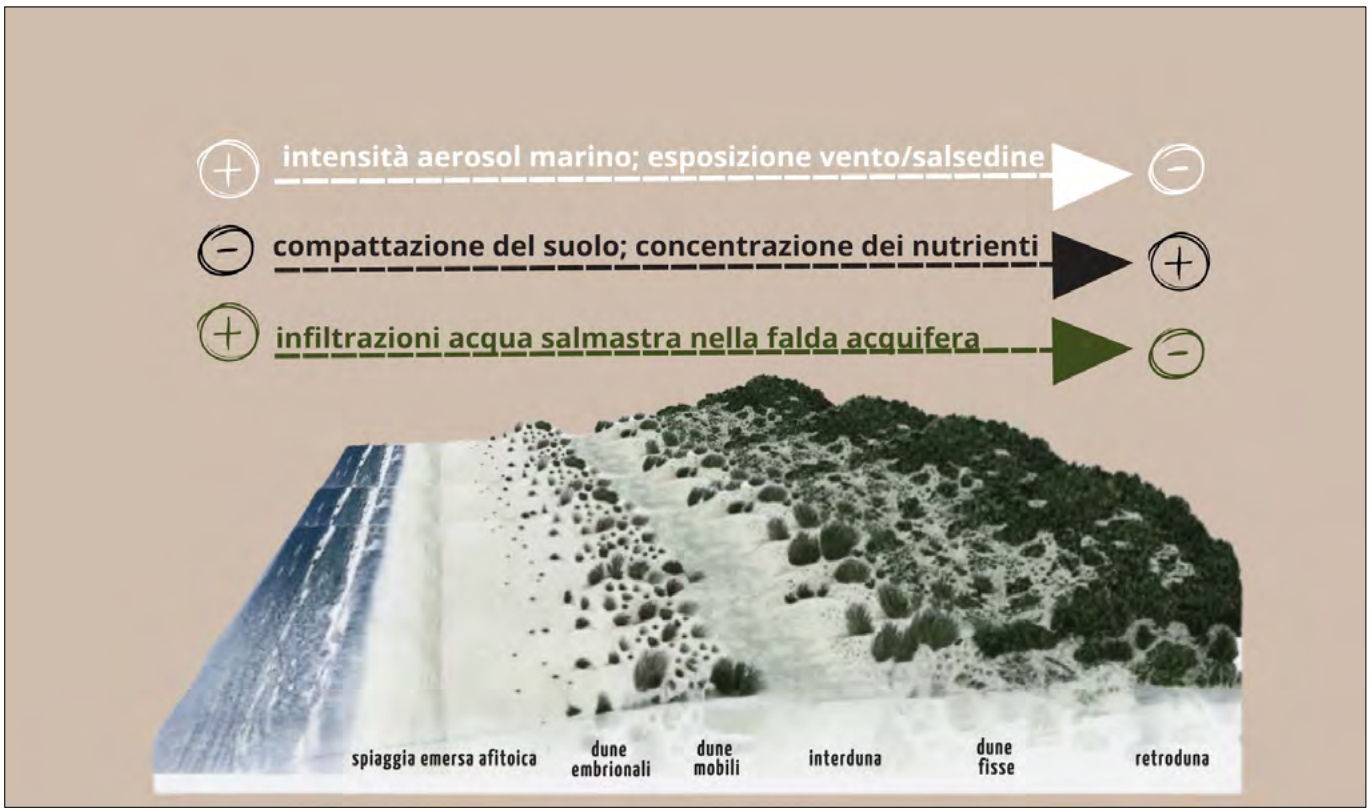



Figura 2. Variazioni delle condizioni ambientali degli ambienti dunali costieri.




Figura 3. *Charadrius alexandrinus* nel suo ambiente di nidificazione.

In prossimità della linea di costa, le continue inondazioni della battigia limitano l'insediamento delle piante: si osserva una prima zona detta "afitoica", ossia priva di copertura vegetale.

Si tratta di una fascia ricca di resti organici ove si sviluppa una fauna molto particolare, costituita in gran parte da animali che si possono spostare rapidamente quando le condizioni si fanno sfavorevoli: specie marine che risalgono nelle pozze e sulla sabbia umida, oppure uccelli ed insetti in grado di volare.

Tra queste *Charadrius alexandrinus* è divenuta una specie emblematica della mancanza di limiti che caratterizza la specie umana degli ultimi decenni: grandi eventi realizzati in uno degli spazi più fragili del nostro paese contribuiscono alla già precaria vita di questo piccolo trampoliere che nidifica nel tratto di spiaggia di transizione tra la prima fascia di vegetazione e la zona afitoica. Pochi grammi di vita, il fratino che disperatamente cerca di sopravvivere alla "modernità" (Fig. 3).

Per le piante, che non hanno possibilità di spostarsi, questo ambiente è invece del tutto inospitale: i semi vengono spazzati qua e là dal continuo rimescolamento della sabbia, una plantula che eventualmente riuscisse a germinare è sottoposta all'alternanza dello stress salino con le mareggiate e dell'atmosfera calda e secca quando la radiazione solare è più intensa. Queste sono condizioni estreme, che nessun vegetale è in grado di tollerare.

Via via che si risale verso l'entroterra, in relazione al variare delle condizioni, riscontriamo habitat lineari considerati prioritari dalla Direttiva Habitat (92/43/ECC). (Bianco, Menegoni 2009) (Fig. 4).

A seguire i principali habitat presenti sulle coste basse sabbiose del territorio italiano e le loro caratteristiche principali: 1210, 2110, 2120, 2210, 2230, 2240, 2250.

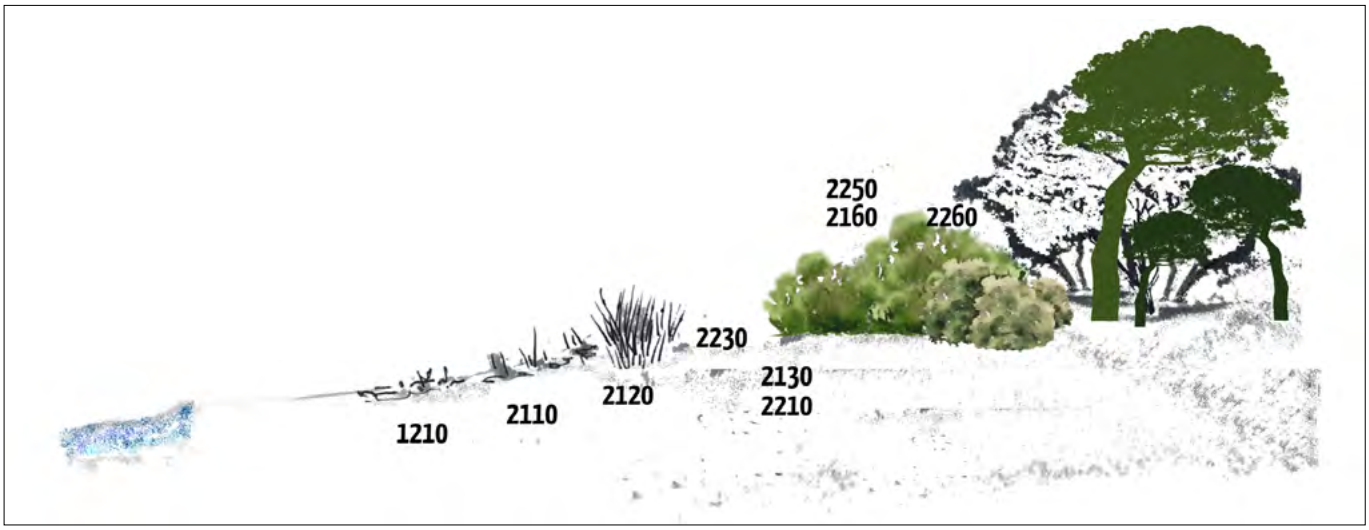



Figura 4. Organizzazione della sequenza di habitat sulle dune costiere italiane.



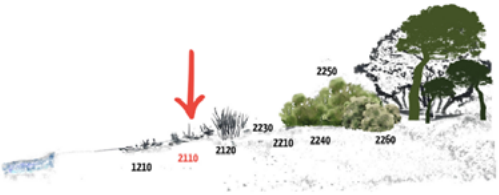

| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero | 1210 Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero | 2110 Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | 2110 Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie) | 2210 *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | 2230 *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | 2240 *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche | 2250*Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | 2260 Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee | 2270* Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis, P. pinea* e *P. pinaster* |
| G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus* | 9340 Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |



### 1210 – Vegetazione annua delle linee di deposito marine

L'habitat di Direttiva 1210 descrive la prima fascia di vegetazione che segue la zona afitoica della battigia e si trova nella parte superiore della spiaggia, anteriormente ai primi accumuli di sabbia delle dune embrionali. Quest'habitat è profondamente influenzato da mareggiate e forti venti, che solo specie pioniere annuali altamente specializzate (terofite alonitrofile) sono capaci di colonizzare. La specie dominante è *Cakile maritima subsp. maritima*, dalla quale l'habitat prende il nome comune di "Cakileto". Altre specie meno abbondanti sono *Eryngium maritimum, Elymus farctus subsp. farctus* e *Sporobolus virginicus*. La presenza di *Elymus farctus subsp. farctus* è indicativa del contatto con l'habitat più interno (dune mobili embrionali). Nel complesso, la ricchezza di specie è bassa , così come la loro abbondanza. Il risultato è una vegetazione molto sparsa, composta da raggruppamenti isolati, con una copertura che di solito non supera il 5% della superficie.

Nella prima fascia, in generale a 50 m e più dalla linea di costa, la vegetazione è costituita soltanto da specie a ciclo breve: si tratta di piante che germinano in autunno oppure alla fine dell'inverno ed hanno un periodo vegetativo che a volte dura soltanto 1-2 mesi, nel quale compiono la fioritura, producono frutti e quindi si seccano. Ai primi di giugno i frutti si aprono e lasciano cadere i semi che, coperti dalla sabbia, rimangono quiescenti fino all'autunno. La specie più comune è il ravastrello marittimo (*Cakile maritima*), una succulenta.

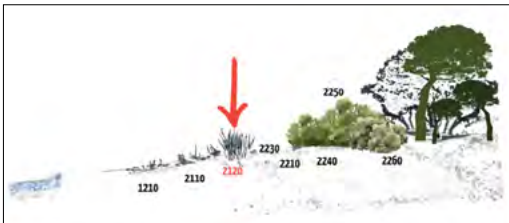



| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero | 1210 Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero | 2110 Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | 2110 Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie) | 2210 *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | 2230 *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | 2240 *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche | 2250*Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | 2260 Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee | 2270* Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis, P. pinea* e *P. pinaster* |
| G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus* | 9340 Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

### 2110 – Dune mobili embrionali

Le dune embrionali, situate lungo le coste basse e sabbiose, sono costituite da comunità di piante psammofile perenni, per lo più geofite ed emicriptofite tipiche di questo habitat. La specie dominante è *Elymus farctus subsp. farctus,* una graminacea rizomatosa in grado di contrastare l'azione erosiva e di deposito proveniente dal mare e dai venti marini grazie a un sistema radicale ben sviluppato, capace di consolidare il substrato incorporando le particelle sabbiose in una fitta rete. *Elymus farctus subsp. farctus* inizia così il processo di costruzione delle dune dando origine ai primi cumuli sabbiosi, ovvero le dune embrionali. Le formazioni costruite da *E. farctus subsp. farctus* permettono l'insediamento di altre specie pioniere che rappresentano il primo stadio di colonizzazione da parte di piante perenni del sistema dunale costiero. Oltre a *Elymus farctus subsp. farctus,* altre specie frequenti sono *Calystegia soldanella, Eryngium maritimum, Cyperus capitatus e Sporobolus virginicus.* Nel complesso, la copertura della vegetazione rimane abbastanza aperta e varia tra il 30% e il 50%.

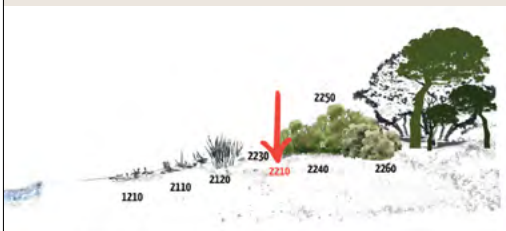





| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| **N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero** | **1210** Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| **N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero** | **2110** Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | **2110** Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| **N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie)** | **2210** *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | **2230** *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | **2240** *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| **N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche** | **2250*** Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | **2260** Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| **N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee** | **2270*** Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis*, *P. pinea* e *P. pinaster* |
| **G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus*** | **9340** Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

**2120 – Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria subsp. australis***

Le dune mobili lungo la linea di costa, chiamate in Centro e Nord Europa dune bianche, costituiscono i cordoni litoranei principali dei sistemi dunali costieri. Rispetto alle dune embrionali, questo habitat è caratterizzato da dune semi-stabili, più interne e alte. La specie principale di questo habitat è *Ammophila arenaria subsp. australis*, un'altra graminacea rizomatosa con maggiore capacità di consolidamento e stabilizzazione della duna. Questa specie svolge un ruolo fondamentale nella formazione e nel mantenimento dei cordoni dunali. Grazie alla sua notevole capacità di crescita tramite rizomi e al sistema radicale esteso, tollera l'interramento da parte dei sedimenti sabbiosi trasportati dal vento. L'accumulo di sabbia alla base della pianta, combinato con la crescita di steli e foglie per far fronte all'interramento promuovono lo sviluppo in altezza delle dune. Di frequente l'area occupata da questo habitat è molto estesa e costituisce un sistema in un equilibrio dinamico tra accumulo di sabbia ed erosione eolica in grado di mantenersi nel tempo. In questi spazi le condizioni ambientali favorevoli promuovono l'insediamento di altre specie psammofile perenni e la formazione di comunità vegetali complesse che raggiungono fino al 50-70% di copertura. Altre specie abbondanti sono *Ononis variegata, Anthemis maritima, Elymus farctus subsp. farctus e Cyperus capitatus*.

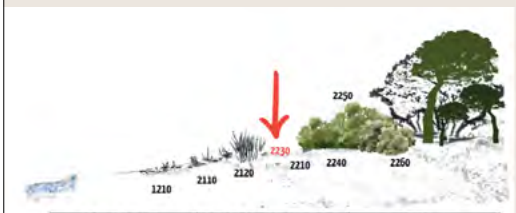



| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| **N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero** | **1210** Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| **N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero** | **2110** Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | **2110** Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| **N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie)** | **2210** *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | **2230** *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | **2240** *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| **N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche** | **2250*** Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | **2260** Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| **N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee** | **2270*** Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis*, *P. pinea* e *P. pinaster* |
| **G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus*** | **9340** Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

**2210 – Dune fisse del litorale (*Crucianellion maritimae*)**

Il "Crucianelleto" si sviluppa sul versante interno dei cordoni dunali, dove il suolo è più stabile e compatto. L'habitat prende il nome da *Crucianella marittima*, specie camefitica tipica. L'abbondanza di specie quali *Eryngium maritimum, Anthemis maritima e Cyperus capitatus* indica l'influenza degli habitat delle dune mobili non consolidate di contatto. Altre specie più comuni nelle dune fisse sono *Ononis variegata e Pancratium maritimum*.






| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| **N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero** | **1210** Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| **N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero** | **2110** Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | **2110** Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie) | **2210** *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | **2230** *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | **2240** *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| **N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche** | **2250*** Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | **2260** Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| **N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee** | **2270*** Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis, P. pinea* e *P. pinaster* |
| **G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus*** | **9340** Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

**2230 – Dune con prati dei Malcolmietalia**

I pratelli terofitici di Malcolmietalia si sviluppano negli spazi interdunali lasciati liberi dalle formazioni di *Ammophila e Crucianella*. Sono composti principalmente da specie terofitiche che formano diverse tipologie di associazioni vegetali molto ricche di specie, *Ononis variegata* e *Silene canescens* sono di frequente specie dominanti, accompagnate da *Anthemis maritima, Cyperus capitatus* e un elevato numero di altre specie annuali con copertura minore.




| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| **N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero** | **1210** Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| **N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero** | **2110** Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | **2110** Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie) | **2210** *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | **2230** *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | **2240** *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| **N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche** | **2250*** Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | **2260** Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| **N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee** | **2270*** Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis, P. pinea* e *P. pinaster* |
| **G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus*** | **9340** Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

**2240 – Dune con prati di *Brachypodietalia* e vegetazione annua**

I pascoli xerici si trovano in una posizione più interna rispetto ai pratelli precedenti, in contatto con le formazioni arbustive dove la duna è maggiormente stabilizzata. Le comunità sono molto ricche di piccole specie annuali con fioritura primaverile. Tra le più comuni troviamo *Plantago bellardii, Tuberaria guttata* e numerose altre specie annuali con coperture minori.




| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| **N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero** | **1210** Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| **N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero** | **2110** Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | **2110** Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australes* |
| **N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie)** | **2210** *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | **2230** *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | **2240** *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche | **2250*** Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | **2260** Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| **N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee** | **2270*** Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis*, *P. pinea* e *P. pinaster* |
| **G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus*** | **9340** Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

**2250* – Dune costiere con *Juniperus spp.***

Il primo tratto delle dune fisse è costituito da una macchia pioniera bassa, dominata da *J. oxycedrus subsp. macrocarpa*. Avanzando verso la parte più interna della duna si trovano specie arbustivo-arboree che tendono a svilupparsi in altezza quali *Juniperus phoenicea e Phillyrea angustifolia*. Queste specie di ginepro sono accompagnate da altre sclerofille mediterranee quali *Arbutus unedo, Smilax aspera, Erica multiflora* e *Pistacia lentiscus*, creando insieme un habitat molto eterogeneo costituito da diverse associazioni vegetazionali.






| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| **N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero** | **1210** Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| **N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero** | **2110** Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | **2110** Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| **N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie)** | **2210** *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | **2230** *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | **2240** *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche | **2250*** Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | **2260** Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| **N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee** | **2270*** Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis*, *P. pinea* e *P. pinaster* |
| **G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus*** | **9340** Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

**2260 – Dune con vegetazione di sclerofille dei *Cisto-Lavanduletalia***

I cespuglieti di sclerofille si trovano in una posizione più interna con substrato più stabilizzato rispetto ai ginepreti ed è dominato di frequente da *Cistus creticus subsp. eriocephalus*, specie legata al fuoco e indicativa di incendi passati. Altre specie, ma con copertura minore, sono *Erica multiflora* e *Arbutus unedo*.



**Secondo la classificazione EUNIS invece facciamo riferimento a: N14, N16, N1B.**



| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| **N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero** | **1210** Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| **N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero** | **2110** Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | **2110** Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| **N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie)** | **2210** *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | **2230** *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | **2240** *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| **N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche** | **2250*** Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | **2260** Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| **N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee** | **2270*** Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis, P. pinea* e *P. pinaster* |
| **G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus*** | **9340** Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

**N14 – Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero**

**Gli habitat delle dune mobili, data la loro vicinanza al mare, sono ancora molto esposti all'azione erosiva e di deposito del mare e dei venti marini. Qui, la vegetazione gioca un ruolo fondamentale nella formazione e consolidamento delle dune stesse. Non meno importante, queste piante fungono da barriera contro i venti e la salsedine proveniente dal mare, creando condizioni più favorevoli allo sviluppo di habitat complessi come quelli retrodunali. L'allegato I della Direttiva propone due habitat diversi, quello delle dune mobili embrionali e quello del cordone litorale. La vicinanza dal mare e la forte esposizione ai venti limita l'insediamento di molte specie vegetali, risultando in comunità paucispecifiche.**



| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| **N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero** | **1210** Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| **N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero** | **2110** Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | **2110** Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semi-permanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| **N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie)** | **2210** *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | **2230** *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | **2240** *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| **N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche** | **2250*** Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | **2260** Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| **N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee** | **2270*** Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis, P. pinea* e *P. pinaster* |
| **G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus*** | **9340** Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

**N16 – Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie)**

**Dietro i cordoni dunali con Ammophila arenaria subsp. australis, si creano delle zone più riparate dai venti, dalla sabbia e dalla salsedine che permettono lo sviluppo di cenosi vegetali molto complesse. Difatti, in queste situazioni di transizione, fra dune mobili e dune consolidate, si osservano gli habitat più ricchi di specie di tutto il sistema dunale. Le comunità vegetali sono dominate da specie camefitiche suffruticose, accompagnate da molte specie annuali. La posizione ripa- rata e l'elevata copertura erbacea contribuiscono alla stabilizzazione del substrato sabbioso, più ricco di sostanza organica rispetto alle dune mobili. Gli habitat riscontrati nell'interduna sono diversi e spesso si sviluppano a mosaico.**



| Codice EUNIS | 92/43/EEC Direttiva habitat | Descrizione |
|---|---|---|
| **N12 Spiaggia di sabbia del Mediterraneo e del Mar Nero** | **1210** Vegetazione annua delle linee di deposito marine | Cakileto - Comunità pioniere di specie terofitiche-alonitrofile |
| **N14 Habitat delle dune mobili costiere del Mediterraneo, Macaronesia e Mar Nero** | **2110** Dune mobili embrionali | Elymeto - Comunità pioniere di specie perenni dominate da *Elymus farctus* ssp. *farctus* |
| | **2110** Dune mobili del cordone litorale con *Ammophila arenaria* ssp. *australis* | Ammofileto - Cordoni semipermanenti del sistema dunale dominati da *Ammophila arenaria* ssp. *australis* |
| **N16 Praterie delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche (dune grigie)** | **2210** *Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)* | Crucianelleto - Dune fisse con *Crucianella maritima* e *Pancratium maritimum* |
| | **2230** *Dune con prati dei Malcolmietalia* | Dune fisse di pratelli terofitici |
| | **2240** *Dune con prati di Brachypodietalia e vegetazione annua* | Dune fisse di pratelli xerici ricchi di specie annuali |
| **N1B Comunità arbustive delle dune costiere Mediterranee e Macaronesiche** | **2250*** Dune costiere con *Juniperus* spp. | Macchia pioniera dominata da *Juniperus* spp. |
| | **2260** Dune con vegetazione di sclerofille *Cisto-Lavenduletalia* | Macchia di sclerofille dominata da *Cistus* spp. |
| **N1G Boschi di conifere delle dune costiere Mediterranee** | **2270*** Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* | Foreste retrodunali dominate da *Pinus halepensis, P. pinea* e *P. pinaster* |
| **G1.2 Boschi mediterranei di *Quercus*** | **9340** Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* | Foreste retrodunali dominate da *Quercus ilex* |

**N1B – Comunità legnose delle dune costiere del Mediterraneo e del Mar Nero**
**Nel retroduna, già distanti dall'influenza del mare, le dune sono dominate da vegetazione sempreverde di tipo arbustivo-arboreo. Il substrato è più compatto e presenta una capacità maggiore di ritenere acqua e nutrienti, permettendo lo sviluppo di comunità vegetali ricche in termini di specie. Nel Mediterraneo gli habitat tipici delle dune fisse sono i ginepreti (2250*) e i cespuglieti a sclerofille, o macchia mediterranea (2260). Le specie vegetali di questi habitat costituiscono il primo stadio legnoso dei sistemi dunali e contribuiscono a un maggiore consolidamento della duna.**

## FORME DI ADATTAMENTO DELLE SPECIE VEGETALI

Tra gli ambienti terrestri la duna costiera costruisce uno degli ecosistemi più fragili sottoposti a continui stress naturali. Le caratteristiche ambientali sono così estreme da rappresentare un limite alla vita delle specie vegetali ed animali che devono perciò evolvere adattamenti particolari per sopravvivere. Queste sono alcune delle forme principali di adattamento delle psammofile:

- sclerofillia, microfillia, spinescenza, che contribuiscono a trattenere l'acqua;
- colore glauco, che attenua il surriscaldamento dovuto alla forte esposizione alle radiazioni solari;
- succulenza: presenza di parti carnose, nelle quali si possono conservare riserve d'acqua (*Calystegia soldanella, Cakile maritima*);
- pelosità: foglie e fusti giovani coperti da un feltro compatto di peli, che protegge la pianta da una eccessiva traspirazione (*Otanthus maritimus, Medicago marina*).
- foglie coriacee, spessa cuticola e scarsità di stomi che limitano la perdita d'acqua per traspirazione (*Salsola kali, Echinophora spinosa, Crucianella maritima, Eryngium maritimum*);
- radici elastiche e resistenti alla trazione, molto lunghe ed adattate alle varie concentrazioni saline del suolo;
- dominanza di forme striscianti prostrate, cuscinetto, cespugli densi;
- rizomi striscianti sotto la sabbia per sottrarli alle temperature troppo elevate della coltre sabbiosa. Li si può osservare nelle piante di tipo graminoide di quest'ambiente: *Ammophila littoralis, Cyperus capitatus, Elytrigia juncea, Sporobolus pungens*. Queste specie presentano la base del culmo avvolta da un manicotto di guaine fogliari secche, ed anche questo può costituire una protezione dal surriscaldamento. Presentano un apparato sotterraneo ben sviluppato, pur non essendo graminacee, anche *Eryngium maritimum, Euphorbia paralias, Echinophora spinosa* e *Pancratium maritimum*;
- Annualità: un adattamento di tipo temporale e non morfologico è dato dal ristretto periodo vegetativo. La vita si svolge nel breve periodo invernale-primaverile, quando le piogge sono più frequenti ed il calore non raggiunge i picchi estivi: *Euphorbia peplis, Ononis variegata, Pseudorlaya pumila, Silene colorata, Vulpia fasciculata.*

Probabilmente gli adattamenti più importanti sono però di carattere ecofisiologico, riguardano cioè la capacità di compiere determinati processi vitali anche in condizioni estreme di secchezza e disidratazione, argomento sul quale c'è ancora molto lavoro da lavorare.

**Tra le "specialiste" più comuni delle dune troviamo:**

# CAKILE MARITIMA




Nome volgare: Ravastrello marittimo
Famiglia: Brassicaceae
Forma biologica:Terofita scaposa (10–30 cm).
Habitus: Specie annuale. Fusti ascendenti o più spesso prostrati, diffusi radialmente, glabri e glauchi. Presenta succulenza dei fusti e delle foglie.





# EUPHORBIA PEPLIS

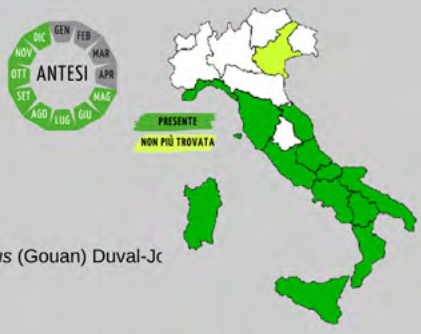



Sinonimi: *Euphorbia peplis* L (nome riportato in Pignatti, 1982); *Tithymalus peplis* (L.) Scop
Nome volgare: Euforbia delle spiagge
Famiglia: Euphorbiaceae
Forma biologica: Terofita scaposa.
Habitus: Specie annuale. E' una piccola pianta glabra e provvista di lattice bianco. Alta 1-3 cm con fusti prostrati, ramificati e di colore rossastro, lunghi 5-20 cm





# SPOROBOLUS PUNGENS




Sinonimi: *Sporobolus pungens* (Schreb.) Kunth (nome riportato in Pignatti, 1982); *Sporobolus arenarius* (Gouan) Duval-Jc
Nome volgare: Gramigna delle spiagge
Famiglia: Poaceae
Forma biologica: Geofita rizomatosa (2-5 dm).
Habitus: Specie perenne. E' caratterizzata dall'avere lunghi rizomi ipogei. Culmi fiorali eretti, alti 10-40 cm, con foglie disposte su 2 file.







# ELYMUS FARCTUS




Sinonimi: *Agropyron junceum* (L.) P.Beauv (nome riportato in Pignatti, 1982); *Agropyron junceum* (L.) P.Beauv. subsp. mediterraneum Simonet; *Triticum junceum* L.; *Elytrigia juncea* (L.) Nevski; *Elytrigia juncea* (L.) Nevski subsp. *juncea; Elytrigia mediterranea* (Simonet) Prokudin; *Agropyron junceum* (L.) P.Beauv. subsp. *junceum* var. *sartorii* Boiss. & Held *Elymus multinodus* Gould; *Triticum farctum* Viv.; *Agropyron junceum* (L.) P.Beauv. subsp. *junceum* var. *junceum*.
Nome volgare: Gramigna delle spiagge
Famiglia: Poaceae
Forma biologica: Geofita rizomatosa (40-60 cm)
Habitus: Specie perenne. Pianta caratterizzata da rizomi orizzontali biancastri, lunghi anche alcuni metri. Fusto cilindrico.







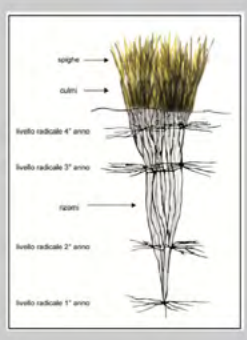
# AMMOPHILA ARENARIA




Sinonimi: *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm. (nome riportato in Pignatti, 1982); *Ammophila arenaria* (L.) Link subsp. *australis* (Mabille) Laínz (nome riportato in Conti et al., 2005); *Ammophila arenaria* (L.) Link subsp. *arundinacea* H.Lindb.; *Calamagrostis arenaria* (L.) Roth; *Ammophila arundinacea* Host; *Psamma littoralis* P.Beauv.; *Psamma arenaria* (L.) Roem & Schult.
Nome volgare: Sparto pungente, Ammofila
Famiglia: Poaceae
Forma biologica: Geofita rizomatosa (60 - 120 cm).
Habitus: Specie perenne. E' caratterizzata da lunghi rizomi. Forma densi cespi, con culmi robusti ed eretti.





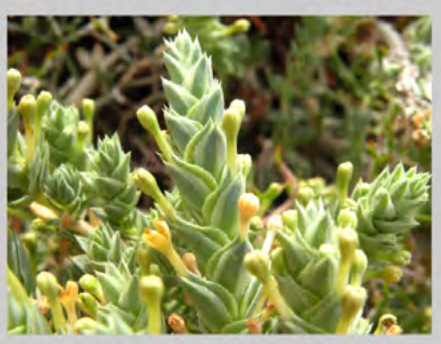



# CRUCIANELLA MARITIMA




Nome volgare: Crucianella marittima
Famiglia: Rubiaceae
Forma biologica: Camefita suffruticosa.
Habitus: Specie perenne. Pianta suffruticosa prostrata di altezza non superiore a 35 cm, con fusti legnosi alla base, striscianti o ascendenti.







# ERYNGIUM MARITIMUM




Nome volgare: Calcatreppola marittima
Famiglia: Apiaceae
Forma biologica: Geofita rizomatosa.
Habitus: Specie perenne. Glabra, coriacea e spinosa, di colore grigio-azzurro, virante al viola ametista sotto l'infiorescenza. Fusto eretto e ramoso in alto





# CALYSTEGIA SOLDANELLA




Nome volgare: Vilucchio marittimo
Famiglia: Convolvulaceae
Forma biologica: Geofita rizomatosa (alta 4-10 cm)







# ECHINOPHORA SPINOSA




Nome volgare: Finocchio litorale spinoso
Famiglia: Apiaceae
Forma biologica: Emicriptofita scaposa
Habitus: Specie perenne, semisucculenta, spinosa. Forma pulvinato-emisferica, provvista di rizoma sotterraneo allungato e fusto eretto molto ramificato.





# PANCRATIUM MARITIMUM




Nome volgare: Giglio di mare
Famiglia: Amaryllidaceae
Forma biologica: Geofita bulbosa (alta 30-40 cm).
Habitus: Specie perenne. Pianta caratterizzata da un bulbo di notevoli dimensioni e da lunghe foglie basali nastriformi.






# ONONIS VARIEGATA




Nome volgare: Ononide screziata
Famiglia: Fabaceae
Forma biologica: Terofita scaposa.
Habitus: Specie annuale, con fusti prostrati e radianti, ramificati alla base e spesso semi-nascosti nella sabbia





# SILENE COLORATA




Sinonimi: Silene canescens Ten; Silene decumbens Biv.; Silene ambigua Cambess.
Nome volgare: Silene colorata
Famiglia: Caryophyllaceae
Forma biologica: Terofita scaposa (alta 10-30 cm).
Habitus: Specie annuale pubescente con peli corti. Presenta fusti eretti o prostrati.






## COSA METTE A REPENTAGLIO LE DUNE COSTIERE ITALIANE?

L'attenzione della comunità scientifica nazionale ed internazionale, degli enti regionali e locali è attiva in questo ambito da molto tempo a partire dagli anni '90 con L'Agenda 21. Nel 1993 con la World Coast Conference viene legittimata politicamente l'importanza delle coste.

È dunque più di un trentennio che si parla di ICZM Integrated Coastal Zone Management, una sorta di cornice etica che prevede forme sostenibili di programmazione, pianificazione e gestione delle risorse di questa fascia di territorio.

In Italia il sistema delle dune costiere ha mantenuto un buono stato di conservazione dal punto di vista morfologico, idrogeologico e naturalistico fino al diciannovesimo secolo, ma nel ventesimo secolo l'impatto antropico sulle coste è divenuto molto forte, ampio, diffuso. Vaste opere di urbanizzazione, uno sviluppo incontrollato dell'agricoltura e del turismo, sommati ad una pesante crisi erosiva hanno determinato un vasto smantellamento del sistema costiero delle dune. Anche le costruzioni delle reti ferroviarie costiere, in alcuni tratti posizionate fin sui cordoni dunali, a partire dagli anni Sessanta hanno contribuito ad accelerare i fenomeni in atto, irrigidendo la naturale necessaria flessibilità di questi sistemi. Così pure le opere di tipo trasversale, longitudinali od aderenti ostacolano l'interscambio di sedimento tra spiaggia sommersa ed emersa, influenzando il mantenimento delle dune (ARPA 2007).

Degli oltre 45.000 ettari di dune presenti sul territorio nazionale un secolo fa, ne restano così circa il 20% nel 2000 così come dei circa 7000 ettari di paludi se ne salvano nello stesso anno solo 1000 (La Monica 2001): il precario e difficile equilibrio fisico del sistema dunale era stato definitivamente stravolto dalla pressione antropica e gli ultimi 20 anni sono in caduta libera.

Infatti nonostante il notevole valore naturalistico, nonostante le politiche delle Integrated Coastal Zone Management, le dune costiere restano tra gli ecosistemi più minacciati sia a livello italiano che europeo attanagliate da una dinamica sempre più irrversibile aggravata dai grandi eventi, da un turismo capillare che richiede spiagge sempre più "pulite" (ed irreali), da specie aliene via via più invasive (Sono state censite, tra la costa tirrenica e quella adriatica, ben 57 specie esotiche, pari a una percentuale di di circa 8% della specie campionate (Izzi *et al.* 2007) e da inquinanti emergenti (plastiche) degli esiti della cui presenza sappiamo ancora troppo poco. Paradossalmente gran parte del danno deriva proprio dall'incremento della domanda di natura.

Un recente studio realizzato nel sistema di dune della Tenuta Presidenziale di Castelporziano dimostra che numerosissimi sono i frammenti di plastica raccolti nell'ambiente dunale e la vegetazione, soprattutto se caratterizzata da un denso apparato fogliare, crea i presupposti per favorire i fenomeni di accumulo. È tra la prima e la seconda duna, nelle aree di calma di vento che le plastiche (oggetti o loro frammenti) si depositano sia in superficie che in profondità, risultante di un fenomeno ormai consolidato da tempo. (Pietrelli, Menegoni, Pierotti, Sighicelli 2021)

Pezzi di polietilene, polipropilene, polistirene che molto hanno vagato per terra e per fiumi prima di arrivare al mare e che hanno attratto a se molecole inquinanti, si intercalano alle sabbie silicee finendo a diretto contatto con gli apparati radicali. Ancora molto poco sappiamo di quanto/come questo fenomeno comporterà per tutto il sistema vivente delle dune.

## PERCHE? CI DOBBIAMO PREOCCUPARE DI QUESTI AMBIENTI?

La prima questione a mio avviso è legata alla "bellezza" di questi ambienti, un bene insostituibile per l'UOMO come per ogni specie, fonte di ispirazione, di serenità, di incontro.

Gli habitat e le specie delle dune sono inoltre particolarissimi e rappresentano un patrimonio inestimabile; se una spiaggia sottoposta ad erosione può ricostituirsi anche in pochi giorni, le dune litoranee, una volta demolite, si ricostruiscono in tempi molto lunghi tanto che alla scala umana il fenomeno può essere considerato irreversibile.

Le dune non hanno solo valore paesaggistico per la loro bellezza, ma svolgono un'importante funzione di protezione dalle inondazioni e di riparo dalla forza delle onde e dei venti, rappresentano delle barriere naturali alla salsedine e al trasporto delle sabbie verso l'interno. Di conseguenza sono di notevole beneficio per le colture del territorio retrostante e rappresentano una vera riserva per la biodiversità. In un tempo dove il cambiamento climatico è sempre più misurabile le dune rappresentano strumenti importanti per il contenimento degli effetti che questo provoca su ampie fasce di territorio costiero.

Molte azioni di contenimento dei danni si possono intraprendere e molte politiche si possono attivare ma, prima di qualsiasi azione è necessaria, a mio avviso, una presa di coscienza della "meraviglia di queste specie" e del loro inconsueto modo di vivere insieme, disposte su linee, in bilico tra terra e mare, della fragilità, della preziosità della loro vita, da proteggere con grande responsabilità.

Dunque certo... realizzare attraversamenti su percorsi sollevati su passerelle, attivare forme di protezione della vegetazione pioniera, evitare la pulizia meccanica delle spiagge che annulla ogni dinamica... tutte azioni utili ma, se alziamo lo sguardo e osserviamo le coste dall'alto ci rendiamo conto che i fenomeni sono di portata molto grande e coinvolgono i fiumi, le montagne, le "città temporanee" delle coste che vivono solo pochi mesi l'anno ma anche le città dell'interno, grandi digestori della modernità che riversano tutti i loro scarti in mare che poi democraticamente distribuirà sulle coste.

È dunque necessario attivare un "pensiero complesso" che tenga conto della complessità dei fenomeni sia sul piano spaziale che temporale. Conservare le dune significa proteggere non solo un paesaggio, ma un equilibrio millenario. Significa riconoscere il valore intrinseco del selvaggio, del non plasmato dalla mano umana, del mistero che si cela tra le pieghe della natura, sempre più studiate ma troppo poco conosciute ai più.

Sottrarre queste terre di confine alla minaccia dell'erosione e dello sfruttamento non è solo una questione di

ecologia, ma un impegno verso la bellezza stessa. Perdere le dune costiere sarebbe perdere un riflesso della nostra stessa anima: la capacità di vedere il fragile e il forte convivere in una danza perfetta.

Le coste, nell'immaginario collettivo, rappresentano molto più di una semplice linea di confine tra terra e mare. Sono luoghi di transizione, di partenza, di arrivo e di incontro, dove i paesaggi si fondono e mutano, e dove l'essere umano da sempre ha proiettato sogni e speranze. Le coste evocano l'idea di libertà, di orizzonti infiniti, di viaggi e avventure verso terre sconosciute, simbolicamente rifugio e serenità.

I paesaggi marini, con il loro ritmo costante e cangiante, trasmettono infatti un senso di pace e contemplazione, le spiagge sono luoghi di raccoglimento e meditazione. Nelle culture mediterranee, le coste sono spesso legate al mito, all'epopea dei marinai e dei viaggiatori, come Ulisse o Enea, che solcavano il mare cercando un destino, una patria o una rivelazione divina.

Allo stesso tempo, le coste sono il luogo per eccellenza della "bellezza fragile", della "vita eroica", luoghi in pericolo, vittime dell'erosione e dell'impatto umano. Questi spazi liminali ricordano all'uomo la sua connessione con la natura e l'importanza di preservarla, quasi fossero la frontiera ultima del contatto tra terra e terra.

## BIBLIOGRAFIA


ARPA (2007). *Stato del Litorale Emiliano-Romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione*. Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale Emilia-Romagna Rapporto tecnico pp 174.

Bianco P.M., Menegoni P. (2009), *Lineamenti floristico-vegetazionali del paesaggio costiero italiano*. In: *Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle aree protette*. RT ISPRA 100-2009. pagg 75-181.

Izzi C.F., Acosta A., Carranza M.L., Ciaschetti G., Conti F., Di Martino L., D'Orazio G., Frattaroli A., Pirone G., Stanisci A. (2001). *Il censimento della flora vascolare degli ambienti dunali costieri dell'Italia centrale*. Fitosociologia vol. 44 (1): 129-137, 2007 129.

La Monica G.B. (2001). *L'erosione di spiagge e coste. Un paese spaesato. Rapporto sullo stato del paesaggio italiano*. I LIbri bianchi del Touring Club Italiano V12 pp 44-49.

Pietrelli L., Menegoni P., Pierotti M., Sighicelli M. (2021). *Analisi della distribuzione delle microplastiche sulle dune di Castelporziano: dati preliminari*. In book: *Il Sistema Ambientale della Tenuta presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo* (pp.765-778) Publisher: Scritti e documenti LXII Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica.

Pignatti S. (2002). *La vegetazione delle spiagge: dune e spiagge sabbiose, ambienti fra terra e mare*. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio p 3-61.

# Diversità e conservazione della fauna delle dune italiane

## Diversity and conservation of coastal dune fauna in Italy

Simone Fattorini
Dipartimento di Medicina clinica, Sanità pubblica, Scienze della Vita e dell'Ambiente, Università dell'Aquila, L'Aquila
E-mail: simone.fattorini@univaq.it

**Parole chiave**: Ambienti costieri, Artropodi, Biodiversità, Conservazione, Ecologia delle dune, Mediterraneo, Spiagge sabbiose, Vertebrati
**Key words**: Coastal environments, Arthropods, Biodiversity, Conservation, Dune ecology, Mediterranean, Sandy shores, Vertebrates

## RIASSUNTO

Le comunità animali che popolano le coste sabbiose sono tipicamente povere di specie, se confrontate con quelle di habitat più interni, come la gariga e la macchia mediterranea. Esse comprendono però molte specie con distribuzione ridotta e specializzate alla vita in questo ambiente ostile. Le comunità animali dei sistemi spiaggia-duna in Italia sono oggi gravemente minacciate. Lungo gran parte delle coste italiane, i sistemi spiaggia-duna sono stati distrutti o gravemente degradati. Inoltre, la maggior parte delle poche aree che hanno ancora uno stato di conservazione relativamente buono sono altamente isolate e sottoposte a forti pressioni antropiche. Attraverso una rassegna di casi esemplari tratti dai principali gruppi animali, questo lavoro illustra la diversità della fauna che popola i sistemi spiaggia-duna italiani e la moltitudine di minacce cui sono soggetti, come la perdita e il degrado degli habitat, l'inquinamento, le pratiche agricole, il cambiamento climatico e soprattutto gli effetti del turismo. Per la conservazione delle comunità animali dei sistemi spiaggia-duna sono richieste misure urgenti, che dovrebbero includere la valutazione dello stato di conservazione delle specie e delle popolazioni, lo sviluppo di una più ampia rete di aree costiere protette e non protette, e l'adozione di adeguati piani di gestione.

## ABSTRACT

The animal communities inhabiting sandy coasts are typically poor in species, if compared with those of more inland habitats, such as the garrigue and the Mediterranean maquis. However, these communities include many species specialized to the life in this harsh environment and with restricted ranges. The animal communities of the Italian beach-dune systems are severely imperiled. Along most of the Italian coasts, the beach-dune systems have been largely destroyed or severely degraded. Moreover, most of the few areas that maintained a relatively good conservation status are highly isolated and under severe pressures. A review of exemplary cases from all major animal groups illustrates the diversity of the fauna inhabiting the Italian beach-dune systems and the multitude of threats they face, such as habitat loss and degradation, pollution, farming practices, climate change, and especially pressure from tourism. Urgent measures for the conservation of the animal communities of beach-dune systems are needed, including the assessment of the conservation status of species and populations, the development of networks of protected and unprotected areas, and the adoption of appropriate plans of coastal management.

## GLOSSARIO

**Alofilo:** Che vive in ambienti con elevata concentrazione salina.
**Coprofago:** che si nutre di escrementi.
**Detritivoro:** che si nutre di detrito.
**Endemico:** esclusivo di una certa area.
**Endemita:** organismo esclusivo di una certa area.
**Euriecio:** in grado di vivere soltanto in un ristretto intervallo di condizioni ambientali.
**Fitofago:** che si nutre di piante o materiale vegetale in generale.
**Floricolo:** che vive tra i fiori e/o si nutre di fiori.
**Psammofilo:** che mostra preferenze e adattamenti per la vita all'interno o sulla superficie della sabbia.
**Radicivoro:** che si nutre di radici.
**Spp:** plurale dell'abbreviazione sp. (specie). Indica più specie all'interno dello stesso genere.
**Stenoecio:** in grado di vivere soltanto in un ristretto intervallo di condizioni ambientali.
**Termofilo:** che vive in ambienti caldi.
**Xerofilo:** che vive in ambienti aridi.

## INTRODUZIONE

Le dune e le spiagge sabbiose del Mediterraneo sono ecosistemi contraddistinti dalla presenza di condizioni ambientali ostili alla vita, sia vegetale che animale, come la scarsa disponibilità di acqua dolce, la forte insolazione, le elevate temperature (soprattutto sul terreno), gli ampi scarti termici tra il giorno e la notte, la forte ventosità, l'instabilità del substrato, e l'elevata salinità. I sistemi spiaggia-duna sono quindi pienamente colonizzabili solo da un numero piuttosto limitato di specie altamente specializzate, la cui sopravvivenza è oggi purtroppo gravemente minacciata dalla trasformazione che le aree costiere italiane hanno subito soprattutto a partire dalla seconda metà dell' 800 e dalle gravi condizioni di degrado cui sono sempre più esposte (Fattorini, 2008, 2009a, 2022; Acosta, 2021).

Sebbene le aree costiere siano state tra i primi luoghi a essere abitati dai popoli del Mediterraneo, l'impatto



Figura 1. La costruzione delle ferrovie litoranee è stata una delle principali cause della distruzione degli ecosistemi di spiaggia-duna in Italia. Nella foto, un tratto della linea adriatica, in prossimità dell'Area Marina Protetta "Torre del Cerrano". Foto S. Fattorini.

dell'uomo su questi fragili ecosistemi è rimasto piuttosto marginale fino a tempi relativamente recenti. È infatti solo con la seconda metà dell'800, e poi ancora più drammaticamente con gli inizi del 900, che le pressioni umane su questi ambienti si sono fatte sempre più intese e pervasive (Cassola, 2002; Brecciaroli e Onori, 2009), portando, in poco più di un secolo, alla distruzione o alla grave compromissione ecologica di quasi tutte le aree costiere sabbiose italiane (Prisco *et al*., 2020; Acosta, 2021). Lo sviluppo urbano, la costruzione di strade e ferrovie, il prelievo di sedimenti, l'inquinamento, le attività agricole, e le varie forme di pressione legate al turismo, hanno determinato una così vasta alterazione degli ecosistemi costieri italiani che circa il 90% degli habitat di duna si trova attualmente in un cattivo stato di conservazione (Prisco *et al*., 2020). A questi fattori di trasformazione e minaccia si aggiungono oggi gli effetti del cambiamento climatico, come l'innalzamento delle temperature e la maggiore frequenza e intensità degli eventi estremi (Fattorini, 2008, 2024).

L'impatto diretto dell'uomo sugli ecosistemi costieri italiani, in particolare quelli di duna, è iniziato, nella sua forma più eclatante e distruttiva, con l'Unità d'Italia, quando le coste divennero aree particolarmente sfruttate per lo sviluppo ferroviario, sia per la loro morfologia pianeggiante sia per ragioni estetiche, in quanto offrivano ai viaggiatori la possibilità di godere di suggestivi scenari panoramici (Cassola, 2002) (Fig. 1). Allo sviluppo ferroviario si è poi affiancato, nel corso del 900, quello sempre più capillare della rete stradale (Cassola, 2002). I collegamenti stradali e ferroviari non solo hanno danneggiato direttamente gli ecosistemi costieri, distruggendone la contiguità ecosistemica con gli ambienti più interni, ma hanno anche facilitato lo sfruttamento di aree precedentemente inaccessibili (Cassola, 2002; Brecciaroli e Onori, 2009). In alcuni casi, le strade costiere sono state realizzate addirittura sulla sommità delle dune (Fig. 2). Alla distruzione degli habitat provocata dalla realizzazione delle strade e delle ferrovie si è aggiunta poi, in modo sempre più pervasiva, quella determinata dalla costruzione degli stabilimenti balneari, che, già all'inizio del 900, avevano alterato o eleminato gli habitat naturali di lunghi tratti di costa che si erano fino ad allora salvati (Cassola, 2002) (Fig. 3).



Figura 2. Lo sviluppo della rete stradale lungo le coste ha inferto ferite irreparabili agli ecosistemi di spiaggia-duna. Nella foto, la strada litoranea costruita sulla sommità delle dune del Parco Nazionale del Circeo. Foto S. Fattorini.



Figura 3. Gli stabilimenti balneari hanno invaso gran parte dei litorali sabbiosi italiani, non solo distruggendo la vegetazione della duna, ma arrecando forme di grave disturbo su tutta la spiaggia. Nella foto, la struttura di uno stabilimento che insiste sulle dune del Parco Nazionale del Circeo con schiere di ombrelloni che arrivano fino alla battigia. Foto S. Fattorini.

Nel corso del 900 lo sfruttamento costiero è stato ulteriormente segnato dallo sviluppo di una massiccia, e spesso illegale, edilizia privata (Cassola, 2002) (Fig. 4). Tali costruzioni hanno trasformato gran parte degli 8000 km di coste italiane in una linea quasi ininterrotta di cemento e stabilimenti balneari.



Figura 4. Molti tratti delle coste italiane sono stati oggetto di edificazione. Spesso le abitazioni (tipicamente seconde case) sono state costruite proprio sulla duna. Nella foto, ville nel Parco Nazionale del Circeo. Foto S. Fattorini.

Queste profonde trasformazioni del paesaggio costiero hanno colpito soprattutto le coste sabbiose, contribuendo (insieme ad altri fattori come l'urbanizzazione, l'agricoltura, la modifica dei regimi fluviali, il prelievo di materiali, ecc.) ad alterare il ciclo dei sedimenti e quindi a una sempre più aggressiva erosione costiera (Brecciaroli e Onori, 2009) (Fig. 5). Le coste rocciose hanno risentito meno di questi processi perché più difficili da sfruttare, ma i loro ecosistemi sono comunque minacciati da impatti indiretti, quali l'inquinamento marino e il riscaldamento globale (Fattorini, 2022).



Figura 5. L'azione umana di alterazione della morfologia dei litorali e dei processi di sedimentazione porta a rapidi ed imponenti fenomeni di erosione. Il mare ha raggiunto e distrutto questo vecchio edificio (Riserva Naturale del Borsacchio). Foto S. Fattorini.

Lo scopo di questo contributo è quello di offrire una panoramica della diversità della fauna degli ecosistemi costieri sabbiosi italiani e del suo stato di conservazione. Sebbene certamente molto più povera di quella di ecosistemi che si trovano più all'interno, come la garriga o la macchia mediterranea, la fauna delle spiagge e delle dune annovera comunque un numero di specie troppo elevato per consentirne una rassegna esaustiva (solo tra i coleotteri sono centinaia quelle che si possono trovare in questi ambienti). Ciò non di meno si è cercato di operare una selezione di gruppi e specie sufficientemente ampia da essere esemplificativa della diversità animale delle dune italiane e del suo stato di conservazione. Allo scopo, si è fatto essenzialmente riferimento alle informazioni desumibili dalla bibliografia citata in Fattorini (2008a,b, 2009), aggiornate e corrette sulla base di pubblicazioni più recenti (ad esempio, Zanella, 2009, 2010, 2017, 2018, 2023; Reloni, 2010; Corti *et al*., 2011; Fattorini *et al*., 2012, 2015a,b, 2016a,b, 2017; Ballerio *et al*., 2014; Hochkirch *et al*., 2016; Munari, 2017, 2020; Zanella *et al*., 2017; Zanella e Scarton, 2017; García *et al*., 2018; Fattorini, 2021, 2020, 2023; Zanella e Uliana, 2022).

## LA DIVERSITÀ ANIMALE DELLE DUNE

I sistemi spiaggia-duna sono ambienti di interfaccia tra la terra e il mare in cui è possibile osservare, in condizioni naturali, un caratteristico profilo morfologico trasversale, lungo il quale variano i fattori ambientali (temperatura, umidità, salinità, granulometria, ecc.) che condizionano la vita vegetale e animale (Fig. 6). Lungo tale profilo sono riconoscibili tre settori principali in cui può essere divisa la spiaggia: la spiaggia emersa (il cui limite interno corrisponde al piede della duna), la spiaggia intertidale (sommersa durante l'alta marea ed esposta all'atmosfera durante la bassa marea), e la spiaggia sommersa. La spiaggia intertidale è popolata da un gran numero di specie di invertebrati che vivono sia in superficie che a diverse profondità nella sabbia. Le specie che vivono in superficie sono legate soprattutto al detrito spiaggiato, e, potendo spesso trovarsi anche sulla spiaggia emersa e persino sulle dune, rientrano nella fauna che popola questi ambienti. Le specie che vivono in profondità sono invece prevalentemente rappresentate da microinvertebrati interstiziali (mesofauna) che non contraggono rapporti con la spiaggia emersa e le dune, e che pertanto non saranno discusse in questo lavoro. Il limite tra la spiaggia intertidale e quella emersa è segnato da una struttura triangolare di accumulo, detta berma ordinaria, corrispondente alle condizioni normali di moto ondoso. Più all'interno si può osservare la presenza di una o più berme, dette di tempesta, che si formano invece in conseguenza delle mareggiate. Lo spazio grosso modo compreso tra la berma ordinaria e quella di tempesta individua una zona della spiaggia emersa spesso indicata come eulitorale (sebbene lo stesso termine sia frequentemente usato per includere anche la zona intertidale). Mentre le comunità animali della zona intertidale sono ciclicamente esposte alla sommersione, quelle dell'eulitorale sono raggiunte dall'acqua marina solo in circostanze eccezionali. Le comunità animali di questa sezione sono anche esse sostanzialmente dipendenti dal detrito spiaggiato e includono molte specie che si possono rinvenire anche sulle dune. La zona della spiaggia più interna, corrispondente al tratto compreso all'incirca tra la berma di tempesta e il piede della duna, è detta sopralitorale, e qui è possibile osservare la presenza di una prima fascia di vegetazione, costituita da sparse piante pioniere (cakileto). Il piede della duna marca il passaggio da questa zona a quella extralitorale. Questa zona comprende le dune, il retroduna, e gli eventuali stagni costieri delle depressioni

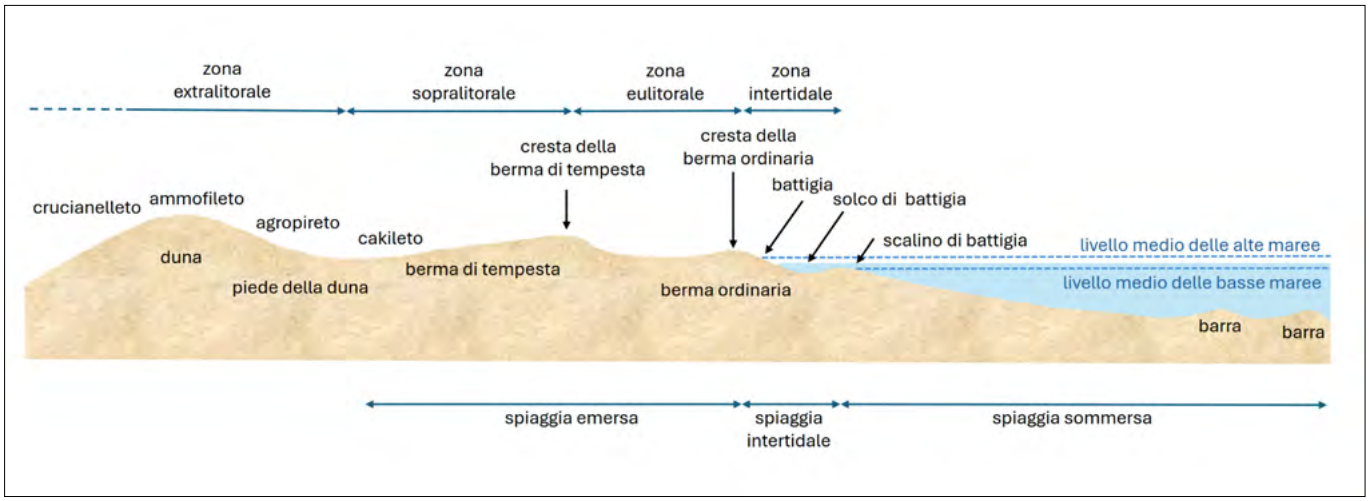



Figura 6. Configurazione longitudinale di un sistema spiaggia-duna. In condizioni ideali, la spiaggia si presenta suddivisa in un certo numero di sezioni ben riconoscibili, cui si associa una caratteristica zonazione delle comunità biologiche.

retrodunali e interdunali. All'interno della duna, in condizioni naturali, è distinguibile una caratteristica sequenza di comunità vegetali (elimeto, ammofileto e crucianelleto) comprendenti un numero piuttosto ridotto di specie di piante, presenti tuttavia in forma essenzialmente stabile. Questo consente l'instaurarsi di comunità di animali che si nutrono di piante (consumatori primari), in particolare insetti fitofagi, assenti invece nella spiaggia, in quanto priva di vegetazione. A causa della bassa diversità vegetale e della scarsa copertura, la diversità e l'abbondanza degli animali legati a queste piante è tuttavia piuttosto ridotta. La bassa diversità di consumatori primari determina a sua volta un ridotto numero di specie carnivore, e quindi una certa semplicità delle reti alimentari. In generale, poiché la risorsa alimentare più comune nei sistemi spiaggia-duna è rappresentata dal detrito (portato dal mare o prodotto dalla vegetazione), la maggior parte delle specie animali è rappresentata da detritivori e loro predatori.

Inoltre, a causa delle condizioni ecologiche sopra ricordate, i sistemi spiaggia-duna sono tipicamente popolati da gruppi con specie più o meno fortemente psammofile (cioè legate alla sabbia) e xero-termofile (cioè di ambienti aridi e caldi), spesso altamente specializzate e che occupano esclusivamente questi ambienti (specie stenoecie), mentre mancano le specie legate alla lettiera umida. Le dune sono però abitate anche da specie che, avendo un'ampia tolleranza ecologica (specie euriecie), riescono a sfruttare anche questo tipo di ambiente, pur non essendone esclusive. Le dune sono poi frequentate da numerose specie provenienti da ecosistemi adiacenti, che giungono sulle dune per dispersione attiva (in particolare con il volo) o passiva (ad esempio, trasportate dai fiumi e poi spiaggiate). Sebbene queste specie possano rappresentare anche una frazione cospicua del popolamento animale delle dune, esse non fanno realmente parte delle comunità dei sistemi spiaggia-duna, in quanto la loro presenza nel tempo è molto variabile e spesso del tutto occasionale.

### Nematodi

I sistemi spiaggia-duna albergano comunità di nematodi relativamente ricche di specie e con popolazioni anche estremamente abbondanti. Caratteristici delle coste sabbiose sono, ad esempio, *Nothacrobeles prominens*, *Rotylenchus laurentinus*, *Tripyla affinis*, *Tylenchorhynchus aduncus* e *Haliplectus leptocephalus*.

### Molluschi

Le dune ospitano numerose specie di gasteropodi xerofili, spesso con elevate densità di popolazione, e che, dal punto di vista ecologico, possono essere suddivise in due gruppi: le chaliconchae, notevolmente xero-resistenti, capaci di sopportare l'insolazione diretta, caratterizzate da una conchiglia ispessita, biancastra, spesso con fasce brune (ad esempio, *Theba pisana* (Fig. 7), il mollusco più comune nei sistemi dunali italiani, *Cernuella* spp., *Cochlicella* spp. e *Trochoidea* spp.), e le keratoconchae, meno adattate all'aridità, con conchiglia più sottile, semitrasparente, di rado fornita di fasce scure, e che, non essendo in grado di resistere all'insolazione diretta, si rifugiano nel fitto della vegetazione o si interrano (ad esempio, clausiliidi del genere *Papillifera*, *Eobania vermiculata* ed altri elicidi dei generi *Helix*). Per la sua abbondanza, *Theba pisana* rappresenta una specie chiave nel funzionamento degli ecosistemi dunali. Le conchiglie vuote di questa specie che si accumulano in notevoli quantità nella duna e nel retroduna, disgregandosi, costituiscono infatti una fonte importantissima di ioni calcio nel suolo (Fig. 7). Nativa del Mediterraneo, *Theba pisana* è diventata cosmopolita e invasiva. Nei retroduna questa specie è meno comune, venendo sostituita, soprattutto sui suoli retrodunali più compatti, calcareo-marnosi, da specie come *Trochoidea pyramidata*, *T. trochoides* e *Cernuella virgata*. Altre specie frequenti nei sistemi dunali si ritrovano nei generi *Monacha* e *Cochlicella*, quali *M. cartusiana* (maggiormente legata alle dune cespugliose e ai retroduna), *C. conoidea* (specie pioniera, legata alla parte della duna più vicina al mare, ampiamente diffusa nell'Italia peninsulare) e, più raramente, *C. acuta* (più caratteristica degli ambienti retrodunali più asciutti). A queste si aggiungono *Cornu aspersum* e *Cantareus apertus* (anch'esse soprattutto di ambienti retrodunali). Nei suoli retrodunali sono anche presenti *Cochlicella acuta*, *Xerotricha apicina* (legata a condizioni meno secche) e alcune *Papillifera*, come *P. solida* e *P. papillaris*, più tipiche delle rocce calcaree.



Figura 7. Nicchi di *Theba pisana*. La degradazione delle enormi quantità di queste conchiglie che si accumulano sulle dune rappresenta una preziosissima fonte di calcio per il suolo di questi ambienti. Foto S. Fattorini.

Specie di particolare rilievo conservazionistico per il loro areale fortemente ridotto e frammentato sono *Ichnusomunda sacchii* (esclusiva di pochi sistemi dunali della Sardegna occidentale), *Xerosecta contermina* (circoscritta in Italia a dune del litorale tirrenico e della Sardegna), *Cernuella aradasi* (endemica, esclusiva di un piccolo tratto di dune in provincia di Messina) e *Xeromunda durieui* (limitata, in Italia, alle dune pugliesi del Tarantino).

Tra le poche specie della zona sopralitorale si può citare *Myosotella myosotis*, caratteristica di spiagge umide sabbioso-ghiaiose, dove si rinviene tra i detriti spiaggiati.

### Aracnidi

Questo gruppo include, oltre a numerose specie termofile e xerofile di salticidi, teridiidi, tomisidi e oonopidi non strettamente associate alle dune, alcune specie piuttosto caratteristiche di questo ambiente, come l'araneide *Argiope lobata* (specie distribuita lungo le coste, anche rocciose, di gran parte d'Italia, capace di costruire ampie tele verticali

tese tra i cespugli), alcuni filodromidi del genere *Tibellus* (come *T. macellus* e *T. maritimus*, tipici della vegetazione erbacea dunale e retrodunale, ma che si trovano frequentemente anche sulla battigia, dove predano piccoli artropodi sabulicoli viventi tra i detriti spiaggiati), svariati licosidi che scavano nella sabbia le loro tane (come *Xerolycosa miniata*, *Alopecosa fabrilis*, *A. cursor* e *A. pulverulenta*), nonché alcune specie del genere *Arctosa* (come *A. perita*, *A. cinerea* e *A. personata*, agili corridori caratterizzati da colorazioni criptiche). Altro aracnide caratteristico delle dune è lo pseudoscorpione *Olpium pallipes*; frequenti sulle dune, ma ampiamente presenti in altri ambienti, sono anche gli pseudoscorpioni *Atemnus politus* e *Dactylochelifer latreillei*. Caratteristici della battigia (dove si trovano sotto il detrito spiaggiato) sono invece gli pseudoscorpioni *Garypus beauvoisi* e *G. levantinus*. Più frequente nei salicornieti, è l'opilione *Opilio saxatilis*. Infine, tra gli acari delle coste sabbiose, si può citare *Hydrogamasus salinus*, specie alofila.

### Diplopodi

Essendo prevalentemente legati ad ambienti umidi, i diplopodi (noti comunemente come millepiedi) non sono frequenti nelle dune. Qui la loro presenza è circoscritta a poche specie, come *Lophoproctus jeanneli*, *Polyxenus lapidicola*, *Stosatea italica*, relativamente comuni sull'eulitorale e nei punti più umidi alla base della vegetazione delle dune; *Ommatoiulus oxypygus* associato a microhabitat relativamente riparati, e *O. sabulosus* specie molto euriecia. Caratteristico dell'ambiente intertidale, ove frequenta gli ammassi vegetali spiaggiati, è invece *Thalassisobates littoralis*, specie un tempo comune lungo i litorali italiani (soprattutto con spiagge sassose e ciottolose), ma oggi in netta rarefazione. *Dolichoiulus tongiorgii* si rinviene sull'eulitorale, associato soprattutto a detriti lignei spiaggiati.

### Chilopodi

Anche i chilopodi (comunemente noti come centopiedi), essendo prevalentemente legati alla lettiera umida, sono poco rappresentati negli ambienti dunali, dove è possibile comunque incontrare qualche specie particolarmente euriecia, come *Pachymerium ferrugineum* e *Henia bicarinata*, cui si potrebbero aggiungere, come presenze sporadiche, *Lithobius cassinensis* (endemico dell'Italia centrale) o *Cryptops trisulcatus*. Sotto i detriti spiaggiati si trovano specie alofile, come *Tuoba poseidonis* e *Hydroschendyla submarina* (entrambe con distribuzione molto frammenta lungo le coste tirreniche), e il più euriecio *Geophilus fucorum* (distribuito in Italia in Liguria e Sardegna), capace di spingersi anche in ambienti di pinete e leccete litoranee.

### Crostacei

La ridotta disponibilità di acqua dolce superficiale e di materiale organico nel suolo rappresentano severi fattori limitanti per la sopravvivenza dei crostacei terrestri. Tra le poche specie presenti nelle dune, alla base delle piante, dove si concentrano umidità e detrito, si possono citare *Porcellio lamellatus*, *Armadillidium etruriae* (endemico), *A. silvestrii* (endemico), *A. argentarium* (endemico) e alcune *Philoscia*. Numerosi sono i crostacei che vivono sulla battigia. Tra questi vanno ricordati gli anfipodi talitridi (piccoli crostacei noti come pulci d'acqua per la loro capacità di compiere ampi balzi, soprattutto se disturbati), come *Talitrus saltator*, che vive in cunicoli scavati nella sabbia umida, e che di notte può raggiungere anche le dune interne utilizzando un sistema di orientamento basato sulla posizione del sole e della luna, le lunghezze d'onda blu della luce proveniente dal mare e il colore del substrato. Sotto le alghe morte e la banquette (termine con cui si indicano gli accumuli di foglie morte di *Nanozostera noltei*, *Zostera marina* e *Posidonia oceanica*), al limite della risacca, si possono osservare, spesso in gran numero, specie del genere *Orchestia*.

Sotto il detrito spiaggiato si trovano anche varie specie di isopodi. Caratteristiche di questo ambiente sono le specie dei generi *Halophiloscia* e *Stenophiloscia*, *Buchnerillo litoralis*, *Trichoniscus halophilus*, *Armadilloniscus* spp., e due specie del genere *Tylos*, *Tylos europaeus* (su sabbia fine) e *T. ponticus* (su sabbia a granulometria maggiore). Questi ultimi, usando un sistema di orientamento astronomico basato su sole e luna, sono in grado di compiere movimenti circadiani analoghi a quelli di *Talitrus saltator*.

### Insetti

Gli insetti costituiscono il gruppo animale più diversificato e con numerosissime specie caratterizzate da spiccati adattamenti alla vita nei sistemi spiaggia-duna. La trattazione qui presentata, forzatamente sintetica, fornisce una panoramica a livello di ordine, e, nel caso dei coleotteri, in considerazione della loro notevole diversità, a livello di famiglia.

**Ortotteri.** Gli ortotteri (un ordine che include insetti come cavallette, locuste e grilli) sono uno dei gruppi di insetti più diversificati e abbondanti nelle dune. Tra gli acrididi, i generi più caratteristici dei sistemi dunali sono *Sphingonotus* ed *Acrotylus*. *Sphingonotus personatus*, considerato specie a rischio di estinzione in Europa, è l'ortottero più diffuso lungo le coste peninsulari, con popolazioni tuttavia sempre più isolate. La colorazione giallo sabbia con punti bruni lo rende praticamente indistinguibile dal substrato. In Sardegna è presente l'affine *Sphingonotus candidus*, classificato come quasi a rischio. Il genere *Acrotylus* include varie specie associate agli ambienti dunali sabbiosi. *A. longipes* (classificato come vulnerabile a livello europeo) è particolarmente specializzato alla vita negli ambienti di duna, mostrando peculiari adattamenti etologici: durante il giorno, questo insetto si poggia sulla sabbia rovente con solo tre zampe distese al massimo, così da ridurre il contatto con il terreno, mentre passa la notte infossato, facendo sporgere solo gli occhi e le antenne. *Acrotylus insubricus* e, soprattutto, *A. patruelis* possono pure trovarsi sulle dune, ma occupano anche ambienti più interni.

Altre specie euriecie che si possono incontrare frequentemente sulle dune italiane sono *Sphingonotus caerulans*, *Sphingonotus uvarovi* (endemico della Corsica e della Sardegna, dove vive nelle coste sabbiose e nelle dune con scarsa vegetazione, considerato a rischio di estinzione a livello eu-

ropeo), *Oedipoda germanica* (specie presente in una grande varietà di ambienti aridi, anche interni) e *Dociostaurus genei* (presente anche in ambienti fortemente disturbati, tanto costieri quanto più interni).

Specie endemiche italiane strettamente legate alle dune e considerate a rischio di estinzione in Europa sono *Dirshius uvarovi* (noto di poche località peninsulari), *Dociostaurus minutus* (esclusivo dei retroduna di una circoscritta area della Sicilia sud-orientale), *Ochrilidia sicula* (endemica di Sicilia, associata ad *Ammophila arenaria* e *Thinopyrum junceum*, in forte rarefazione, con popolazioni oggi limitate a poche località della costa meridionale e orientale dell'isola e minacciate dal turismo e dalle attività agricole) e *O. nuragica* (nota esclusivamente delle dune a sud di Muravera, in Sardegna, minacciata dal turismo e da altre forme di degrado che interessano la rada vegetazione ad *Ammophila*).

Tra gli ensiferi, una delle specie più appariscenti è il grosso grillide *Brachytrupes megacephalus*, distribuito in Nord Africa, Sicilia, Isole Maltesi e Sardegna meridionale. Perseguitato dagli agricoltori, questo insetto ha subito una forte rarefazione. Classificato come vulnerabile a livello europeo, è incluso negli Allegati II e IV della Direttiva Habitat (92/43CEE) come specie che richiede una protezione rigorosa. Caratteristico degli ambienti retrodunali, questo ortottero, utilizzando un particolare schema comportamentale che coinvolge le zampe anteriori, le robuste mandibole e il grosso capo, scava lunghe gallerie la cui presenza è segnalata da caratteristici tumuli sabbiosi irregolari. Al tramonto, il maschio si porta con la parte posteriore all'uscita della galleria ed emette un caratteristico canto di richiamo. Seguendo questo canto, la femmina, allontanandosi dalla propria galleria, si introduce in quella del maschio, dove avviene la riproduzione. Qui viene segregata in un ramo laterale della galleria principale, dove depone le uova, e poi apre una nuova uscita per emergere. Per le notevoli dimensioni (circa 40 mm) e per i particolari comportamenti, questo grosso grillo potrebbe ben fungere da specie bandiera per la conservazione degli invertebrati delle dune.

Altri ensiferi piuttosto caratteristici dei sistemi spiaggia-duna sono *Platycleis sabulosa* (diffusa nelle dune cespugliose dell'Italia meridionale e nelle barene della Laguna Veneta e nelle zone circostanti); *Roeseliana brunneri* (specie endemica, ristretta alla zona costiera salina del Veneto, al Delta del Po e ad alcune zone paludose dell'interno del Friuli-Venezia Giulia, le cui popolazioni sono state fortemente danneggiate dalle operazioni di controllo delle zanzare e ora considerata quasi a rischio in Europa); *Zeuneriana marmorata* (circoscritta ad alcune località tra Italia e Slovenia, associata a zone costiere umide e paludi con *Juncus*, classificata a rischio di estinzione in Europa a causa delle azioni di drenaggio, della sostituzione della vegetazione naturale con alberi e canneti, e della trasformazione dei prati umidi naturali in campi coltivati); *Ephippiger apulus* (specie endemica, presente in un'ampia varietà di ambienti caldo-secchi); *Pterolepis elymica* (endemica di Sicilia, limitata a pochi siti con ambienti salmastri e vegetazione di *Ammophila*, considerata a rischio di estinzione in Europa); *P. pedata* (associata essenzialmente ai salicornieti, presente in Sardegna, in Tunisia e a Lampedusa). *Pseudomogoplistes squamiger* (presente con distribuzione frammentata lungo le coste dell'Italia centro-meridionale, della Sicilia e della Sardegna), pur legato maggiormente alle spiagge ciottolose, può colonizzare anche litorali ciottoloso-sabbiosi.

**Dermatteri.** I dermatteri (forbicine) comprendono due specie caratteristiche degli ambienti costieri mediterranei, entrambe in rarefazione: *Anisolabis maritima* (probabilmente originaria dell'Asia, ma attualmente cosmopolita, tipica frequentatrice dei detriti spiaggiati, soprattutto su spiagge ciottolose) e *Labidura riparia* (specie associata a litorali sabbiosi, ma riscontrabile anche in quelli ciottolosi e persino in località interne lungo gli argini fluviali sabbiosi; Fig. 8).



Figura 8. *Labidura riparia*. Questa forbicina, tipica frequentatrice del detrito spiaggiato, è oggi in forte rarefazione in tutta Italia. Foto S. Fattorini.

**Eterotteri.** Gli eterotteri (un ordine che comprende insetti comunemente noti come cimici) includono sia specie predatrici che specie fitofaghe più o meno specializzate. Tra le specie più caratteristiche dei sistemi spiaggia-duna ricordiamo anzitutto il nabide *Nabis reuterianus*, specie predatrice frequente soprattutto lungo le aree costiere tirreniche, che caccia quasi esclusivamente sulla leguminosa di duna *Ononis natrix*. Alla base di questa pianta vive un altro eterottero predatore, il ligeide *Geocoris pallidipennis*, specializzato su substrati sabbiosi e che può trovarsi anche in quota risalendo le rive dei fiumi. *Ononis natrix* costituisce invece il cibo dell'eterottero miride fitofago *Phytocoris miridioides*, mentre l'ossicarenide *Macropternella bicolor* è un caratteristico consumatore di semi di asteracee di duna. Altre specie legate alla vegetazione dunale sono i ligeidi *Geocoris lineola* e *G. megacephalus*, ampiamente diffusi in tutta Italia, psammofili xerotermici; il cidnide *Byrsinus albipennis*, tipico scavatore, rinvenibile nella sabbia alla base di *Ammophila*, *Eryngium* e *Matthiola*; il miride *Trigonotylus caelestialium*, associato alle graminacee degli ambienti dunali; e il pentatomide *Menaccarus dohrnianus*, caratterizzato da una colorazione criptica. Tra le specie più rare e localizzate si possono citare il pentatomide *Holcogaster exilis* (legato a *Juniperus* e presente in Italia esclusivamente sulle dune dell'Isola di Pantelleria), e i miridi *Campylomma vendicarina* (legato a *Juniperus oxycedrus* e noto in Italia esclusivamente di poche località della costa sud-orientale

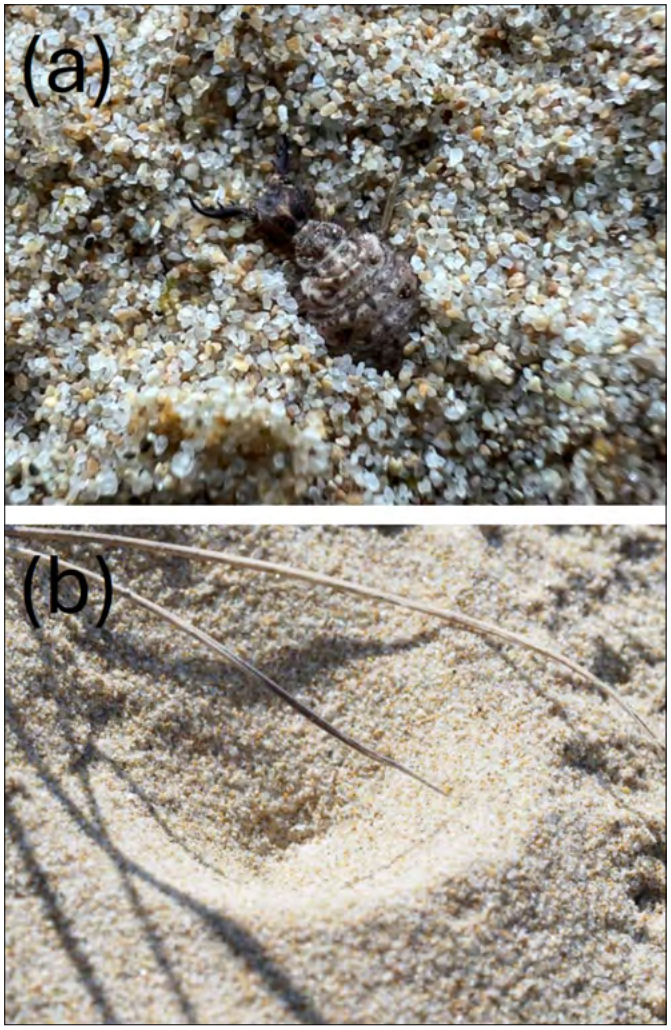



Figura 9. I formicaleoni sono caratteristici predatori delle dune. Le larve di questi insetti (a) scavano delle trappole a imbuto (b) sul cui fondo restano in agguato delle prede. Foto M. Criscuolo (a) e A. Di Giulio (b).

della Sicilia) e *Nasocoris psyche* (strettamente associato alle rare e localizzate efedracee dunicole del genere *Ephedra*, endemico della Sardegna occidentale).

**Neurotteri.** Tra i neurotteri dei sistemi spiaggia-duna si annoverano anzitutto alcune specie appartenenti alla famiglia dei mirmeleontidi (formicaleoni), le cui larve scavano caratteristiche trappole a imbuto per catturare i piccoli artropodi di cui si nutrono (Fig. 9). In particolare, ricordiamo *Myrmeleon inconspicuus* (tipico degli habitat dunali, retrodunali, e paleodunali con vegetazione psammofila) e *Myrmeleon hyalinus* (che predilige le parti delle dune più esposte, evitando ambienti retrodunali con vegetazione più densa). Tra le specie psammofile che non scavano trappole a imbuto ricordiamo invece *Acanthaclisis baetica*, specie tipica degli ammofileti, ma che può spingersi fino alla spiaggia umida e alla linea di battigia; *Acanthaclisis occitanica*, specie normalmente associata all'ambiente retrodunale; *Neuroleon arenarius*, e *Megistopus* spp.. Sulla duna, così come a livello delle paleodune più interne, si possono occasionalmente rinvenire varie specie del genere *Creoleon* e numerose specie più strettamente legate alla macchia mediterranea, come il crisopide *Chrysoperla carnea* complex, l'ascalafide *Libelloides italicus* (endemico dell'Italia peninsulare), e il più grande neurottero italiano, il mirmeleontide *Palpares libelluloides* (che sembra prediligere substrati grossolani).

**Lepidotteri.** I lepidotteri (farfalle e falene) includono parecchie specie che frequentano le dune, ma poche sono quelle veramente legate a questo ambiente. Tra le farfalle, solo due specie possono considerarsi caratteristiche (sebbene non esclusive) delle dune, gli esperidi *Gegenes nostrodamus* e *G. pumilio*, entrambe associate a varie graminacee xerofile e in pericolo a causa della loro distribuzione frammentata e delle pressioni antropiche sugli ambienti costieri. Tra le varie specie di farfalle ad ampia tolleranza ecologica che, pur più comuni in altri ambienti (come la macchia mediterranea), possono comunque trovarsi anche sulle dune, si possono citare *Pontia edusa* e *P. daplidice*, *Pieris rapae*, *Colias crocea*, *Gonepteryx cleopatra* (Fig. 10), *Melitaea phoebe* e *M. didyma*, *Pyronia cecilia*, *Coenonympha pamphilus* e *Charaxes jasius*, le cui larve si nutrono soprattutto di corbezzolo. A queste si devono aggiungere alcune specie eliofile e xerofile di zigenidi (falene a volo diurno, protette da sostanze tossiche (glucosidi cianogenici) e caratterizzate da vistose colorazioni di avvertimento), che, pur essendo maggiormente presenti in zone più interne, possono frequentare anche le fioriture dunali. In particolare, *Zygaena orana*, presente in Italia in poche località sarde (e dove forse rappresenta una sottospecie distinta, *Zygaena orana sardoa*), è piuttosto caratteristica dei sistemi dunali sabbiosi e delle contigue garighe.



Figura 10. Le dune sono frequentate da numerose farfalle che, pur non essendo caratteristiche di questo ambiente, lo visitano più o meno regolarmente. Nella foto, *Gonepteryx cleopatra*, una specie euriecia che può alimentarsi anche sui fiori delle dune. Foto L. Di Biase.

Tra le falene a volo notturno, la vasta famiglia dei nottuidi, anche se poco rappresentata negli ecosistemi di duna, include una specie esclusiva di questi ambienti, la sempre più localizzata *Brithys crini* (Fig. 11 a, b). I bruchi di questa specie ad ampia distribuzione (Mediterraneo, Africa subsahariana, Asia e Australia) si nutrono, negli ambienti costieri mediterranei, del giglio di mare (*Pancratium maritimum*), una specie minacciata (Fig. 11 c). Di notevoli dimensioni, questi bruchi presentano una caratteristica colorazione di avvertimento e risultano sgradevoli alla maggior parte dei vertebrati, mentre sono predati piuttosto regolarmente




Figura 11. La falena *Brythis crini* (a) è una specie strettamente legata alle coste sabbiose in quanto le sue larve (b) si nutrono di una pianta, il giglio di mare (*Pancratium maritimum*) (c), esclusiva di questi ambienti. A causa della sua rarefazione, il giglio di mare è protetto in alcune regioni italiane (Lazio, Marche, Molise, Basilicata e Calabria). Foto P. Mazzei (https://www.lepidoptera.life/2021/12/01/rubrica-metamorfosi-brithys-crini/#, a), L. Di Biase (b) e S. Fattorini (c).

dal coleottero carabide *Scarites buparius* e sono occasionalmente consumati da tenebrionidi di grosse dimensioni (*Erodius* e *Pimelia*). Gli adulti, a cui evidentemente manca la protezione chimica, sono predati da lucertole, uccelli e pipistrelli.

**Coleotteri.** I coleotteri sono il gruppo più diversificato dell'intero regno animale, comprendendo circa il 40% di tutte le specie di insetti descritte a livello mondiale. Non sorprende quindi che costituiscano il gruppo di insetti più ricco di specie anche nei sistemi dunali.

**- Carabidi.** I carabidi sono una grande famiglia di coleotteri terrestri tipicamente predatori e associati alla lettiera umida. Le specie caratteristiche delle dune sono dunque relativamente poche, ma di particolare rilevo conservazionistico, in quanto spesso altamente specializzate e in forte rarefazione. Tra le specie più caratteristiche delle spiagge sabbiose, possiamo ricordare *Scarites laevigatus* (Fig. 12 a), un grosso predatore di talitridi, ma che può nutrirsi anche di resti animali spiaggiati dal vento o dalle onde, in progressiva contrazione numerica; *Eurynebria complanata*, specie associata soprattutto alla zona intertidale, dove trova rifugio sotto i detriti spiaggiati, anch'essa predatrice di talitridi, scomparsa dalla maggior parte del suo areale a causa della distruzione dell'habitat (inclusa la rimozione dei detriti durante la "pulizia" delle spiagge, soprattutto nelle zone occupate da strutture turistiche) e, eventualmente, della diminuzione delle sue prede dovuta all'inquinamento marino; *Dyschirius numidicus* e *Dyschiriodes bacillus*, due specie di piccole dimensioni capaci di vivere in ambienti con elevati livelli di salinità.

Tra le specie tipiche delle dune, con distribuzione ridotta, vanno segnalate: *Amara chlorotica*, specie nordafricana, presente in Italia solo sulle dune del Sinis (Sardegna occidentale); *Masoreus aegyptiacus*, specie deserticola e xerofila, presente in Sicilia, a Linosa e, nell'Italia peninsulare, solo sulle dune costiere della fascia medio-tirrenica (Circeo); *Cryptophonus fulvus*, noto in Italia solo di qualche stazione isolata di Sardegna e Sicilia; *C. litigiosus*, noto per l'Italia di poche stazioni tirreniche ed adriatiche; *Calathus mollis*, presente in Italia con certezza in pochissime stazioni di Sardegna e Sicilia (spesso insieme all'affine, ma molto più euriecio, *Calathus cinctus*, con cui è stato ripetutamente confuso), e *Harpalus reicheianus*, strettamente associato ai sistemi dunali e presente in Italia sul litorale romagnolo, lungo le coste peninsulari ioniche e tirreniche, e in Sicilia. L'affine *Harpalus melancholicus*, presente in Italia lungo le coste dell'Adriaco settentrionale e in alcune stazioni interne piemontesi, è specie più euriecia. Piuttosto ampiamente diffuso, sebbene in contrazione, è *Scarites buparius*, grosso predatore notturno di invertebrati sabulicoli (crostacei talitridi, coleotteri tenebrionidi dei generi *Pimelia* e *Tentyria*, larve di lepidotteri nottuidi, molluschi terrestri). A queste specie si aggiungono varie cicindeline caratteristiche dei sistemi spiaggia-dune, come ad esempio *Calomera littoralis* (specie tipicamente associata alla zona sopralitorale, ma che può colonizzare anche le dune e il retroduna, ancora diffusa lungo molte spiagge italiane, ma comunque in rarefazione; Fig. 12 b), *Lophyra flexuosa* (propria degli ambienti di duna e retroduna, talvolta anche su paleodune dell'interno, presente oggi con certezza solo in Sardegna e in Sicilia, un tempo forse diffusa anche in Lazio e Liguria), e *Cylindera trisignata* (associata soprattutto ai litorali in corrispondenza di foci di fiumi e piccoli corsi d'acqua,

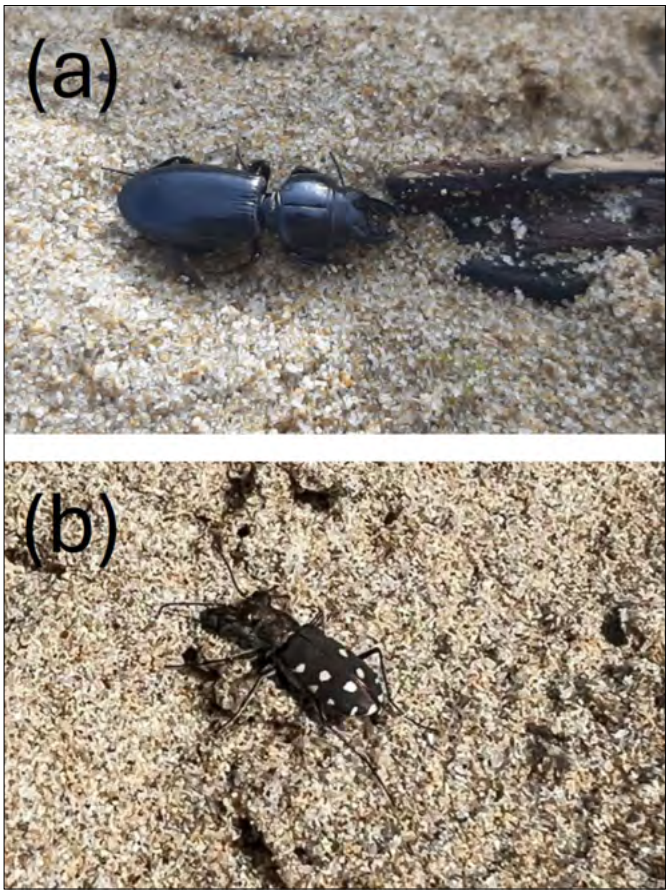



Figura 12. Due coleotteri carabidi dei sistemi spiaggia-duna: *Scarites laevigatus* (a) e *Calomera littoralis* (b), entrambe minacciate dal disturbo umano, come la rimozione del detrito spiaggiato e la compattazione del suolo. Foto S. Fattorini (a) e M. Criscuolo (b).

oggi assai rara e localizzata). Le larve di questi carabidi cacciano all'agguato piccoli invertebrati restando nascoste all'interno di gallerie verticali scavate nella sabbia, mentre gli adulti sono noti per i loro brevi ma rapidissimi voli a poca distanza dal suolo. La peculiare ecologia delle larve rende questi insetti particolarmente minacciati dal calpestio e dal passaggio dei mezzi utilizzati per la "pulizia" delle spiagge. Sulla duna cespugliosa è infine rinvenibile un gran numero di carabidi non esclusivi di questo ambiente, spesso extrazonali, appartenenti a numerosi generi (ad esempio, *Bradycellus*, *Demetrias*, *Harpalus*, *Lebia*, *Metadromius, Microlestes*, *Olisthopus*, *Paradromius*, *Philorhizus* e *Syntomus*).

**- Isteridi.** Questa famiglia è presente nei sistemi spiaggia-duna con varie specie saprofaghe del genere *Hypocaccus* che si nutrono soprattutto dei resti di piccoli vertebrati (specialmente pesci spiaggiati) ed escrementi di mammiferi. *Halacritus punctum* (uno dei più piccoli coleotteri italiani, lungo circa mezzo millimetro) è una specie delle spiagge che colonizza soprattutto gli accumuli di *Zostera*.

**- Idrenidi**. Questa famiglia include insetti per lo più tipici delle acque correnti. Tuttavia, varie specie del genere *Ochthebius* si possono rinvenire sotto il detrito spiaggiato.

**- Stafilinidi.** Gli stafilinidi sono relativamente rari negli ambienti di duna, ma vi sono parecchie specie associate al detrito spiaggiato, dove predano crostacei della zona intertidale, organismi marini spiaggiati e larve di mosche. Esempi sono: *Aleochara albopila* e *A. grisea* (parassitoidi di ditteri alofili), *Omalium riparium*, *Brundinia marina* e *B. meridionalis*, *Halobrecta* spp., *Diglotta mersa*, *Heterota plumbea*, *Actocharis marina*, *Phytosus* spp., *Bledius* spp. (questi ultimi sono noti per le gallerie che scavano verticalmente nella sabbia e per essere prede dei carabidi del genere *Dyschirius*), *Medon pocoferus*, *Cafius* spp., *Gabronthus maritimus*, *Orthidus cribratus* e *Remus* spp.

**- Geotrupidi.** I geotrupidi sono una famiglia di coleotteri prevalentemente coprofagi che includono almeno due specie psammofile di importanza conservazionistica: *Thorectes marginatus* (vistosa specie legata agli escrementi del coniglio selvatico e degli ovini, un tempo frequente lungo le dune litoranee della Sicilia e oggi ristretta a poche aree sabbiose della sua costa meridionale) e *Ceratophyus rossii* (endemita tirrenico in pericolo di estinzione, associato alle deiezioni equine, sotto le quali scava profonde gallerie verticali dove seppellisce gli escrementi che servono da nutrimento per le larve, accertato di poche località toscane con pinete sublitoranee e dune fossili).

**- Scarabeidi**. Questa vasta famiglia di coleotteri, cui appartengono gli scarabei stercorari, include numerose sottofamiglie, spesso trattate come famiglie distinte. Tra gli scarabeidi afodiine tipici delle dune, vanno anzitutto ricordate alcune specie psammofile, associate alla base degli steli della vegetazione pioniera, dove si nutrono di detriti e radici, spesso rappresentate da abbondanti popolazioni, come *P. Brindalus porcicollis*, *Psammodius basalis*, *P. laevipennis* e *P. nocturnus* (uno degli afodiine più specializzati alla vita nella sabbia e che vive infossato più in profondità rispetto alle altre specie), *Rhyssemus plicatus* e *R. sulcatus*. Altro afodiine psammofilo di notevole interesse conservazionistico è l'endemico *Heptaulacus rasettii*, coprofago, conosciuto di due soli siti con dune fossili subcostiere (Tombolo di Pisa e San Rossore). Oltre a queste specie psammofile, le dune possono ospitare scarabeidi afodiine del genere *Aphodius*, coprofagi, extrazonali, che si trovano in questo ambiente in forma occasionale.

Nell'ambito degli scarabeidi scarabeine, le specie certamente più vistose e caratteristiche degli ambienti di duna sono quelle del genere *Scarabaeus*, come *S. semipunctatus* e *S. sacer*, entrambi associati alle deiezioni di mammiferi di dimensioni relativamente grandi, da cui ricavano le caratteristiche pallottole di sterco che vengono fatte rotolare e poi interrate per servire come cibo per le larve (Fig. 13).

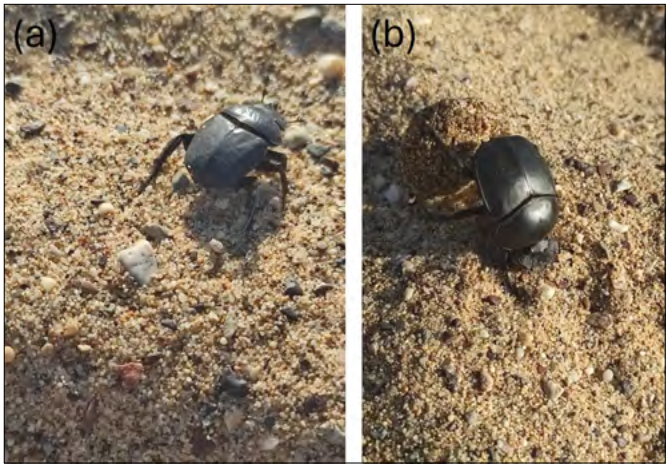



Figura 13. Gli scarabei stercorari sono oggi scomparsi da gran parte dei litorali in cui un tempo erano comuni. Nella foto, *Scarabaeus semipunctatus* (a) e *Scarabaeus sacer* (b). Foto L. Di Biase.

Mentre *S. semipunctatus*, sebbene in rarefazione, è ancora relativamente frequente lungo i litorali dell'Italia peninsulare e delle isole maggiori, *S. sacer*, di maggiori dimensioni, strettamente associato agli ampi versanti retrodunali sabbiosi e sabbioso-argillosi con bestiame al pascolo, è divenuto estremamente raro in Italia, risultando scomparso dalla maggior parte dei luoghi in cui era presente quaranta o cinquanta anni fa.

Tra gli scarabeidi melolontine legati ad ambienti dunali, la specie più appariscente è certamente *Polyphylla ragusae*, un raro endemita siciliano, presente con due sottospecie, una (ssp. *ragusae*) distribuita lungo le coste settentrionali (dove sembra essere ormai estinta) e sud-occidentali, e una (ssp. *aliquoi*) lungo quelle sud-orientali e orientali. La specie, le cui larve si nutrono di radici, è in forte contrazione a causa della distruzione degli ambienti costieri. Altri due endemiti italiani sono *Aplidia massai* (noto di una singola località retrodunale presso la foce del fiume Simeto, in Sicilia), e *Paratriodonta romana* (endemita delle coste laziali, dove frequenta, spesso con dense popolazioni, i grandi fiori dei cisti). *Paratriodonta cinctipennis* è invece una specie a distribuzione siculo-maghrebina, con ecologia simile, in rarefazione in Sicilia. Sempre tra gli scarabeidi melolontine vanno infine citate due specie del genere *Anoxia*: *A. orientalis* (presente in aree costiere di Toscana, Calabria e Sicilia, in forte contrazione) e *A. scutellaris* (ampiamente distribuita in Italia peninsulare e Sardegna con la ssp. *scu-*

*tellaris*, e presente in Sicilia con due sottospecie endemiche, la ssp. *sicula*, nella parte settentrionale dell'isola, e la ssp. *argentea* in quella meridionale). Anche altre specie di *Anoxia* visitano gli ambienti costieri, ma sono più euriecie, trovandosi pure in località più interne. Varie specie di *Hoplia* frequentano le dune, tra cui vanno ricordate *Hoplia attilioi* (raro endemita siciliano, noto di un'unica località retrodunale presso Mazara del Vallo) e *Hoplia maremmana* (endemita toscano, noto per alcune località delle province di Grosseto e di Livorno).

Gli scarabeidi pachipodine sono presenti in Italia con quattro specie, caratteristiche degli ambienti litoranei e sublitoranei, frequenti anche tra la vegetazione dunale: *Pachypus candidae*, endemica dell'Italia centro-meridionale (soprattutto tirrenica, Sardegna inclusa) e della Corsica, *P. melonii* (endemita sardo, con distribuzione limitata a poche località del sud dell'isola), *P. sardiniensis* (endemita sardo, probabilmente limitato alla parte sud-orientale dell'isola) e *P. caesus* (endemica della Sicilia). Mentre i maschi di queste specie sono abili volatori estivi, le femmine (attere e persino prive di elitre) vivono in gallerie scavate nella sabbia compattata o nel terreno secco alla base della vegetazione costiera.

Tra gli scarabeidi dinastine vanno ricordate le due specie del genere *Calicnemis*, entrambe limitate alle spiagge sabbiose: *C. latreillei*, una rara specie del Mediterraneo occidentale, considerata vulnerabile in Italia, e *C. obesa,* con la sottospecie *C. obesa sardiniensis* (endemica della Sardegna, considerata in pericolo). Le loro larve si sviluppano sotto i detriti lignei spiaggiati infossati nella sabbia, risultando quindi particolarmente minacciate dalle operazioni di "pulizia" delle coste. Gli adulti frequentano le spiagge e le dune, volando soprattutto tra le *Ammophila* e gli *Eryngium*. Un altro dinastine frequente nelle dune è *Phyllognathus excavatus,* distribuito un po' in tutta Italia (isole comprese) anche in ambienti di macchia e gariga. Infine, tra gli scarabeidi ruteline, ricordiamo *Anomala devota*, una specie tipica della macchia e della garriga, ma che si spinge anche sui cisti e le ammofile delle dune.

**- Eteroceridi.** Gli eteroceridi sono una piccola famiglia in cui sono comprese alcune specie costiere (*Micilus murinus*, *Augyles* spp. e *Heterocerus* spp.), per lo più associate a spiagge sabbiose e limose (soprattutto degli estuari) e a stagni salati.

**- Elateridi.** Le uniche specie frequenti sulle dune italiane sono *Isidus moreli* (con distribuzione frammentata lungo gran parte delle coste peninsulari e sarde e i cui adulti sono associati ai detriti vegetali spiaggiati sull'eulitorale) e *Cardiophorus exaratus* (presente in buona parte dell'Italia centro-meridionale). In entrambe le specie, le larve sono associate agli apparati radicali delle graminacee delle dune.

**- Meliridi.** I meliridi sono insetti per lo più floricoli e si possono trovare in abbondanza sulla vegetazione dunale. Ad esempio, specie dei generi *Psilothrix* e *Dolichosoma*, associate alle graminacee, frequentano spesso le dune. La famiglia include inoltre varie specie associate alla battigia, come *Brachemys brevipennis* (specie diffusa in Sardegna e nell'Italia adriatica, in grado di resistere alla sommersione, presente anche in ambienti di laguna salmastra e nei salicornieti) e *Brachemys peragalloi* (endemica del litorale marino fra Sanremo e Montpellier). Altre due specie di meliridi presenti sulle spiagge sono *Colotes punctatus* e *Apalochrus flavolimbatus*.

**- Falacridi**. Una delle poche specie di questa famiglia presenti sulle dune è *Olibrus affinis*, associata a varie piccole asteracee xerofile dei generi *Tragopogon* e *Hypocheris*.

**- Nitidulidi.** A questo gruppo di insetti appartengono coleotteri per lo più fitofagi, con adulti floricoli. Specie caratteristiche degli ambienti di duna sono *Brassicogethes thalassophilus*, endemico dell'Italia centro-meridionale, associato a fiori di crucifere del genere *Matthiola*, *Fabogethes varicollis* (legato a *Lotus* spp.) e *F. opacus* (legato a *Ononis* spp.), entrambi presenti in Italia solo in alcune stazioni della Sardegna occidentale. Specie più ampiamente distribuite ed euriecie sono *Brassicogethes aeneus* (abbondante sui fiori di *Cakile maritima*), *nigrescens* (associato a fabacee, in particolare *Trifolium*), *Genistogethes carinulatus* e *M. erichsoni* (entrambi associati a leguminose del genere *Lotus*). Specie tipiche della macchia bassa e delle garighe, che possono tuttavia colonizzare le dune consolidate e il retroduna, sono *Acanthogethes fuscus* (legato a *Cistus* spp.), *Thymogethes grenieri* (legato a *Salvia rosmarinus*), *M. nigritus* (legato a *Lavandula stoechas*), *Sagittogethes lindbergi* (legato a *Teucrium flavum*) e *Meligethinus pallidulus* (distribuito in gran parte d'Italia, legato alle spate maschili della palma nana, *Chamaerops humilis*, tipico degli ambienti rupestri, ma che può trovarsi occasionalmente anche sulle dune).

**- Cibocefalidi**. Le dune sono visitate da specie del genere *Cybocephalus*, predatrici di omotteri diaspididi, legate alle essenze arbustive della macchia bassa, in particolare tamerici.

**- Tenebrionidi.** I tenebrionidi rappresentano la componente più cospicua, per numero di specie, abbondanza e biomassa, della fauna entomologica che popola gli ecosistemi spiaggia-duna del Mediterraneo. Molte specie mostrano adattamenti per resistere alle alte temperature e alla siccità, sia di tipo morfologico (tra cui un corpo fortemente convesso e dotato di un'ampia cavità sottoelitrale utilizzata per evitare il surriscaldamento del corpo e ridurre le perdite d'acqua) sia etologico (come la capacità di regolare i ritmi di attività in funzione delle condizioni climatiche). Alcune specie (*Halammobia pellucida*, *Phaleria* spp., e *Xanthomus* spp.) (Fig. 14 a) presentano caratteristici movimenti circadiani dalla battigia (dove si nutrono di detriti spiaggiati) alla duna (dove trovano riparo alla base della vegetazione durante la fase di riposo e dove gli adulti svernano).

*Stenosis intermedia*, *Dichillus socius* (endemico siciliano, conosciuto di pochissime località), *Leichenum pictum* e *L. pulchellum* (che risalgono spesso le rive dei fiumi), *Psammoardoinellus sardiniensis* (specie psammofila endemica delle dune sabbiose della Sardegna centro-occidentale), *Gonocephalum setulosum*, *G. obscurum* e *G. lefranci* (una specie maghrebina, presente in Italia con piccole popolazioni in Sicilia e Sardegna), *Sinorus colliardi* (endemita sardo-corso, associato alle radici di piante psammofile), *Ammobius rufus*, *Trachyscelis aphodioides*, *Pseudoseriscius olivieri sardiniensis* (sottospecie endemica delle dune della

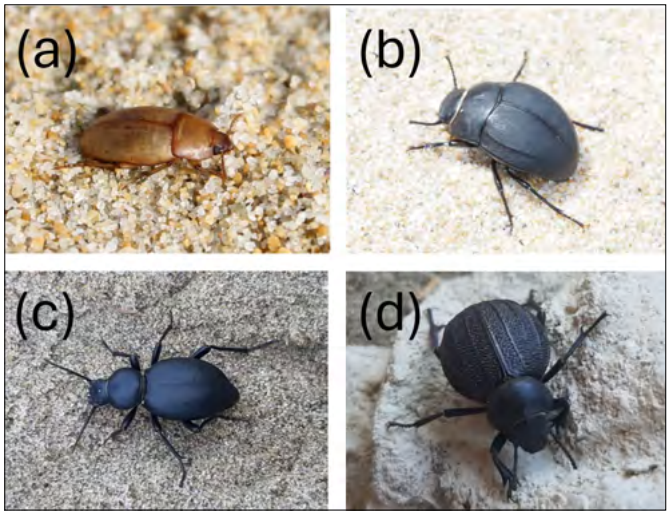



Figura 14. I tenebrionidi sono un gruppo di coleotteri con numerose specie caratteristiche dei sistemi spiaggia-duna. Nella foto, *Phaleria provincialis* (a), *Erodius siculus* (b), *Tentyria grossa* (c), e *Pimelia cajetana* (d). Foto E. Cifarelli (a), A. Di Giulio (b), S. Fattorini (c, d).

Sardegna occidentale e meridionale; la specie è presente anche in Tunisia e Algeria), *P. normandi pacificii* (sottospecie endemica delle dune laziali; la specie è presente anche nella Tunisia nord-orientale) e *P. helvolus* (specie distribuita con diverse sottospecie in Sicilia, lungo il litorale ionico e quello adriatico italiano e albanese, e in Sardegna), *Phtora crenata* (specie più egate ad ambienti fangosi salsi), *Stenohelops carlofortinus* (rara specie endemica della Sardegna meridionale), *Gunarus parvulus* e *Nalassus aemulus*, sono tutti esempi di specie strettamente legate alle dune e più o meno fortemente minacciate.

*Erodius siculus* (distribuito in Italia nelle regioni centromeridionali e in Sicilia con diverse sottospecie) (Fig. 14 b) ed *E. audouinii*, (presente in Italia a Lampedusa, con la ssp. *destefanii*, e in Sardegna, con la ssp. *peyroleri*), *Pachychila frioli*, *P. germari*, *P. servillei*, e *P. crassicollis* (una specie presente in Italia solo a Pantelleria), *Tentyria grossa* (Fig. 14 c) e *T. ligurica* (endemita sardo-corso, con popolazioni differenziate in sottospecie), *Pimelia bipunctata* e *P. cajetana* (tradizionalmente considerata sottospecie di *P. bipunctata*, endemica delle coste laziali) (Fig. 14 d), sono tutte specie tipiche delle dune, ma che possono penetrare facilmente nel retroduna e nella macchia.

Numerosissime sono le specie di ambiente arido, a valenza ecologica più o meno ampia, che si possono osservare nelle dune, ma che si ritrovano anche in stazioni aride dell'entroterra, come *Zophosis punctata*, *Pachychila dejeani*, *Tentyria ramburi* (endemita sardo-corso con popolazioni frazionate in diverse sottospecie), *Stenosis angusticollis* (una specie con distribuzione tirrenica fortemente frammentata), *Sepidium siculum* (specie ristretta alla Sicilia e all'isola di Pantelleria, associata a suoli sabbiosi compatti in aree costiere), *Pimelia grossa* (specie a distribuzione essenzialmente maghrebina, presente in Italia lungo alcuni litorali sabbiosi di Sicilia e Sardegna), *Allophylax picipes*, *Dendarus carinatus* (endemita sardo-corso), alcune specie di *Gonocephalum*, *Opatroides punctulatus*, *Crypticus gibbulus*, *Catomus rotundicollis*, o il più raro *C. consentaneus*, a distribuzione mediterranea frammentata. *Melanimon tibialis* e *Opatrum sabulosum* sono specie legate ad ambienti aridi con suoli sabbiosi in generale, oggi per lo più poco frequenti, osservabili anche in ambiente di duna.

**- Edemeridi**. Gli edemeridi sono un piccolo gruppo di coleotteri floricoli. Specie strettamente legata alla vegetazione dunale è *Stenostoma rostratum*, i cui adulti si rinvengono su *Eryngium maritimum*, *Echinophora spinosa* e *Anthemis maritima*; le larve si sviluppano probabilmente nel legno spiaggiato. Le dune sono inoltre frequentate da specie euriecie, come *Nacerdes melanura* (le cui larve sono prevalentemente legate a *Pinus*), *Oedemera flavipes* (prevalentemente legata a formazioni aperte e di macchia) e *O. barbara* (specie che presenta alcune popolazioni apparentemente solo partenogenetiche).

**- Meloidi.** I meloidi si trovano raramente nelle zone costiere. Tuttavia, *Zonitis bellieri* è una specie caratteristica dei sistemi dunali e retrodunali (occasionalmente presente nelle garighe, nelle macchie e nei pendii rocciosi), dove può essere osservata soprattutto su asteracee liguliflore.

**- Anticidi.** Questa famiglia di piccoli coleotteri include numerose specie strettamente o tendenzialmente psammofile, tra cui: alcune specie del genere *Anthicus* (ad esempio *Anthicus fenestratus* è una specie ampiamente diffusa nei sistemi spiaggia-duna di gran parte d'Italia); *Mecynotarsus fausti* (piuttosto raro) e *M. serricornis* (comune); *Amblyderus brunneus* (rarissimo endemita di Calabria e Sicilia) e *A. scabricollis* (presente in Calabria, Sicilia e Sardegna), entrambe tipiche degli accumuli di vegetali spiaggiati; *Endomia tenuicollis* (specie piuttosto euriecia e comune).

**- Crisomelidi.** Questa famiglia di coleotteri fitofagi comprende parecchie specie presenti sulle dune, ma solo poche sono veramente legate a questo ambiente. Tra i crisomelidi alticine (una sottofamiglia caratterizzata dai femori posteriori ingrossati e adatti al salto) si possono ricordare *Psylliodes marcidus* (strettamente legata alle dune sabbiose e associata principalmente a *Cakile maritima*), *Psylliodes maroccanus* e *P. pallidipennis* (legate a crucifere alofile del sopralitorale e delle prime dune) e *P. puncticollis* (associata soprattutto a onagracee, apocinacee e graminacee di ambienti litoranei). Tra le numerose specie di altre sottofamiglie che, pur essendo maggiormente legate alla macchia mediterranea, frequentano comunque gli ambienti retrodunali, si possono ricordare varie specie della sottofamiglia dei criptocefaline (*Cryptocephalus* spp.), e, soprattutto, *Chrysolina americana* (associata agli steli del rosmarino, della lavanda, e di altre lamiacee frequenti negli ambienti litoranei, e che, a dispetto del nome, è una specie nativa europea).

**- Curculionidi.** Negli ambienti dunali si possono rinvenire numerose specie di questa vasta famiglia di coleotteri fitofagi. Tra le specie delle dune, in particolare degli ammofileti, vanno anzitutto citati due rari ceutorinchini fillofagi, legati alle crucifere del genere *Matthiola*: *Ceutorhynchus magnanoi* (endemico italiano) e *C. pantellarianus* (Italia e Grecia), affini a *Ceutorhynchus matthiolae* (del sud della Francia e apparentemente noto per solo due esemplari femmine).

Altre specie caratteristiche dei sistemi spiaggia-duna sono: *Eremobaris picturata*, le cui larve si sviluppano su crucifere, perlopiù su *Cakile*; *Charagmus variegatus* e *C. cachectus*, associati a piccole leguminose psammofile (soprattutto *Ononis*); *Acalles dromedarius*, specie strettamente dunale, associata ad *Anthemis maritima*; *Tychius capucinus*, associato a piccole leguminose del genere *Lotus*; *Philopedon plagiatum* e *Cyclodores canescens*, psammofili più o meno ampiamente diffusi lungo le coste sabbiose; *Tanymecus submaculatus* e *T. fausti*, entrambi dunicoli rinvenibili alla base dei cespugli; *Leptolepurus meridionalis*, specie presente sulle dune tirreniche perlopiù alla base dei ciuffi di *Ammophila*; *Mesites pallidipennis*, associata a tronchi morti di latifoglie nelle aree sabbiose costiere. Sulle dune consolidate e nelle aree sabbiose xeriche delle foci dei fiumi, è invece frequente *Otiorhynchus juvencus*, specie legata alle foglie di *Anthemis*, presente in Italia lungo le coste peninsulari tirreniche centro-settentrionali e in Sardegna; lungo le coste adriatiche questa specie è sostituita da *O. ferrarii*, a distribuzione est-mediterranea, rinvenibile soprattutto alla base delle tamerici. Tra le altre specie legate alle tamerici ricordiamo *Coniatus tamarisci*, *Auletobius maculipennis,* e *Onychapion tamaricis*.

Tra le specie di maggior interesse conservazionistico vanno invece citati i ceutorinchini della sottotribù Oxyonychina, associati agli arbusti delle gimnosperme efedracee, piante tipiche degli ambienti xerici ed eremici. In particolare, va segnalato *Phoeniconyx gobbii*, legato agli steli della rara *Ephedra distachya* e noto esclusivamente delle dune alla foce del fiume Sinni (Policoro), in Basilicata.

**Ditteri.** All'interno di questo vasto ordine di insetti (che include animali comunemente noti come mosche, zanzare, ecc.), gli sciomizidi comprendono due specie caratteristiche degli ambienti dunali e parassitoidi di molluschi polmonati: *Salticella fasciata*, caratteristica degli ammofileti, anche se occasionalmente presente in ambienti aridi e sabbiosi dell'interno, parassitoide di *Theba pisana*, ed *Euthycera zelleri*, frequente tra la vegetazione psammofila e xerofila litoranea, soprattutto alle foci dei fiumi, parassitoide di svariati molluschi polmonati terrestri. Tra i tabanidi (tafani), *Chrysops italicus* è una specie che vive in habitat paludosi e dunali. Gli efidridi sono ditteri con larve acquatiche predatrici che comprendono molte specie tipiche di spiagge sabbiose, rive di stagni e lagune costiere, saline, salicornieti e foci di fiumi (come *Asmeringa inermis*, *Hecamede albicans*, *Homalometopus albiditinctus*, *Ephydra bivittata*, *Scatella subguttata* e *Scatophila modesta*), spesso con popolazioni estremamente abbondanti. La battigia è colonizzata da specie altamente specializzate: *Fucellia maritima*, *Malacomyia sciomyzina*, unica specie italiana della famiglia dei celopidi (un piccolo gruppo di ditteri che vive solo sulla battigia, dove le loro larve si nutrono di alghe in decomposizione) e, nell'Alto Adriatico, *Helcomyza mediterranea*, unica specie italiana della famiglia degli elcomizidi (un altro piccolo gruppo di ditteri le cui larve si nutrono di alghe e altra materia organica spiaggiata). Molti altri ditteri si possono infine trovare sulle spiagge come visitatori.

**Imenotteri.** Gli imenotteri sono un vasto ordine di insetti, che comprende, ad esempio, vespe, api e formiche. La maggior parte degli imenotteri che si possono osservare sulle dune sono specie floricole euriecie. Esiste però un certo numero di specie strettamente psammofile. La famiglia dei crabronidi, in particolare, è rappresentata da imenotteri solitari, che, dopo aver afferrato in volo le prede, le trasportano in nidi scavati nella sabbia delle dune (come nel caso del genere *Tachytes*) o anche nelle aree di spiaggia dell'eulitorale o del sopralitorale che non sono raggiunte dall'acqua durante l'alta marea (specie dei generi *Bembix*, *Bembecinus*, *Stizus*, *Cerceris, Philanthus*, ecc.). Le femmine dei *Bembix* riforniscono costantemente di nuove prede (paralizzate ma vive, in genere mosche) la larva che si sta sviluppando nella cella scavata nella sabbia, mentre quelle di *Philanthus venustus* predano soprattutto apoidei alictidi. I *Bembecinus*, pur essendo insetti solitari, formano gruppi di decine o anche centinaia di nidi ravvicinati. Le loro prede sono rappresentate solitamente da altri imenotteri di dimensioni simili alle loro, tra cui talvolta anche il rarissimo crabronide *Palarus variegatus*.

Un altro gruppo di imenotteri che comprende specie caratteristiche delle spiagge emerse sono i mutillidi, quali *Trogaspidia catanensis* e *Nemka viduata*. In quest'ultima specie, il maschio, alato, frequenta i fiori dunali, mentre la femmina (attera e con la particolare colorazione di avvertimento a bande alternate nere, rosse e bianco argenteo che caratterizza gran parte dei mutillidi) cammina sulla sabbia alla ricerca di nidi di *Bembecinus*, di cui parassita larve o pupe. Nonostante siano spesso temuti, i mutillidi non hanno comportamento aggressivo e la puntura non è particolarmente dolorosa. Infine, numerose specie di imenotteri (apidi, crabronidi, vespidi e crisididi, e i loro parassitoidi, icneumonidi, braconidi, calcidoidei, ecc.) nidificano nelle canne utilizzate come elementi frangivento o per la realizzazione di tettoie sulle spiagge frequentate dai turisti.

## Anfibi

La scarsa disponibilità di acqua dolce rende le dune un ambiente ostile agli anfibi. Il rospo smeraldino, *Bufotes viridis* (Fig. 15), si può tuttavia trovare con una certa frequenza sulle dune, nei retroduna e talvolta financo a ridosso della battigia, dove, soprattutto nelle ore notturne delle giornate



Figura 15. Il rospo smeraldino (*Bufotes viridis*) è in grado di riprodursi negli stagni costieri e nelle raccolte d'acqua delle depressioni interdunali. Frequenta le dune alla in caccia di artropodi soprattutto nelle notti estive più fresche. Foto S. Fattorini.



Figura 16. La lucertola campestre (*Podarcis siculus*) è una specie comune in molte tipologie ambientali, incluse le dune, dove si nutre soprattutto di piccoli artropodi. Foto L. Di Biase.

estive più umide e fresche, caccia piccoli artropodi ad attività notturna o crepuscolare. Questa specie, infatti, è in grado di sfruttare per la riproduzione i piccoli stagni costieri con acque dolci o moderatamente salmastre, o le piccole raccolte d'acqua dolce interdunali. In ambienti dunali della Sardegna e dell'Italia centro-meridionale, durante le ore notturne o in giornate piovose, si possono occasionalmente rivenire le raganelle (*Hyla* spp.).

### Rettili

Sulle dune si possono osservare varie specie di lucertole. La specie più comune è la lucertola campestre (*Podarcis siculus*) (Fig. 16), mentre il ramarro occidentale (*Lacerta bilineata*) è una presenza più sporadica. In ambienti costieri si possono più o meno occasionalmente trovare in Sardegna la tiliguerta (*Podarcis tiliguerta*) e l'algiroide di Fitzinger (*Algyroides fitzingeri*) (entrambe le specie sono esclusive di quest'isola e della Corsica e sono incluse nell'Allegato IV della Direttiva Habitat (92/43/CEE); la prima è considerata quasi minacciata in Italia), e in Sicilia la lucertola siciliana (*Podarcis waglerianus*, specie endemica di quest'isola e considerata quasi minacciata). La lucertola delle Eolie (*P. raffonei*, specie endemica delle Isole Eolie, in pericolo critico), presente in pochissimi siti, non è nota di ambienti sabbiosi (peraltro rarissimi nell'arcipelago ed esposti a forte pressione antropica), ma potrebbe averli originariamente occupati. La lucertola striata comune (*Psammodromus algirus*), specie diffusa nella Penisola Iberica, lungo la costa mediterranea della Francia e in Nord Africa, in Italia è presente solo sull'Isola dei Conigli (Lampedusa), in ambiente con vegetazione bassa nitrofila (la specie è considerata vulnerabile in Italia). Il gongilo ocellato (*Chalcides ocellatus*), uno scincide presente in Italia in Sardegna e Sicilia, pur essendo maggiormente legato ad aree sabbiose più interne, si può trovare in ambienti dunali e retrodunali (ad esempio, in alcune aree siciliane è piuttosto frequente in questi contesti).

Tra i serpenti, il biacco (*Hierophis viridiflavus*), specie molto euriecia, colonizza spesso le dune, mentre il meno frequente cervone (*Elaphe quatuorlineata*), presente in ambienti eterogenei, soprattutto con macchia mediterranea, è stato osservato, quasi esclusivamente nelle regioni centro-meridionali, spingersi anche in ambienti umidi interdunali. Negli stessi ambienti, lungo le coste tirreniche dell'Italia centrale e settentrionale, può trovarsi anche il colubro del Riccioli (*Coronella girondica*). Il colubro leopardino (*Zamenis situla*), presente in Italia in Puglia, Basilicata e Sicilia orientale, si può talvolta osservare in caccia su dune e retrodune, ma è specie più legata ad ambienti rocciosi (la specie è inclusa negli Allegati II e IV della Direttiva Habitat (92/43/CEE)), mentre il raro colubro ferro di cavallo (*Hemorrhois hippocrepis*, specie considerata vulnerabile in Italia), si può talora trovare su dune e retrodune in Sardegna (dove è stata forse importata; la specie in Italia è presente anche Pantelleria con una popolazione forse autoctona). Il colubro di Montpellier (*Malpolon monspessulanus*) è stato in qualche occasione osservato in zone sabbiose litoranee della Liguria occidentale. La vipera comune (*Vipera aspis*) è stata osservata in ambienti dunali in parecchie regioni italiane.

La testuggine comune (*Testudo hermanni*) è presente, ma con distribuzione fortemente frammentata, in ambienti dunali e retrodunali lungo le coste dell'Italia peninsulare e insulare; non si tratta comunque di un rettile caratteristico dei sistemi dunali, essendo in realtà piuttosto euriecio e maggiormente legato ad ambienti più interni. La specie, in rarefazione, è considerata in pericolo in Italia.

Sulle spiagge-dune italiane depone le uova la tartaruga marina comune (*Caretta caretta*). L'area di nidificazione più cospicua è la parte ionica della Calabria meridionale, ma siti minori si trovano nelle isole Pelagie e in Sicilia meridionale, e nidificazioni più o meno sporadiche possono aver luogo in varie altre zone costiere, soprattutto nel meridione. La specie è considerata in pericolo in Italia ed è protetta dalla Direttiva Habitat (92/43/CEE) come specie prioritaria. Numerosi sono i progetti in atto per l'individuazione, la protezione e il monitoraggio dei nidi attraverso il coinvolgimento di volontari. Negli ultimi anni si sta registrando un aumento delle deposizioni lungo le coste italiane, a causa dello spostamento dell'areale di questa specie verso il Mediterraneo occidentale dovuto all'aumento delle temperature provocato dal cambiamento climatico (Mancino *et al*., 2022).

### Uccelli

Le coste sabbiose sono frequentate da numerose specie di uccelli. Tra i caradriformi presenti nei sistemi costieri sabbiosi, la specie più caratteristica è il fratino (*Charadrius alexandrinus*) (Fig. 17). Questa specie, elencata in Allegato I della Direttiva Uccelli (79/409/CEE) e considerata in pericolo in Italia, depone le uova in cavità scavate nella sabbia o nel limo sabbioso. Il fratino si ciba soprattutto di insetti, crostacei (in particolare talitridi), molluschi, e piccoli invertebrati e vertebrati spiaggiati. La popolazione italiana ha subito un forte decremento ed è tuttora in contrazione. Da diversi anni, sono presenti attività di monitoraggio e protezione, svolte da singoli, gruppi o associazioni. Un altro caradriforme tra i più tipici frequentatori dei litorali

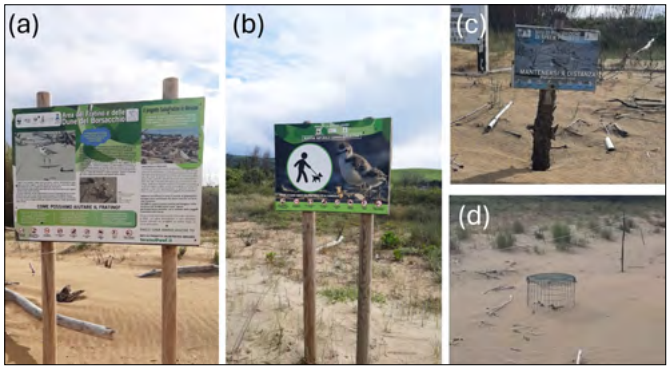



Figura 17. Il fratino (*Charadrius alexandrinus*) è una specie bandiera della conservazione delle dune. Per la sua salvaguardia sono attivi vari programmi di monitoraggio e sensibilizzazione. Allo scopo, vengono ad esempio collocati nei siti di riproduzione pannelli che illustrano l'importanza di questa specie (a) e le precauzioni da adottare per minimizzare i rischi di disturbo (b). Le aree in cui sono presenti i nidi vengono delimitate da cordoni e segnalate con cartelli (c). Per ridurre la predazione sui pulli si è dimostrata efficace, almeno localmente, la collocazione sopra i nidi di ceste protettive (d). Foto S. Fattorini.

(sia rocciosi che sabbiosi) è la beccaccia di mare (*Haematopus ostralegus*), una specie che si ciba di alghe e piccoli invertebrati sulla battigia, classificata come vulnerabile in Italia, dove circa il 90% della popolazione è concentrata nell'area del Delta del Po. Altri caradriformi caratteristici delle dune sono il piovanello tridattilo (*Calidris alba*) e il piovanello pancianera (*C. alpina*), due specie presenti in Italia come migratrici e svernanti. Si nutrono per lo più di invertebrati. Il corriere grosso (*Charadrius hiaticula*, presente in Italia come specie migratrice e svernante) e il corriere piccolo (*C. dubius*, presente come nidificante; Fig. 18) sono specie che frequentano dune, spiagge, foci di fiumi e litorali in genere. La pivieressa (*Pluvialis squatarola*), che in Italia non nidifica ma è di doppio passo, pur trovandosi anche in paludi dell'entroterra, predilige le coste del mare e le lagune adiacenti.

Tra i passeriformi che si possono incontrare negli ambienti costieri, ricordiamo alcuni silvidi, come l'occhiocotto (*Sylvia melanocephala*), la magnanina (*Sylvia undata*), e la magnanina sarda (*S. sarda*, presente in Sardegna e in alcune isole dell'Arcipelago Toscano).

Tra i coraciformi, due specie che si possono osservare negli ambienti sabbiosi costieri sono la ghiandaia marina (*Coracias garrulus*) e il gruccione (*Merops apiaster*). La ghiandaia marina, la cui popolazione italiana è considerata vulnerabile, può frequentare gli ambienti retrodunali nelle cui vicinanze siano presenti cavità naturali o artificiali in cui nidificare, risultando tipicamente associata ad ambienti secchi e campi coltivati, dove si ciba soprattutto di invertebrati. Il gruccione, specie strettamente entomofaga, nidifica in profondi cunicoli su pareti sabbiose o argillose. Sulle dune può essere osservato mentre cattura gli insetti (soprattutto imenotteri) in volo.

I sistemi spiaggia-duna sono poi visitati da specie più o meno ubiquiste, come il pettirosso (*Erithacus rubecula*), la capinera (*Sylvia atricapilla*), il merlo (*Turdus merula*) e il tordo bottaccio (*Turdus philomelos*), che, soprattutto in autunno, frequentano i settori retrodunali per cibarsi delle bacche di varie specie della macchia mediterranea. I gabbiani (*Larus* spp.), infine, frequentano spesso il litorale alla ricerca di piccoli animali spiaggiati.

### Mammiferi

Le specie di mammiferi presenti sulle dune sono poche. Il coniglio selvatico (*Oryctolagus cuniculus*), specie euriecia e introdotta, è relativamente diffuso in aree costiere ben conservate, soprattutto in Sicilia e Sardegna, mentre è più raro in quelle dell'Italia peninsulare. Le talpe (*Talpa europaea* e *T. romana*, quest'ultima endemica italiana) possono talvolta scavare nei terreni sabbiosi più stabili e compatti dei retroduna, se sono presenti abbastanza lombrichi, mentre l'istrice (*Hystrix cristata*, la cui presenza in Italia potrebbe essere dovuta ad antica importazione) può saltuariamente frequentare spiagge e dune a ridosso di aree occupate dalla macchia.

Tra i micromammiferi, alcuni toporagni (*Suncus etruscus*, *Sorex samniticus*, *Crocidura* spp.) e roditori (*Apodemus* spp. ed eventualmente *Eliomys quercinus*, specie considerata quasi minacciata), possono occasionalmente trovarsi in settori interni di dune consolidate; nelle aree antropizzate, possono frequentare le dune specie legate all'uomo, come il ratto nero (*Rattus rattus*) e il topolino domestico (*Mus musculus*), mentre, tra i pipistrelli, specie dei generi *Pipstrellus* e *Myotis* sorvolano spesso le dune a caccia di insetti.

La volpe (*Vulpes vulpes*), il tasso (*Meles meles*), la faina (*Martes foina*) e la donnola (*Mustela nivalis*) pattugliano talvolta le dune alla ricerca di cibo, come artropodi attivi nelle ore notturne o nelle prime ore del mattino o animali spiaggiati.

## CONSERVAZIONE DELLA FAUNA DELLE DUNE

Le coste del Mediterraneo sono aree di particolare valore per la conservazione di molti gruppi animali legati a questi ambienti a causa della vulnerabilità intrinseca delle



Figura 18. I sistemi-spiaggia duna vengono utilizzati per la nidificazione da numerose specie limicole. Nella foto, uova di corriere piccolo (*Charadrius dubius*), una specie che depone le uova in buche poco profonde scavate nel terreno sabbioso. Foto L. Di Biase.

loro popolazioni, per lo più piccole e frammentate. La maggior parte delle spiagge sabbiose del Mediterraneo ha infatti un'estensione piuttosto limitata, essendo continuamente interrotte da coste rocciose. Le popolazioni delle specie legate agli ambienti costieri sabbiosi tendono di conseguenza ad avere distribuzioni discontinue, soprattutto se le loro capacità di dispersione sono ridotte (Fattorini, 2022). La distruzione e alterazione degli ecosistemi costieri ha esacerbato questa situazione, sicché molte specie animali degli ambienti di spiaggia sabbiosa e duna sono oggi presenti in piccole popolazioni isolate nei pochi lembi di costa che offrono ancora condizioni idonee alla loro sopravvivenza; aree sempre più insidiate dall'uomo e che rischiano spesso di essere completamente convertite a usi urbani o ricreativi (Fattorini, 2022).

Trovandosi all'interfaccia tra il mare e la terra, i sistemi spiaggia-duna presentano variazioni longitudinali in numerosi parametri ambientali (umidità, temperature, ventosità, salinità, ecc.) che determinano peculiari zonazioni nella distribuzione delle comunità animali vegetali. A livello della stessa duna, sono riconoscibili, in condizioni ideali, diverse comunità vegetali, cui corrispondono diverse comunità di insetti (Fattorini, 2008, 2022, 2023; Zanella *et al*., 2009; Fattorini *et al*., 2012, 2016b, 2017). Le alterazioni della topografia e della vegetazione che interrompono questa zonazione hanno gravi conseguenze per la conservazione della diversità animale (Fattorini, 2022). Essendo prive di piante, le zone intertidale ed eulitorale sono spesso trascurate nei programmi di conservazione, ma come si è visto esse ospitano comunità animali peculiari e minacciate. Inoltre, molte specie caratteristiche delle dune frequentano anche questi ambienti. Ogni azione di conservazione dovrebbe quindi considerare il sistema spiaggia-duna nella sua interezza, senza dimenticare le sezioni prive di vegetazione.

I fattori di minaccia cui sono esposte le specie dei sistemi spiaggia-duna sono molteplici, e spesso tra loro interconnessi. La perdita e il degrado degli habitat dunali sono ovviamente tra le cause più importanti dell'estinzione locale o del declino delle popolazioni animali legate a questi ambienti (Fattorini, 2022). Molte specie animali, un tempo assai diffuse e abbondanti, sono oggi scomparse dove le dune sono state distrutte dalla costruzione di strade, edifici, stabilimenti balneari, ecc. Ad esempio, il coleottero tenebrionide *Pimelia bipunctata* è scomparso praticamente da tutte le coste della Liguria già prima degli anni '60 (Fattorini, 2022). Sulle coste della Romagna, tra i tenebrionidi, *Phaleria bimaculata* ha subito un drammatico declino, ed *Erodius siculus* è presente in solo pochissime aree (Fattorini, 2022). Il coleottero carabide *Eurynebria complanata* è scomparso dalla maggior parte del suo areale in Italia (Fattorini, 2022).

Un importante fattore di minaccia connesso alle attività turistiche e purtroppo poco considerato è costituito dalla cosiddetta "pulizia" delle spiagge. In molte zone i detriti naturali spiaggiati (foglie morte di *Zostera* e *Posidonia*, alghe, legni, ecc.) (Fig. 19) vengono rimossi dalle autorità locali e dai proprietari di resort e stabilimenti balneari, in quanto considerati "sporcizia". Ciò ha conseguenze deleterie per gli animali associati a questo particolare ambiente (Boudousque *et al*., 2017), come i coleotteri tenebrionidi del genere *Phaleria* (che si nutrono di detriti), i carabidi *Eurynebria complanata* e *Scarites laevigatus*, molti coleotteri stafilinidi, ditteri, crostacei talitridi, ecc. (Fattorini, 2022).

Sulle dune, la rimozione o l'alterazione della vegetazione naturale dovute all'urbanizzazione e al turismo hanno conseguenze devastanti sulle comunità animali. La diminuzione della copertura vegetale riduce le zone d'ombra in cui gli animali possono trovare rifugio, con effetti negativi sui loro cicli biologici e ritmi di attività (Fattorini, 2008, 2022). Una maggiore esposizione alla radiazione solare può infatti portare a temperature dell'aria e del suolo intollerabili anche per le specie più termofile. La distruzione della vegetazione colpisce poi in modo diretto le specie fitofaghe, con conseguenze gravissime su quelle più specializzate. Ad esempio, la falena *Brithys crini* è una specie minacciata in quanto le larve sono legate al giglio di mare, una pianta bulbosa che cresce esclusivamente lungo i litorali sabbiosi e in forte rarefazione. Inoltre, se viene rimossa la copertura vegetale naturale, scompaiono i detriti che questa vegetazione produce, una fonte di cibo essenziale per molti invertebrati detritivori da cui dipendono a loro volta numerose specie predatrici (Fattorini, 2008). Le piante che crescono in densi cespi offrono importanti luoghi di ricovero per molti insetti, riducendone così l'esposizione ai predatori (Fattorini, 2008). Le alterazioni nella copertura e nella composizione in specie della vegetazione delle dune compromettono tutte queste funzioni essenziali per la sopravvivenza di moltissime specie animali caratteristiche di queste ambienti. Anche la modifica delle comunità vegetali naturali dovuta alla diffusione di specie aliene ha importan-



Figura 19. Il detrito spiaggiato rappresenta una risorsa fondamentale per le comunità animali delle spiagge. La sua rimozione, eseguita in nome di una distorta percezione di "spiaggia pulita", è una delle principali cause di minaccia per le specie di questi ambienti. Ad esempio, i detriti lignei sono una fonte di cibo e un habitat importante per numerose specie di invertebrati. Foto S. Fattorini.



Figura 20. Le specie aliene invasive, modificando le caratteristiche delle comunità vegetali native, possono alterare gravemente le comunità animali a esse associate. Nella foto, *Carpobrotus acinaciformis*, una specie di origine sudafricana, in espansione sulle dune italiane a danno delle specie native. Foto S. Fattorini.

ti conseguenze negative sulle comunità animali (Rodríguez *et al.*, 2020) (Fig. 20).

Un'altra importante minaccia alle comunità animali degli ambienti costieri è rappresentata dallo sviluppo agricolo a causa dei cambiamenti nella vegetazione e nelle caratteristiche del terreno che questo determina. I pesticidi utilizzati in agricoltura e la presenza di acqua inquinata da fonti industriali, agricole e urbane possono avere gravi impatti sulla fauna delle aree costiere che vengono investite da queste forme di inquinamento (Fattorini, 2008). Ad esempio, è stato osservato che il coleottero carabide *Scarites laevigatus*, strettamente associato alle spiagge sabbiose, accumula metalli nei tessuti, con effetti deleteri sul suo comportamento di orientamento (Conti *et al.*, 2017). Una importante forma di inquinamento è rappresentata poi dai rifiuti trasportati dal mare. Ad esempio, i contenitori in plastica possono diventare trappole micidiali per gli insetti che, una volta penetrativi, non sono più in grado di uscirne (Romiti *et al.*, 2021). Queste forme di inquinamento colpiscono purtroppo anche aree protette e lontane dagli insediamenti umani.

Sebbene il turismo di massa sia considerato una delle pressioni antropiche di maggiore importanza negli ecosistemi spiaggia-duna, anche forme di turismo apparentemente meno invasive generano impatti devastanti sulle comunità animali di questi ambienti. Il turismo di massa provoca certamente alterazioni profonde nei paesaggi costieri, ad esempio a causa della costruzione delle strutture ricettive e delle attività a esse associate, ma la compattazione del suolo e l'alterazione delle comunità vegetali dovute al calpestio sono impatti importanti anche in forme di turismo non massive (Acosta, 2021). Sebbene i rifiuti in plastica che si accumulano sulle spiagge siano in larga misura rifiuti spiaggiati (cioè materiale plastico arrivato in mare e depositato sulla spiaggia), anche il turismo (incluso quello non massivo) contribuisce a questa forma di inquinamento.

Gli impatti che il cambiamento climatico sta producendo e produrrà sempre più sugli ecosistemi costieri del Mediterraneo includono un aumento della siccità, delle inondazioni, dell'erosione del suolo, della desertificazione e della frequenza di eventi estremi, nonché l'innalzamento del livello del mare, con ovvie conseguenze sulla persistenza e sull'organizzazione spaziale degli habitat costieri e delle specie a essi associate (Fattorini, 2023).

In generale, ci si aspetta che un innalzamento delle temperature favorisca le specie termofile, ed in effetti negli ultimi anni è stato notato un loro incremento nelle comunità di invertebrati degli ambienti costieri (Zanella e Uliana, 2022). Tuttavia, va osservato che un aumento delle temperature potrà avere effetti deleteri anche su queste specie, quando esse si trovano già al limite superiore della loro tolleranza termica. Molte specie animali degli ambienti costieri evitano le temperature estive estreme limitando i loro periodi di attività alla primavera e all'autunno o interrandosi nelle ore più calde. L'aumento delle temperature medie porterà verosimilmente a una contrazione dei periodi di attività, riducendo così le loro capacità di sfruttare l'habitat e aumentando la competizione a livello intra- e interspecifico (Fattorini, 2023).

Attualmente, solo una piccola frazione delle coste sabbiose italiane presenta un buono stato di conservazione, e una frazione ancora minore è protetta. Le stesse aree protette sono spesso minacciate dal rischio di riperimetrazioni volte a ridurne l'estensione o dallo svolgimento di attività ricreative (come concerti e manifestazioni sportive) che possono produrre conseguenze gravissime sulla fauna. Per questo non solo dovrebbe essere estesa la rete di aree protette costiere, ma dovrebbe anche esserne migliorata la gestione, in particolare per il ruolo che esse possono svolgere nella conservazione delle specie maggiormente in pericolo.

Lo sviluppo di una più ampia rete di aree costiere protette, strategicamente distribuite non solo lungo le coste italiane ma in tutta la regione del Mediterraneo, sarebbe l'approccio probabilmente più efficace per favorire la conservazione della fauna delle coste sabbiose. Le aree protette costiere attualmente esistenti sono infatti in generale molto piccole e molto isolate tra loro e dagli ambienti circostanti. Inoltre, le strade costiere separano spesso il sistema spiaggia-duna dal mosaico di gariga e macchia mediterranea che si trova più all'interno, interrompendo la contiguità degli habitat anche in aree in condizioni di conservazione altrimenti relativamente buone. Una più efficace rete di aree protette dovrebbe quindi comprendere, oltre all'inclusione di nuove aree, la creazione e il mantenimento di corridoi ecologici e l'adozione, ove possibile, di azioni di ripristino degli habitat.

Da ormai parecchi anni, nell'ambito dei programmi di gestione delle dune costiere del Mediterraneo, sono effettuate, anche in Italia, azioni di ripristino degli ecosistemi dunali (Bovina *et al.*, 2009; Brecciaroli e Onori, 2009), con risultati incoraggianti in termini di ricostituzione delle comunità animali (Scarton e Baldin, 2017; Zanella, 2017). D'altra parte, poiché un uso eccessivo di *Ammophila arenaria* (una pianta particolarmente efficace nella stabilizzazione della sabbia sciolta e quindi largamente utilizzata nelle azioni di ripristino) può produrre monocolture con caratteristiche molto diverse da quelle della vegetazione naturale, è importante che i programmi di ripristiono prevedano la ricostituzione di una vegetazione sufficientemente variegata. È stato osservato che anche ambienti costieri seminaturali, come allevamenti ittici estensivi (Zanella, 2010) o del tutto artificiali, quali le isole barenali (Zanella e Scarton, 2017), possono ospitare comunità di insetti di

interesse conservazionistico, soprattutto per la presenza di elementi caratteristici di ambienti salmastri. Sicuramente un miglioramento generale delle condizioni dei litorali sabbiosi, inclusi i tratti a minore qualità ambientale, avrebbe un impatto molto positivo sulla conservazione delle comunità delle aree protette riducendone il livello di isolamento.

Inoltre, poiché gli impatti derivanti dal turismo sono tra gli elementi di maggiore criticità praticamente lungo tutti i litorali, inclusi quelli delle aree protette, la gestione delle aree protette costiere dovrebbe tenere nella massima considerazione tali impatti, al fine di evitare qualsiasi ulteriore degrado dell'ambiente costiero.

Per poter adeguatamente implementare la rete di aree protette e migliorarne la gestione è ovviamente necessario conoscere la distribuzione e lo stato di conservazione delle specie che esse potrebbero contribuire a salvaguardare. Attualmente però, mentre sono attivi numerosi progetti di sensibilizzazione e monitoraggio relativi ad alcune specie di vertebrati carismatici, come la tartaruga marina comune o il fratino, la situazione è molto diversa per gli invertebrati: ad esempio, nonostante sia noto che un grandissimo numero di insetti legati agli ambienti costieri è più o meno gravemente minacciato, solo pochissime specie sono incluse in liste rosse.

Per questo, lo sviluppo di una lista rossa degli insetti degli habitat costieri (o di una serie di liste rosse specifiche per i diversi gruppi) rappresenterebbe un passo importante verso la conservazione della fauna dei sistemi spiaggia-duna (Fattorini, 2022). Inoltre, data la loro sensibilità alle alterazioni ambientali, le comunità di insetti dei sistemi spiaggia-duna possono fornire informazioni molto importanti nel monitoraggio delle loro condizioni (Zanella *et al*., 2009, 2017). In particolare, le specie di insetti più facili da riconoscere e più strettamente associate agli habitat costieri potrebbero essere utilizzate come taxa indicatori per la valutazione e il monitoraggio dello stato di conservazione delle aree costiere.

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio Edoardo Cifarelli, Marco Criscuolo, Letizia Di Biase, Andrea Di Giulio e Paolo Mazzei per il materiale fotografico gentilmente messo a disposizione.

## BIBLIOGRAFIA

Acosta, A. T. R. (2021). *Le spiagge, queste sconosciute. Un viaggio negli ambienti più interessanti (e minacciati) d'Italia*. Aracne, Roma.

Ballerio A., Rey A., Uliana M., Rastelli M., Rastelli S., Romano M., Colacurcio L. (2014). *Coleotteri Scarabeoidei d'Italia*. Società Entomologica Italiana. http://www.societaentomologicaitaliana.it/Coleotteri%20Scarabeoidea%20d%27Italia%202014/scarabeidi/home.htm

Boudouresque C., Ponel P., Astruch P., Barceló A., Blanfuné A., Geoffroy D., Thibaut T. (2017). *The high heritage value of the Mediterranean sandy beaches, with a particular focus on the* Posidonia oceanica *"banquettes": A review*. Scientific Reports of Port-Cross National Park, 31, 23–70.

Bovina G., Amodio M., Callori di Vignale C. (2009). *L'approccio naturalistico nella conservazione e restauro degli ambienti dunali*. In: Onori L. (Ed.) *Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree protette.* Rapporti: 100/2009 (pp. 269-307). ISPRA – Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, Roma.

Breciaroli B., Onori L. (2009). *Il sistema delle aree protette e la difesa delle coste*. In: Onori L. (Ed.) *Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree protette.* Rapporti: 100/2009 (pp. 1-19). ISPRA – Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, Roma.

Cassola F. (2002). *Le cicindele e le coste: biogeografia e conservazione. (Studi sui Cicindelidi, CXIX)*. Biogeographia. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, 23, 55-69.

Conti E., Dattilo S., Costa G., Pugliesi C. (2017). *Orientation behavior is a good biomarker of trace metal contamination in* Parallelomorphus laevigatus *(Coleoptera, Carabidae)*. Environmental Science and Pollution Research, 24, 17642–17650.

Corti C., Capula M., Luiselli L., Razzetti E., Sindaco R. (2011) *Fauna d'Italia. Vol. XLV. Reptilia*. Calderini, Bologna, Italy.

Fattorini, S. (2008) *Ecology and conservation of tenebrionid beetles in Mediterranean coastal areas*. In: Fattorini S. (Ed). *Insect Ecology and Conservation* (pp 165-297). Research Signpost, Trivandrum.

Fattorini, S. (2009a). *Lineamenti faunistici delle dune italiane*. In: Onori L. (Ed.) *Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree protette.* Rapporti: 100/2009 (pp. 183-206). ISPRA – Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, Roma.

Fattorini, S. (2009b). Conservazione dei coleotteri tenebrionidi nei sistemi spiaggia-duna italiani. In: Onori L. (Ed.) *Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree protette.* Rapporti: 100/2009 (pp. 207-215). ISPRA – Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, Roma.

Fattorini S., Santoro R., Maurizi E., Acosta A.T.R., Di Giulio A. (2012). *Environmental tuning of an insect ensemble: The tenebrionid beetles inhabiting a Mediterranean coastal dune zonation*. Comptes Rendus Biologies, 335, 708-711.

Fattorini S., Maltzeff P., Salvati L. (2015a). *Use of insect distribution across landscape-soil units to assess conservation priorities in a Mediterranean coastal reserve: the tenebrionid beetles of Castelporziano (Central Italy)*. Rendiconti Lincei-Scienze Fisiche e Naturali, 26, Suppl. 3, 353-366.

Fattorini S., Vigna Taglianti A. (2015b). *Use of taxonomic and chorological diversity to highlight the conservation value of insect communities in a Mediterranean coastal area: the carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) of Castelporziano (Central Italy)*. Rendiconti Lincei-Scienze Fisiche e Naturali, 26, Suppl. 3, 625-641.

Fattorini S., Romiti F., Carpaneto G. M., Poeta G., Bergamaschi D. (2016a). *I Coleotteri Tenebrionidi del*

*Sito d'Importanza Comunitaria "Foce Saccione – Bonifica Ramitelli" (Molise) (Coleoptera Tenebrionidae)*. Bollettino della Società Entomologica Italiana, 148, 57-62.

Fattorini S., Bergamaschi D., Mantoni C., Acosta A. T. R., Di Giulio A (2016b). *Niche partitioning in tenebrionid species (Coleoptera: Tenebrionidae) inhabiting Mediterranean coastal dunes*. European Journal of Entomology, 113, 462–468.

Fattorini S., Bergamaschi D., Galassi D. M. P., Biondi M., Acosta A. T. R., Di Giulio A. (2017). *Spatial organization of an insect ensemble in a Mediterranean ecosystem: the tenebrionid beetles (Coleoptera Tenebrionidae) inhabiting an Adriatic coastal sand dune area*. Acta Zoologica Bulgarica, 69, 201-208.

Fattorini S. (2022). *Conservation of Insects of Mediterranean Coasts*. In: DellaSala D.A., Goldstein M. I. (Eds). *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation* (pp. 507-520). Elsevier.

Fattorini S. (2023) *Adaptations of tenebrionid beetles to Mediterranean sand dune environments and the impact of climate change (Coleoptera: Tenebrionidae)*. Fragmenta entomologica, 55, 1-20

García N., Numa C., Bartolozzi L., Brustel H., Buse J., Norbiato M., Recalde J. I., Zapata J. L., Dodelin B., Alcazar E. *et al.* (2018). *The Conservation Status and Distribution of Mediterranean Saproxylic Beetles*. IUCN, Malaga, Spain.

Hochkirch A., Nieto A., García Criado M., Cálix M., Braud Y., Buzzetti F. M., Chobanov D., Odé B., Presa Asensio J. J., Willemse L. *et al.* (2016). *European Red List of Grasshoppers, Crickets and Bush-Crickets*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Mancino C., Canestrelli D., Maiorano L. (2022). *Going west: Range expansion for loggerhead sea turtles in the Mediterranean Sea under climate change*. Global Ecology and Conservation, 38, e02264.

Massa B., Fontana P., Buzzetti F. M., Kleukers R., Odé B. (2012). *Fauna d'Italia. Vol. XLVIII. Orthoptera*. Calderini, Bologna, Italy.

Munari L. (2017). *Nannodastiidae and Coelopidae: two families of acalyptrate flies new to Italy, with description of a new species of* Azorastia *Frey (Nannodastiidae) (Diptera: Brachycera)*. Lavori - Società Veneziana di Scienze Naturali, 42, 15-20.

Munari L. (2020). Malacomyia sciomyzina *(Haliday, 1833) newly recorded from a Venetian fine-sand beach (Diptera: Coelopidae)*. Lavori - Società Veneziana di Scienze Naturali, 45, 135–136.

Prisco I., Angiolini C., Assini S., Buffa G., Gigante D., Marcenò C., Sciandrello S., Villani M., Acosta A.T.R. (2020). *Conservation status of Italian coastal dune habitats in the light of the 4th Monitoring Report (92/43/EEC Habitats Directive)*. Plant Sociology, 57, 55-64.

Relini G. (Ed.) (2010). *Checklist della Flora e della Fauna dei mari italiani (II parte)*. Biologia marina mediterranea, 17, Suppl. 1, 387-828.

Rodríguez J., Novoa A., Cordero-Rivera A., Richardson D. M., González L. (2020). *Biogeographical comparison of terrestrial invertebrates and trophic feeding guilds in the native and invasive ranges of* Carpobrotus edulis. NeoBiota, 56, 49-72.

Romiti F., Pietrangeli E., Battisti C., Carpaneto G. M. (2021). *Quantifying the entrapment effect of anthropogenic beach litter on sand-dwelling beetles according to the EU Marine Strategy Framework Directive*. Journal of Insect Conservation, 25, 441-452.

Rondinini C., Battistoni A., Teofili C. (compilatori). (2022). *Lista Rossa IUCN dei Vertebrati Italiani 2022*. Comitato Italiano IUCN e Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Roma.

Scarton F., Baldin M. (2017). *Monitoraggio ornitologico triennale in dune artificiali a San Nicolò del Lido (Venezia)*. Bollettino del Museo di Storia Naturale di Venezia, 68, 63-70.

Zanella L. (2010). *I coleotteri Carabidi delle "valli da pesca" alto-adriatiche. L'esempio di un impianto nel Delta del Po (Coleoptera Carabidae)*. Bollettino della Società Entomologica Italiana, 142, 55-75.

Zanella L. (2017). *La colonizzazione entomologica delle dune ricostruite di San Nicolò del Lido di Venezia (Insecta, Coleoptera)*. Bollettino del Museo di Storia Naturale di Venezia, 68, 31-44.

Zanella L. (2018). *Biodiversity of the endangered coastal beetle* Scarites laevigatus*: is the northern Adriatic population a geographical subspecies or a case of introgressive hybridisation? (Coleoptera: Carabidae).* Fragmenta entomologica, 50, 149-160.

Zanella L. (2023). *Taxonomic notes on* Harpalus melancholicus *Dejean, 1829 and* H. reicheianus *Kataev, 2012 with a special focus on the Italian populations (Coleoptera, Carabidae).* Annali del Museo Civico di Storia Naturale di Genova, 116, 447-464.

Zanella L., Uliana M. (2022). *Catalogo dei Cicindelidi e dei Carabidi della laguna di Venezia. Aggiornamento faunistico e impatto del cambiamento climatico. (Coleoptera: Cicindelidae, Carabidae).* Memorie della Società Entomologica Italiana, 99, 3-61.

Zanella L., Scarton F. (2017). *Ecological characterisation of dredge islands for the conservation of salt-marsh beetle fauna. The lagoon of Venice (Italy): a case study.* Wetlands Ecology and Management, 25, 421-441.

Zanella L., Uliana M., Scarton F., Barbieri F., Ratti E. (2009). *Valutazione ambientale di alcuni arenili veneti con formazioni a dune mediante lo studio della coleotterofauna specializzata (Insecta, Coleoptera).* Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Venezia, 60, 41-88.

Zanella L., Uliana M., Barbieri F., Scarton F. (2017). *I coleotteri delle spiagge con dune alle bocche di porto della laguna di Venezia*. In: Campostrini P., Dabala C., Del Negro P., Tosi L. (Eds.) Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia 2004-2015 (pp. 161-195). CO.RI.LA, Venezia.

# Dune costiere dell'Emilia-Romagna: cartografia e analisi sullo stato di conservazione e sull'evoluzione recente

## Dune costiere dell'Emilia-Romagna: cartografia e analisi sullo stato di conservazione e sull'evoluzione recente

Luisa Perini*, Jessica Lelli, Lorenzo Calabrese

Regione Emilia-Romagna – Settore difesa del territorio, Area Geologia, Suoli e Sismica

* Corresponding author
*E-mail*: luisa.perini@ regione.emilia-romagna.it (L. Perini); jessica.lelli@ regione.emilia-romagna.it (J. Lelli); lorenzo.calabrese@regione.emilia-romagna.it (L. Calabrese)

**Parole chiave**: dune, cartografia geomorfologica, erosione costiera, monitoraggio, indicatori, banche dati
**Key words**: dunes, coastal erosion, geomorphological cartography, indicators, database

## 1. INTRODUZIONE

Il litorale dell'Emilia-Romagna si estende per circa 130 km dalla foce del Po di Goro (FE) al torrente Tavollo (RN) ed è caratterizzato da spiagge basse e sabbiose e dalla presenza non ubiquitaria delle dune costiere.

Si tratta di un territorio particolarmente vulnerabile, per le vaste aree con quote inferiori al livello del mare, per la subsidenza e per la carenza di apporto solido di fondo da parte dei fiumi. Queste condizioni hanno favorito l'insorgenza di erosione costiera e inondazione marina, processi destinati ad aggravarsi a causa e dei cambiamenti climatici in atto.

Su tali problematiche ha influito negativamente anche l'intensa urbanizzazione che ha portato, tra l'altro, alla scomparsa di 88 ettari di dune costiere nei 60 anni successivi alla seconda guerra mondiale (Lorito *et al*., 2010 e Quadro Conoscitivo GIDAC, 2022).

Oggi i sistemi dunosi residui si sviluppano principalmente nel settore centro-settentrionale del litorale regionale e bordano ampi territori depressi, bonificati o occupati dalle "valli", residui di lagune e paludi costiere appartenenti all'antico delta padano, dove costituiscono fondamentali difese naturali contro l'ingressione marina, tant'è che nei settori dove sono assenti è stato necessario erigere argini di protezione a mare.

Nel contesto del deficit sedimentario pluridecennale, inoltre, le dune costituiscono un serbatoio di sabbia che rimane a disposizione della spiaggia e fungono da trappola per il sedimento che altrimenti potrebbe fuoriuscire dal sistema litorale.

Per questi motivi, a cui si somma il loro valore naturalistico, le dune sono elementi da salvaguardare e ripristinare, in un'ottica di difesa costiera integrata e di una proposta turistica sostenibile.

## 2. OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto di cartografia e classificazione delle dune costiere è stato sviluppato dall'Area Geologia Suoli e Sismica della Regione Emilia-Romagna (AGSS) in collaborazione con il Consorzio Futuro in Ricerca (CFR) e il Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara, con l'obiettivo generale di approfondire le conoscenze e di produrre una cartografia tecnica aggiornata a supporto della gestione della costa e, in particolare, alla conservazione di queste preziose morfologie, come previsto dalle Linee Guida GIZC (adottate dalla Regione Emilia-Romagna con DGR 645/2005) e dalle misure contenute nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

Le finalità specifiche riguardavano infatti:

- La revisione della metodologia di mappatura delle dune, adottando prioritariamente il criterio morfologico, reso possibile grazie alla disponibilità di rilievi altimetrici ad alta risoluzione ottenuti con tecnologia Lidar, integrato con la fotointerpretazione delle più recenti immagini telerilevate;
- L'elaborazione di una nuova cartografia delle dune costiere dell'Emilia-Romagna all'anno 2019;
- L'analisi delle dinamiche evolutive negli ultimi 15 anni;
- Una valutazione sulla vulnerabilità delle dune, individuando i maggiori punti di debolezza del litorale e altri possibili fattori di criticità.

Ulteriori dettagli sulle attività svolte sono contenuti nel rapporto tecnico "Le dune costiere al 2019 - stato e analisi evolutive periodo 2004-2019 (2023)" disponibile al link: HTTPS://AMBIENTE.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/IT/GEOLOGIA/PUBBLICAZIONI/POSTER/LE-DUNE-COSTIERE-AL-2019-STATO-E-ANALISI-EVOLUTIVE-PERIODO-2004-2019-2023

## 3. DATI E METODOLOGIA UTILIZZATI

Nei paragrafi che seguono sono descritti i dati utilizzati e le diverse fasi di implementazione del progetto messe a punto allo scopo di raggiungere le finalità sopra elencate.

### 3.1 Dati utilizzati

I dati più rilevanti per la caratterizzazione morfologica delle dune sono i modelli altimetrici digitali del terreno ad alta risoluzione, in Emilia-Romagna acquisiti a partire dal 2004.

I dataset utilizzati nel lavoro sono stati:

- Il DTM-LIDAR_costa2019, di proprietà dell'Autorità Di Bacino PO (AdbPO), che ha una densità media di 6 punti/m2 e un'accuratezza verticale di ± 10 cm;
- Il DTM- LIDAR costa 2004, acquisito dalla Regione Emilia-Romagna), che ha una densità media di 1 punto/m2 e un'accuratezza verticale di ± 10 cm;
- Altri DTM Lidar nella disponibilità della regione riferiti agli anni, 2008, 2010 e 2012, che sono stati utilizzati per i controlli.

Per fotointerpretazione degli elementi dunali ci si è avvalsi dei seguenti dataset:

- Ortofoto ADBPO_2019, che sono state acquisite contestualmente al rilievo lidar e hanno una risoluzione pari a 20 cm;
- Ortofoto 2005, acquisite dalla regione nell'ambito delle attività di monitoraggio dell'erosione costiera. Questo volo è stato utilizzato in quanto mancante l'aerofotogrammetria contestuale al rilievo altimetrico Lidar 2004;
- Altre foto aeree pregresse ed intermedie alle due annualità (anni 2008-2010-2012-2018), sono state analizzate per verifiche di consistenza delle due fotointerpretazioni e per comprendere meglio alcune dinamiche evolutive.

Infine, ancora allo scopo di effettuare verifiche di congruità, sono state utilizzate le cartografie morfologiche pregresse elaborate da AGSS, prodotte sulla base della fotointerpretazione di immagini aeree relative agli anni 1943, 1982, 2000, 2008 e 2018 (*Perini e Calabrese a cura di, 2011*).

### 3.2 Messa a punto della nuova procedura di perimetrazione e classificazione delle dune

L'attività, sviluppata principalmente dal CFR, è stata preceduta da una revisione sistematica della bibliografia scientifica più recente (quali Mitasova *et al.*, 2005; Lents *et al.*, 2011; Fabbri *et al.*, 2017) e delle cartografie tematiche disponibili per il territorio dell'Emilia-Romagna, allo scopo di assimilare le informazioni geomorfologiche e ambientali già disponibili e più rilevanti per la nuova classificazione delle dune costiere.

In questa fase è stata prodotta una prima definizione degli attributi (campi), descrittivi delle caratteristiche fisiche della duna (tipo, quota e antropizzazione) e degli aspetti ecologici (tipo di vegetazione ed essenze). Per ciascun attributo sono state determinate le classi (ad esempio per il tipo duna: attiva, semi-stabilizzata e stabilizzata), che sono state oggetto di verifica di pertinenza nell'ambito della sperimentazione effettuata in due aree pilota.

Tali aree sono state scelte in contesti caratterizzati da un assetto e da una storia evolutiva differente, ubicate rispettivamente a Lido di Classe nel ravennate, per un'estensione lineare di circa 800 metri, e a Lido di Volano, nel ferrarese, per una lunghezza di poco superiore a 1.5 km. Durante la sperimentazione sono emerse alcune problematiche, tra le quali l'interferenza delle morfologie con alcune opere di difesa e la presenza di porzioni di duna difficilmente classificabili perché fortemente alterate.

Le osservazioni emerse hanno suggerito di ampliare la categoria 'Tipo Duna' con due classi mai utilizzate in precedenza, la duna "artificiale" e la duna "residuale", nonché di produrre una classificazione sullo stato di antropizzazione delle morfologie (Tabella 1)

Questa fase di test ha inoltre evidenziato la necessità di elaborare un ulteriore strato informativo dedicato al censimento dei varchi, nonché di arricchire la classificazione regionale delle opere di difesa costiera con un campo descrittivo degli interventi di protezione delle dune.

**Tabella 1. Dettaglio classificazione delle dune costiere.**

| Campi | Attributi |
|---|---|
| **TIPO_DUNA** | • *Duna attiva*<br>• *Duna semi-stabilizzata*<br>• *Duna stabilizzata*<br>• *Duna residuale* |
| **Quota** | • *>2m*<br>• *<2 m* |
| **Vegetazione** | • *Pioniera rada-assente*<br>• *Erbosa annuale*<br>• *Erbosa perenne*<br>• *Arborea-arbustiva*<br>• *Arborea* |
| **Essenze** | • *Cakiletum*<br>• *Ammophyletum-Agropiretum*<br>• *Tortoletum-Scabiosetum*<br>• *Juniperus/Pinus*<br>• *Pynus Pinaster* |
| **Antropizzazione** | • *Alta*<br>• *Media*<br>• *Bassa* |
| **Provincia** | • *Ferrara*<br>• *Ravenna*<br>• *Forli-Cesena*<br>• *Rimini* |
| **Comune** | • *Comacchio*<br>• *Ravenna*<br>• *Cervia*<br>• *Cesenatico*<br>• *Rimini*<br>• *Riccione* |

La metodologia di perimetrazione delle dune messa a punto prevede che inizialmente vengano identificati gli elementi morfologici significativi sulla base dei dati altimetrici ad alta risoluzione (DTM-LIDAR).

In particolare:

- il piede della duna, che marca il confine tra duna e spiaggia; esso coincide con un evidente e repentino cambio di

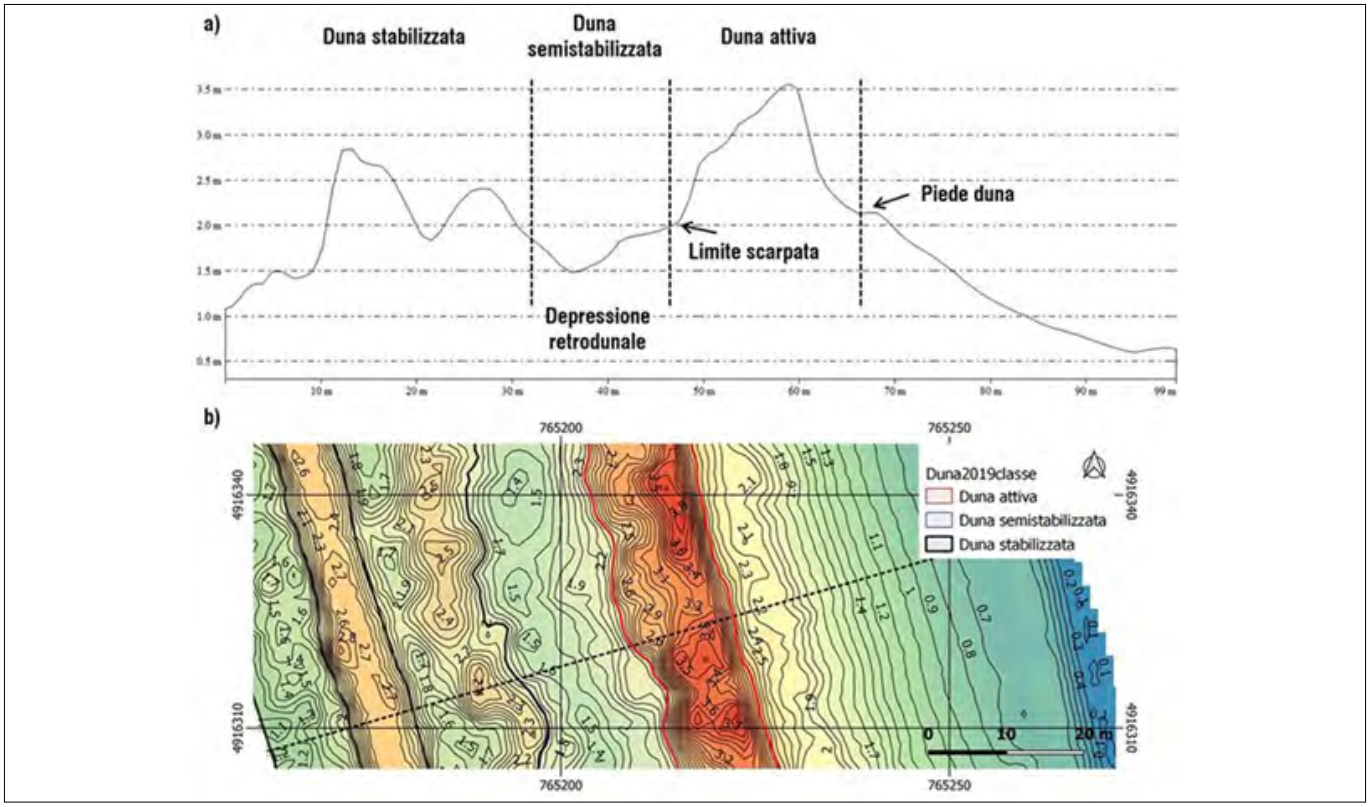



FIGURA 1. Schema del modello morfologico utilizzato per l'attribuzione delle classi nel campo "tipo duna".

pendenza (da circa 40 - 20% della duna, a circa 15 - 0% della spiaggia in una distanza di circa 1 metro);

- i due limiti che caratterizzano la scarpata retrodunale, ovvero: il passaggio dalla *duna attiva* a quella *semi-stabilizzata*, caratterizzato da un cambio di pendenza evidente (variabile tra il 25-15% allo 0-15%, in una distanza di circa 1-2 m); il passaggio alla retrostante duna *stabilizzata*, che è meno marcato e si attesta dove il cambio di pendenza passa da uno 0 -5% al 5- 10%, in una distanza di 2-3 m.

Per la definizione di tali elementi ci si è basati sulla letteratura scientifica di riferimento (*Mitasova et al., 2005; Lents et al., 2011; Fabbri et al., 2017*), che attribuisce tali elementi a limiti di classe del campo "Tipo_Duna" (Fig. 1).

Una volta individuati questi elementi, l'interpretazione in ambiente GIS delle diverse porzioni di duna è stata effettuata integrando la fotointerpretazione e il dato altimetrico.

Le cinque classi "tipo duna" (Fig. 2), sono così caratterizzate:

- *duna attiva*, la porzione che morfologicamente corrispondente all'avanduna (foredune), ovvero alla parte di duna compresa tra la linea di piede e la linea che delimita la scarpata retrodunale;
- *duna semi-stabilizzata*, che coincide con la depressione retrodunale (detta anche "duna vegetata" o "duna grigia") e solitamente è caratterizzata da una vegetazione più uniforme e da una dinamica più consolidata;




FIGURA 2. Esempi rappresentazione cartografica delle classi di "tipo duna".

- *duna stabilizzata*, è la zona delle cosiddette paleo-dune o dune secondarie, formatesi molto tempo prima di quelle attuali ed ormai largamente consolidate. Essa include ampie porzioni di cordoni litorali del XX e XIX secolo, ma anche più antichi, datati a partire dal XVI -XVII secolo;
- *duna residuale*, in cui la morfologia appare fortemente alterata e compromessa dall'attività umana (frequenti gli esempi di spianamento in corrispondenza di stabilimenti balneari);
- *duna artificiale*, creata, o ri-creata, grazie ad interventi finalizzati all'aumento della resilienza del territorio all'ingressione marina.

La classificazione dei campi "Vegetazione" ed "Essenze", si è basata sulla fotointerpretazione, verificata attraverso localizzati sopralluoghi in campo. I poligoni risultanti dall'analisi geomorfologica sono stati suddivisi sulla base delle diverse tipologie vegetazionali, identificate in base alla tessitura dei pixel. A ciascuna classe di vegetazione sono state associate le relative essenze caratteristiche, basandosi sulla zonazione tipica della vegetazione dunosa del nord Adriatico, indicata in recenti pubblicazioni scientifiche (Merloni *et al*., 2007 e 2015; Sburlino *et al*., 2013; Valentini *et al*., 2015).

Le classi di riferimento sono 6, così articolate:

- *Pioniera, rada, assente*: che sono caratterizzate da una tessitura poco uniforme con netta prevalenza di pixel bianchi o molto chiari, interrotti da piccole zone più scure, tipiche degli ambienti dunosi dove l'elemento predominante è la sabbia. Sono le zone con duna embrionale o duna attiva (avanduna);
- *Erbosa annuale*: con tessitura sempre poco uniforme composta soprattutto da pixel verde o marrone, dove ancora si riescono nettamente a vedere zone molto più chiare;
- *Erbosa perenne*: data invece da una tessitura molto più uniforme, formata da pixel di colore sostanzialmente verde scuro;
- *Arborea-arbustiva*, dove la tessitura è frastagliata, per l'alternanza di zone a pixel verdi, grigi o marrone, che indicano una vegetazione tipica delle zone di retroduna;



Figura 3. Esempio di pineta litoranea.

- *Arborea*: zone di tessitura simile alla precedente, ma con un colore molto più uniforme, verde brillante. Tale tipologia di vegetazione, salvo rare eccezioni, si ritrova sempre in ambienti di paleoduna consolidata, spesso in zone ad antropizzazione bassa e corrisponde fondamentalmente a zone di pineta;
- *Mista*: zone con vegetazione atipica, evidentemente alterata dalle attività antropiche.

Le essenze associate alle diverse classi sono state:

- Pioniera rada – Assente: principalmente generi da *Cakiletum;*
- Erbosa Annuale, principalmente generi da *Ammophyletum/Agropyretum;*
- Erbosa Perenne, principalmente generi da *Tortuletum/ Scabiosetum;*
- Arborea – Arbustiva, principalmente generi *Juniperus e Pynus;*
- Arborea, principalmente *Pynus Pinaster* (Fig. 3);
- Mista, senza una caratterizzazione precisa.

Il campo 'quota' è stato classificato suddividendo ciascun poligono del campo 'tipo duna' in base alla elevazione maggiore o minore di 2 metri, con riferimento al livello del mare. L'operazione è stata condotta utilizzando le isoipse derivate dalla elaborazione dei DTM-LIDAR.

Le diverse classi del campo 'antropizzazione' sono invece state assegnate attraverso un'analisi qualitativa, basata sulla ricostruzione della dinamica dell'uso del suolo da fotointerpretazione.

Le diverse classi di "antropizzazione" (Fig. 4) sono:

- *antropizzazione bassa*, è assegnata alle zone più prettamente naturali, o con costruzioni rade, dove gli elementi dunosi possono svilupparsi senza vicoli;
- *antropizzazione media* è contraddistinta da un livello abbastanza alto di urbanizzazione, ma con elementi morfologici dunosi ancora integri;
- *antropizzazione alta,* dove le morfologie sono fortemente modificate o rimaneggiate.

### 3.3 Regionalizzazione ed ulteriori elaborazioni

La metodologia di elaborazione cartografica sopra descritta è stata applicata a scala dell'intera costa tra Cattolica e Volano, ottenendo due mappe tematiche: una basata sul dataset Lidar e ortofoto 2019, la seconda sul DTM Lidar 2004 associato alle ortofoto 2005. Nel secondo caso, per la perimetrazione e classificazione di alcune porzioni di duna più interne, dove non era disponibile il dato altimetrico, ci si è basati principalmente sulla fotointerpretazione delle immagini 2005, utilizzando il DTM Lidar 2008 a scopo di verifica. Tale dato è infatti ritenuto attendibile per quelle porzioni di duna che sono prevalentemente stabilizzate e quindi caratterizzate da variazioni morfologiche piuttosto lente. Maggiori dettagli sono contenuti nel report tecnico citato in premessa.

A valle della prima stesura della cartografia regionale sono stati effettuati alcuni sopralluoghi nei punti critici per risolvere i dubbi e migliorare l'affidabilità del dato. Infine, sempre a partire dagli stessi dataset, sono stati prodotti alcuni nuovi livelli informativi, ritenuti importanti ai fini



FIGURA 4. Esempi di duna a grado di antropizzazione bassa (sin), media (centro) e alta (dx).

dell'analisi della vulnerabilità e del rischio da inondazione marina. Si tratta in particolare di:

- *una cartografia digitale dei varchi*; essi rappresentano interruzioni dei corpi dunali, per lo più stradelli di accesso alla spiaggia, generalmente privi di opere temporanee per il contrasto alla risalita dell'onda nel retro-spiaggia;
- *la cartografia delle opere di protezione delle dune*; ovvero degli interventi realizzati per limitare il degrado delle morfologie, quali passerelle, fascinate ecc. Tali informazioni sono risultate fondamentali anche per interpretare correttamente lo stato della duna e la sua antropizzazione;
- *la cartografia della 'duna invernale'* 2019, ovvero dell'argine che viene realizzato a protezione degli stabilimenti balneari durante il periodo invernale utilizzando la sabbia di battigia o, più raramente, altro sedimento portato da scavi edili;
- la *classificazione altimetria delle dune:* ottenuta attraverso una procedura di intersezione tra il campo 'tipo duna', e i dati lidar in formato 'raster'. Per ciascuno degli oltre 2000 poligoni, sono stati così estratti i valori di quota minima, media e massima.




FIGURA 5. Rapporto tecnico "Le dune costiere al 2019" a cura dell'Area Geologia, Sismica e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, 2023.

### 3.4. Sistematizzazione dei dati e pubblicazione

I dati raccolti sono stati standardizzati ed organizzati all'interno dei database «Duna 2019» e «Duna 2004» e predisposti per la pubblicazione sul portale regionale MinERva (WMS + zip .shp).

I risultati cartografici, le elaborazioni dei dati e le analisi territoriali sono stati presentati nel rapporto tecnico pubblicato nel 2023, che è possibile scaricare in formato PDF dal portale regionale.

## 4. LE DUNE COSTIERE AL 2019

Le cartografie prodotte hanno consentito di analizzare accuratamente le caratteristiche delle dune costiere nei due anni di riferimento. Nei seguenti paragrafi sono descritti i dati all'anno 2019, mentre nel capitolo successivo è commentata la dinamica evolutiva delle morfologie nell'intervallo dei 15 anni tra il 2004 e il 2019.

### 4.1 Distribuzione e caratteristiche fisiche

La cartografia della duna al 2019, elaborata per una lunghezza lineare di costa di circa 116 km da Cattolica a Volano, mostra come essa sia presente, seppur in modo discontinuo, lungo circa 51 km, corrispondente a circa il 44% del totale.

Nel territorio provinciale di Ravenna ricadono 33.5 km, 14.3 km in quello di Ferrara, 2.1 km in quello di Forlì-Cesena e solo 0.8 km nel riminese (Tabella 2).

La superficie totale coperta da dune costiere in Emilia-Romagna al 2019 è di 988,4 ettari (9,8 km$^2$), il 90% dei quali (891,8 ettari) è rappresentato dalla 'duna stabilizzata'. La 'duna semi-stabilizzata' corrisponde a circa il 2,6 % della superficie totale (25,2 ettari), e la 'duna attiva' rappresenta il 4% del totale, poco meno di 40 ettari.

Analizzando le superfici dei sistemi dunali per provincia, si osserva che il 75% delle dune ricade nella provincia di Ravenna, poco meno del 24% in quella di Ferrara, e circa l'1% è presente nelle altre due province.

A prevalere è la tipologia di duna stabilizzata, fa eccezione il territorio riminese dove è maggiormente rappresenta-

**Tabella 2. Tratti provincie costiere (km) con presenza assenza sistemi dunali.**

| Provincia | Costa con duna (km) | Costa duna assente (km) | Lunghezza totale costa analizzata (km) |
|---|---|---|---|
| Forlì-Cesena | 2.1 | 7.3 | 9.3 |
| Ferrara | 14.3 | 9.3 | 23.5 |
| Ravenna | 33.5 | 14.6 | 48.1 |
| Rimini | 0.8 | 34.3 | 35.1 |
| **Totale** | **50.7** | **65.4** | **116.1** |

**Tabella 3. Dettaglio di superfici e percentuali delle diverse tipologie dunali per provincia all'anno 2019.**

| Tipologia duna 2019 | Ferrara | | Ravenna | | Forlì-Cesena | | rimini | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % |
| Duna attiva | 11,06 | 4,68 | 27,84 | 3,76 | 0,08 | 1,02 | 0,99 | 26,78 |
| Duna semi-stabilizzata | 10,62 | 4,49 | 14,11 | 1,91 | 0,03 | 0,35 | 0,48 | 12,96 |
| Duna stabilizzata | 204,23 | 86,35 | 682,72 | 92,20 | 4,23 | 55,08 | 0,60 | 16,16 |
| Duna residuale | 10,59 | 4,48 | 11,97 | 1,62 | 3,35 | 43,55 | 1,64 | 44,10 |
| Duna artificiale | - | - | 3,84 | 0,52 | - | - | - | - |

ta la tipologia "residuale" (44%), che tuttavia corrisponde a soli 1,64 ettari di superficie (Tabella 3).

Uno dei parametri più rilevanti per la gestione dei rischi da inondazione marina è rappresentato dalla quota delle dune, che può essere indicativa anche del volume di sabbia accumulato.

Circa l'82% delle dune censite, pari ad una superficie di 814.4 ettari, risulta avere quota inferiore ai 2 m, quindi facilmente sormontabile in caso di mareggiata; il restante 18%, pari a 174 ettari, ha invece una quota superiore ai 2 metri. In Fig. 6 si può apprezzare il dettaglio altimetrico delle diverse tipologie di duna: è evidente come in tutte le classi di quota prevalga la duna a tipologia stabilizzata, tranne per la porzione superiore ai 3 metri nella quale l'areale maggiore è rappresentato dalla duna attiva. Un altro elemento di rilievo è la dominanza della duna stabilizzata nella classe di quota inferiore ai 2 metri, dove tale tipologia rappresenta circa il 96% del totale.

Le quote massime sono state rilevate nel ferrarese, a Lido degli Scacchi, dove all'interno del Campeggio Florentz alcune limitate porzioni di duna raggiungono quote comprese tra i 6 e i 9 metri.

Un'altra area con dune ben sviluppate si trova nella parte sud di Marina di Ravenna, dove nel 2016 si è concluso un importante progetto di protezione, con passerelle e fascinate, esteso circa 400 metri.

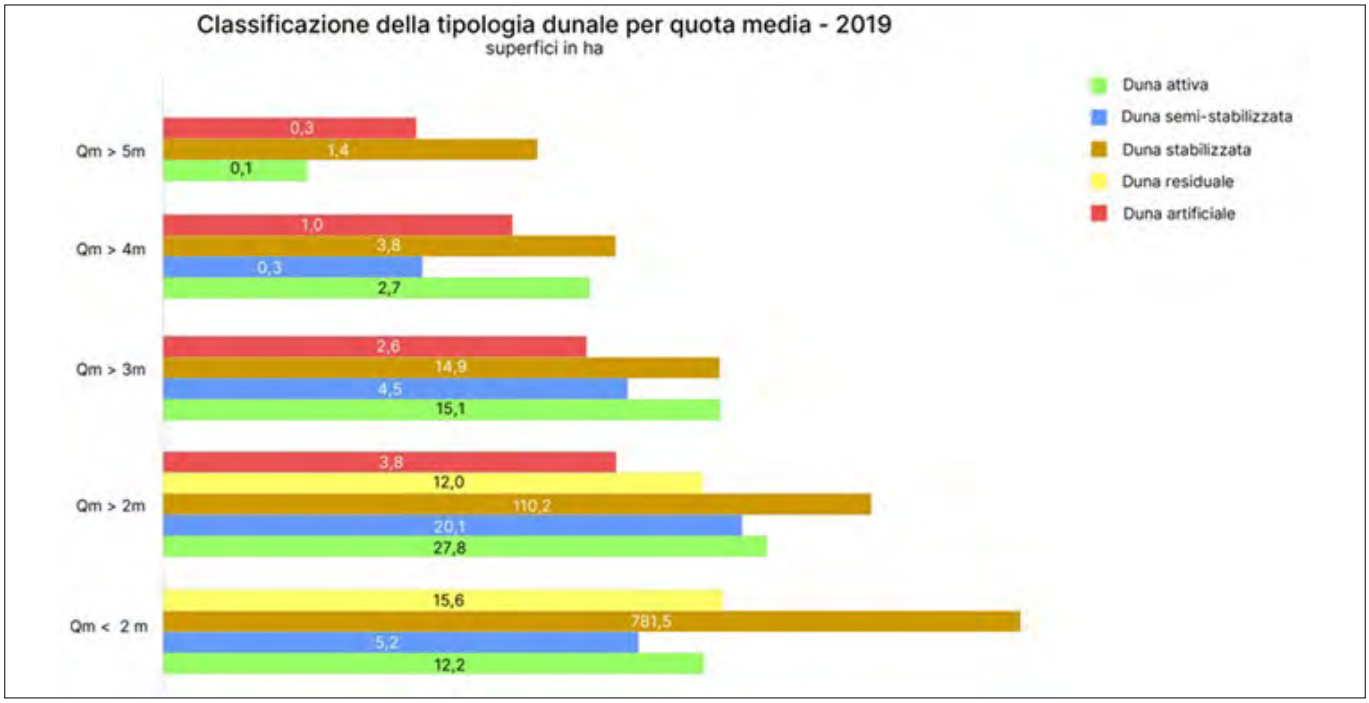



Figura 6. Dettaglio superfici in ettari delle diverse tipologie di duna per classe altimetrica.

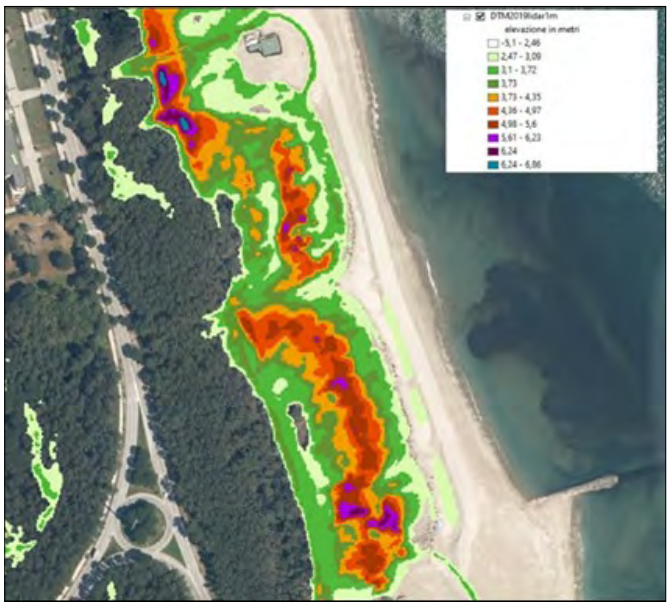


FIGURA 7. Particolare intervento realizzato da Eni S.p.A. a Marina di Ravenna.

Questa porzione di duna ha generalmente un'elevazione superiore ai 3-4 metri, con punte massime superiori ai 6 metri (Fig. 7).

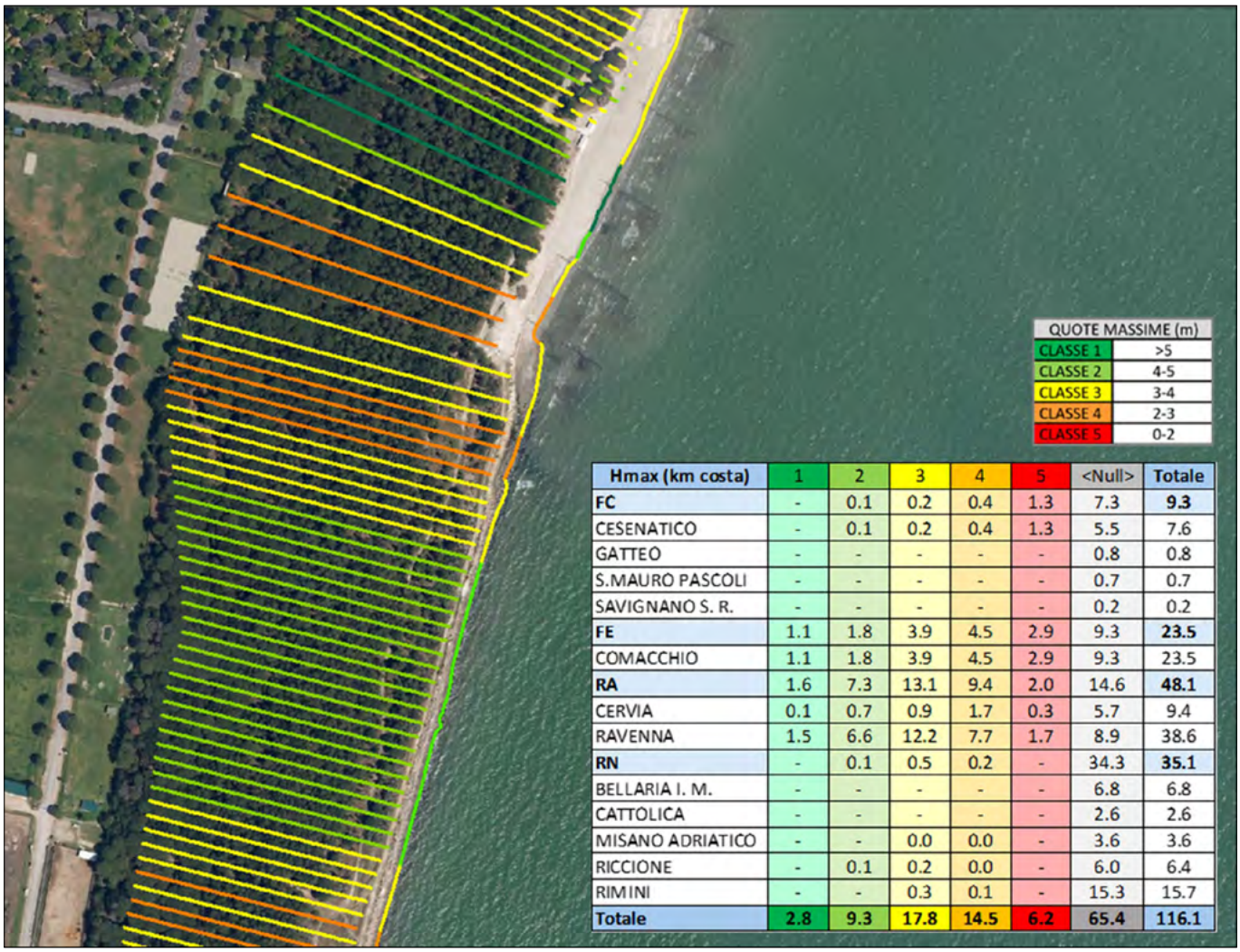
Al fine di poter elaborare e visualizzare i dati in termini di lunghezze e non solo di superfici, i valori altimetrici significativi delle dune sono stati proiettati lungo la linea di riva 2019. A tale scopo, utilizzando l'applicativo DSAS del U.S. Geological Survey, sono stati costruiti transetti equidistanti 10 m, ortogonali alla linea di costa, lungo i quali sono state estratte le quote della duna dal DTM-Lidar e calcolati i valori altimetrici statistici: quota minima, media e massima. Tali valori, proiettati sulla linea di riva, sono stati aggregati in 5 classi, per poi passare all'elaborazione di 3 linee di riva rappresentative delle quote minima, media e massima.

A titolo di esempio si riporta la tabella relativa a "quote massime" della duna lungo l'intera costa emiliano-romagnola e suddivisa anche nei tratti provinciali e comunali (Fig. 8): la classe prevalente risulta la "3", con valori di quota compresi tra 3 e 4 metri, che si estende per una lunghezza complessiva di 17.8 km.

## 4.2 Punti critici e antropizzazione

Al fine di valutare i punti potenzialmente critici per fenomeni di ingressione marina, sono stati cartografati i varchi presenti nel sistema delle dune costiere (Fig. 9).

Sono stati così censiti 98 varchi, tutti coincidenti con stradine di accesso alla spiaggia, generalmente caratterizzati da un'ampiezza di pochi metri (da 2 a 6 m). Circa i 2/3 di essi hanno una quota media inferiore ai 2 metri, mentre i restanti presentano valori medi di elevazione compresi tra i 2 e i 2.6 m.



| QUOTE MASSIME (m) | |
|---|---|
| CLASSE 1 | >5 |
| CLASSE 2 | 4-5 |
| CLASSE 3 | 3-4 |
| CLASSE 4 | 2-3 |
| CLASSE 5 | 0-2 |

| Hmax (km costa) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | <Null> | Totale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **FC** | - | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 1.3 | 7.3 | **9.3** |
| CESENATICO | - | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 1.3 | 5.5 | 7.6 |
| GATTEO | - | - | - | - | - | 0.8 | 0.8 |
| S.MAURO PASCOLI | - | - | - | - | - | 0.7 | 0.7 |
| SAVIGNANO S. R. | - | - | - | - | - | 0.2 | 0.2 |
| **FE** | 1.1 | 1.8 | 3.9 | 4.5 | 2.9 | 9.3 | **23.5** |
| COMACCHIO | 1.1 | 1.8 | 3.9 | 4.5 | 2.9 | 9.3 | 23.5 |
| **RA** | 1.6 | 7.3 | 13.1 | 9.4 | 2.0 | 14.6 | **48.1** |
| CERVIA | 0.1 | 0.7 | 0.9 | 1.7 | 0.3 | 5.7 | 9.4 |
| RAVENNA | 1.5 | 6.6 | 12.2 | 7.7 | 1.7 | 8.9 | 38.6 |
| **RN** | - | 0.1 | 0.5 | 0.2 | - | 34.3 | **35.1** |
| BELLARIA I. M. | - | - | - | - | - | 6.8 | 6.8 |
| CATTOLICA | - | - | - | - | - | 2.6 | 2.6 |
| MISANO ADRIATICO | - | - | 0.0 | 0.0 | - | 3.6 | 3.6 |
| RICCIONE | - | 0.1 | 0.2 | 0.0 | - | 6.0 | 6.4 |
| RIMINI | - | - | 0.3 | 0.1 | - | 15.3 | 15.7 |
| **Totale** | **2.8** | **9.3** | **17.8** | **14.5** | **6.2** | **65.4** | **116.1** |

FIGURA 8. Esempio di visualizzazione della quota massima dune al 2019 lungo i transetti e trasposta lungo la linea di riva.



Figura 9. Esempio varco di accesso alla spiaggia che denota un abbassamento della quota della duna.

Per valutare il potenziale rischio di ingressione marina è stato fatto un confronto tra le quote medie del varco e i livelli del mare utilizzati come riferimento per gli scenari di mareggiata nel Piano di Gestione per il Rischio Alluvioni (PGRA), elaborato ai sensi della Direttiva Alluvioni (recepita dal D.lgs. n. 49/2010).

In 20 casi essi presentano quote inferiori a 1.5 m, ovvero al valore di riferimento per lo scenario di mareggiata frequente-P3 (Perini *et al.* 2015), altri 34 varchi hanno quota media inferiore a 1,8 m, quota di riferimento per le mareggiate poco frequenti (scenario P2).La maggior parte dei varchi è ubicato nelle aree caratterizzate da pericolosità all'inondazione marina 'rara', ovvero con tempi di ritorno molto superiori ai cento anni (scenario P1 del PGRA) e con livelli che superano di gran lunga la quota di soglia dei varchi.

I varchi che potrebbero favorire l'ingressione del mare in centri abitati riguardano le località Lido di Spina, Casal Borsetti, Marina di Ravenna (zona lungomare), Lido Adriano, Lido di Classe e Pinarella di Cervia.

L'analisi del grado di antropizzazione della duna (Fig. 10) restituisce una valutazione sullo stato di salute di questi ambienti a scala regionale e, all'anno 2019 sembrano prevalenti gli ambienti a basso livello di antropizzazione (60,1% del totale), con morfologie dunali che hanno la possibilità di modificarsi senza interferenze imposte dall'uomo. Come si evince dal grafico a destra in Fig. 10, la duna semi-stabilizzata risulta essere quella maggiormente interessata dall'impatto antropico (il 16,9% della sua superficie totale), a seguire quella naturale con il 14,7 %. Se si ragiona in termini di superficie, tuttavia, è evidente come sia la duna stabilizzata ad avere il primato visto che, la classe di antropizzazione alta riguarda una superficie di 74,6 ettari, che equivale all'8,4% del totale.

Va tuttavia sottolineato che i livelli alti di antropizzazione sono spesso concentrati in limitati tratti costieri, che costituiscono quindi zone di elevato degrado

## 4.3 Vegetazione

L'analisi effettuata mostra, coerentemente a quanto ci sia aspetta, la prevalenza di vegetazione ed essenze arboree ed arboreo-arbustive sulla duna stabilizzata, rappresentando oltre il 53% della copertura vegetale. Sulla duna semi-stabilizzata prevale invece la vegetazione erbosa-perenne (49,3%), mentre sulla duna attiva domina la classe pioniera rada /assente (43%) seguita da quella erboso annuale (39,5%)

Nella Fig. 11 il dettaglio della distribuzione delle diverse specie vegetazionali all'anno 2019.

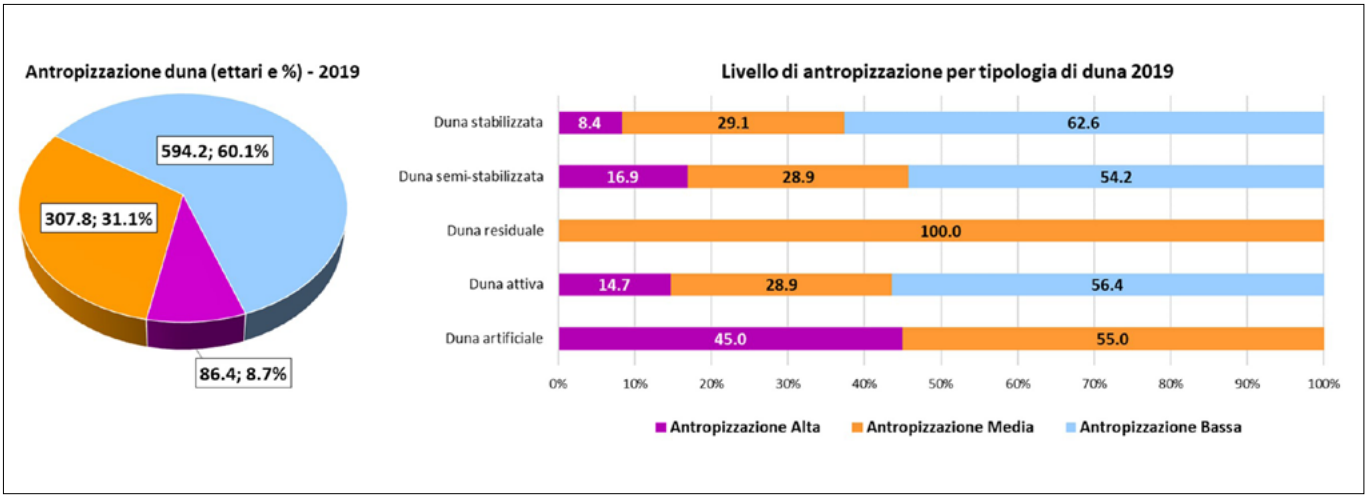



Figura 10. Analisi del grado di antropizzazione delle dune (grafici a torta a sin) e del livello di antropizzazione a seconda delle diverse tipologie di duna all'anno 2019.

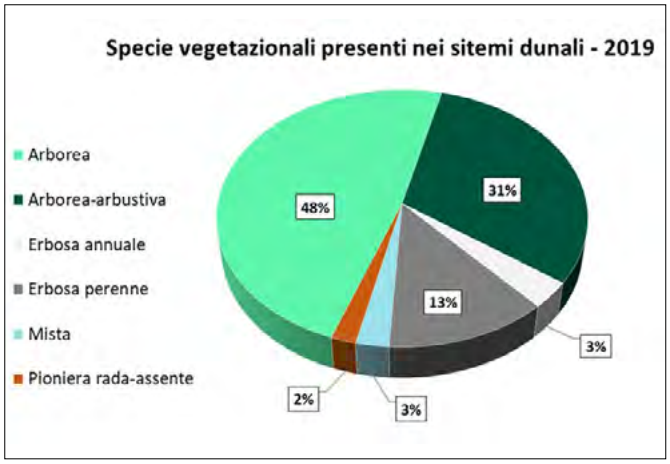



FIGURA 11. Analisi della distribuzione delle diverse specie vegetazionali all'anno 2019.

## 5. ANALISI EVOLUTIVA DELLE DUNE COSTIERE - PERIODO 2004-2019

Come anticipato nei capitoli precedenti, al fine di analizzare la tendenza evolutiva recente delle dune costiere, è stata elaborata con la stessa metodologia anche la cartografia della duna al 2004, utilizzando i dati Lidar 2004 e le ortofoto 2005. Il confronto GIS tra i due dataset ha permesso di delineare la tendenza evolutiva per ciascuno dei parametri elaborati.

### 5.1 Dinamica delle superfici

Il risultato più significativo è la perdita areale complessiva di circa 10 ettari di duna. Nonostante tale valore corrisponda a circa l'1% della superficie totale dell'intero sistema, si è osservato che quasi 9 ettari sono costituiti da duna attiva (Fig. 12), ovvero dalla porzione che maggiormente contribuisce al bilancio sedimentario della spiaggia e che può ancora accrescersi per i normali processi sedimentari litoranei.

La maggior parte della superficie persa, fortunatamente, riguarda settori di duna con quote inferiori ai 2 metri (8.4 ettari su 10).

Il bilancio negativo riguarda anche la duna semi-stabilizzata che è diminuita di circa 4 ettari. Tuttavia è ragionevole pensare che essa sia in parte evoluta in duna stabilizzata, poiché quest'ultima è aumentata di 3.4 ettari, valore che compenserebbe parte delle perdite.

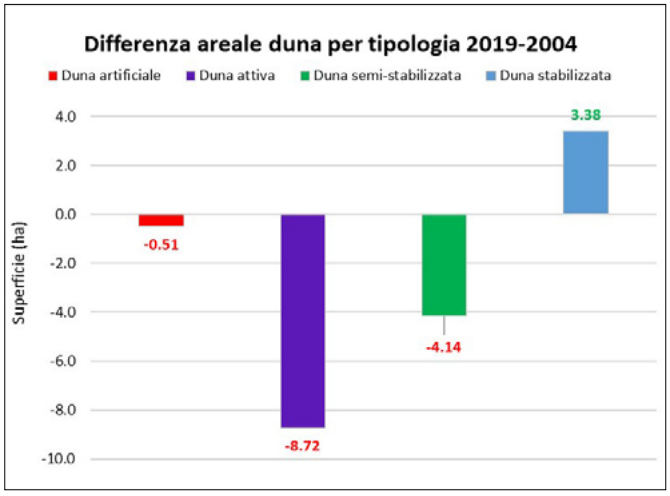



FIGURA 12. Differenze areali tra duna 2004 e duna 2019 con dettaglio delle tipologie.

Il territorio in cui è avvenuta la riduzione maggiore in termini di superficie è quello della provincia di Ferrara (Fig. 13), dove è stata quantificata una perdita di 6,8 ettari. Il fenomeno riguarda in particolare il settore di costa compreso tra Lido delle Nazioni e Volano, che manifesta da alcuni anni gravi fenomeni di erosione costiera.

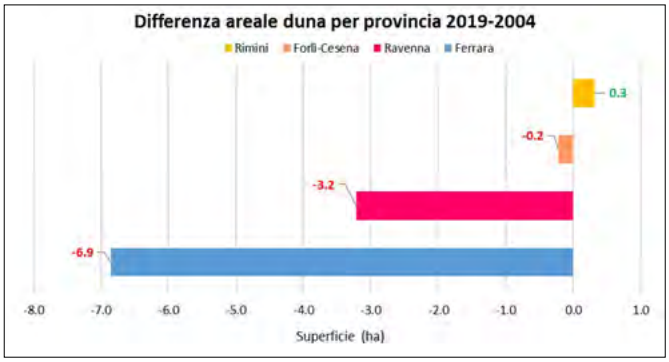



FIGURA 13. Analisi della dinamica dei corpi dunali per le 4 province costiere regionali nel periodo 2004-2019.

Se si osservano invece le dinamiche del 'tipo duna', l'area ad aver subito la trasformazione maggiori è quella del territorio provinciale di Ravenna (Fig. 14) dove parte delle dune classificate attive e semi-stabilizzate, si sono verosimilmente trasformate in duna stabilizzata, visto l'incremento di 9,6 ettari di questa tipologia. La perdita complessiva di dune nella provincia risulta essere quindi pari a circa 3,2 ettari.

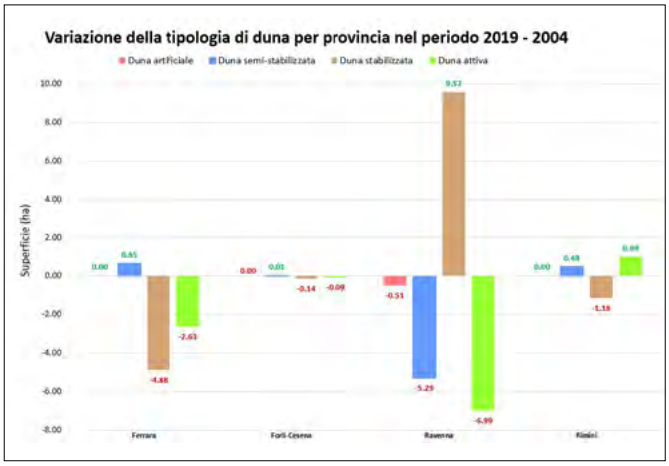



FIGURA 14. Analisi della variazione del tipo di duna per le 4 province costiere regionali nel periodo 2004-2019.

### 5.2 Differenze nelle quote

L'analisi è stata condotta sui valori medi e massimi dei poligoni 'tipo duna', consapevoli del fatto che i due dataset altimetrici 2004 e 2019 sono differenti per risoluzione e pertanto sono possibili solo valutazioni qualitative.

Per quanto riguarda il campo 'duna attiva', il dato più significativo è una diminuzione generalizzata, che riguarda soprattutto la classe di quota inferiore ai 2 m, l'unica classe apparentemente stabile è quella con quote tra i 3 e i 4 metri.

Si osserva, invece, un incremento delle superfici di duna con "quota maggiore di 4 metri", sia per la duna semi-stabi-

**Tabella 4. Elenco degli interventi protezione e rinaturalizzazione della duna costiera realizzati in Emilia-Romagna al 2019, Lido di Volano – Progetto Operandum Manutenzione e ripristino mediante soluzioni di ingegneria naturalistica.**

| Intervento | Prov. | Tipologia | Titolo/dettagli intervento |
|---|---|---|---|
| Marina di Ravenna - Ex colonie | RA | Protezione | Progetto sperimentale di salvaguardia Duna Costiera a Marina di Ravenna (RA) - Ex-Colonia - concluso nel 2016 |
| Lido Spina - Canale Logonovo | FE | Protezione | Tutela di un tratto di duna costiera (progetto Co-Evolve 2019) |
| Casalborsetti - Area sud | RA | Protezione | Tutela della duna costiera (Comune RA: eni 2019) |
| Lido di Classe - Area nord e lungomare | RA | Protezione | Difesa dall'ingressione marina (Comune-Ra 2019-20) |
| Foce Bevano - Duna artificiale | RA | Protezione | Impianto di vegetalizzazione sito pilota Foce Bevano (2007) |
| Foce Bevano - Collegamento viabilità retrodunale | RA | Protezione | Tutela della duna costiera (2019) |
| Lido di Classe - Pineta | RA | Protezione | Intervento sperimentale a sud foce Torrente Bevano (Riced-Ra 2013-16) |
| Lido Adriano - Parco Marittimo: Camminamenti e Passerelle | RA | Protezione | Parco Marittimo di Ravenna - tutela della duna costiera (2020-21) |
| Lido di Volano | FE | Protezione | Progetto *H2020 776848-2 Open-air laboratories for nature-based solutions to manage hydrometeo-risks-OPERANDUM* ripristino duna costiera a Lido di Volano (FE) |



lizzata, dove aumenta di circa 2,7 ettari (pari all'11% della sua superficie), che per la duna stabilizzata, per la quale l'incremento è di circa 2 ettari (lo 0.4%).

Un segnale analogo si osserva nelle quote massime dove il dato più positivo riguarda il sensibile incremento delle porzioni di duna stabilizzata con quote superiori ai 4 metri, anche se è diminuita quella con quote tra i 3 e i 4 metri.

Su questo potrebbero aver influito alcuni interventi di protezione delle morfologie costiere attuati nell'ultimo decennio (Tabella 4): un'analisi dettagliata su questo aspetto sarà oggetto di ulteriori approfondimenti.

### 5.3 Variazione dell'antropizzazione

Il confronto tra il 2004 e il 2019 del parametro antropizzazione della duna evidenzia una situazione piuttosto stabile, con un aumento delle classi a bassa antropizzazione (+24 ettari) e alta antropizzazione (+15.7 ettari), e una marcata perdita di duna a medio tasso di antropizzazione

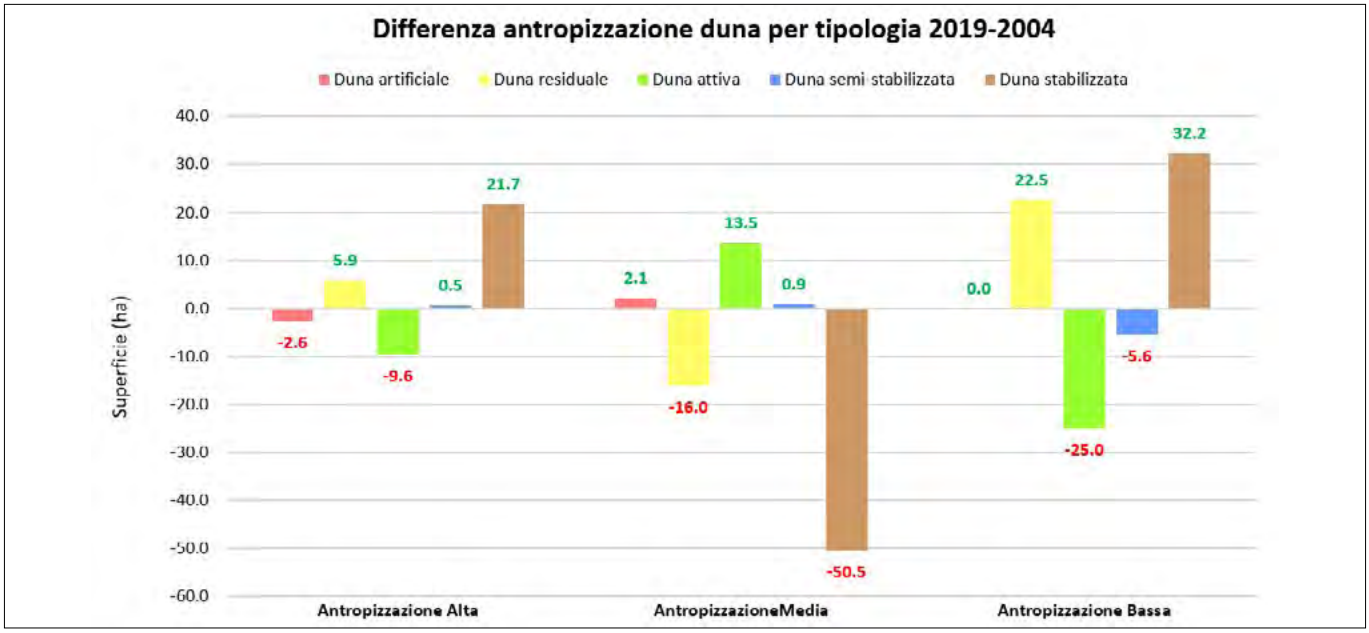



FIGURA 15. Analisi della variazione del grado di antropizzazione per le diverse tipologie di duna costiera nel periodo 2004-2019.

(49.9 ettari). Nel seguito (Fig. 15) si riporta un grafico di dettaglio che mostra la variazione dei valori di antropizzazione per le diverse tipologie di duna.

La valutazione più importante riguardo alla variazione del grado di antropizzazione va fatta in riferimento alla duna attiva che, come già detto, è quella che maggiormente contribuisce al bilancio del sistema spiaggia, poiché essendo nella maggior parte dei casi in contatto diretto con essa può cedere o immagazzinare sabbia. In 15 anni si registra un aumento del livello di antropizzazione di questa tipologia, con una perdita di superficie di duna attiva appartenente alla classe "bassa antropizzazione" di 25 ettari, piuttosto ingente considerando che la superficie totale della duna attiva è di 40 ettari

### 5.4 Vegetazione

L'evoluzione della vegetazione tra il 2004 e il 2019 (Fig. 16) vede invece una netta diminuzione della vegetazione arborea, che dal 61% della vegetazione totale è passata al 48%, e un incremento di quella arboreo-arbustiva (dal 21% al 31%). Questo dato è tuttavia da verificare e monitorare in futuro: infatti, potrebbe essere condizionato dalla qualità delle immagini che in alcuni casi è risultata non ottimale a causa di un'eccessiva sovraesposizione dei fotogrammi.

## 6. LA VULNERABILITÀ DEI SISTEMI DUNALI

Le informazioni descritte nei paragrafi precedenti evidenziano una condizione critica delle dune, sia in termini di difesa costiera che a salvaguardia degli ambienti naturali.

Tale quadro si inserisce in un contesto generale di fragilità dell'intero litorale, afflitto da gravi carenze di sedimento che rende difficile il naturale processo di generazione e accrescimento degli apparati dunali. La conseguenza è un aumento delle probabilità di allagamento dei settori retrodunali, spesso intensamente urbanizzati.

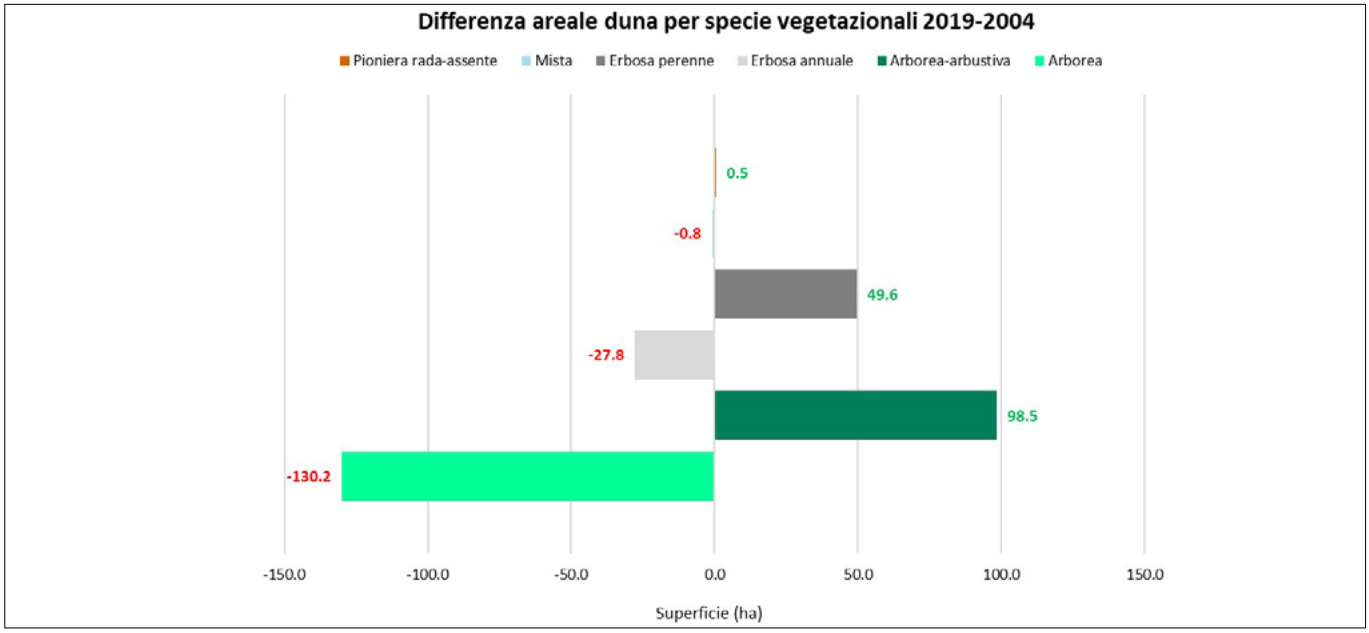



FIGURA 16. Analisi della variazione del grado di antropizzazione per le diverse tipologie di duna costiera nel periodo 2004-2019.

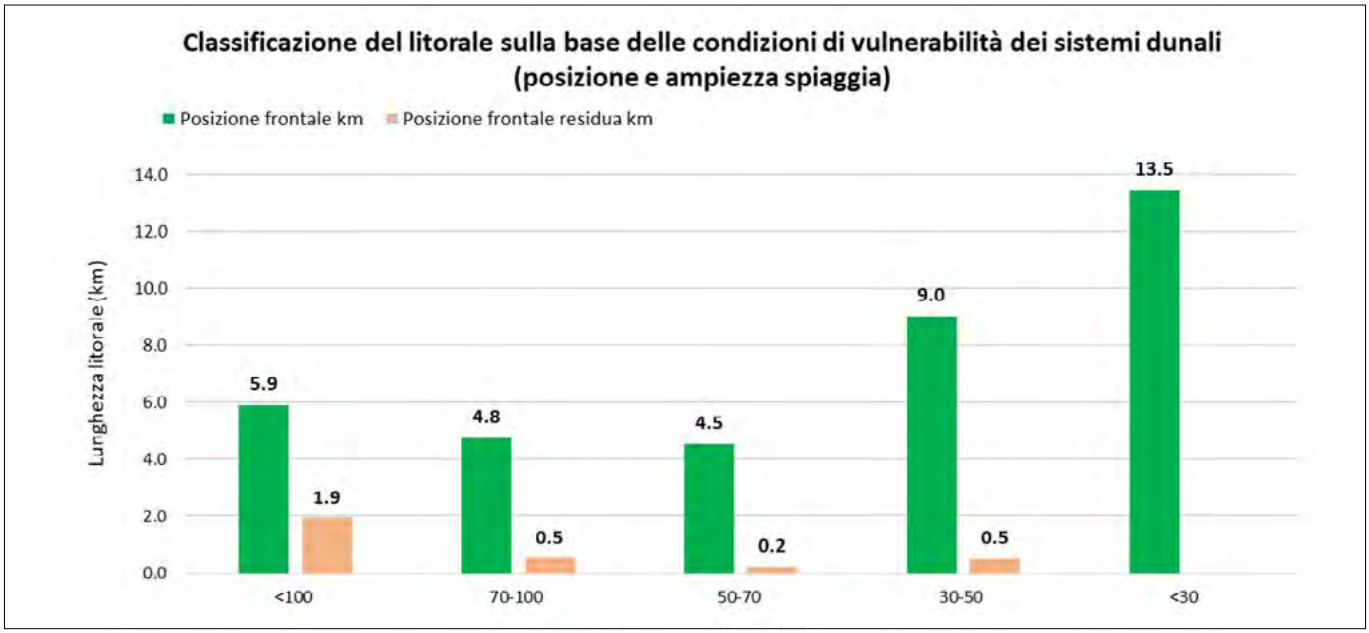



Figura 17. Dettaglio della valutazione sull'ampiezza della spiaggia antistante sistemi di dune posti in posizione frontale e frontale-residua.

L'equilibrio sedimentario tra la duna e la spiaggia è cruciale ed è spesso compromesso. Si consideri che le dune in grado di evolvere naturalmente, poiché a diretto contatto con la spiaggia, sono posizionate lungo soli 38 dei 116 km di costa analizzati. Le dune fronte mare, inoltre, delimitano spesso spiagge in condizioni critiche, caratterizzate da ampiezza libera da infrastrutture inferiore ai 30 metri (il 36% della lunghezza delle spiagge) o tra i 30 e i 50 m (ulteriore 24%), come si evince dal grafico di Fig. 17 che mostra la distribuzione della duna (frontale e residuale) con riferimento alle diverse classi di ampiezza della spiaggia.

Questa analisi denota condizioni di grande vulnerabilità per la duna, che risulterà maggiormente esposta agli effetti delle mareggiate, anche non particolarmente energetiche: l'onda infatti potrà propagarsi facilmente, fino a raggiungere il piede della duna provocando erosioni e perdita di volume (Fig. 18).

Le dune in posizione arretrata rispetto alla spiaggia (separate da una strada, un nucleo abitato o da aree naturali prive di elevazione) e quelle retrostanti le opere di difesa radenti, sono invece ormai escluse da una possibile dinamica naturale. Esse costituiscono circa 8,9 km della costa con dune.



Figura 18. Tratto litorale regionale dove la duna costiera è stata erosa a seguito di evento di mareggiata.

La degradazione del sistema dunale include anche altri aspetti particolarmente problematici che sono legati alla profonda frammentazione del rilievo, all'impermeabilizzazione della superficie e alla riduzione delle quote altimetriche. Nell'immediato dopoguerra, infatti, molte dune sono state spianate per far posto ad infrastrutture turistico-balneari, o sono state addirittura sfruttate come cave di prestito. Le parti più arretrate sono state spesso occupate da lidi, campeggi o parcheggi, di fatto annullando la possibilità di queste morfologie di evolvere nel tempo. Come si è visto dall'analisi dei parametri della duna, infatti, circa 80 ettari, ovvero 8,5% della superficie totale, presenta un elevato grado di antropizzazione e un ulteriore 30% ha un grado di antropizzazione medio.

Come si è constatato dal censimento dei varchi (discussone nel paragrafo 4.2), anche i corpi dunali che si estendono per lunghi tratti di costa, fino a 3-4 chilometri, sono spesso interrotti da stradine di accesso alle spiagge, limitando così l'efficacia della morfologia contro l'ingressione del mare.

L'elevato deterioramento delle dune influisce inoltre sulle funzioni idrologiche dei cordoni litorali, poiché causa una riduzione della lente di acqua dolce al loro interno, fondamentale per contrastare l'ingressione del cuneo salino nella falda costiera. Si perdono inoltre le importantissime funzioni biologica ed ecologica, essendo le dune habitat di numerose specie animali e di comunità vegetali altamente specializzate, in grado di trattenere la sabbia quindi preziosissime anche da un punto di vista sedimentario.

## 7. CONCLUSIONI E PROGETTI FUTURI

Le dune costiere, oltre a costituire un importante ecosistema da preservare, svolgono un ruolo imprescindibile nella difesa dell'entroterra dall'ingressione marina. Per questo motivo la regione Emilia-Romagna, già a partire dalle linee guida per la gestione integrata della fascia co-

stiera del 2005, ha posto molta attenzione alla salvaguardia di tali morfologie. Al fine di favorire e potenziare i progetti di protezione e ripristino delle dune, tuttavia, sono necessarie approfondite conoscenze, a partire da una cartografia tematica dettagliata e da una minuziosa caratterizzazione delle loro peculiarità fisiche ed ecologiche.

Le dune costiere dell'Emilia-Romagna sono state gravemente sfruttate e danneggiate nel secondo dopoguerra: infatti, tra il 1943 e i primi anni duemila, la loro superficie si è ridotta di circa 88 ettari prevalentemente a causa dell'espansione urbanistica. Negli ultimi decenni, invece, il loro degrado è dipeso principalmente dalle dinamiche meteomarine e dalla carenza di sedimento apportato al mare da parte dei fiumi.

La cartografia delle dune costiere realizzata all'anno 2019 mostra la loro presenza lungo circa il 44% della costa tra Cattolica e Volano, per una superficie complessiva di circa 988 ettari. Il 90% di esse è classificata come 'duna stabilizzata', dove la vegetazione è prevalentemente rappresentata da essenze arboree ed arboreo-arbustive. L'82% del sistema dunale presenta quote inferiori ai 2 metri, altezza che non garantisce una adeguata protezione in caso di mareggiate. Inoltre, tra il 2004 e il 2019, è scomparsa una superfice dunale di circa 10 ettari, in gran parte classificata come "duna attiva" (circa 9 ettari), ovvero da quella porzione che maggiormente contribuisce al bilancio sedimentario della spiaggia, alimentando naturalmente i litorali dopo le mareggiate invernali. Questo dato è allarmante se si considera l'alta vulnerabilità della costa ai fenomeni di ingressione marina, che, come evidenziato dal vigente piano di gestione per il rischio alluvione, possono interessare una superficie di circa 80 $Km^2$ della fascia costiera regionale nel caso di mareggiate con frequenza rara.

Per questi motivi è fondamentale potenziare la salvaguardia delle dune a scala regionale con interventi di protezione che evitino l'ulteriore degrado delle morfologie, e altri di ripristino, volti ad eliminare o ridurre la presenza dei varchi.

Nei tratti di costa dove alcuni progetti sono già stati realizzati, si osservano dati incoraggianti in termini di stabilità o avanzamento del fronte dunale e delle quote. Un tema interessante sarà quello di monitorare con continuità tali situazioni, al fine di trarre informazioni utili per le nuove progettazioni.

Uno dei prossimi obiettivi operativi, è infatti la elaborazione di un programma generale di protezione di queste morfologie, che beneficerà dei preziosi risultati ottenuti nel presente studio. Tale strumento dovrà prevedere ulteriori approfondimenti a partire da analisi di dettaglio e monitoraggio dei tratti critici, studi sulla dinamica delle diverse tipologie di duna differenziato per scenari di mareggiata, ricerche e sperimentazioni di interventi innovativi di ripristino che garantiscano la dinamicità naturale della duna.

Va sottolineato infine che, alla luce dei cambiamenti climatici in corso, la duna rappresenta non solo un prezioso elemento naturalistico da preservare, ma svolge anche una funzione di primo piano nella difesa costiera che può essere ottimizzata solo a partire da una profonda conoscenza delle sue caratteristiche e condizioni fisiche e della sua storia evolutiva.

## BIBLIOGRAFIA


Ciavola P., Perini L., Luciani P., Armaroli C. (2006). *Il rilievo LIDAR della costa dell'Emilia-Romagna: uno strumento per la valutazione dell'impatto delle mareggiate sulle zone costiere e per la caratterizzazione della morfodinamica della spiaggia*. Hydrogeo, vol. 9 Febbraio 2006, pp. 18-2

Fabbri S., Giambastiani B.M., Sistilli F., Scarelli F., Gabbianelli G. (2017). *Geomorphological analysis and classification of foredune ridges based on Terrestrial Laser Scanning (TLS) technology*. Geomorphology, 295, 436–451.

Lentz E.E. and Hapke C.J. (2011). *Geologic framework influences on the geomorphology of an anthropogenically modified barrier island: Assessment of dune/beach changes at Fire Island*, New York. Geomorphology, 126 (1–2), 82–96.0.1016/j.geomorph.2011.09.006

Lorito S., Calabrese L. Perini L., Cibin U. (2010). *Uso del Suolo della Costa*. In: *Il sistema mare-costa dell'Emilia-Romagna; Bologna: Pendragon*. Monografie ISBN 978-888342847

Merloni N., Piccoli F. (2007). *Comunità vegetali rare e minacciate delle stazioni ravennati del Parco del Delta del Po (Regione Emilia-Romagna)*. Fitosociologia, 44, 67–76.

Merloni N., Rigoni P., Zanni F. (2015). *La vegetazione delle dune litoranee nella Riserva Naturale di Foce Bevano*. In: *Spiagge e dune dell'Alto Adriatico*, Corpo Forestale dello Stato. La Greca Arti Grafiche, Forlì, Italy.

Perini L. e Calabrese L. (a cura di) (2011). *Il sistema mare-costa dell'Emilia-Romagna*. Bologna, Pendragon. Monografie ISBN 978-888342847.

Mitasova H., Overton M., Harmon R.S. (2005). *Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina*. Geomorphology 72, 204–221. Quadro Conoscitivo GIDAC (Strategia Regionale di Gestione Integrata per la difesa e l'adattamento della costa ai cambiamenti Climatici) – Allegato I (2022) https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/il-quadro-conoscitivo-della-strategia-gidac.

Perini L., Calabrese L., Lorito S., Luciani P. (2015). *Il Rischio da mareggiata in Emilia-Romagna: l'evento del 5-6 Febbraio 2015*. Il Geologo Volume n. 53 p. 8-17.

Sburlino G., Bua G., Filesi L., Gamper U., Ghirelli L. (2013). *Phytocoenotic diversity of the N-Adriatic coastal sand dunes—The herbaceous communities of the fixed dunes and the vegetation of the interdunal wetlands*. Plant Sociol., 50, 57–77.

Valentini E., Taramelli A., Filipponi F., Giulio S. (2015). *An effective procedure for EUNIS and Natura 2000 habitat type mapping in estuarine ecosystems integrating ecological knowledge and remote sensing analysis*. Ocean and Coast. Manag., 108, 52–64.

# Le dune del litorale marchigiano (Italia centrale adriatica)

## The dunes of the Marche littoral (Adriatic coastal zone, central Italy)

Carlo Bisci[1,2,3], Gino Cantalamessa[1,2,3], Simona Casavecchia[4], Federico Spagnoli[1,2,3,5], Mario Tramontana[3,6]

[1] Università di Camerino, Scuola di Scienze e Tecnologie, Sezione di Geologia, Camerino (MC)
[2] Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero (GNRAC), Genova
[3] Consorzio Interuniversitario per le Scienze del Mare (CoNISMa), Roma
[4] Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Ancona
[5] CNR, Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie (IRBIM), Ancona
[6] Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, Dipartimento di Scienze Pure e Applicate, Sezione di Geologia, Urbino (PU)

*E-mail*: carlo.bisci@unicam.it (C. Bisci); gino.cantalamessa@unicam.it (G. Cantalamessa); s.casavecchia@univpm.it (S. Casavecchia); federico.spagnoli@cnr.it (F. Spagnoli); mario.tramontana@uniurb.it (M. Tramontana)

**Parole chiave**: dune, cartografia geomorfologica, erosione costiera, monitoraggio, indicatori, banche dati
**Key words**: Coastal dunes, Marche region, Central Adriatic Sea, anthropic impact, coastal erosion

## RIASSUNTO

Viene presentata una sintesi dei risultati di un'analisi condotta in collaborazione con i tecnici della Regione Marche (Italia centrale adriatica), lungo l'intero litorale regionale, al fine di individuare e caratterizzare i relitti delle dune costiere dal punto di vista morfometrico, sedimentologico e botanico-vegetazionale.

L'area di studio si estende per circa 172 Km ed è caratterizzata in massima parte da spiagge ghiaioso-sabbiose, in genere non molto ampie, con l'eccezione delle coste alte dell'area del M. San Bartolo (in prossimità dell'estremità settentrionale della regione) e del Promontorio del M. Conero (nella porzione centrale).

Nel XIX secolo, le dune costiere erano presenti e ben sviluppate alle spalle della quasi totalità delle spiagge marchigiane. Il loro degrado è iniziato nel 1862 con la costruzione della ferrovia adriatica che, data la praticamente costante presenza di rilievi collinari prossimi alla costa, è stata costruita in buona parte lungo i retrospiaggia e, non di rado, direttamente sopra le dune costiere.

Negli ultimi decenni, il litorale in esame è stato assai fortemente modificato in conseguenza della costruzione di una serie quasi continua di opere di difesa rigide di vario tipo (barriere emerse e soffolte, pennelli, moli, foci armate e massicciate aderenti).

Questi interventi, in gran parte iniziati negli anni '60 dello scorso secolo, sono derivati dal grave problema dell'erosione costiera, dovuto principalmente a una notevole riduzione dell'apporto solido fluviale legata ad attività antropiche nei bacini idrografici (soprattutto abbandono delle coltivazioni) e lungo le aste fluviali (principalmente estrazione di inerti dagli alvei e costruzione di dighe e briglie), e sono stati realizzati anche nell'ottica di salvaguardare lo sfruttamento economico in rapida espansione del litorale, che ha portato anche alla costruzione di strade e strutture turistico-balneari direttamente lungo il retrospiaggia.

La generale mancanza di una pianificazione d'area vasta e di studi approfonditi sulla dinamica dei litorali ha fatto sì che invece di risolvere i problemi tali interventi abbiano comportato una migrazione sottoflutto (ovvero, verso Nord) dei problemi erosivi, che ha quindi richiesto ulteriori opere di difesa fino a raggiungere un quasi totale irrigidimento della linea di costa.

Attualmente, rimangono purtroppo solo alcuni lembi, quasi sempre di scarsa estensione e assai fortemente degradati ed erosi, di dune costiere che andrebbero comunque protetti e valorizzati; sono inoltre stati individuati anche siti poco disturbati dall'attività umana che, se opportunamente gestiti, potrebbero permettere la formazione di nuove dune costiere.

Data la notevole rilevanza di questi corpi sedimentari – tanto per la loro funzione di protezione del territorio alle loro spalle dal moto ondoso, nel corso degli ultimi anni caratterizzato da un aumento di frequenza e intensità delle mareggiate, quanto per il loro valore ecologico – sono necessari accurati e continui monitoraggi abbinati ad azioni finalizzate alla loro preservazione e crescita, nonché alla reintroduzione delle fitocenosi psammofile fondamentali per il loro sviluppo e consolidamento.

## ABSTRACT

A synthetic report is presented about the results of an analysis carried out together with technicians of the Marche Region (Adriatic side of Central Italy) along all the regional littoral stretch and aimed to identify and characterize from a morphometric, sedimentological and botanical-vegetational point of view the remnants of coastal dunes.

The study area is about 172 Km long and is mostly characterized by mainly not very wide gravelly-sandy beaches: the only exceptions are the high coasts of the San Bartolo Mt. (close to the northern boundary of the region) and the Conero Mt. headland areas (in its central zone).

During the XIX century, coastal dunes were everywhere present and well developed at the back of almost all the Marche beaches. Their deterioration started in 1862 with the construction of the Adriatic Railway: in fact, due to the almost constant presence of hills close to the coast, it has often been built immediately at the back of beaches, and not rarely right over coastal dunes.

During the last decades, the studied littoral has been very heavily modified as a consequence of the construction of an almost continuous series of different types of rigid defense works (emerged and submerged barriers, groynes, piers, armed river mouths and adherent revetments). These interventions, generally started in the 1960s. They addressed the problem of coastal erosion, mostly deriving from a notable reduction in river solid load due to anthropic activities in the river basins (especially abandonment of crops) and along the streams (mostly extraction of gravel from the riverbeds and construction of dams and dams), also aiming to protect the rapidly expanding economic exploitation of the coast, which has also led to the construction of roads and facilities directly on the back shore.

The general lack of large area planning and detailed studies on coastal dynamics has meant that instead of solving the problems, these interventions have led to downstream migration (i.e. northwards) of the erosive problems, which have therefore required further interventions until an almost total stiffening of the coastline has been achieved.

Unfortunately, only a few strips of coastal dunes currently remain, almost always having limited extension and being very heavily degraded and eroded, which should anyhow be protected and valorized. Furthermore, sites not very disturbed by human activity have also been identified, which, if appropriately managed, could allow the formation of new coastal dunes.

Given the considerable importance of these sedimentary bodies – both for their function of protection of the territory behind from wave motion, during the last years characterized by an increase in frequency and intensity of storm surges, and for their ecological value – it is essential to carry out an accurate and continuous monitoring combined with actions aimed to their preservation and growth, as well as to the reintroduction of the psammophilous phytocenoses, fundamental for their development and consolidation.

## INTRODUZIONE

Il litorale di competenza della Regione Marche (Italia centrale adriatica) si estende per oltre 170 Km, in massima parte caratterizzato da coste basse sabbiose e/o ghiaiose.

L'evoluzione della costa in esame, dopo una serie di alternanze irregolari di fasi di progradazione e arretramento controllate esclusivamente da fasi climatiche, da circa un paio di millenni è maggiormente controllata dalle attività antropiche che nei tempi recenti hanno portato a un forte arretramento della linea di riva a cui si è cercato di porre rimedio con la costruzione di innumerevoli opere di difesa rigide che hanno condotto all'irrigidimento della quasi totalità del litorale.

I vasti sistemi di dune costiere che fino a circa un secolo e mezzo orsono erano diffusamente presenti lungo praticamente tutti i tratti di retrospiaggia, con particolare estensione in prossimità delle foci fluviali, sono ormai quasi completamente distrutti e ne sopravvivono solo pochi lembi residui, fortemente erosi e con habitat naturali assai degradati.

Data la notevole rilevanza ecologica e la necessità di protezione di questi corpi sedimentari (Macchia *et al.*, 2005) si è quindi provveduto, in collaborazione con i tecnici della Regione Marche, a stilare un inventario dei lembi residui di dune costiere e dei siti che essendo poco alterati dall'azione umana possono potenzialmente ospitarne di nuove, rilevandone anche le caratteristiche morfometriche, sedimentologiche e botanico-vegetazionali, nell'ottica di favorirne la protezione e, ove possibile, lo sviluppo.

## AREA DI STUDIO

Il litorale marchigiano si estende lungo il tratto centro-occidentale del Mare Adriatico per circa 172 Km di cui circa 150 caratterizzato da spiagge ghiaiose e/o sabbiose, localmente aventi alle spalle falesie inattive; ad esse si aggiungono le falesie attive del M. San Bartolo, in prossimità del confine con la Regione Emilia-Romagna a Nord, e le coste alte del promontorio del M. Conero, al centro della regione (Bisci e Dramis, 1991; Buli, 1994; CNR-MURST, 1997; AA.VV, 2006; Biondi e Morbidoni, 2010; Dramis *et al.*, 2011; Regione Marche, 2019; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

Dal punto di vista morfodinamico, possono essere individuati tre settori (Fig. 1) (Bisci *et al.*, 2021b):

- le coste basse della porzione di litorale a nord del porto di Ancona esposte verso NE circa (circa 97 Km), con l'eccezione delle falesie attive del M. San Bartolo, ubicate in prossimità del confine con la Regione Emilia-Romagna;
- le falesie direttamente a contatto con il mare alternate a pocket beaches con alle spalle falesie interessate da fenomeni franosi del promontorio del M. Conero, tra il porto di Ancona e quello di Numana (circa 19 Km);
- le spiagge della costa "Picena" a sud del porto di Numana esposte verso ENE circa (56 Km).

Il mare dominante (ovvero la direzione da cui provengono le mareggiate più frequenti) è da SE (generato da venti di Scirocco non molto forti ma frequenti durante le stagioni calde e con fetch abbastanza ampio), mentre il mare regnante, ovvero la direzione da cui provengono le mareggiate più intense, è da N–NNE, generato da venti di Bora o Tramontana, molto forti soprattutto nel periodo invernale (Fig. 1) (APAT, 2004; Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

Fatta eccezione per l'area del M. Conero, in cui le pocket beaches sono alimentate dai fenomeni franosi che interessano le falesie retrostanti, le spiagge della regione sono rifornite naturalmente dai detriti portati dei fiumi che sfociano lungo il litorale (Bisci *et al.*, 2021b).

Tutti i corsi d'acqua principali si originano dai rilievi prevalentemente calcarei o calcareo marnosi (Lias – Oli-

gocene) dell'Appennino Umbro-Marchigiano e scorrono per il loro tratto medio-terminale sui termini terrigeni più recenti (Miocene – Pleistocene) del Bacino Marchigiano Esterno (Figg. 1 e 2) (Centamore e Deiana, 1986; Cantalamessa *et al.*, 1982, 1986; Centamore *et al.*, 1991; Di Celma e Cantalamessa, 2012; Di Celma *et al.*, 2013). Questi ultimi, essendo in prevalenza formati da materiale fine (pelitici e subordinatamente sabbiosi), non forniscono materiale in grado di contribuire in modo efficace al ripascimento dei litorali (Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

Il trasporto solido litoraneo prevalente è da Sud verso Nord e si inverte solo durante le intense ma assai meno frequenti mareggiate invernali da Bora o Tramontana (Bisci *et al.*, 2021b, 2023). Comunque, raramente (0.02%) le onde raggiungono i 5 m di altezza (Bisci *et al.*, 2023), anche se nell'ultimo periodo le mareggiate più intense si stanno facendo progressivamente più frequenti in conseguenza dell'aumento di energia del sistema Troposfera-Idrosfera indotto dal cambiamento climatico in atto (Bisci, 2010).

Durante l'ultima fase glaciale (apice del Würm, circa 20'000 anni fa), le acque dell'Adriatico si trovavano all'incirca 120 m al di sotto del livello attuale per cui tutti i fiumi marchigiani erano affluenti di destra del F. Po, che sfociava in mare al largo dell'Abruzzo, alcuni chilometri a sud dell'attuale foce del F. Tronto che marca il margine meridionale della regione Marche (Fig. 3) (Ferretti *et al.*, 1986; Trincardi e Correggiari, 2000; Orombelli *et al.*, 2004; Ridente e Trincardi, 2006; Storms *et al.*, 2008; Dinelli *et al.*, 2013; Spagnoli *et al.*, 2014; Trincardi *et al.*, 2014; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

Date le condizioni di resistasia climatica, i versanti erano in gran parte denudati e producevano quindi enormi quantità di detriti che andavano a riempire i fondivalle fluviali per poi in parte raggiungere il mare (Lipparini, 1939; Villa, 1942; Nesci e Savelli, 1986; Alessio *et al.*, 1987; Nesci *et al.*, 1990; Bisci e Dramis, 1991; Coltorti, 1991, 1997; Coltorti e Farabollini, 2008; Acciarri *et al.*, 2016, 2023; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

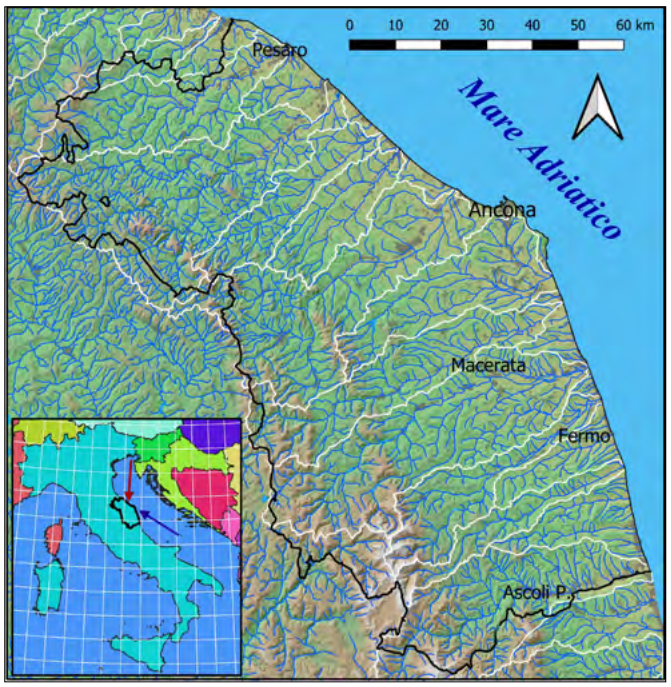



Figura 1. Mappa fisiografica della Regione Marche con delimitazione dei principali bacini idrografici, dei tre settori morfodinamici costieri e delle direzioni prevalenti delle mareggiate (da Bisci *et al.*, 2023, modificata).

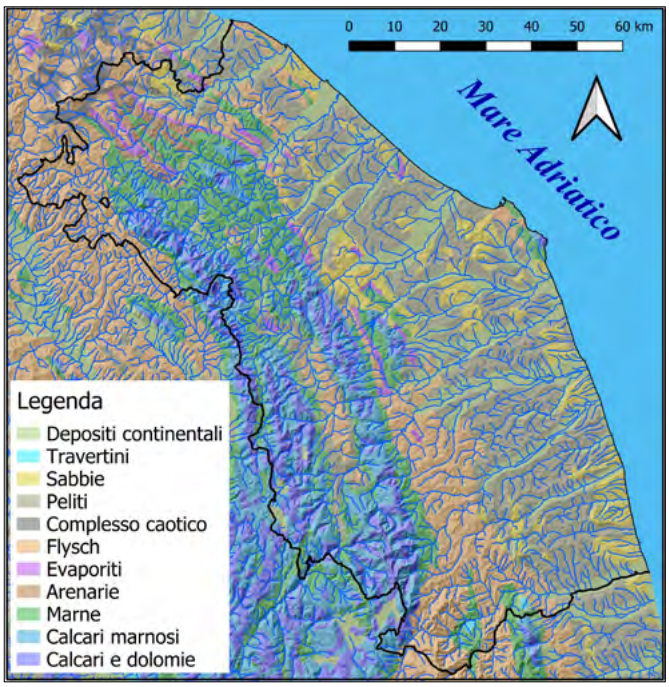



Figura 2. Schema litologico della regione Marche (da Bisci *et al.*, 2023, modificata).

## EVOLUZIONE DEL LITORALE MARCHIGIANO

La costa occidentale adriatica, venutasi a formare dopo l'emersione dei primi rilievi dell'attuale Appennino Umbro-Marchigiano in conseguenza di una fase tettonica compressiva, è progressivamente avanzata verso ENE a partire dall'inizio del Miocene (Calamita e Deiana, 1986), anche se con importanti alternanze, dovute a oscillazioni climatiche, di fasi di progradazione più o meno veloce (nei periodi più freddi, durante i quali il livello del mare si è abbassato in seguito alla formazione di ampie masse glaciali continentali) e di arretramento (quando il clima più mite ha portato allo scioglimento degli enormi accumuli di ghiaccio).

Il successivo clima caldo e umido dell'Olocene (Optimum Climatico Olocenico: tra i 9'500 e i 5'500 anni fa, Fig. 4) ha portato a un relativamente rapido e molto intenso innalzamento del livello del mare che ha quindi raggiunto il livello attuale (trasgressione Flandriana: circa 5'000 anni fa), sommergendo talora anche per parecchi chilometri i tratti terminali delle valli fluviali formando ampi e stretti golfi (coste a *rias*) e *pocket beaches* sabbioso-ghiaiose, ubicate alla terminazione delle valli alluvionali. Queste erano situate pochi chilometri nell'entroterra rispetto a falesie soggette ad arretramento per frana in conseguenza dello scalzamento alla base prodotto dal moto ondoso (Speranza, 1934; Buli e Ortolani, 1947; Coltorti 1991, 1997; D'Alessandro *et al.*, 2001; Coltorti e Farabollini, 2008; Mic-

cadei *et al.*, 2011; Acciarri *et al.*, 2016, 2023; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

Grazie alle condizioni di biostasia, i versanti (con esclusione delle vette più elevate e delle scarpate più ripide) sono stati completamente colonizzati dalla vegetazione che ha drasticamente ridotto il tasso di erosione del suolo inducendo i corsi d'acqua a incidere il materasso alluvionale precedentemente deposto (Bisci e Dramis, 1991; Gasparini e Tabacchi, 2011; Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b).




FIGURA 3. Mappa paleoambientale dell'Italia durante il massimo glaciale del Würm (Orombelli *et al.*, 2004).

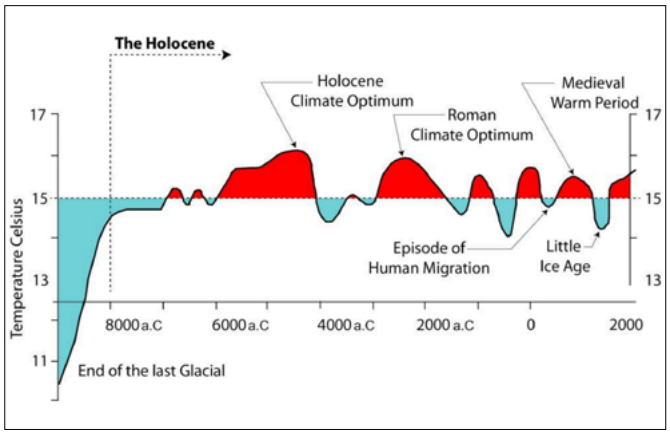



FIGURA 4. Andamento delle temperature nell'emisfero settentrionale durante gli ultimi 11'000 anni (da Dansgaard *et al.*, 1969, modificato).

Alla fine dell'età del bronzo, un deterioramento climatico (Fig. 4) porta a una decrescita forestale a cui si lega un incremento del carico solido fluviale, in conseguenza del quale si sviluppano cordoni litorali, ubicati sul prolungamento delle falesie, che delimitano estese lagune (AA. VV., 2006). Le foci dei fiumi in epoca romana erano ancora molto arretrate e i rilievi costieri hanno subito un'intensa erosione a causa dell'avanzamento del mare legato all'Optimum climatico romano (AA.VV., 2006; Fig. 4)

La prima fase storica di progradazione delle linee di riva si è avuta in epoca romana e, a differenza delle precedenti, non è stata indotta da modificazioni del clima (che si è mantenuto sempre abbastanza caldo e umido, consentendo il mantenimento di condizioni di biostasia, Fig. 4). Infatti essa è derivata dalle vaste deforestazioni (Calderoni *et al.*, 1989), con conseguente incremento dei tassi di erosione dei versanti, che hanno accompagnato la forte crescita demografica (che ha raggiunto il suo massimo intorno al I secolo d.C.) e, quindi, il sempre maggiore bisogno di terre coltivabili e di legname. In conseguenza di questo impatto antropico sui bacini, i fiumi hanno iniziato a riempire i *rias* costruendo depositi alluvionali lungo i fondivalle e facendo progressivamente avanzare le linee di riva, alle cui spalle si venivano spesso a formare lagune, fino a qualche centinaio di metri dal litorale attuale (Speranza, 1934; Alfieri *et al.*, 1966; Vita-Finzi, 1969; Ortolani e Alfieri, 1978; Bisci e Dramis, 1991; Coltorti, 1991; Pranzini, 1994, 1995; Williams, 2000; Galiè, 2001; Hughes, 2011; Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

Alla fine dell'età romana, il peggioramento del clima (Hegerl *et al.*, 2007; Fig. 5) ha portato a straripamenti di molti fiumi, alcuni dei quali cambiano corso, e alla prosecuzione del seppellimento di siti romani sotto uno spessore consistente di alluvioni (AA.VV., 2006).

I gravi problemi socioeconomici in parte a esso associati hanno poi determinato un sensibile calo della popolazione con conseguente abbandono di molte aree coltivate, progressivamente ricolonizzate dalla vegetazione naturale. La ridotta produzione di detriti lungo i versanti che ne è derivata ha portato a un incremento del potere erosivo dei corsi d'acqua con inversione della tendenza evolutiva delle coste, che hanno interrotto la precedente fase di progradazione (Pranzini, 2001; Materazzi *et al.*, 2010; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

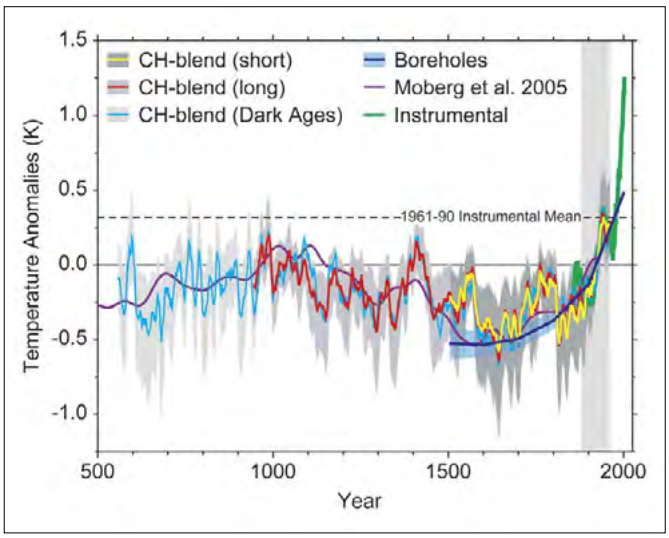



FIGURA 5. Andamento delle temperature durante gli ultimi quindici secoli (da Hegerl *et al.*, 2007).

In seguito, il clima è tornato a migliorare (Optimum Climatico Medievale, intorno all'inizio del XII secolo; Hegerl *et al.*, 2007; Fig. 5) e la popolazione ha ripreso a crescere, operando disboscamenti e ampliando l'estensione dei terreni coltivati (Pranzini, 1989; Coltorti, 1997; Williams, 2000; Abulafia, 2004), incrementando così l'erosione del suolo e, di conseguenza, si verifica un abbassamento dei letti fluviali, si svuotano le lagune e gli stagni costieri, mentre le foci fluviali e subordinatamente l'intero litorale prendono ad avanzare nuovamente (Pranzini, 1994; Coltorti, 1997; AA.VV., 2006; Materazzi *et al.*, 2010; Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

Una successiva fase fredda (Piccola Età Glaciale: a partire dall'inizio del XIV secolo; Hegerl *et al.*, 2007; Fig. 5) ha iniziato a ridurre nuovamente la popolazione; la Peste Nera (1363) ha poi ulteriormente peggiorato la situazione demografica, quasi dimezzando la popolazione europea. Il conseguente brusco calo della domanda di cibo e legname ha quindi portato a una nuova espansione dei boschi, con conseguente riduzione del carico solido fluviale che ha indotto un arretramento generalizzato della linea di riva (Grove, 2001; Ladurie, 2004; Materazzi *et al.*, 2010; Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

In seguito, la popolazione ha iniziato lentamente a crescere grazie anche al riscaldamento che ha raggiunto il massimo verso l'inizio del XV secolo; questo incremento demografico è poi proseguito, nonostante il progressivo debole raffreddamento che ha raggiunto il suo culmine verso la metà del XVII secolo (Fig. 5; Laduire, 2004; Hegerl *et al.*, 2007), grazie anche al miglioramento delle condizioni socioeconomiche. Questo ha portato a sempre maggiori deforestazioni (Arzeni *et al.*, 2012) che hanno indotto una lenta ma progressiva progradazione delle foci fluviali e quindi dei litorali con la costruzione di spiagge ghiaiose e/o sabbiose poco ampie a protezione delle falesie ormai inattive (Aringoli *et al.*, 2003; Materazzi *et al.*, 2010; Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b), alle cui spalle iniziavano a formarsi sistemi dunali sempre più estesi (Bisci *et al.*, 2021b).

Fino alla metà del XIX secolo, infatti, quasi tutte le spiagge della regione erano bordate all'interno da dune costiere abbastanza sviluppate (Paolucci, 1890-91; De Nicolò, 1998).

Il primo impatto antropico diretto sulle dune costiere e, localmente, sulle spiagge è avvenuto nel 1862-63 in seguito alla realizzazione della Ferrovia Adriatica che in massima parte è stata costruita proprio lungo il retrospiaggia (Fig. 6), spesso direttamente sopra le dune e che, localmente, ha comportato anche la costruzione di opere di difesa rigide aderenti (massicciate) che hanno alterato la dinamica naturale del flusso di sedimenti lungo riva, in-

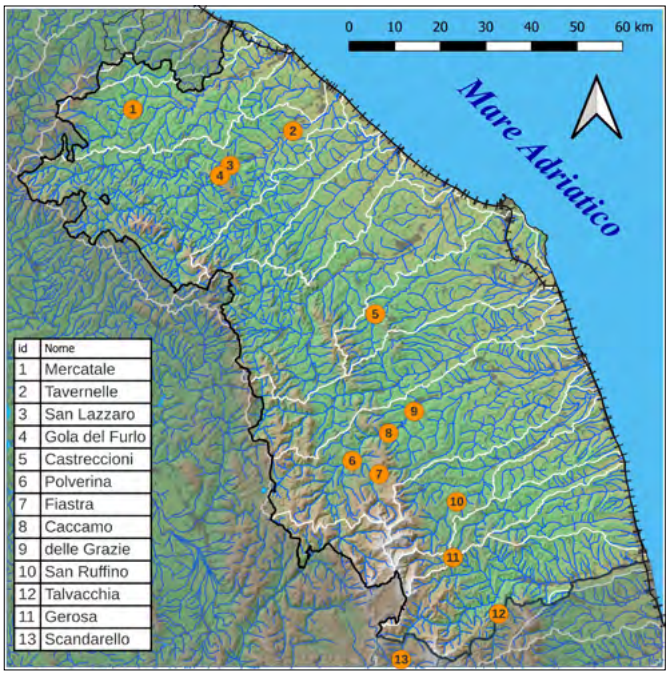
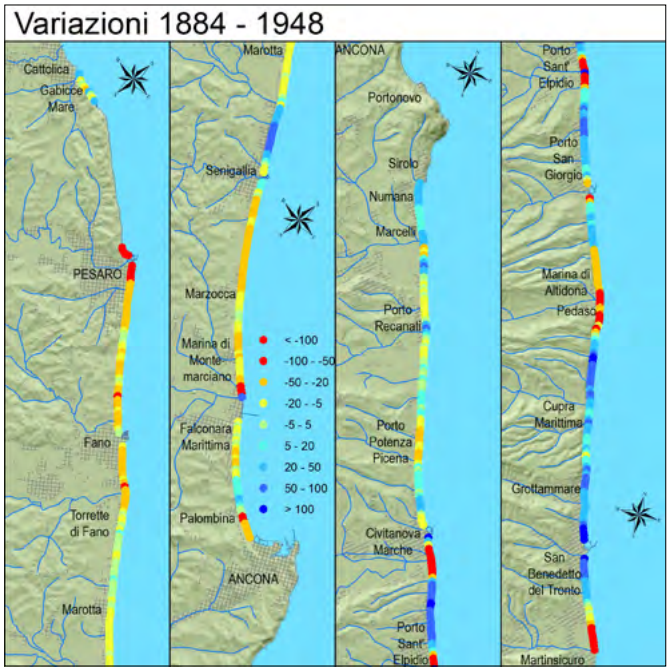



Figura 6. Tracciato della Ferrovia Adriatica e ubicazione delle dighe (Bisci *et al.*, 2023).



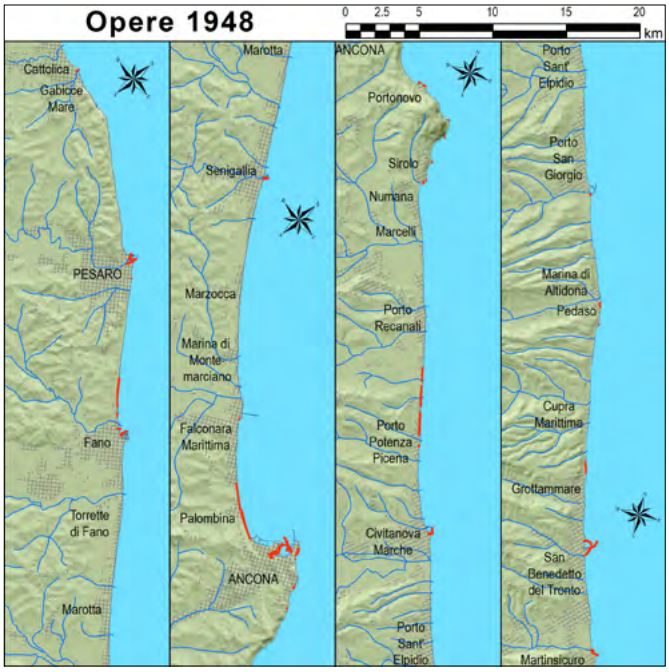




Figura 7. Variazioni della linea di costa intervenute tra il 1894 e il 1948 (a sinistra) e distribuzione delle opere costiere al 1948, in rosso (a destra) (da Bisci *et al.*, 2023, modificata).

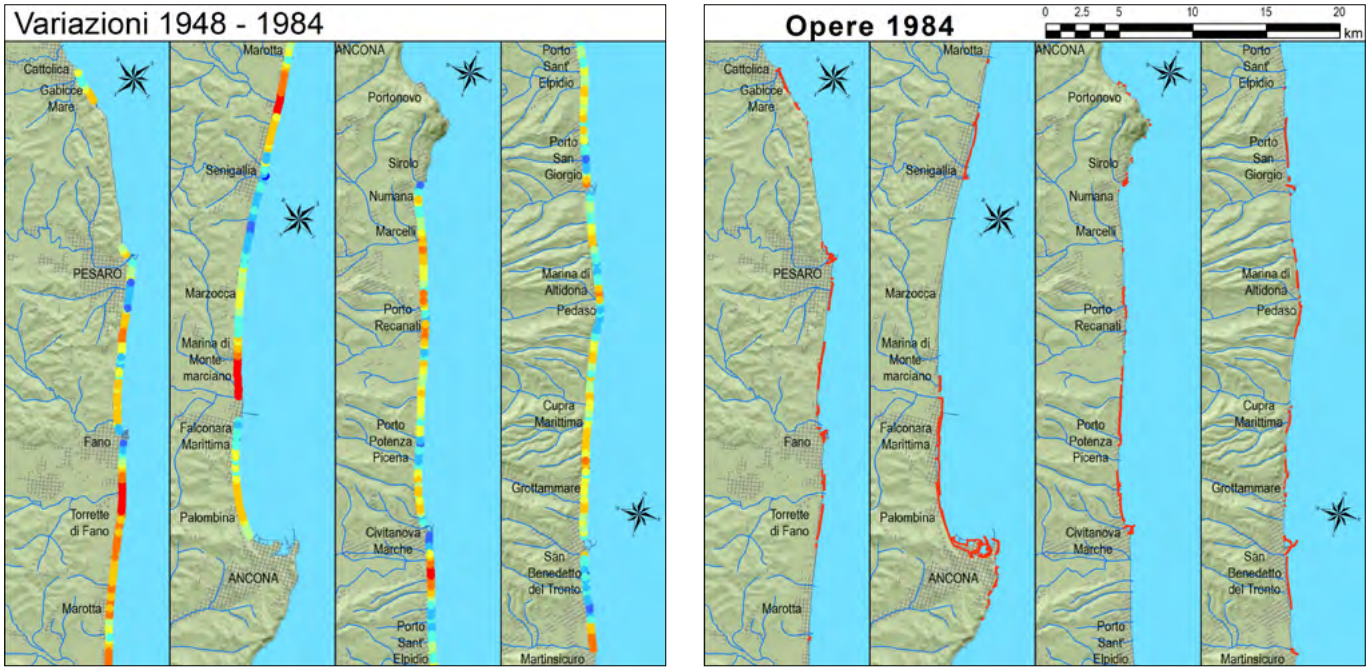



FIGURA 8. Variazioni della linea di costa intervenute tra il 1948 e il 1984 (a sinistra) e distribuzione delle opere costiere al 1984, in rosso (a destra) (da Bisci *et al.*, 2023, modificata).

ducendo limitati fenomeni di erosione sottoflutto, ovvero, verso Nord (Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

All'inizio del secolo scorso lungo i fiumi marchigiani è poi iniziata la costruzione di dighe e briglie (Fig. 6) che hanno sensibilmente ridotto il carico solido fluviale (i cui canali nel tratto terminale sono non di rado stati rettificati e imbrigliati tra stretti argini) e, quindi, il ripascimento naturale dei litorali. Questi, comunque, nel complesso risultavano ancora stabili grazie anche alla progressiva modernizzazione delle pratiche agricole. A ciò si è aggiunta la costruzione delle prime opere di protezione portuali (moli e pennelli) che, intercettando il flusso di sedimenti lungo riva, ha prodotto locali fenomeni di accrescimento lungo i litorali adiacenti i porti a Sud e di erosione lungo quelli a Nord (Bisci *et al.*, 1992; Materazzi *et al.*, 2010; Giacopetti *et al.*, 2015; Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

Fino all'ultimo dopoguerra, comunque, la linea di riva si è nel complesso mantenuta stabile, anche se con locali fenomeni di avanzamento o di erosione anche di grande entità (Fig. 7; Bisci *et al.*, 2021b, 2023): è infatti solo con il boom economico degli anni '60 che l'impatto antropico ha efficacemente iniziato a indurre fenomeni diffusi di erosione costiera.

A produrre il recente arretramento generalizzato della linea di riva (Fig. 8; Bisci *et al.*, 2021b) hanno contribuito molti fattori, quali: la costruzione di diversi ulteriori sbarramenti fluviali (dighe e briglie; Bisci *et al.*, 2021b, 2023; Fig. 6), l'abbandono delle coltivazioni (soprattutto lungo

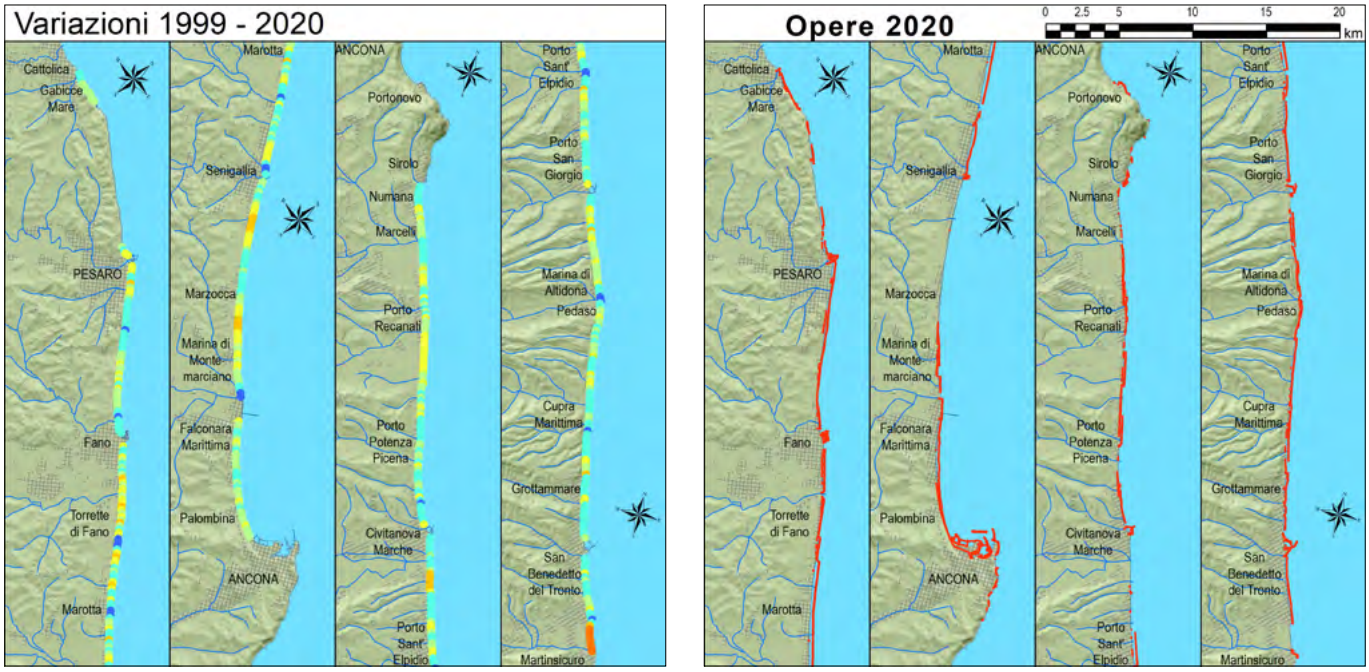



FIGURA 9. Variazioni della linea di costa intervenute tra il 1999 e il 2020 (a sinistra) e distribuzione delle opere costiere al 2020, in rosso (a destra) (da Bisci *et al.*, 2023, modificata).

i versanti più acclivi) dovuto alla richiesta di mano d'opera delle industrie e, soprattutto, la diffusa pratica di estrazione di inerti dagli alvei fluviali (tardivamente vietata solo dopo una decina di anni) per sopperire alla richiesta generata dall'incremento delle attività edili e infrastrutturali (Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b, 2023; Beleggia, 2023).

Contemporaneamente, il rapido sviluppo del turismo balneare e l'espansione economica hanno portato a una rapida e spesso incontrollata urbanizzazione in prossimità della costa, dove edifici, strade e strutture turistiche sono stati spesso costruiti a breve distanza dalla battigia, molto spesso distruggendo le dune costiere esistenti (Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

I diffusi fenomeni di erosione dei litorali, divenuti economicamente molto rilevanti in termini di perdita di territorio, hanno portato alla costruzione, spesso in modo estemporaneo, di varie opere di protezione rigide (barriere soffolte ed emerse, pennelli, massicciate aderenti ecc.; Fig. 9) che però, data la mancanza di analisi di area vasta e accurati studi della locale dinamica dei litorali, pur riuscendo in genere a proteggere il tratto di spiaggia in arretramento, quasi sempre hanno indotto fenomeni di erosione sottoflutto, spesso ancor più intensi, spingendo alla realizzazione di nuovi analoghi interventi a inseguire la continua progressione verso Nord dei fenomeni erosivi, alterando così sempre più la naturalità della linea di costa (Aquater, 1982; Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b).

La sempre maggiore estensione delle opere di difesa rigide ha portato pertanto alla creazione di un litorale ormai in massima parte artificiale, anche se nel complesso è riuscita a limitare i fenomeni erosivi a piccole porzioni della costa (Fig. 9), dove probabilmente si continuerà a cercare di risolvere i problemi con ulteriori strutture rigide. Molto rari sono stati invece i ripascimenti artificiali, per di più spesso purtroppo inefficaci a causa della granulometria del materiale sversato e/o dell'entità degli interventi (Acciarri *et al.*, 2016; Bisci *et al.*, 2021b, 2023).

## LE DUNE E GLI HABITAT COSTIERI

Nel complesso i fenomeni erosivi che hanno caratterizzato gli ultimi decenni, che tra l'altro hanno localmente causato la rimozione dalle spiagge del materiale più fine utile per la costruzione dei depositi dunali, combinati con l'intensa antropizzazione dei litorali per sfruttamento turistico hanno portato alla quasi completa distruzione del complesso sistema di dune costiere che caratterizzava il litorale marchigiano prima del sempre crescente impatto antropico recente (Bisci *et al.*, 2021a, 2023).

Di conseguenza, come risulta da uno studio a opera degli scriventi con la collaborazione dei tecnici della Regione Marche (Bisci *et al.*, 2021a, 2023) nel quadro dei lavori necessari per la stesura del nuovo Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere (Piano GIZC; Regione Marche, 2019), al 2020 erano presenti solo 35 lembi di questi fondamentali corpi sedimentari, la cui estensione complessiva non raggiunge neppure i 65 ettari. Si tratta praticamente sempre di piccoli depositi (in genere ampi al massimo 20-25 m e alti 2 m) ubicati intorno ai 20-30 m dalla linea di costa e minacciati sia dal moto ondoso, caratterizzato da una sempre maggiore frequenza e intensità di mareggiate estreme in conseguenza del cambiamento climatico in atto, sia dalle attività antropiche, fortemente erosi e con habitat assai frammentati e compromessi (Fig. 10; Bisci *et al.*, 2021a, 2023).

Dal punto di vista sedimentologico si tratta di depositi di sabbie fini calcareo-silicee a granulometria abbastanza uniforme.

Dal punto di vista botanico-vegetazionale, in assenza di particolari fenomeni di disturbo antropico, un sistema dunale, andando dalla spiaggia verso l'interno, può essere schematizzato come segue (AA.VV, 1981; Gehu *et al.*, 1984; Biondi, 1999; Gehu e Biondi, 1994; 1996; Izzi *et al.*, 2007; Bisci *et al.*, 2021a):

- zona afitoica (spiaggia priva di comunità vegetali);
- comunità effimere e pioniere a *Cakile maritima* Scop. e *Salsola kali* L.;
- comunità perenni delle dune embrionali con *Echinophora spinosa* L. e *Thinopyrum junceum* (L.) A. Love (syn:*Agropyron junceum* (L.) P. Beauv.);
- comunità di duna mobile a *Calamagrostis arenaria* (L.) Roth subsp. *arundinacea* (Husn.) Banfi, Galasso & Bartolucci (syn: *Ammophila arenaria* (L.) Link), specie nota per la sua azione consolidatrice delle dune;
- duna fissa;
- retroduna.

Lungo il litorale marchigiano purtroppo solo sporadicamente oramai si rinviene una seppur minima successione delle comunità psammofile – che quasi sempre si arresta allo stadio dell'agropireto (dune embrionali), mentre solo in pochissimi siti si rinviene ancora l'ammofileto (dune mobili) – dato che la vegetazione dei litorali è stata profondamente alterata dall'uomo nel corso degli ultimi decenni e continua a esserlo nonostante sia stata più volte messa in evidenza la fragilità di tali ecosistemi e la loro quasi completa scomparsa nella Regione Marche (Biondi *et al.*, 1992;

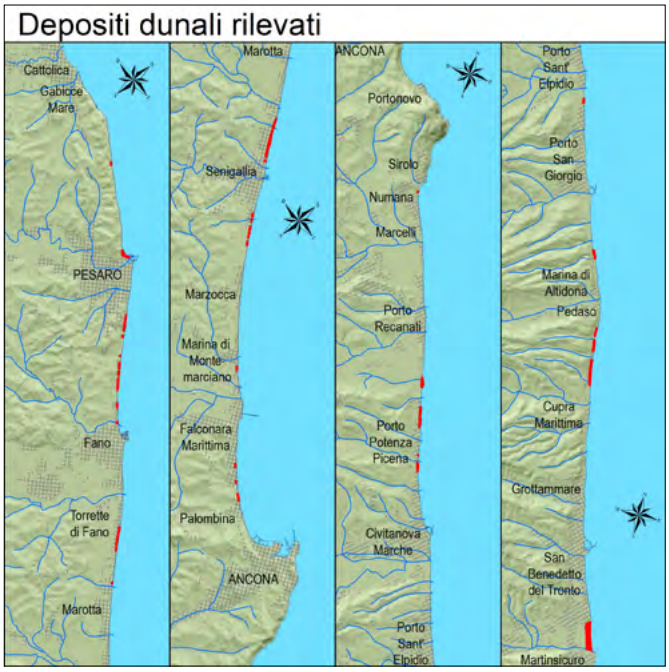



Figura 10. Distribuzione dei lembi residui di dune costiere, in rosso (da Bisci *et al.*, 2021a, modificata).

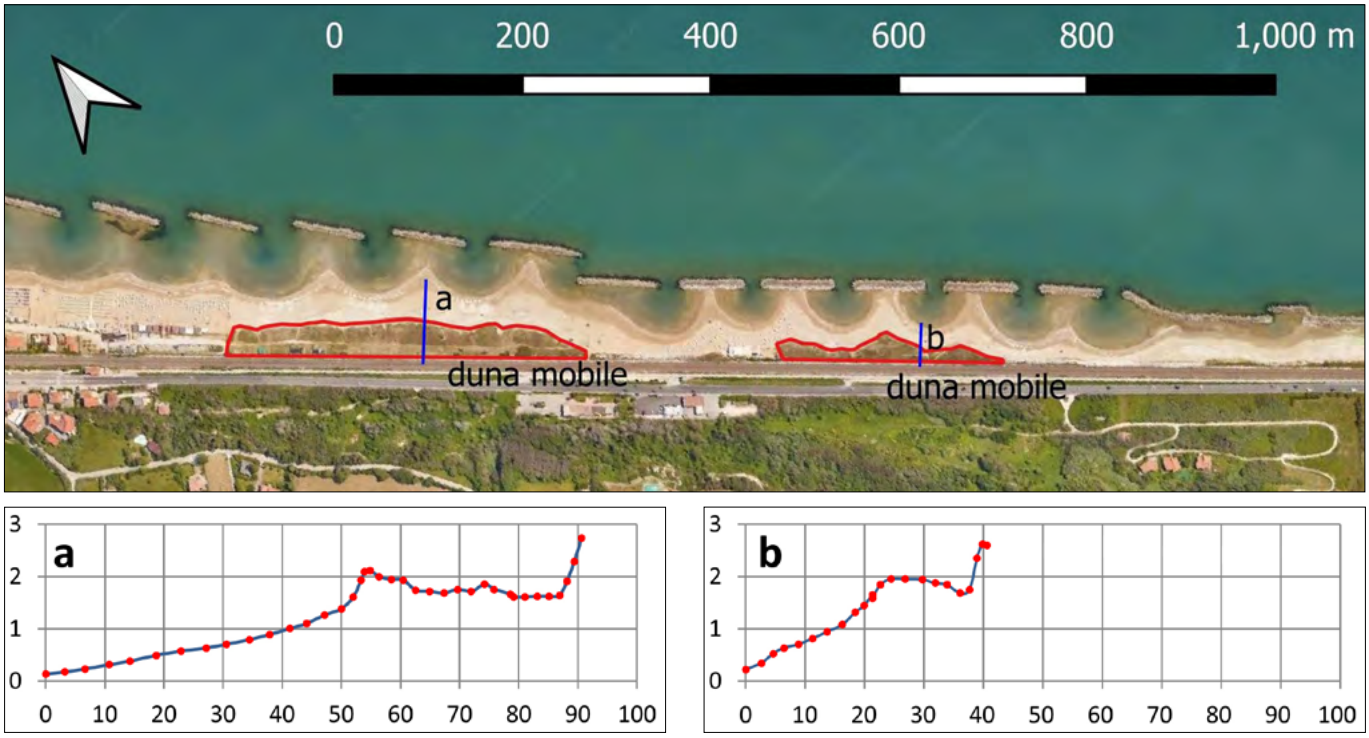



FIGURA 11. Area dunale di Fosso Sejore - Baia del Re, in alto, e relativi profili topografici, in basso (da Bisci *et al.*, 2021a, ridisegnata).

Biondi e Baldoni, 1996; Biondi e Morbidoni, 2010; Cerrano *et al.*, 2014; Bisci *et al.*, 2021a).

Fa eccezione la Riserva Naturale Regionale Sentina dove, grazie alla conservazione delle condizioni tipiche delle coste basse dovuta al fatto che non vi sono state costruite infrastrutture, a differenza di altrove (strade, ferrovia, edifici ecc.), si è mantenuta la morfologia tipica che ospita ancora gli ambienti di duna e retroduna, seppure alterata e in fase di erosione (Biondi *et al.* 1988; Biondi e Formica, 2000; Bisci *et al.*, 2021a).

La Direttiva europea 92/43/CEE riconosce, nell'Allegato I, tra gli habitat da conservare, un'intera categoria denominata "Dune marittime e interne" dedicata agli habitat dunali, oltre ad un altro habitat denominato "Vegetazione annua delle linee di deposito marine" nell'ambito della categoria "Habitat costieri e vegetazione alofitiche", sottolineando in tal modo il grave rischio di scomparsa cui gli ecosistemi costieri sono sottoposti (European Commission, 2003; Carranza *et al.*, 2005; Biondi *et al.*, 2013).

Come accennato, la vegetazione tipica delle dune si presenta molto frammentata, impoverita e fortemente alterata. Le fitocenosi più comuni sono quelle annuali come *Cakile maritima* e *Salsola kali,* che costituiscono l'associazione *Salsolo kali - Cakiletum maritimae* Costa e Manzanet 1981 corr. Rivas-Martínez *et al.* 2002, spesso compenetrata da specie nitrofile, talora esotiche. Questa fitocenosi viene riferita all'Habitat 1210 "Vegetazione annua delle linee di deposito marine". Le cenosi perenni, come le associazioni *Echinophoro spinosae - Agropyretum juncei* Géhu 1987 e *Echinophoro spinosae - Ammophiletum arenariae* (Br.-Bl. 1933) Géhu, Rivas-Martinez, R. Tx. 1972, sono più rare, in particolare la seconda riconosciuta in pochi siti dunali (Bisci *et al.*, 2021a). La prima rappresenta tipicamente l'Habitat 2110 "Dune embrionali mobili" mentre la seconda l'Habitat 2120 "Dune mobili del cordone litorale, con presenza di *Ammophila arenaria* (dune bianche)".

Tra i tratti di spiaggia che ancora presentano lembi di dune abbastanza estesi sono particolarmente significativi



FIGURA 12. Duna di Fosso Sejore – Baia del Re e spiaggia antistante. Sullo sfondo la falesia relitta del Colle Ardizio.



FIGURA 13. In primo piano, aggruppamento a *Cyperus kalli*.

quelli ubicati nell'area di Fosso Sejore – Baia del Re (litorale tra Fano e Pesaro) e quelli presenti lungo la costa di competenza della Riserva Regionale Naturale della Sentina (all'estremo sud della Regione), che di seguito vengono sinteticamente illustrati.

La prima di queste due aree dunali, ubicata tra Pesaro e Fano nella porzione settentrionale della Regione all'interno del SIC IT5310007 "Litorale della Baia del Re", oltre che della ZPS IT5310024 "Colle San Bartolo e litorale pesarese". Qui sono presenti due corpi sedimentari, il primo dei quali ha una lunghezza di circa 380 m e un'ampiezza di circa 40 m mentre il secondo, ubicato circa 200 m più a SE è lungo circa 240 m e ampio tra i 10 e i 30 m (Fig. 11). Entrambi sono ubicati alle spalle di una spiaggia sabbiosa poco inclinata, difesa da barriere emerse distaccate discontinue con evidenti tombolizzazioni costruite a circa 40-60m dalla battigia. La sommità di entrambe le dune si presenta irregolarmente vegetata e l'intero corpo sedimentario è disturbato dall'attività antropica (Fig. 12).

Nell'area sono presenti sei diverse tipologie di vegetazione:

- vegetazione annuale dell'associazione *Salsolo-Cakiletum* (Habitat 1210) sviluppantesi subito dopo la zona afitoica della spiaggia;
- aggruppamento a *Cyperus kalli* nella duna mobile (Fig. 13);
- formazione a dominanza di *Spartina versicolor* nella parte più interna in assenza di movimento di sabbia, accompagnata da un'abbondante presenza di *Cyperus kalli* nei settori più avanzati;
- nei settori più stabili con sabbia compatta e strato di muschi e piante annuali secche è presente l'associazione *Echinophoro spinosae-Agropyretum juncei* (Habitat 2110);
- duna embrionale con l'associazione *Ambrosio coronopifoliae-Lophochloetum pubescentis*;
- vegetazione annuale primaverile dell'associazione *Sileno coloratae-Vulpietum fasciculatae* (Habitat 2230).

L'area dunale della Riserva Regionale Naturale della Sentina (ubicata all'estremo meridionale della Regione, nel territorio di San Benedetto del Tronto nell'ambito della ZSC IT5340001 "Litorale di Porto d'Ascoli" e dell'omonima ZPS IT5340001) è la più estesa, coprendo un'area di circa 44 ha alle spalle di una spiaggia sabbioso ghiaiosa non protetta la cui ampiezza varia tra i 10 e i 70 m circa (Fig. 14; Bisci *et al.*, 2021a).

Questo tratto di litorale si comporta come una *pocket* beach, essendo delimitato a Sud dalla foce (armata con un pennello in destra idrografica, che blocca il flusso di sedimenti con mareggiate da Scirocco) del F. Tronto, che ha un trasporto solido efficace quasi inesistente, e a Nord dalla spiaggia di Porto d'Ascoli, protetta da una lunga serie di

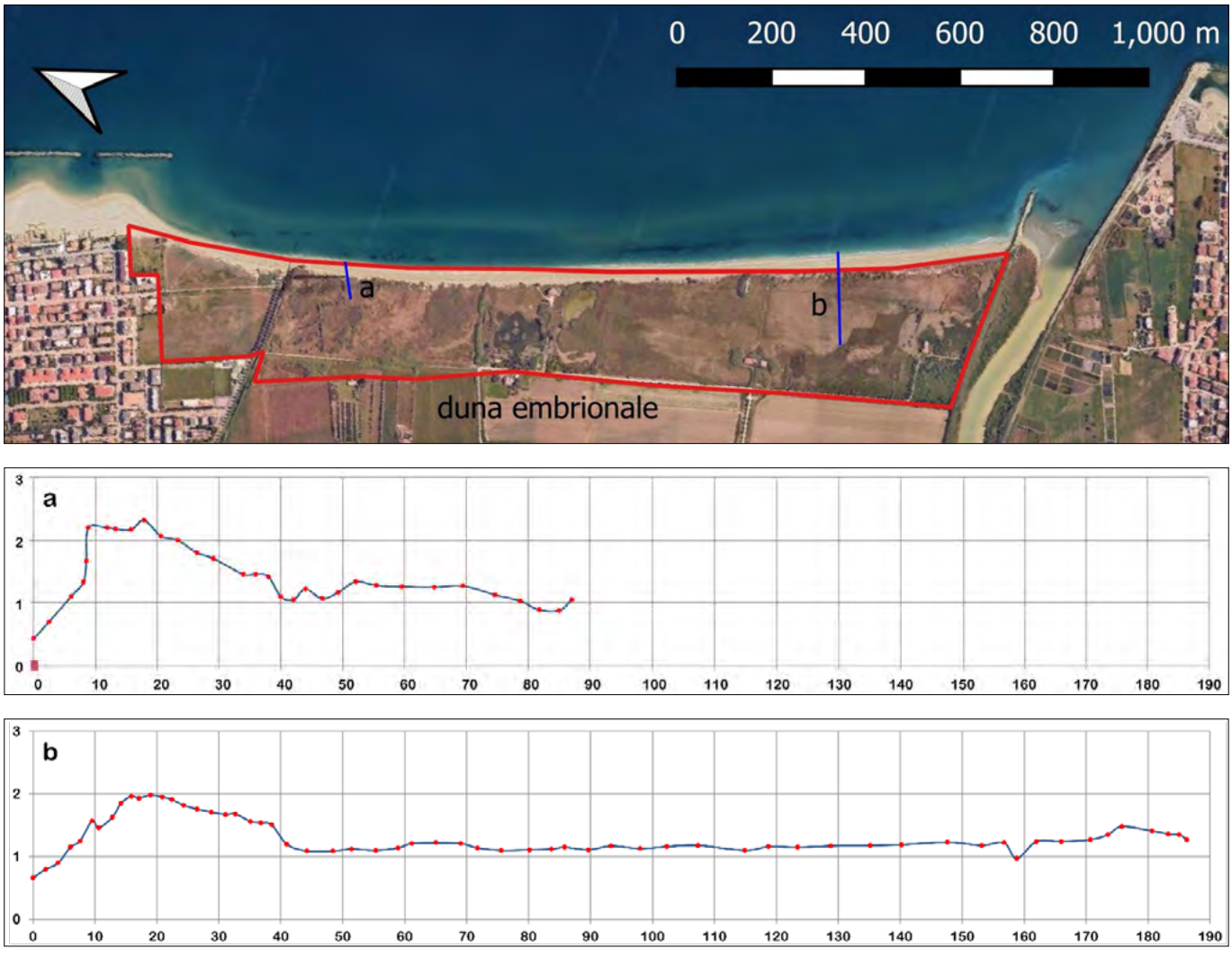



Figura 14. Area dunale della Riserva Regionale Naturale della Sentina (in alto) e relativi profili topografici, misure in metri (ridisegnato da Bisci *et al.*, 2021a).







FIGURA 15. Esempi di associazioni nella duna della Sentina: in alto a sinistra, Associazione *Crypsidetum aculeatae* (Habitat 1310); in alto a destra, Associazione *Suaedo maritimae – Salicornietum patulae* (Habitat 1310); in basso, Associazione *Puccinellio festuciformis – Halimionetum portulacoidis* (Habitat 1410).

barriere emerse in fase di tombolizzazione (che bloccano l'afflusso di sedimenti con mareggiate da Bora).

La duna si estende per circa 1850 m, ha un'ampiezza media di quasi 30 m e si eleva per oltre 2 m; il retroduna è molto esteso e parzialmente coltivato (Bisci *et al.*, 2021a; 2023).

Tra le aree censite è quella che presenta il maggior numero di fitocenosi (Conti *et al.*, 2013; Bisci *et al.*, 2021a):

- vegetazione annuale dell'associazione *Salsolo-Cakiletum* (Habitat 1210),
- formazioni a *Suaeda maritima* (Habitat 1310; Fig. 15b),
- *Crypsidetum aculeatae* Bojko 1932 n.n.; Wenzl 1934, (Habitat 1310; Fig. 15 a);
- *Suaedo maritimae-Salicornietum patulae* (Brullo & Furnari 1976) Géhu & Géhu-Franck 1984 (Habitat 1310);
- *Puccinellio festuciformis-Halimionetum portulacoidis* Géhu, Biondi, Géhu-Franck e Costa 1992 (Habitat 1410);
- *Spergulario marinae-Puccinellietum distantis* Feekes 1934 (Habitat 1410);
- *Puccinellio festuciformis - Sarcocornietum fruticosae* (Br.-Bl. 1928); J.M. Gehu 1976; (Habitat 1420; Fig. 15 c);
- *Echinophoro spinosae-Elymetum farcti* (Habitat 2110);
- formazione a dominanza di *Spartina versicolor*;
- aggruppamento a *Glycyrrhiza glabra*;
- aggruppamento a *Cynodon dactylon*;
- aggruppamento a *Aeluropus litoralis* ;
- aggruppamento a *Halimione portulacoides* ;
- aggruppamento a *Inula crithmoides* e *Thinopyrum junceum*; aggruppamento a *Inula crithmoides* e *Halimione portulacoides*;
- *Salsoletum sodae* Pignatti 1953.

La quasi totale assenza di ripascimenti naturali derivante dalle opere antropiche al contorno ha comportato e comporta un forte arretramento della linea di riva con conseguente erosione della duna (Figg. 16 e 17), come anche evidente dalla Fig. 14 in cui la perimetrazione effettuata nel 2020 risulta molto più estesa verso mare rispetto alla situazione attuale evidenziata dalla foto.

Pertanto, qualora si continuasse a non predisporre adeguati interventi di protezione (soprattutto, sistematici ripascimenti artificiali e interventi di ingegneria naturalistica e/o piantumazioni sui corpi dunali; Sauli e Siben, 1995; Wellingford, 2000; Ginesu, 2003; Pye *et al.*, 2007; ISPRA, 2009; Montanari, 2010; Valpreda, 2010), in pochi anni porterà alla sua pressoché totale distruzione, con conseguente severo danneggiamento degli importanti habitat protetti dell'ampio retroduna che costituiscono il nucleo della Riserva Naturale (Chelli, 2014; Acciarri *et al.*, 2021; Bisci *et al.*, 2021a, 2023).





FIGURA 16. Evoluzione della duna della Sentina; in alto nel 2003, in basso nel 2013 (Bisci *et al.*, 2021a).



Figura 17. Limite settentrionale della spiaggia, con la duna in forte erosione.

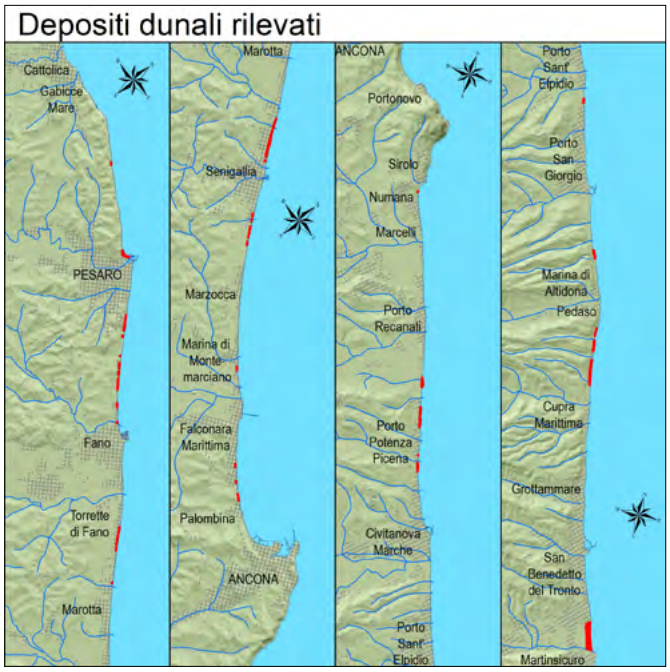



Figura 18. Distribuzione delle aree poco antropizzate potenzialmente dunali, in rosso (Bisci *et al.*, 2021a, modificata).

Oltre alle 35 dune censite, sono inoltre stati riconosciuti in 48 località circa 127 ettari complessivi di retrospiaggia non troppo disturbati dall'attività antropica che, se adeguatamente protetti, potrebbero consentire lo sviluppo di nuovi sistemi dunali (Fig. 18; Bisci *et al.*, 2021a).

Localmente sono stati inoltre individuati piccoli accumuli embrionali appoggiati a ostacoli naturali o artificiali che, se non disturbati dall'attività antropica, potrebbero anch'essi evolvere in piccole dune.

## CONCLUSIONI

Lo studio evidenzia che la costa marchigiana si è dapprima evoluta in funzione del sollevamento tettonico con cicli di avanzamento e arretramento connessi con le variazioni climatiche, che hanno determinato importanti oscillazioni del livello del mare e forti modificazioni del ritmo di produzione e trasporto verso riva di detriti.

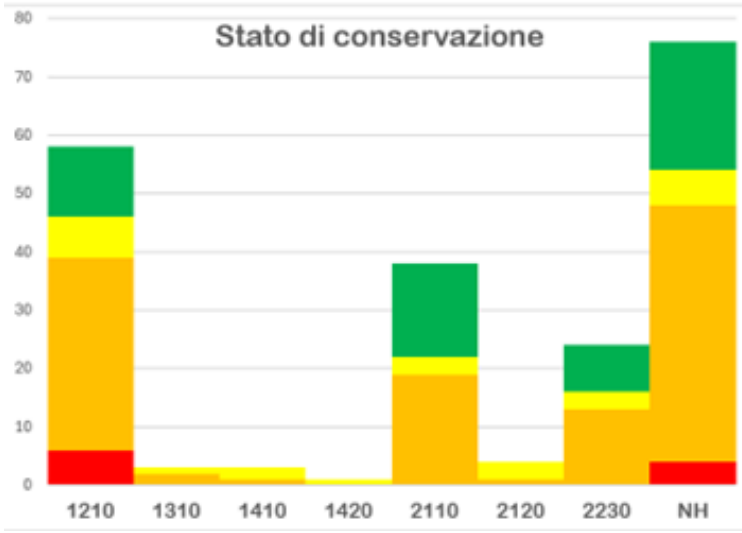
A partire da verso la fine dell'Età del Bronzo, però, l'attività antropica è diventata predominante nel determinare la dinamica costiera a causa delle rapide variazioni nella produzione di detriti lungo i versanti connesse con disboscamenti e abbandono delle coltivazioni, e comunque anche a una fase di deterioramento climatico. La prima progradazione prodotta dall'uomo in una fase climatica che avrebbe dovuto indurre arretramento è infatti avvenuta in epoca romana, in conseguenza della forte espansione demografica. A questa si sono succedute altre variazioni di tendenza evolutiva connesse direttamente a cambiamenti nella densità di popolazione, a loro volta, almeno in parte, legate anche alle condizioni climatiche, ma con incidenza opposta a quella naturale. Difatti, climi più miti e quindi favorevoli a condizioni di biostasia hanno favorito l'incremento demografico, e quindi un maggiore sfruttamento agricolo del terreno, con conseguente crescita degli apporti solidi al mare.

L'impatto antropico si è poi fatto più sensibile con l'aumento della capacità di incidere sul territorio connessa con l'avvento e la rapida crescita recente dell'industrializzazione. Il litorale marchigiano, che fino all'inizio dello scorso secolo era complessivamente stabile se non in avanzamento, grazie anche alla diffusione di pratiche agricole sempre più impattanti, ha infatti subito un'importante inversione di tendenza. Questo, a seguito degli interventi operati, soprattutto a partire dall'ultimo dopoguerra, tanto sui bacini fluviali (costruzione di dighe e briglie, abbandono delle coltivazioni e, soprattutto, estrazione di inerti dagli alvei), quanto lungo le coste (costruzione di opere di difesa portuali).

In conseguenza dell'impatto negativo di queste operazioni e della sempre crescente rilevanza economica dello sfruttamento turistico dei litorali si è quindi assistito alla messa in opera di interventi di difesa rigida (barriere emerse e soffolte, pennelli, massicciate aderenti ecc.). Questi, non essendo stati basati su uno studio accurato della dinamica costiera, pur proteggendo limitate porzioni di litorale hanno trasferito sottoflutto, spesso amplificandoli, i fenomeni erosivi. Ciò ha indotto a inseguire con nuovi interventi simili la migrazione verso Nord dell'arretramento costiero, fino a irrigidire e rendere praticamente artificiale la quasi totalità del litorale.

Dato il proliferare di interventi di protezione e dell'indiscriminata antropizzazione di spiaggia e retrospiaggia, dove sono stati sistematicamente costruiti impianti turistici, strade ed edifici, l'ambiente costiero naturale è venuto ad essere quasi completamente distrutto. In particolare, i sistemi dunali che negli ultimi secoli avevano bordato la quasi totalità delle coste basse marchigiane è stato quasi completamente distrutto a cominciare dalla costruzione nella seconda metà del XIX secolo della Ferrovia Adriatica lungo buona parte dei retrospiaggia e delle prime strutture portuali.

Di conseguenza, lungo i circa 150 Km di spiagge della Regione ad oggi risultano presenti solo 35 lembi residui di dune costiere, tutti fortemente erosi e alterati, che nel complesso non arrivano a coprire neppure 65 ettari. Questi, in maggioranza, sembrano essere minacciati tanto dal moto ondoso, che in conseguenza del cambiamento climatico in




| Habitat | FA | A | D | B | Totale |
|---|---|---|---|---|---|
| 1210 | 6 | 33 | 7 | 12 | 58 |
| 1310 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 |
| 1410 | 0 | 1 | 2 | 0 | 3 |
| 1420 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 2110 | 0 | 19 | 3 | 16 | 38 |
| 2120 | 0 | 1 | 3 | 0 | 4 |
| 2230 | 0 | 13 | 3 | 8 | 24 |
| NH | 4 | 44 | 6 | 22 | 76 |
| Totale | 10 | 113 | 26 | 58 | 207 |
| % | 5 | 55 | 13 | 28 | 100 |

Figura 19. Istogramma relativo ai diversi stati di conservazione della vegetazione psammofila nei siti dunali studiati (a sinistra) e relativa tabella riassuntiva dello stato di conservazione degli habitat censiti; FA = fortemente alterato, A = Alterato, D = Discreto, B = Buono (ridisegnato, da Bisci *et al.*, 2021a).

atto altre a mostrare un incremento di frequenza e intensità delle mareggiate maggiori verrà reso più aggressivo dal pur limitato sollevamento del livello marino connesso con lo scioglimento di masse glaciali, quanto e soprattutto dalle attività antropiche (Fig. 19).

Sulla base di quanto visto e analizzato, è quantomai probabile che, in assenza di tempestivi e adeguati interventi di protezione e ripristino ecologico – soprattutto ampliamenti delle spiagge con sversamento di materiale idoneo per quantità e granulometria e creazione di corpi dunali artificiali, accompagnati da realizzazione di semplici opere di ingegneria naturalistica, da appropriate piantumazioni e da misure atte a regolamentare l'impatto antropico in modo da ridurne gli effetti negativi (Sauli e Siben, 1995; Wallingford, 2000; Ginesu, 2003; Pye *et al.*, 2007; ISPRA, 2009; Montanari, 2010; Valpreda, 2010) – tanto i lembi residui dei cordoni dunali, quanto i 48 siti potenzialmente idonei per la genesi di dune costiere nel giro di pochi anni verranno completamente distrutti e questi corpi sedimentari così importanti sia per la protezione del retrospiaggia dalle mareggiate, sia per il loro interesse ecologico, scompariranno dalle coste marchigiane.

Concludendo, per evitare gli errori del passato anche recentissimo che hanno portato alla quasi totale distruzione dei cordoni dunali, si evidenzia la necessità di un approfondito studio e un continuo monitoraggio della dinamica costiera regionale, con particolare attenzione per le aree dunali e per quelle che potrebbero diventarle, in modo da poter operare interventi mirati in grado di restituire alle coste marchigiane, almeno in parte, la preziosa presenza dei cordoni dunali di retrospiaggia (Bovina, 2004; AA.VV., 2009).

## BIBLIOGRAFIA


AA.VV. (1981). *Schede delle Aree Floristiche delle Marche*. Regione Marche, Assessorato all'Urbanistica e all'Ambiente. Industrie Grafiche F.lli Aniballi s.n.c., Ancona. 154 schede.

AA.VV. (2006). *Le spiagge delle Marche*. In: AA.VV.. *Lo stato dei litorali italiani*, Studi Costieri, 10. 77-82.

AA.VV. (2009). *Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree Protette*. Rapporti ISPRA, 100-09.

Abulafia D. (2004). *Italy in the Central Middle Ages*. OUP, Oxford, 299 pp.

Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Cappucci S., Conti M., Di Pancrazio G., Spagnoli F., Valentini E. (2021). *Metrics for short-term coastal characterization, protection and planning decisions of Sentina Natural Reserve, Italy*. Ocean & Coastal Management, 201, 105472.

Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Di Pancrazio G. (2016). *Anthropogenic influence on recent evolution of shorelines between the Conero Mt. and the Tronto R. mouth (southern Marche, Central Italy)*. Catena, 147, 545-555.

Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Cappucci S., Spagnoli F., Valentini E. (2023). *Caratteristiche e tendenze evolutive della costa marchigiana*. In: Stragapede F. (Ed.). *Le Coste: caratteristiche, tendenze evolutive, erosione e interventi di difesa*. Ed. SIGEA, 11-20.

Alessio M., Allegri L., Azzi C., Calderoni G., Cortesi C., Improta S., Nesci O., Petrone V., Savelli D. (1987). *Successioni alluvionali terrazzate nel medio bacino del Metauro (Appennino marchigiano) -Datazione con il 14C*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 10, 307–312.

Alfieri N., Forlani E., Grimaldi F. (1966). *Ricerche paleogeografiche e topografico-storiche sul territorio di Loreto*. Studia Picena, 33-34, 1–59.

APAT (2004). *Atlante delle Coste. Il moto ondoso a largo delle coste italiane*. http://www.isprambiente.gov.it/it/servizi-per-lambiente/stato-delle-coste/atlante-delle-coste.

AQUATER (1982). *Studio generale per la difesa delle coste: Prima fase*. Aquater, S. Lorenzo in Campo (PU), 706 pp.

Aringoli D., Bisci C., Cantalamessa G., Di Celma C.N., Farabollini P., Gentili B., Materazzi M., Pambianchi G. (2003). *Recent variations of central Adriatic coastline*. In: CERG. *Geomorphological Sensitivity and Systems Response*, 13–20.

Arzeni A., Bolognini T., Cortonesi A., Montresor A., Moscatelli U., Giorda M.C., Piermattei A., Romano R., Marongiu S. (2012). *Fonte Avellana: dall'agricoltura medioevale alla moderna multifunzionalità rurale*. Osservatorio Foreste INEA, 253 pp.

Beleggia M. (2023). *Risposta del litorale delle Marche meridionali alla costruzione di opere di difesa*. In: Stragapede F. (Ed.). *Le coste: caratteristiche, tendenze evolutive, erosione e interventi di difesa*. Ed. SIGEA, 21-36.

Biondi E. (1986). *La vegetazione del Monte Conero (con carta della vegetazione alla scala 1: 10000)*. Regione Marche - Assessorato all'Ambiente. Tecnostampa Ed., Ostra Vetere, 95 pp.

Biondi E. (1999). *Diversità fitocenotica degli ambienti costieri italiani*. Boll. Museo Civico Sc. Nat Venezia, 49, 39-105.

Biondi E., Bagella S., Casavecchia S., Pinzi M. (2000). *Piano di gestione naturalistica del Parco del Conero. Indagini e normativa*. Univ. Politecnica delle Marche, Regione Marche e Parco Naturale del Conero. 230 pp.

Biondi E., Baldoni M. (1996). *Natura e Ambiente della Provincia di Ancona. Guida alla conoscenza e alla conservazione del territorio*. Seconda Edizione. Provincia di Ancona. Assessorato alla tutela dell'Ambiente. Tecnoprint srl, Ancona, 285 pp.

Biondi E., Blasi C., Burrascano S., Casavecchia S., Copiz R., Del Vico E., Galdenzi D., Gigante D., Lasen C., Spampinato G., Venanzoni R., Zivkovic L. (2013). *Manuale Italiano di interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/CEE*. Societa Botanica Italiana D.P.N., http://vnr.unipg.it/habitat.

Biondi E., Brugiapaglia E. Allegrezza M., Ballelli S. (1992). *La vegetazione del litorale marchigiano (Adriatico centro-settentrionale)*. Coll. Phytosociologiques, 19, 430-459.

Biondi E., Formica E. (2000). *Studio floristico e vegetazionale della Sentina di Porto d'Ascoli per la sua conservazione e valorizzazione*. In: *Recupero e Valorizzazione aree protette; censimento degli scarichi in corpi idrici nella zona compresa tra i Fiumi Tronto ed Aso*. 119-139.

Biondi E., Gehu J.-M., Ballelli S. (1988). *La vegetazione della "Sentina" di Porto d'Ascoli (Adriatico centrale): un ambiente umido da recuperare*. Micologia e Vegetazione Mediterranea, 3(1), 31-46.

Biondi E., Morbidoni M. (2010). *Biodiversità delle Marche. Regione Marche*. I Quaderni della Selva. Vol. 3. Errebi Grafiche Ripesi Falconara Marittima, Ancona, 164 pp.

Bisci C. (2010). *Il cambiamento climatico globale e i suoi impatti*. Prisma, 3, 10-21.

Bisci C., Cantalamessa G., Casavecchia S., Gasparri R., Pesaresi S., Spagnoli F., Scalella G., Tramontana M., Zitti S., Parlani S., Sinigaglia M., Forchielli G., Mazzoli F., Magnoni D., Bellino C., Pernini D. (2021a). *Protezione e valorizzazione delle dune costiere residue nelle Marche*. Studi Costieri, 30, 93-144.

Bisci C., Cantalamessa G., Spagnoli F., Tramontana M. (2021b). *Evoluzione storica e attuale del litorale delle Marche*. Studi Costieri, 30, 13-34.

Bisci C., Cantalamessa G., Spagnoli F., Tramontana M. (2023). *Evoluzione storica e recente delle coste della Regione Marche (Italia centrale adriatica)*. In: Stragapede F. (Ed.). *Le Coste: caratteristiche, tendenze evolutive, erosione e interventi di difesa*. Ed. SIGEA, 48-55.

Bisci C., Dramis F. (1991). *La geomorfologia delle Marche*. In: AA.VV.. *L'ambiente fisico delle Marche*. Firenze, SELCA Ed., 81–113.

Bisci C., Dramis F., Gentili B. (1992). *Recent and present geomorphological evolution of river beds in the southern portion of the Marche region (Central Italy)*. Geoöko Plus, 3, 83–96.

Bovina G. (2004). *Restauro e conservazione delle dune costiere*. Professione geologo - Rivista dell'Ordine dei Geologi del Lazio, 3(5), 8-11.

Buli U. (1994). *Le spiagge marchigiane*. Conv. Naz. Geogr., CNR, Roma 1994, 95–147.

Buli U., Ortolani M. (1947). *Le spiagge marchigiane*. Coop, Tipografica Azzoguidi, Bologna (151 p).

Calamita F., Deiana G. (1986). *Evoluzione strutturale neogenico-quaternaria dell'Appennino umbro-marchigiano*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. "La Geologia delle Marche". pp. 91–98.

Calderoni G., Coltorti M., Consoli M., Farabollini P., Dramis F., Pambianchi G., Percossi E. (1989). *Degradazione dei versanti e sedimentazione nei pressi di Borgiano (Appennino marchigiano) durante l'Olocene recente.* Atti Conv." Morfogenesi e stratigrafia dell'Olocene". Mem. Soc. Geol. It., 42, 301–310.

Cantalamessa G., Centamore E., Chiocchini U., Micarelli A., Potetti M. (1982). *Tectonic sedimentary evolution of the northwestern part of the Laga basin during the Upper Miocene-Lower Pliocene (Central-southern Marche)*. Mem. Soc. Geol. It., 24, 221–232.

Cantalamessa G., Centamore E., Chiocchini U., Micarelli A., Potetti M. (1986). *Il Miocene delle Marche*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. "La Geologia delle Marche. 35–55.

Carranza M.L., Acosta A., Stanisci A., Pirone G., Ciaschetti G. (2005). *Classificazione degli ecosistemi di dune costiere ed analisi della distribuzione degli habitat di direttiva EU: un esempio per l'Italia*. Atti Conf. ASITA 2005, 6pp.

Centamore E., Deiana G. (Eds.) (1986). *La Geologia delle Marche*. Studi Geologici Camerti, vol. spec., 145 pp.

Centamore E., Cantalamessa G., Micarelli A., Potetti M., Berti D., Bigi S., Morelli C., Ridol-

fi M. (1991). *Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del Miocene e del Pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe*. Studi Geol. Camerti, 2, 125–131.

Cerrano C., Pica D., Di Camillo C., Bastari A., Torsani F. (2014). *Caratterizzazione biocenotica e restituzione cartografica per l'individuazione di habitat e specie di interesse comunitario lungo la costa marchigiana*. Relazione Tecnica, Regione Marche, 55 pp.

Chelli S. (2014). *Il ripristino degli ambienti costieri della Riserva Naturale Regionale Sentina: una buona pratica da diffondere*. Studi Costieri, 22, 251-252.

CNR - MURST (1997). *Atlante delle spiagge italiane. Dinamismo, tendenza evolutiva, opere umane*. Edit. SELCA Firenze, 108 fogli 1:10000.

Coltorti M. (1991). *Modificazioni morfologiche oloceniche nelle piane alluvionali marchigiane: alcuni esempi nei fiumi Misa, Cesano e Musone*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 14, 73–86.

Coltorti M. (1997). *Human impact in the Holocene fluvial and coastal evolution of the Marche region, Central Italy*. Catena, 30, 311–335.

Coltorti M., Farabollini P. (2008). *Late Pleistocene and Holocene fluvial–coastal evolution of an uplifting area: the Tronto River (Central Eastern Italy)*. Quatern. Int., 189, 39–55.

Conti F., Bracchetti L., Gubellini L. (2013). *Flora della Riserva Naturale Regionale Sentina. Atlante fotografico delle piante vascolari*. Edizioni Fast Edit, Acquaviva Picena, 162 pp.

D'Alessandro L., Genevois R., Marino A. (2001). *Dinamica recente della costa alta fra Ortona e Vasto (Abruzzo centro-meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., 56, 53–60.

Dansgaard W., Johnsen S. J., Møller J. & Langway Jr. C.C. (1969). *One Thousand Centuries of Climatic Record from Camp Century on the Greenland Ice Sheet Science*. 166 (3903), 377-380.

De Nicolò M.L. (1998). *La costa difesa. Fortificazioni e disegno del litorale adriatico pontificio*. Editrice Grapho, Fano, 60 pp.

Di Celma C., Cantalamessa G. (2012). *Off-shelf sedimentary record of recurring global sealevel changes during the Plio-Pleistocene: evidence from the cyclic fills of exhumed slope systems in central Italy*. J. Geol. Soc., London, 169, 643–646.

Di Celma C., Cantalamessa G., Didaskalou P. (2013). *Stratigraphic organization and predictability of mixed coarse-grained and fine-grained successions in an upper slope Pleistocene turbidite system of the peri-Adriatic basin*. Sedimentology, 60, 763–799.

Dinelli E., Gosh A., Rossi V., Vaiani C.V. (2013). *Multiproxy reconstruction of Late Pleistocene- Holocene environmental changes in coastal successions: microfossil and geochemical evidences from the Po Plain (Northern Italy)*. Stratigraphy, 9 (2), 153–167.

Dramis F., Aringoli D., Bisci C., Cantalamessa G., Coltorti M., Farabollini P., Gentili B., Materazzi M., Nesci O., Pambianchi G., Pierucci-ni P., Savelli D., Troiani F. (2011). *La Costa delle Marche*. In: Ginesu S. (Ed.). *La Costa d'Italia*. Delfino Ed., Sassari, pp. 379–392.

European Commission (2003). *Natura 2000. Interpretation manual of European Union Habitats*. EUR23, 127 pp.

Ferretti M., Moretti E., Savelli D., Stefanon A., Tramontana M., Wezel F.C. (1986). *Late Quaternary alluvial sequences in the North-Western Adriatic Sea from uniboom profiles*. Boll. Oceanol. Teor. Appl., IV (1), 63-72.

Galiè V. (2001). *Ubicazione dei porti e del navale fermano in epoca romana e altomedievale tra il Potenza e il Tronto alla luce delle carte di Farfa e del Codice 1030*. Macerata, 70 pp.

Gasparini P., Tabacchi G. (2011). *L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC 2005. Secondo inventario forestale nazionale italiano. Metodi e risultati*. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali; Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Edagricole-Il Sole 24 ore, Bologna 653 pp.

Gehu J.M., Biondi E. (1994). *Antropizzazione delle dune del Mediterraneo*. In: *Alterazioni ambientali ed effetti sulle piante*. Edagricole, Bologna, 160-176.

Gehu J.M., Biondi E. (1996). *Synoptique des associations végétales du littoral adriatique italien*. Giorn. Bot. Ital., 130 (1): 257-270.

Gehu J.M., Costa A., Scoppola A., Biondi E., Marchiori S., Peris G.B., Franck J., Caniglia G., Veri L. (1984). *Essai synsystematique et syncorologique sur les végétations littorales italiennes dans un but conservatoire. 1. Dunes et vases salées*. Doc. Phytosoc., n.s., 8, 393-474.

Giacopetti M., Materazzi M., Pambianchi G., Aringoli D., Farabollini P. (2015). *Geomorphological evolution of the middle-lower reach of the Tronto river (central Italy), during the last 200 years: impacts on flood hazard*. Rend. Online Soc. Geol. It., 33, 48–52.

Ginesu S. (2003). *Il sistema dunale nella salvaguardia dell'equilibrio costiero*. Atti Conv.. "Conservazione dei Sistemi Dunali e Gestione della Costa" ___.

Grove A.T. (2001). *The "Little Ice Age" and its geomorphological consequences in Mediterranean Europe*. Clim. Change, 48, 121–136.

Hegerl G.C., Crowley T.J., Allen M., Hyde W.T., Pollak H.N., Smerdon J., Zorita E. (2007). *Detection of human influence on a new, validated 1500-year temperature reconstruction*. J. of Climate, 20(4), 650-666.

Hughes J.D. (2011). *Ancient deforestation revisited*. J. Hist. Biol., 44(1), 43–57.

ISPRA (2009). *Atti del Convegno "SOS Dune. Stato, problemi, interventi, gestione"*. ISPRA, 184 pp.

Izzi C.F., Acosta A., Carranza M.L, Conti F., Cia-

schetti G., Di Martino L., D'Orazio G., Frattaroli A.R., Pirone G., Stanisci A. (2007). *Fitodiversita degli ambienti dunali costieri dell'Italia centrale*. Fitosociologia, 44(1), 129-137.

Ladurie E.L.R. (2004). *Histoire humaine et comparée du climat, volume 1: Canicules et glaciers (XIIIe-XVIIIe siècles)*. Fayard, Paris, 739 pp.

Lipparini T. (1939). *I terrazzi fluviali delle Marche*. Giorn. Geol., 13, 5–22.

Macchia U., Pranzini E., Tomei P.E (Eds.) (2005). *Le dune costiere in Italia*. Felici Editore, Pisa, 206 pp.

Materazzi M., Gentili B., Aringoli D., Farabollini P., Pambianchi G. (2010). *Elements of slope and fluvial dynamics as evidence of late Holocene climatic fluctuations in the central Adriatic sector, Italy*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 33, 193–204.

Miccadei E., Mascioli F., Piacentini T., Ricci F., (2011). *Geomorphological features of coastal dunes along the Central Adriatic Coast (Abruzzo, Italy)*. J. Coastal Res., 27, 1122–1136.

Montanari R. (Ed.) (2010). *Dinamica e gestione delle dune costiere in Italia*. Studi Costieri, 17, 216 pp.

Nesci O., Savelli D. (1986). *Cicli continentali tardoquaternari lungo i tratti vallivi mediani delle Marche settentrionali*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 9, 192–211.

Nesci O., Savelli D., Mengarelli D. (1990). *I terrazzi vallivi del 1° ordine nei bacini dei Fiumi Metauro e Foglia (Appennino Marchigiano)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 13, 63–73.

Orombelli G., Giraudi C., Sala B., Govoni L., Gliozzi E., Faranda C., Silenzi S., Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A., Aritzegui D., Ravazzi C., Amorosi A, Marabini S., Grande C, Vai G.B., Vigliotti L., Antonioli F., Mozzi P., Giardina F. (2004). *Litho-palaeoenvironmental maps of Italy during the last two climatic extremes: Map 1- Last Glacial Maximum (22 ±2 ka cal BP)*. 32nd IGC, Firenze.

Ortolani M., Alfieri N. (1978). *Sena Gallica*. In: Anselmi S. (Ed.). *Una città adriatica. Insediamenti, forme urbane, economia. Società nella storia di Senigallia*, Senigallia, 21–70.

Paolucci L. (1890-91). *Flora marchigiana*. Tip. Federici, Pesaro, 656 pp.

Pignatti S. (1982). *Flora d'Italia*. Vol. 1-4, Edagricole, Bologna, 1120+1196+1312+1200 pp.

Pranzini E. (1989). *A model for cuspate delta erosion*. 6th Symp. Coastal and Ocean Management/ASCE Charleston, SC, 4345–4357.

Pranzini E. (1994). *Bilancio sedimentario ed evoluzione storica delle spiagge*. Il Quaternario, 7, 197–204.

Pranzini E. (1995). *Cause naturali ed antropiche nelle variazioni del bilancio sedimentario dei litorali*. Riv. Geogr. Ital., NS 1, 47–62.

Pranzini E. (2001). *Updrift river mouth migration on cuspate deltas: two examples from the coast of Tuscany (Italy)*. Geomorphology, 38, 125–132.

Pye K., Saye S., Blott S. (2007). *Sand dune processes and management for flood and coastal defence*. DEFRA, Londra, 65 pp.

Regione Marche (2019). *Piano di Gestione Integrata delle Aree Costiere*. Dipartimento Territorio e Ambiente, Ancona http://www.autoritabacino.marche.it/costa/piano/.

Ridente D., Trincardi F. (2006). *Active foreland deformation evidenced by shallow folds and faults affecting late quaternary shelf–slope deposits (Adriatic Sea, Italy)*. Basin Res., 18, 171–188.

Sauli G., Siben S. (Eds.) (1995). *Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica*. Patron, Bologna, 552 pp.

Spagnoli F., Dinelli E., Giordano P., Marcaccio M., Zaffagnini F., Frascari F. (2014). *Sedimentological, biogeochemical and mineralogical facies of Northern and Central Western Adriatic Sea*. J Marine Sys., 139, 183–203.

Speranza G. (1934). *Il Piceno dalle origini alla fine d'ogni sua autonomia sotto Augusto*. L. Cardi, Ancona, 2 v, 142 pp.

Storms J.E.A., Weltje G.J., Terra G.J., Cattaneo A., Trincardi F. (2008). *Coastal dynamics under conditions of rapid sea-level rise: Late Pleistocene to early Holocene evolution of barrier–lagoon systems on the northern Adriatic shelf (Italy)*. Quaternary Sci. Rev., 27, 1107–1123.

Trincardi F., Campiani E., Correggiari A., Foglini F., Maselli V., Remia A. (2014). *Bathymetry of the Adriatic Sea: the legacy of the last eustatic cycle and the impact of modern sediment dispersal*. J. e Maps, 10, 151–158.

Trincardi F., Correggiari A. (2000). *Quaternary forced regression deposits in the Adriatic basin and the record of composite sea-level cycles*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 172, 245–269.

Valpreda E. (2010). *Dune ed utilizzo del territorio a confronto per la stima della capacità virtuale di attuare l'adattamento al rischio costiero in Italia*. Studi Costieri, 17, 127-140.

Villa G.M. (1942). *Nuove ricerche sui terrazzi fluviali delle Marche*. Giornale di Geologia, serie II, 16.

Vita-Finzi C. (1969). *The Mediterranean Valleys: Geological Changes in Historical Times*. Cambridge University Press, London, 149 pp.

Wallingford H.R. (2000). *A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems*. Scottish Natural Heritage, Inverness, 130 pp.

Williams M. (2000). *Dark ages and dark areas: global deforestation in the deep past*. J. Hist. Geogr., 26 (1), 28–46.

# L'erosione costiera in un'area protetta: il caso del Parco Migliarino San Rossore Massaciuccoli

## Coastal erosion in protected areas: the experience of Migliarino San Rossore Massaciuccoli Natural Park

Francesca Logli (*), Andrea Porchera (**)

(*) Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli - Ufficio Biodiversità (Logli)
(**) Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli - Ufficio Aree Protette e Nulla osta

*E-mail*: f.logli@sanrossore.toscana.it

**Parole chiave**: dinamica costiera, parco naturale, arretramento, pianificazione, adattamento
**Key words**: coastal dynamics, natural park, retreat, planning, adaptation

La costa protetta dal Parco regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli va dal margine meridionale dell'abitato di Viareggio alla foce del Canale Scolmatore (a nord di Livorno) e comprende le foci del fiume Arno e del fiume Serchio. Questa fascia costiera, lunga 30 km, è costituita da sabbie di granulometria da media a fine la cui è origine è da attribuire ai sedimenti provenienti dai corsi d'acqua che solcano la pianura, poi deposti in mare e trasportati dalle correnti. Dalla foce dell'Arno i sedimenti si distribuiscono sia verso nord che verso sud, ad eccezione del tratto compreso tra Calambrone e il canale Scolmatore, dove la deriva litorale è orientata verso nord (Bertoni *et al*., 2020, Bini *et al*., 2021). L'escursione del livello del mare dovuta alle maree è limitata a poche decine di cm (regime microtidale) con scarsa influenza sulla morfodinamica del litorale (Sarti *et al*. 2022)

Grazie alla presenza dell'area parco il tratto costiero ha conservato caratteri di naturalità con tratti di spiaggia, a monte dei quali si sviluppano zone dunali, talvolta ben conservate, intervallate da depressioni interdunali (lame). L'importanza naturalistica delle coste del Parco – di quelle meno urbanizzate, da nord fino alla foce dell'Arno - è stata riconosciuta a livello europeo in quanto queste coste rientrano in due siti Natura2000[1] I siti sono *Dune Litoranee di Torre del Lago* (codice Natura2000: IT5170001), che riguarda 4 km di costa a nord, e *Selva Pisana* (codice Natura 2000 IT5170002) a sud, che copre altri 15 km verso sud fino alla foce dell'Arno.

La naturale divagazione della linea di costa è stata influenzata da fattori antropici che hanno causato la variazione degli apporti sedimentari da parte dei principali bacini fluviali dell'Arno e del Serchio, già a partire dalla fine del XIX secolo, aggravati in tempi recenti dalla costruzione di opere portuali o la messa in posto di opere di difesa costiera che hanno spostato altrove i processi di erosione in atto in quei tratti, o favorito la deposizione dei sedimenti verso il largo (Foto 1). Si nota come la foce del fiume Serchio sia una delle due sole foci di tutti i fiumi della Toscana (peraltro il secondo in ordine di grandezza del bacino



Foto 1. La foce dell'Arno vista da sud (Marina di Pisa) – 2014 - Sono evidenti i sedimenti movimentati dal mare e la forte erosione a nord della foce (Tenuta San Rossore) - Foto archivio Parco.



Foto 2. La foce del Serchio con la "Penisola dei Gabbiani", lingua di sabbia di forma ed estensione variabile di anno in anno - Foto archivio Parco.

1 Zone di protezione Speciale (ZPS) ai sensi della Direttiva europea sulla protezione degli Uccelli selvatici (79/409/CEE, ora 2009/149/CE) e Zone Speciale di Conservazione (ZSC) ai sensi della direttiva europea sulla protezione degli habitat naturali e seminaturali (92/43/CEE).



Foto 3. La spiaggia del gombo (estate 2022) - Foto Porchera.

idrografico) completamente naturale, a libera evoluzione, priva di opere di regimazione ed artificializzazione (l'altra è la foce dell'Ombrone che, non a caso, è anch'essa all'interno di un parco regionale) (Foto 2). Studi recenti hanno dimostrato come il tasso di erosione costiera sia aumentato in particolare dopo gli anni '50, alla fine degli anni '70 del secolo scorso e attorno al 2012, per rallentare poi leggermente dopo questa data (Bertoni *et al*., 2020; Sarti *et al*., 2022; Bini *et al*., 2021). Nell'area della costa pisana i processi erosivi sono particolarmente evidenti nel tratto di costa prospicente l'abitato di Marina di Pisa, in cui si concentrano numerose opere di difesa costiera, e tra le lame della Gelosia e il Gombo, verso nord (Foto 3).

L'erosione è quindi iniziata nei primi anni del '900 come conseguenza di una concomitanza di cause, fra cui opere di taglio dei numerosi meandri dei fiumi operate nei secoli precedenti, minor trasporto solido, opere sulle foci (foce armata).

La difesa artificiale della parte meridionale dell'estuario dell'Arno, a salvaguardia dell'abitato di Marina di Pisa, può avere accentuato l'erosione del tratto settentrionale e le scogliere, realizzate nella porzione antistante il Gombo, possono aver riproposto un analogo andamento erosivo nella parte settentrionale.

Il diffuso fenomeno di erosione ha provocato un forte arretramento della linea di costa che è stato valutato in 8



Foto 4. San Rossore, foce fiume morto vecchio, 2008 - La passerella e la duna ricostituita (v.fascine a dx della passerella) - Foto Porchera.




Foto 5. San Rossore, foce fiume morto vecchio agosto 2013 - La passerella vista dall'alto e l'inizio dell'erosione (si noti l'ombra della duna a strapiombo) - Foto google earth.

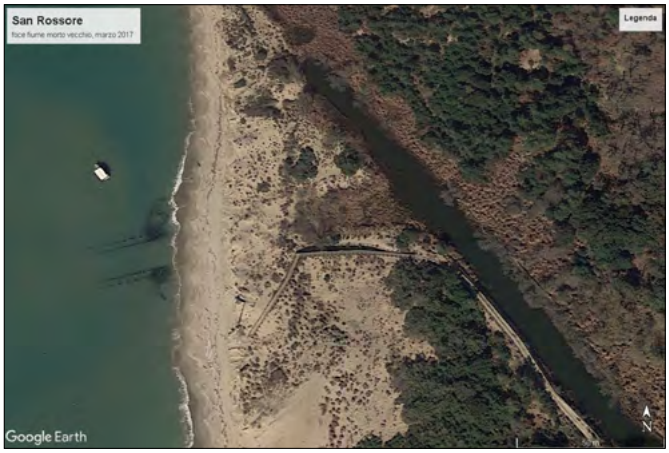



Foto 6. San Rossore, foce fiume morto vecchio marzo 2017 - La passerella vista dall'alto e il tratto terminale della passerella appena smantellato - Foto google earth.




Foto 7. San Rossore, foce fiume morto vecchio ottobre 2020 - La passerella vista dall'alto senza un ulteriore tratto terminale della passerella - Foto google earth.

metri/anno. Attraverso la definizione di un modello matematico, realizzato su richiesta del Comune di Pisa e della locale Camera di Commercio, è stato calcolato che l'Arno, per permettere l'accrescimento della spiaggia, dovrebbe fluitare in un anno almeno 720.000 metri cubi contro gli attuali 200.000 circa (dato contenuto nel Piano di gestione della Tenuta di San Rossore, ancora vigente del 1999).



Foto 8. Zona umida del Paduletto ricostituita nel 2006-2009, Progetto Life Dunetosca - Foto Puglisi.

Nella Tenuta di San Rossore, situata fra le foci del fiume Arno a sud e nel fiume Serchio a nord, la perdita di arenile misurata del 1940 (anno della prima levata catastale) al 2005 è stata di 165 ettari. Il recente Piano di gestione del Boschi di San Rossore (2022) ha calcolato, rispetto alle superfici rilevate nel Piano precedente del 2004, una perdita di superficie pari a oltre 86 ha, perlopiù costituito da habitat di dune costiere, ma anche di habitat umidi alofili e di acque dolci in corrispondenza della Riserva Naturale delle Lame di Fuori a sud, dove si sta assistendo all'ingresso di acqua di mare in alcune lame che erano separate dal mare da cordoni dunali.

Le opere di protezione a mare fatte nel corso degli ultimi decenni, dove il Parco non ha comunque competenza, non sembrano aver avuto effetto.

Presso la foce del fiume morto vecchio, dove nel 2008 il Parco, dopo aver ricostituito una duna, aveva realizzato una passerella in legno fino alla sua sommità, l'erosione è stata tale che nel giro di pochi anni la parte sommitale della duna è scomparsa e la parte finale della passerella smantellata (Foto 4, 5, 6, 7). In questo caso quindi l'unica reazione possibile all'erosione è stata di arretramento dell'infrastruttura.

La strategia del Parco per la parte terrestre dove può intervenire, vuole quindi essere *di tipo adattativo*, con lo scopo di ricostituire habitat a rischio o perduti in posizione più arretrata rispetto alla linea di riva. Le misure già definite dalla Regione Toscana su proposta del Parco nel 2015, sono state confermate dal recente Piano di Gestione del Sito Natura2000 Selva Pisana approvato dal Parco in novembre 2023[2].

Le misure previste dal Piano di Gestione sono di due tipi:

- Realizzazione di interventi di creazione o di restauro ecologico di zone umide per compensare la perdita di habitat legata all'erosione costiera (intervento attivo IA_J_154, codice 35-IA nel nuovo PdG). Questi habitat di acqua dolce dovrebbero essere creati o ripristinati in zone più interne rispetto alla linea di riva. Si tratta di opere di restauro ecologico da realizzare con modalità analoghe a quelle adottate dallo questo stesso Ente Parco nel corso del progetto LIFE Dunetosca (LIFE05 NAT/IT/000037 Conservazione degli ecosistemi costieri della Toscana Settentrionale) fra il 2005 e il 2009. Tramite interventi di scavo in incolti e radure in evoluzione sono stati ripristinati habitat umidi di acqua dolce (habitat a elofite con Cladium, Erianthus, Juncus, Phragmites e Limonium, cod. Natura 2000 7210*) in una piccola area sul margine orientale delle Lame e nel Paduletto. Altre aree umide furono scavate nella Riserva della Lecciona (si-

2 Delibera giunta regionale toscana 15 dicembre 2015 n. 1223. Direttiva 92/43/CE "Habitat" – art. 4 e 6 – approvazione delle misure di conservazione dei SIC (Siti di Importanza Comunitaria) ai fini della loro designazione quali ZSC (Zone Speciali di Conservazione).



Foto 9. Ricostituzione duna a Torre del Lago– Progetto Life Dunetosca, 2008 - Foto Porchera.

to Dune litoranee di Torre del Lago). Tali aree così ripristinate anche con specchi d'acqua libera risultano habitat per numerose specie di interesse conservazionistico delle zone umide (Anfibi, Rettili e Uccelli) (Foto 8).

- Realizzazione di interventi di riqualificazione e/o ricostituzione di almeno il 50% degli habitat costieri dunali degradati per cause antropiche o naturali, mediante tecniche di ingegneria naturalistica e utilizzo di specie vegetali autoctone (intervento attivo IA_J_16, codice nuovo PdG 8-IA). Gli habitat dunali interni al Sito da riqualificare sono degradati sia per l'azione del carico turistico con sentieramento (tra Marina di Torre del Lago e Bocca di Serchio) o per i fenomeni di erosione costiera (a sud di Bocca di Serchio). Interventi di ingegneria naturalistica di questo tipo prevedono l'uso di fascinate (anche con uso di materiale spiaggiato) all'interno del quale il vento deposita la sabbia; la sabbia può anche essere prima spostata con mezzi meccanici e poi fissata con fascinate (Foto 9). La messa a dimora di specie psammofile autoctone può facilitare la colonizzazione della vegetazione a completamente dell'opera di fissazione dei cordoni dunali. Anche questi interventi sono stati realizzati con il già citato progetto LIFE Dunetosca nel corso del quale sono state realizzate passerelle di attraversamento dell'area dunale che hanno permesso al reticolo di sentieri creati dal calpestio, non più frequentati, di chiudersi.

Infine, il Piano di Gestione prevede, fra le misure di regolamentazione (RE_K_01, 36-RE), il *Divieto di realizzare, internamente o esternamente al Sito, interventi/opere a mare o a terra in grado di causare o accentuare i fenomeni erosivi*. La strategia di adattamento del Parco resta aperta anche a interventi di decostruzione parziale di quelle opere che alla foce del fiume Arno impediscono ai sedimenti solidi di distribuirsi verso nord sulla costa durante le piene, che con la crisi climatica in atto risultano meno frequenti, di breve durata, ma più intensi.

## BIBLIOGRAFIA


Bini M., Casarosa N. & Luppichini M. (2021). *Exploring the Relationship between River Discharge and Coastal Erosion: An Integrated Approach Applied to the Pisa Coastal Plain (Italy)*. Remote Sensing. 2021; 13(2):226. https://doi.org/10.3390/rs13020226.

Bertoni D., Giacomelli S., Ciulli L. & Sarti G. (2020). *Litho-sedimentological and morphodynamic characterization of the Pisa Province coastal area (northern Tuscany, Italy)*. Volume 16, 2020 - Issue 2. Disponibile da: https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1700836.

Perfetti A. (a cura di) (2010). *La conservazione degli ecosistemi costieri della Toscana Settentrionale*. Ente Parco regionale MSRM.

Sarti G., Bertoni D. & Bini M. (2022). *Integrating Different Databases to Offer a Geological Perspective of Coastal Management: A Review Case from the Northern Tuscany Littoral Cell (Italy)*. Journal of Marine Science and Engineering. 2022; 10(3):353. Disponibile da: https://doi.org/10.3390/jmse10030353.

# Rilevazione dello stress idrico sulle dune costiere attraverso il telerilevamento

## Water stress detection on the coastal dunes through Remote Sensing

Giovanni Scardino[1,2*], Saverio Mancino[1], Gerardo Romano[1], Domenico Patella[1], Giovanni Scicchitano[1,2]

[1] Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari
[2] Centro interdipartimentale di Dinamica Costiera, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari

*Corresponding author

*E-mail*: giovanni.scardino@uniba.it

**Parole chiave**: dune costiere, erosione costiera, contaminazione salina, vegetazione dunale
**Key words**: coastal dunes, coastal erosion, salt contamination, dune vegetation

L'erosione costiera è una problematica attuale che coinvolge differenti processi fisici, sia naturali che antropici. Uno dei fattori che contribuisce ad aumentare l'erosione costiera è il grado di stress idrico presente nella vegetazione dunale. Se la presenza di vegetazione in buono stato di salute può aiutare a stabilizzare i sistemi dunali, la vegetazione sottoposta a stress idrico può invece aumentare l'erosione. In questo studio, tecniche di telerilevamento sono state applicate per monitorare lo stress idrico che colpisce la vegetazione nei sistemi dunali lungo fascia costiera di Chiatona (Puglia, Italia meridionale). I dati satellitari multispettrali Landsat 8/9 e Sentinel-2 sono stati usati per valutare lo stress idrico a diverse scale spaziali, durante un periodo di monitoraggio di 4 anni, dal 2019 al 2023. Il *Normalized Differenece Vegetation Index* (NDVI) e il *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) sono stati utilizzati per identificare le superfici dunali soggette a stress idrico. Inoltre, dati morfo-topografici con Laser Scanner Terrestre e LiDAR sono stati acquisiti a diversi intervalli temporali nelle aree colpite da stress idrico per evidenziare le variazioni costiere. Nel maggio 2020 è stato osservato un forte decremento dei valori NDVI a causa del verificarsi di incendi costieri in alcune parti della costa di Chiatona. Sono state condotte indagini geoelettriche per verificare se gli incendi costieri fossero in grado di contaminare le acque sotterranee saline, aumentando potenzialmente l'erosione delle dune in queste aree. L'analisi congiunta dei dati telerilevati, morfo-topografici e geoelettrici ha mostrato che lo stress idrico ha ridotto la quantità di vegetazione delle dune, innescando processi di deflazione che hanno portato ad un aumento dei tassi di erosione costiera.

## 1.INTRODUZIONE

Gli ambienti costieri sono ecosistemi complessi che richiedono moderne tecniche di monitoraggio al fine di individuare strategie di intervento affidabili. Le tecnologie di telerilevamento consentono la raccolta di grandi quantità di dati ad elevate frequenze temporali e spaziali, utili per il monitoraggio della copertura vegetale delle dune costiere (Silvestri *et al.*, 2003; Yousefi Lalimi *et al.*, 2017). La firma spettrale della vegetazione dunale in buono stato di salute mostra una curva di tipo "picco e valle" correlata esclusivamente alla banda di assorbimento della clorofilla, tra lunghezze d'onda di circa 450 e 670 nm (Zarco-Tejada *et al.*, 2004; Yadav, 2018).

La riflettanza della vegetazione in buono stato di salute aumenta nella porzione del vicino infrarosso dello spettro elettromagnetico, in un intervallo spettrale di circa 680–750 nm, a seconda della specie e delle condizioni ambientali (O'Malley-James and Kaltenegger, 2018). In particolare, la produzione di clorofilla può diminuire o addirittura cessare se la vegetazione risente di effetti di stress tali da comportare un cattivo stato di salute. Per identificare lo stato di salute della vegetazione, immagini satellitari multispettrali vengono spesso utilizzate per l'analisi della copertura vegetale e dei cambiamenti a lungo termine attraverso approcci che considerano gli indici di vegetazione, come il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Fu and Burgher, 2015; Marzialetti *et al.*, 2019). L'applicazione di NDVI è il metodo più comune per valutare lo stato di salute della vegetazione negli habitat costieri e fornisce i profili fenologici necessari per l'identificazione dei diversi tipi di vegetazione (Silvestri *et al.*, 2003).

I dati delle serie temporali NDVI sono stati spesso utilizzati per monitorare la produttività stagionale della vegetazione, fornendo informazioni che consentono ai ricercatori di stimare le risposte stagionali e interannuali sugli ecosistemi dunali costieri (Jackson *et al.*, 2019). Le relazioni tra NDVI e valori idrologici sono state utilizzate anche per valutare la risposta degli ecosistemi forestali alle oscillazioni delle acque in falda(Aguilar *et al.*, 2012), nonché per valutare il deflusso delle acque sotterranee nelle zone umide (Šimanauskienė *et al.*, 2019).

In questo studio viene illustrato un approccio multidisciplinare comprendente il telerilevamento satellitare, in-

dagini morfo-topografiche e geofisiche per caratterizzare lo stress idrico lungo le dune costiere della costa di Chiatona (Puglia, Italia meridionale) (Fig. 1a).

Negli ultimi anni, nell'area costiera di Chiatona si è osservato un forte stress idrico della vegetazione arbustiva ed erbacea della duna primaria e anche in quella arborea della duna secondaria (Fig. 1 b-c-d). Per mappare le aree colpite dallo stress idrico, sono state usate immagini satellitari multispettrali in una finestra temporale di 4 anni (2019-2023). L'analisi di immagini satellitari multispettrali ha consentito la stima di indici di vegetazione normalizzati, tra cui l'NDVI e l'indice di umidità *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI), che sono particolarmente utili per caratterizzare lo stato di salute vegetativa rispetto allo stress idrico.

Le variazioni del sistema mobile costiero di Chiatona sono state valutate effettuando rilievi morfo-topografici mediante laser scanner terrestre (LST) (Caldara *et al.*, 2006; Boeder *et al.*, 2010; O'Dea *et al.*, 2019; Lapietra *et al.*, 2022b; 2022a) e analisi di dati LiDAR (Schmidt *et al.*, 2013; Arshad *et al.*, 2021; Fabris, 2021; Frati *et al.*, 2021) in differenti intervalli temporali. Sono state inoltre utilizzate indagini geoelettriche per mostrare l'influenza del flusso delle acque sotterranee sugli apparati radicali della vegetazione dunale e sono state infine utilizzate per evidenziare intrusioni del cuneo salino nell'area di studio. Un decremento dei valori di NDVI è stato osservato nel maggio 2020, periodo nel quale un incendio ha provocato un deficit idrico che ha influito sullo stato di salute della vegetazione dunale. L'NDMI è stato utilizzato per mappare le aree colpite dal deficit idrico. Attualmente la vegetazione dunale sta vivendo una lenta ripresa naturale; tuttavia, i processi di erosione delle dune sono ancora in atto.

## 2. AREA COSTIERA DI CHIATONA (PUGLIA, ITALIA MERIDIONALE)

L'area di studio è situata nel settore sud-occidentale della regione Puglia (Italia meridionale), a circa 1.2 km a est dell'insediamento di Chiatona, frazione balneare del comune di Palagiano (TA). Il sistema mobile costiero ricade nella piana alluvionale che si estende da Roseto Capo Spulico (a Ovest) fino alla città di Taranto (a Est). L'attuale aspetto della fascia costiera è il risultato delle oscillazioni del livello del mare e della forte sedimentazione durante gli ultimi 6500/7000 anni (Mastronuzzi and Sansò, 2002; Mastronuzzi and Romaniello, 2008). Le spiagge sono state alimentate dagli apporti sedimentari dei principali fiumi della Basilicata (Agri, Sinni, Cavone, Basento, Bradano) i quali hanno determinato l'accumulo di sedimenti silicoclastici e successivamente ridistribuiti dalla deriva litorale da SSO verso NNE per l'intero tratto costiero della piana (Cilumbriello *et al.*, 2010; Sabato *et al.*, 2012; Tropeano *et al.*, 2013). Il sistema mobile costiero presenta differenti ordini di cordoni dunali, estesi per oltre 1 km verso l'entroterra e stabilizzati dalla presenza di vegetazione a "Macchia Mediterranea", raggiungendo quote tra gli 8 e i 17 m sopra il livello del mare (Sabato *et al.*, 2012; Longhitano, 2015). Le spiagge sono state in progradazione fino alla metà del XX secolo; in seguito, le spiagge sono state soggette ad erosione causata da un bilancio sedimentario negativo dovuto alla costruzione di dighe ed impianti di raccolta acque insieme alla realizzazione di stabilimenti turistici a discapito del livellamento della duna primaria (Caldara *et al.*, 1998; Bonora *et al.*, 2002).I piccoli corsi d'acqua (Lato, Lenne, Patemisco, Tara) che incidono sul sistema mobile costiero prossimo a Palagianello e ai comuni limitrofi non hanno estensione e portate sufficienti per alimentare le spiagge,

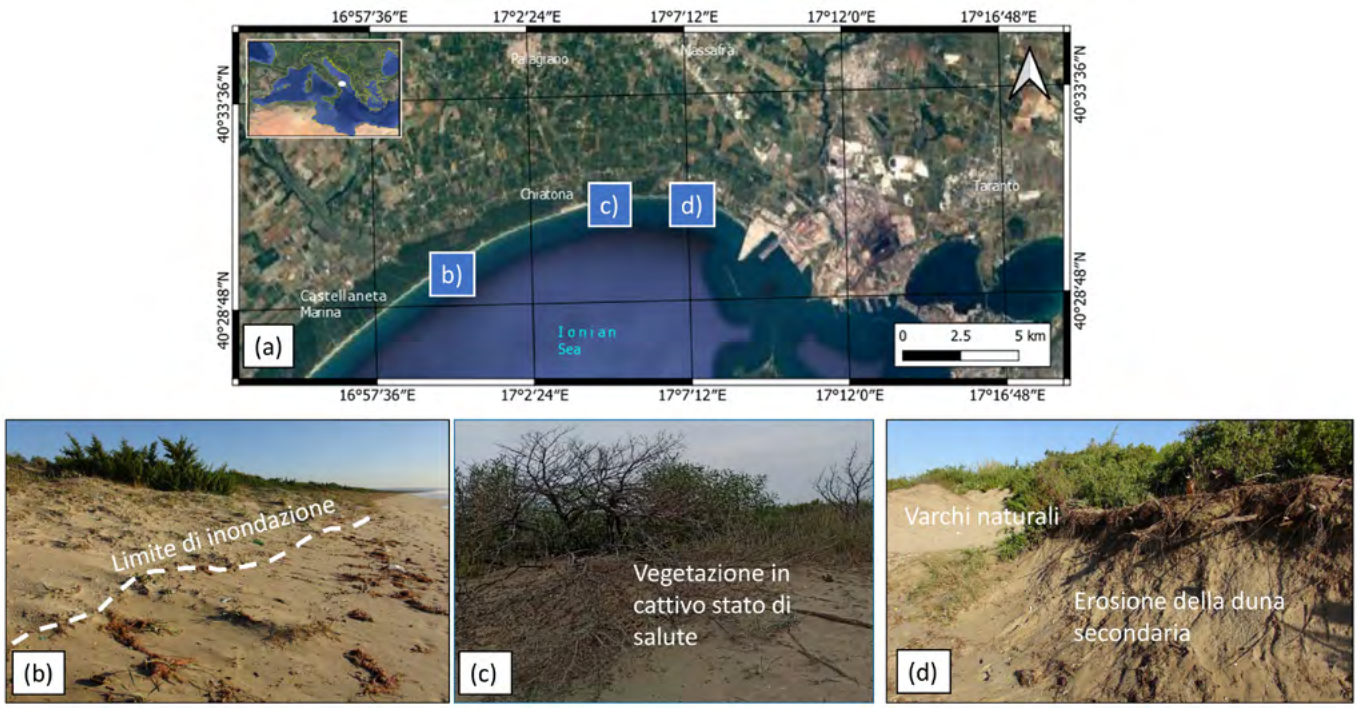



Figura 1. Sistema mobile costiero dell'area di Chiatona (Puglia, Italia Meridionale); a) inquadramento geografico dell'area di studio; a) limite di inondazione raggiunto dalle tempeste stagionali sulla duna primaria; b) stato di essiccamento della vegetazione dunale; c) erosione delle dune e ampliamento di varchi naturali.

così da poter bilanciare la mancanza di apporti sedimentari dai principali fiumi della Basilicata. Inoltre, le variazioni climatiche in atto mostrano che l'innalzamento del livello del mare e l'intensificarsi di eventi marini estremi (Antonioli *et al.*, 2017; 2020; Marsico *et al.*, 2017; Vecchio *et al.*, 2019; Scardino *et al.*, 2020) potrebbe aumentare la velocità di arretramento costiero e determinare una significativa perdita della superficie emersa.

## 3. MATERIALI E METODI

L'analisi sullo stato di salute della vegetazione dunale è stata eseguita dopo aver considerato le aree interessate da stress idrico rilevato attraverso dati satellitari e osservazioni in situ. Le aree fortemente interessate dallo stress idrico sono state rilevate mediante indagini morfo-topografiche, utilizzando dati Laser Scanner Terrestri e LiDAR, e indagini geoelettriche. I dati morfo-topografici hanno permesso di valutare i cambiamenti costieri avvenuti dal 2009 al 2023 e di determinare l'entità della perdita di sedimenti nella duna primaria.

### 3.1 Immagini satellitari multispettrali per la valutazione dello stress idrico

Le immagini satellitari multispettrali forniscono una quantità significativa di informazioni sulle caratteristiche fisiche del paesaggio. I due principali set di dati utilizzati in questo lavoro derivano dalle immagini Landsat 8/9 e Sentinel-2. Questi satelliti sono dotati di sensori sia ottici che termici. Le missioni Landsat 8/9 Livello 1 forniscono immagini multispettrali con una risoluzione spaziale di 30 m lungo una fascia di 185 km, mentre le bande termiche forniscono immagini con risoluzione di 100 m con una frequenza di acquisizione di 16 giorni. La missione Sentinel-2 è una costellazione di due satelliti in orbita polare, Sentinel-2A e Sentinel-2B. I sensori ottici di questi satelliti sono stati costruiti da Astrium SAS (Francia) e hanno 13 bande spettrali: quattro bande a una risoluzione spaziale di 10 m (con una risoluzione spettrale che va da 490 nm a 842 nm), sei bande a 20 m (con una risoluzione spettrale compresa tra 705 nm e 2190 nm) e tre bande con una risoluzione spaziale di 60 m (con una risoluzione spettrale compresa tra 443 nm e 1375 nm). Sono state selezionate scene prive di nuvole per ridurre al minimo le incertezze dovute alle condizioni atmosferiche.

Il contenuto spettrale dei set di dati è stato analizzato per evidenziare la tipica firma spettrale dell'assorbimento della clorofilla. Le firme spettrali della vegetazione dunale sono state estratte utilizzando algoritmi di classificazione semi-automatici in QGIS(Congedo, 2021). Successivamente sono stati valutati gli indici NDVI e NDMI. L'NDVI si basa sulle differenze di riflettanza nelle bande che ricadono nel rosso dello spettro elettromagnetico (dovute all'assorbimento dei pigmenti della vegetazione) e sulla riflettanza massima nelle bande del vicino infrarosso (*Near Infra Red* NIR), causata dalla struttura interna delle cellule vegetali. Per valutare l'umidità del suolo connessa allo stato di salute della vegetazione è stato utilizzato il *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI). L'NDMI si basa sulle bande NIR e *Short-Wave Infrared* (SWIR) per visualizzare l'umidità del suolo. La banda SWIR riflette i cambiamenti sia nel contenuto di acqua della vegetazione che nella struttura spugnosa del mesofillo della vegetazione, mentre la riflettanza NIR è influenzata dalla struttura interna della foglia e dal contenuto di sostanza vegetale secca (Nejad and Zoratipour, 2019; Strashok *et al.*, 2022).

### 3.2 Dati morfo-topografici

Per ottenere dati morfo-topografici sulle aree interessate da stress idrico sono stati utilizzati dati LiDAR e sistemi LST terrestri. I dati LiDAR sono stati acquisiti per le aree interne dall'ex Ministero dell'Ambiente italiano tra il 2008-2009; questi dati avevano una precisione verticale di 0.15 m e una risoluzione spaziale di 4 punti/$m^2$ e sono stati georeferenziati nel sistema di riferimento di coordinate WGS84/UTM zona 33N. I rilievi LST sono stati eseguiti nel 2022 e nel 2023 utilizzando un Faro Focus X130 LST e hanno coperto l'area litoranea emersa, che va dalla battigia alle dune terziarie.

La nuvola di punti LST è stata georeferenziata attraverso acquisizioni GPS in modalità cinematica (GPS-Real Time Kinematic) usando come base le stazioni GNSS ITALPOS (Serpelloni *et al.*, 2006; 2013). I dati LST sono stati filtrati per rimuovere la vegetazione e interpolati utilizzando un algoritmo *natural neighbour* per ottenere modelli digitali del terreno (DTM) rappresentativi dei cambiamenti costieri nel tempo, con una risoluzione di cella di 1x1 m. Le principali caratteristiche geomorfologiche (ad esempio, linea di riva, piede della duna e creste dunali) sono state mappate ed esportate in un ambiente GIS. Inoltre, è stata effettuata una *DEM of Difference* al fine di evidenziare le aree che hanno subito variazioni nella morfologia e perdita di sedimenti.

### 3.3 Indagini geoelettriche

La metodologia della tomografia della resistività elettrica (ERT) consente di ricostruire la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo. I valori di resistività dipendono da diversi fattori, come la porosità, il grado di saturazione delle rocce, la natura dei fluidi e la mineralogia dei sedimenti da investigare. Di conseguenza, le indagini ERT sono in grado di acquisire informazioni chiave in scenari in cui sono attesi significativi contrasti di resistività. Hanno avuto particolare successo nel rilevamento di cavità legate al carsismo e nella caratterizzazione degli assetti idrogeologici negli ambienti costieri (Muzzillo *et al.*, 2021; Niculescu and Andrei, 2021; Romano *et al.*, 2023). Per indagare il sottosuolo dell'area di studio è stata condotta un'unica indagine geoelettrica terra-mare utilizzando un Syscal Pro 48 cap collegato a un cavo terrestre multielettrodo a 24 canali e a un cavo marino multielettrodo a 13 canali con una spaziatura di 5 m. La lunghezza totale dei rilievi è stata di 185 m (terrestre: 115 m; marina: 70 m). Il collegamento elettrico tra i cavi e la terra è stato stabilito mediante l'uso di elettrodi integrati in acciaio inossidabile e grafite rispettivamente sui cavi terrestri e marini. Ove necessario, la resistenza di contatto dei cavi terrestri è stata

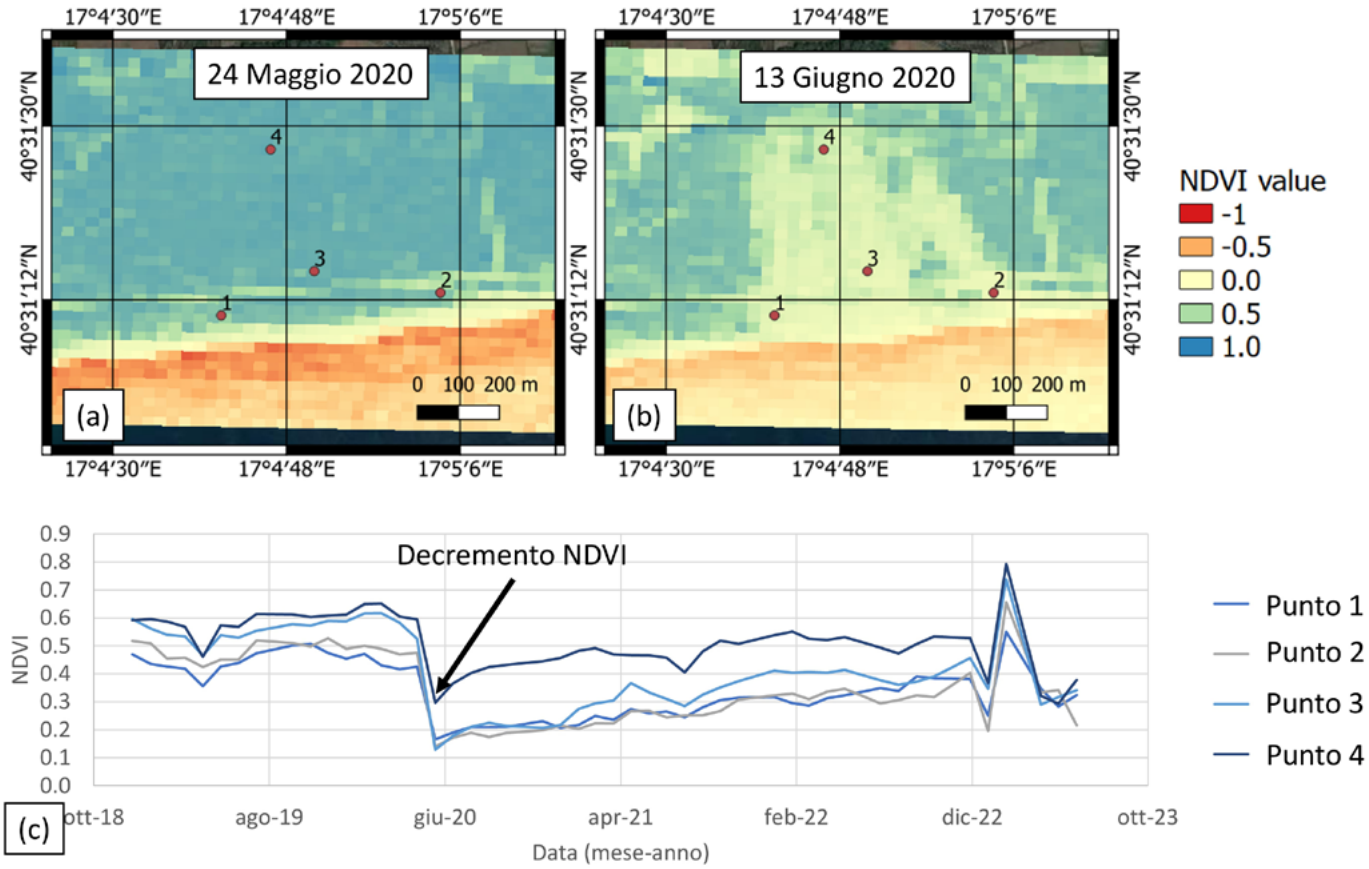



Figura 2. Analisi delle immagini Landsat 8/9 sul sistema mobile costiero di Chiatona con rispettivi punti di campionamento dei valori NDVI; a) mappa dei valori NDVI corrispondenti al giorno 24 Maggio 2020; b) mappa dei valori NDVI corrispondenti al giorno 13 Giugno 2020; c) serie temporale dei valori NDVI per i punti di campionamento (figura modificata da Scardino *et al.*, 2023), si noti il decremento NDVI causato dall'incendio del 26 Maggio 2020.

abbassata mediante l'utilizzo di acqua salata. Sono state adottate diverse configurazioni degli elettrodi per evidenziare i modelli di distribuzione della resistività all'interno del sottosuolo (Dahlin and Zhou, 2004).

Nello specifico i dati sono stati acquisiti utilizzando le seguenti configurazioni:

1. La configurazione Wenner-Schlumberger grazie al suo elevato rapporto segnale-rumore e alla sua sensibilità da moderata ad alta alle variazioni della resistività verticale;
2. La configurazione dipolo-dipolo (sia in modalità diretta che inversa) per la sua elevata sensibilità alle variazioni di resistività laterale e per evitare errori sperimentali durante la procedura di inversione;
3. Configurazione Multi Gradient per la sua elevata copertura spaziale nelle porzioni poco profonde del sottosuolo.

La qualità complessiva dei dati raccolti è stata buona e non sono state adottate particolari procedure di filtraggio ad eccezione della rimozione di alcuni punti dati con valori di resistività negativi. Nei dataset sono state incluse anche informazioni topografiche e batimetriche; questi sono stati invertiti utilizzando il programma RES2DINV (Geotomo Software; Loke and Barker, 1996). Nella procedura di inversione sono state incluse anche le caratteristiche della colonna d'acqua aggiungendo alla sezione marina del rilievo ERT uno strato di 0,3 Ω*m di resistività (resistività media dell'acqua di mare in condizioni generali) con estensione verticale calcolata dall'inquadratura topografica-batimetrica.

## 4. RISULTATI

L'analisi della firma spettrale della vegetazione dunale ha rivelato la presenza della caratteristica curva "picco e valle" prima del verificarsi degli incendi costieri nell'area del Chiatona . A seguito del verificarsi di questi incendi costieri è stato osservato un forte stress idrico nell'area estesa dalla duna primaria alle dune terziarie. Ciò ha comportato un drastico cambiamento nella tipica firma spettrale della vegetazione dunale, con una significativa perdita di riflettanza nelle bande del rosso e del NIR. La salute della vegetazione ha subito una leggera ripresa durante il 2023, evidenziata dal ripristino della firma spettrale associata alla vegetazione dunale.

Un'analisi dei valori NDVI di queste aree ha rivelato variazioni stagionali dal 2019 a maggio 2020 (Fig. 2 a-b), con valori compresi tra 0.4 e 0.8, coerenti con l'assorbimento di clorofilla associato a una vegetazione in buono stato di salute. Tra maggio e giugno 2020 si è registrato un calo significativo dell'NDVI su valori inferiori a 0.2 (Fig. 2c). Questo calo è stato rilevato nelle immagini Landsat 8/9 tra il 22 maggio 2020 e il 7 giugno 2020 e nelle immagini Sentinel-2 tra il 24 maggio 2020 e il 13 giugno 2020. Gli incendi costieri hanno interessato una superficie di circa 300750 $m^2$; questi incendi hanno causato un notevole stress idrico alla vegetazione della regione, composta principalmente da *Pinus* spp., *A. junceum* e *A. littoralis*. Durante questo periodo sono stati registrati valori NDMI inferiori a -0.25; questi valori rappresentano solitamente

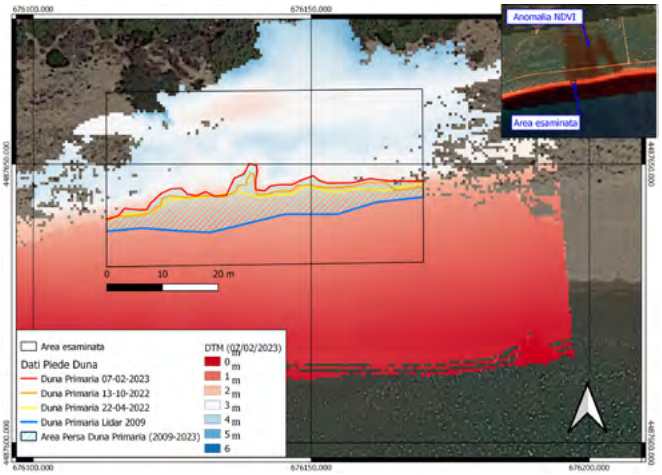



FIGURA 3. Variazioni del piede della duna primaria stimate dai dati LST e LiDAR per l'area soggetta forte stress idrico. Il poligono azzurro indica l'areale di duna primaria che è stato eroso dal 2009 al 2023.

aree con vegetazione erbacea e arborea caratterizzate da elevato stress idrico. Da notare che i dati delle serie temporali NDVI hanno evidenziato un trend positivo che potrebbe essere associato ad un miglioramento dello stato di salute della vegetazione dunale.

L'analisi dei dati morfo-topografici ha rivelato che l'erosione delle dune è generalmente aumentata tra il 2020 e il 2023. I dati LiDAR del 2009 hanno rivelato profili delle dune meno sviluppati rispetto ai dati del 2020, evidenziando l'accrescimento generale del sistema costiero. Tuttavia, i dati TLS acquisiti dal 2022 al 2023 hanno evidenziato l'entità dei processi erosivi sulle dune primarie ad un tasso attuale di $-0.38 \pm 0.1$ m/anno. I DTM sono stati analizzati comparativamente per calcolare la perdita di sedimenti in funzione dell'erosione delle dune. La perdita di sedimenti

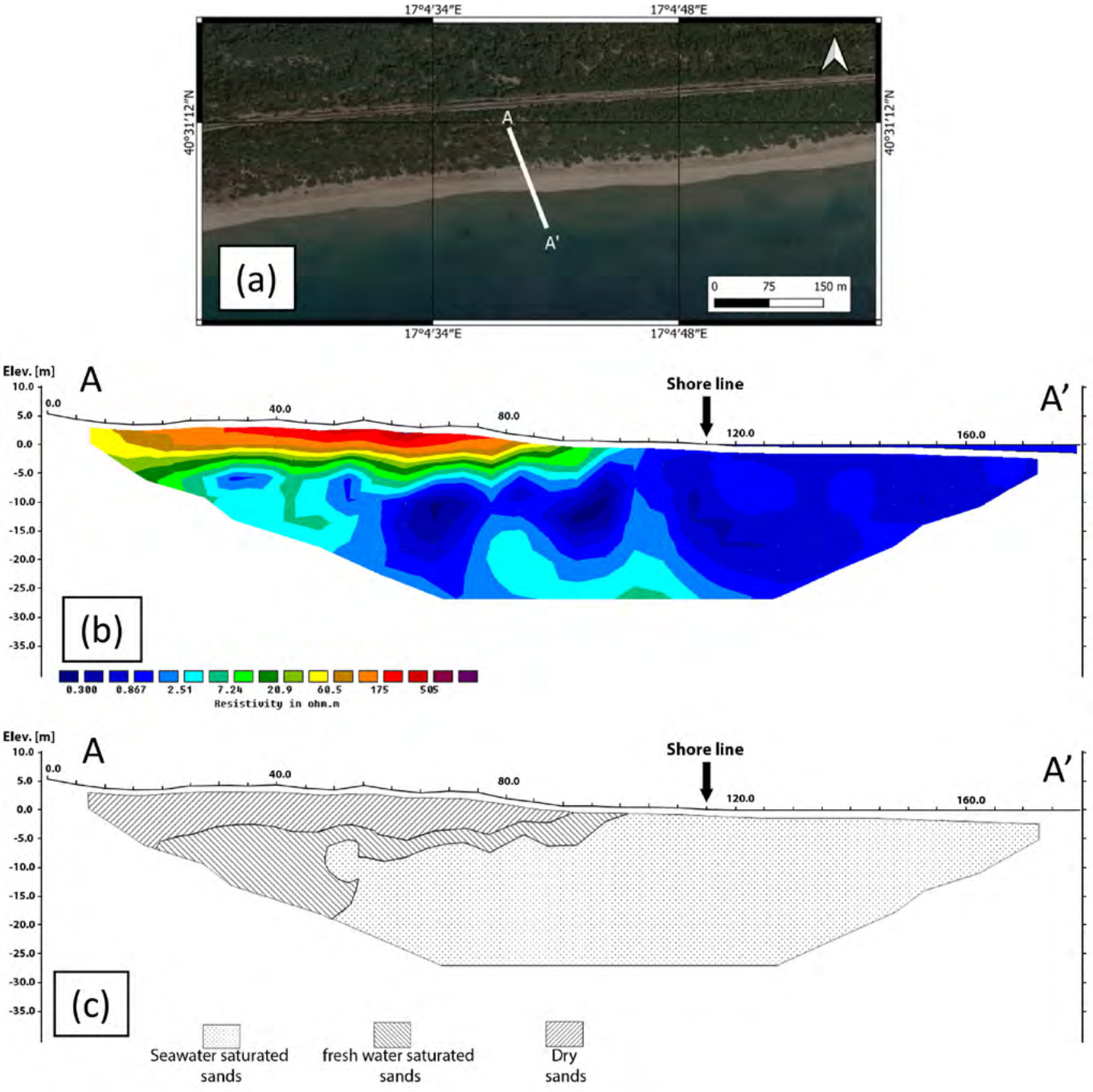



FIGURA 4. Modello ERT; a) traccia del profilo di geoelettrica terra-mare; b) modello ERT ottenuto dalla inversione del dataset Wenner-Schlumberger; c) interpretazione del modello ERT in termini di intrusione del cuneo salino.

ha comportato la migrazione del piede della duna con una perdita di volume pari a 9 $m^3$/anno (Fig. 3).

I dati delle indagini ERT hanno rivelato valori di resistività coerenti con la litologia dell'area di studio e con l'intrusione del cuneo salino nei sistemi dunali. Ciò era coerente con l'ambiente geologico piuttosto semplice dell'area di studio, dove le variazioni di resistività sono principalmente dovute ai diversi gradi di saturazione dei sedimenti. La Fig. 4 presenta rispettivamente il modello di resistività ottenuto dalla configurazione Wenner-Schlumberger e una possibile interpretazione del modello che coinvolge l'intrusione del cuneo salino. Questa interpretazione presuppone che le sabbie delle dune siano caratterizzate da elevata resistività dovuta al loro elevato contenuto di aria, mentre la resistività delle sabbie sature sottostanti dipenda fortemente dalla natura dei fluidi che riempiono i pori. Di conseguenza, aree più conduttive sono associate a sabbie sature di acqua di mare, mentre altre parti del modello, che presentano valori di resistività intermedi, potrebbero rappresentare aree sature di acque dolci o salmastre.

La relazione tra la resilienza delle dune e della vegetazione può essere espressa in due interazioni principali: interazioni di superficie e interazioni nel sottosuolo. Le interazioni di superficie coinvolgono le correnti, le maree, il moto ondoso con a vegetazione (Bouma *et al.*, 2005; Augustin *et al.*, 2009). Le interazioni nel sottosuolo implicano l'interazione dell'apparato radicale della vegetazione con la resistenza meccanica del terreno e il cuneo salino (Miller and Jastrow, 1990; De Baets *et al.*, 2008). In quest'area di studio *Pinus halepensis* e *A. littoralis* sono le principali specie che contribuiscono alla stabilizzazione della duna grazie alle interazioni sotterranee legate al loro apparato radicale. Al contrario, *A. littoralis* e *A. junceum* contribuiscono alle interazioni in superficie aumentando la resistenza idrodinamica e diminuendo l'energia impartita dagli impatti delle onde.

## 5. CONCLUSIONI

Questo studio ha analizzato l'entità dello stress idrico nei sistemi dunali di Chiatona (Puglia, Italia meridionale). I principali risultati ottenuti sono i seguenti: ì- dalle analisi NDVI e NDMI di immagini satellitari multispettrali è emerso che la superficie totale interessata da stress idrico è pari a circa 300750 $m^2$, causato principalmente da un incendio verificatosi il 26 maggio 2020; ìì – le indagini morfo-topografiche e geoelettriche hanno messo in evidenza un tasso di erosione delle dune pari a $-0.38 \pm 0.1$ m/anno. Inoltre, sono stati osservati i seguenti fenomeni: ì - Accrescimento delle dune costiere avvenuto lungo il litorale del Chiatona dal 2009 al 2020; ìì - Dal giugno 2020 al febbraio 2023, la costa di Chiatona è stata soggetta a intensi processi erosivi, espressi principalmente dall'arretramento della duna primaria. L'approccio multidisciplinare descritto in questo lavoro ha permesso di valutare le risposte specifiche di questo sistema costiero mobile in termini di resilienza costiera. In particolare, le analisi NDVI e NDMI hanno rivelato che lo stato di salute della vegetazione dunale si sta lentamente riprendendo a seguito dell'evento di incendio costiero. Tuttavia, questo ripristino non è riuscito a stabilizzare sufficientemente il sistema dunale, che è ancora soggetto a una significativa erosione. Le tecniche di telerilevamento descritte in questo studio possono essere applicate anche alla gestione delle dune costiere per evidenziare le aree colpite da stress idrico.

## RINGRAZIAMENTI

Questa ricerca è stata finanziata dalla Regione Puglia (Italia) nell'ambito del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale e del Fondo Sociale Europeo (POR Puglia FESR-FSE 20142020-Azione 10.4 "Ricerca per l'Innovazione" (REFIN): F675E915. Una prima versione di questo lavoro è stato sviluppato da Saverio Mancino nell'ambito della sua tesi di laurea presso l'Università degli Studi di Bari Aldo Moro. Inoltre lo studio è stato parzialmente condotto nell'ambito del Partenariato Esteso RETURN, finanziato dall'Unione Europea – Next-GenerationEU (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR, Missione 4 Componente 2, Investimento 1.3 - D.D. 1243 2/8/2022, PE0000005).

## BIBLIOGRAFIA

Aguilar, C., Zinnert, J.C., Polo, M.J., Young, D.R. (2012). *NDVI as an indicator for changes in water availability to woody vegetation*. Ecological Indicators 23, 290–300. doi:10.1016/j.ecolind.2012.04.008

Antonioli, F., Anzidei, M., Amorosi, A., Lo Presti, V., Mastronuzzi, G., Deiana, G., De Falco, G., Fontana, A., Fontolan, G., Lisco, S., Marsico, A., Moretti, M., Orrù, P.E., Sannino, G.M., Serpelloni, E., Vecchio, A. (2017). *Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100*. Quaternary Science Reviews 158, 29–43. doi:10.1016/j.quascirev.2016.12.021

Antonioli, F., Falco, G.d., Presti, V.l., Moretti, L., Scardino, G., Anzidei, M., Bonaldo, D., Carniel, S., Leoni, G., Furlani, S., Marsico, A., Petitta, M., Randazzo, G., Scicchitano, G., Mastronuzzi, G. (2020). *Relative Sea-Level Rise and Potential Submersion Risk for 2100 on 16 Coastal Plains of the Mediterranean Sea*. Water 12, 2173. doi:10.3390/w12082173

Arshad, B., Barthelemy, J., Perez, P. (2021). *Autonomous Lidar-Based Monitoring of Coastal Lagoon Entrances*. Remote Sensing 13, 1320. doi:10.3390/rs13071320

Augustin, L.n., Irish, J.l., Lynett, P. (2009). *Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation*. Coastal Engineering 56, 332–340. doi:10.1016/j.coastaleng.2008.09.004

Boeder, V., Kersten, T., Hesse, C., Thies, T., Sauer, A. (2010). *Initial experience with the integration of a terrestrial laser scanner into the mobile hydrographic multi sensor system on a ship*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives.

Bonora, N., Immordino, F., Schiavi, C., Simeoni, U., Valpreda, E. (2002). *Interaction between Catchment Basin Management and Coastal Evolution (Southern Italy)*. Journal of Coastal Research 81–88. doi:10.2112/1551-5036-36.sp1.81

Bouma, T.J., De Vries, M.B., Low, E., Peralta, G., Tánczos, I.C., Koppel, J. Van De, Herman, P.M.J. (2005). *Trade-Offs Related to Ecosystem Engineering: A Case Study on Stiffness of Emerging Macrophytes*. Ecology 86, 2187–2199. doi:10.1890/04-1588

Caldara, M., Centenaro, E., Mastronuzzi, G., Sansò, P., Sergio, A. (1998). *Features and present evolution of Apulian Coast (Southern Italy)*. Jour. of Coastal Research SI (26), 55–64.

Caldara, M., Capolongo, D., Damato, B., Pennetta, L. (2006). *Can the ground laser scanning technology be useful for coastal defenses monitoring?* Italian Journal of Engineering Geology and Environment 1, 35–49.

Cilumbriello, A., Sabato, L., Tropeano, M., Gallicchio, S., Grippa, A., Maiorano, P., Mateu-Vicens, G., Rossi, C.A., Spilotro, G., Calcagnile, L., Quarta, G. (2010). *Sedimentology , stratigraphic architecture and preliminary hydrostratigraphy of the Metaponto coastal-plain subsurface ( Southern Italy)*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., pp. 67–84.

Congedo, L. (2021). *Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS*. Journal of Open Source Software 6, 3172. doi:10.21105/joss.03172

Dahlin, T., Zhou, B. (2004). *A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays*. Geophysical Prospecting 52, 379–398. doi:10.1111/j.1365-2478.2004.00423.x

De Baets, S., Poesen, J., Reubens, B., Wemans, K., De Baerdemaeker, J., Muys, B. (2008). *Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength*. Plant and Soil 305, 207–226. doi:10.1007/s11104-008-9553-0

Fabris, M. (2021). *Monitoring the coastal changes of the Po River Delta (Northern Italy) since 1911 using archival cartography, multi-temporal aerial photogrammetry and LiDAR data: Implications for coastline changes in 2100 A.D*. Remote Sensing 13. doi:10.3390/rs13030529

Frati, G., Launeau, P., Robin, M., Giraud, M., Juigner, M., Debaine, F., Michon, C. (2021). *Coastal Sand Dunes Monitoring by Low Vegetation Cover Classification and Digital Elevation Model Improvement Using Synchronized Hyperspectral and Full-Waveform LiDAR Remote Sensing*. Remote Sensing 13, 29. doi:10.3390/rs13010029

Fu, B., Burgher, I. (2015). *Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater*. Journal of Arid Environments 113, 59–68. doi:10.1016/j.jaridenv.2014.09.010

Jackson, D., Costas, S., González-Villanueva, R., Cooper, A. (2019). *A global 'greening' of coastal dunes: An integrated consequence of climate change?* Global and Planetary Change 182, 103026. doi:10.1016/j.gloplacha.2019.103026

Lapietra, I., Lisco, S., Capozzoli, L., De Giosa, F., Mastronuzzi, G., Mele, D., Milli, S., Romano, G., Sabatier, F., Scardino, G., Moretti, M. (2022). *A Potential Beach Monitoring Based on Integrated Methods*. Journal of Marine Science and Engineering 10, 1949. doi:10.3390/jmse10121949

Lapietra, I., Lisco, S., Mastronuzzi, G., Milli, S., Pierri, C., Sabatier, F., Scardino, G., Moretti, M. (2022b). *Morpho-sedimentary dynamics of Torre Guaceto beach (Southern Adriatic Sea, Italy)*. Journal of Earth System Science 131, 64. doi:10.1007/s12040-022-01811-6

Loke, M.H., Barker, R.D. (1996). *Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method1*. Geophysical Prospecting 44, 131–152. doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1996.tb00142.x

Longhitano, S.G. (2015). *Short-Term Assessment of Retreating vs. Advancing Microtidal Beaches Based on the Backshore/Foreshore Length Ratio: Examples from the Basilicata Coasts (Southern Italy)*. Open Journal of Marine Science 05, 123–145.

Marsico, A., Lisco, S., Presti, V.L., Antonioli, F., Amorosi, A., Anzidei, M., Deiana, G., Falco, G.D., Fontana, A., Fontolan, G., Moretti, M., Orrú, P.E., Serpelloni, E., Sannino, G., Vecchio, A., Mastronuzzi, G. (2017). *Flooding scenario for four Italian coastal plains using three relative sea level rise models*. Journal of Maps 13, 961–967. doi:10.1080/17445647.2017.1415989

Marzialetti, F., Giulio, S., Malavasi, M., Sperandii, M.G., Acosta, A.T.R., Carranza, M.L. (2019). *Capturing Coastal Dune Natural Vegetation Types Using a Phenology-Based Mapping Approach: The Potential of Sentinel-2*. Remote Sensing 11, 1506. doi:10.3390/rs11121506

Mastronuzzi, G., Romaniello, L. (2008). *Holocene aeolian morphogenetic phases in Southern Italy: Problems in 14C age determinations using terrestrial gastropods*. Quaternary International, Subaerially exposed continental shelves: contributions from INQUA Project 0419 183, 123–134. doi:10.1016/j.quaint.2006.10.010

Mastronuzzi, G., Sansò, P. (2002). *Holocene coastal dune development and environmental changes in Apulia (southern Italy)*. Sedimentary Geology, Coastal Environment Change During Sea-Level Highstands 150, 139–152. doi:10.1016/S0037-0738(01)00272-X

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:10.1016/0038-0717(90)90001-G

Muzzillo, R., Zuffianò, L.e., Rizzo, E., Canora, F., Capozzoli, L., Giampaolo, V., De Giorgio, G., Sdao, F., Polemio, M. (2021). *Seawater Intrusion Proneness and Geophysical Investigations in the Meta-*

*ponto Coastal Plain (Basilicata, Italy)*. Water 13, 53. doi:10.3390/w13010053

Nejad, M.f., Zoratipour, A. (2019). *Assessment of LST and NDMI indices using MODIS and Landsat images in Karun riparian forest*. Journal of Forest Science 65, 27–32. doi:10.17221/121/2018-JFS

Niculescu, B.m., Andrei, G. (2021). *Application of electrical resistivity tomography for imaging seawater intrusion in a coastal aquifer*. Acta Geophysica 69, 613–630. doi:10.1007/s11600-020-00529-7

O'Dea, A., Brodie, K.L., Hartzell, P. (2019). Continuous Coastal Monitoring with an Automated Terrestrial Lidar Scanner. Journal of Marine Science and Engineering 7, 37. doi:10.3390/jmse7020037

O'Malley-James, J.T., Kaltenegger, L. (2018). *The Vegetation Red Edge Biosignature Through Time on Earth and Exoplanets*. Astrobiology 18, 1123–1136. doi:10.1089/ast.2017.1798

Romano, G., Capozzoli, L., Abate, N., De Girolamo, M., Liso, I.S., Patella, D., Parise, M. (2023). *An Integrated Geophysical and Unmanned Aerial Systems Surveys for Multi-Sensory, Multi-Scale and Multi-Resolution Cave Detection: The Gravaglione Site (Canale di Pirro Polje, Apulia)*. Remote Sensing 15, 3820. doi:10.3390/rs15153820

Sabato, L., Longhitano, S.g., Gioia, D., Cilumbriello, A., Spalluto, L. (2012). *Sedimentological and morpho-evolution maps of the 'Bosco Pantano di Policoro' coastal system (Gulf of Taranto, southern Italy)*. Journal of Maps 8, 304–311. doi:10.1080/17445647.2012.722791

Scardino, G., Sabatier, F., Scicchitano, G., Piscitelli, A., Milella, M., Vecchio, A., Anzidei, M., Mastronuzzi, G. (2020). *Sea-Level Rise and Shoreline Changes Along an Open Sandy Coast: Case Study of Gulf of Taranto, Italy*. Water 12, 1414. doi:10.3390/w12051414

Scardino, G., Mancino, S., Romano, G., Patella, D., Scicchitano, G. (2023). *An Integrated Approach between Multispectral Satellite Images and Geophysical and Morpho-Topographic Surveys for the Detection of Water Stress Associated with Coastal Dune Erosion*. Remote Sensing 15, 4415. doi:10.3390/rs15184415

Schmidt, A., Rottensteiner, F., Soergel, U. (2013). *Monitoring concepts for coastal areas using lidar data. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry*. Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-1/W1, 311–316. doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W1-311-2013

Serpelloni, E., Casula, G., Galvani, A., Anzidei, M., Baldi, P. (2006). *Data analysis of Permanent GPS networks in Italy and surrounding region: application of a distributed processing approach*. Annals of Geophysics 49. doi:10.4401/ag-4410

Serpelloni, E., Faccenna, C., Spada, G., Dong, D., Williams, S.d.p. (2013). *Vertical GPS ground motion rates in the Euro-Mediterranean region: New evidence of velocity gradients at different spatial scales along the Nubia-Eurasia plate boundary*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 118, 6003–6024. doi:https://doi.org/10.1002/2013JB010102

Silvestri, S., Marani, M., Marani, A. (2003). *Hyperspectral remote sensing of salt marsh vegetation, morphology and soil topography*. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Applications of Quantitative Remote Sensing to Hydrology 28, 15–25. doi:10.1016/S1474-7065(03)00004-4

Šimanauskienė, R., Linkevičienė, R., Bartold, M., Dąbrowska-Zielińska, K., Slavinskienė, G., Veteikis, D., Taminskas, J. (2019). *Peatland degradation: The relationship between raised bog hydrology and normalized difference vegetation index*. Ecohydrology 12, e2159. doi:10.1002/eco.2159

Strashok, O., Ziemiańska, M., Strashok, V. (2022). *Evaluation and Correlation of Normalized Vegetation Index and Moisture Index in Kyiv (2017–2021)*. Journal of Ecological Engineering 23, 212–218. doi:10.12911/22998993/151884

Tropeano, M., Cilumbriello, A., Sabato, L., Gallicchio, S., Grippa, A., Longhitano, S.g., Bianca, M., Gallipoli, M.r., Mucciarelli, M., Spilotro, G. (2013). *Surface and subsurface of the Metaponto Coastal Plain (Gulf of Taranto—southern Italy): Present-day-vs LGM-landscape*. Geomorphology, Continental Shelf Drowned Landscapes (INQUA-CMP and IGCP-526) 203, 115–131. doi:10.1016/j.geomorph.2013.07.017

Vecchio, A., Anzidei, M., Serpelloni, E., Florindo, F. (2019). *Natural Variability and Vertical Land Motion Contributions in the Mediterranean Sea-Level Records over the Last Two Centuries and Projections for 2100*. Water 11, 1480. doi:10.3390/w11071480

Yadav, T. (2018). *Habitable Exoplanets: A Literature Review of Potential Signatures of Life*.

Yousefi Lalimi, F., Silvestri, S., Moore, L.j., Marani, M. (2017). *Coupled topographic and vegetation patterns in coastal dunes: Remote sensing observations and ecomorphodynamic implications*. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences 122, 119–130. doi:10.1002/2016JG003540

Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Morales, A., Berjón, A., Agüera, J. (2004). *Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops*. Remote Sensing of Environment 90, 463–476. doi:10.1016/j.rse.2004.01.017

# Le dune violate: il caso di studio del Salento (Puglia, Italia)

## The violated dunes: the case study of Salento (Apulia, Italy)

Stefano Margiotta
Disteba, Università del Salento, Geologo

*E-mail*: stefano.margiotta@unisalento.it

**Parole chiave**: dune, erosione costiera, azioni antropiche, sostenibilità, pianificazione
**Key words**: dunes, coastal erosion, anthropic actions, sustainability, planning

## RIASSUNTO

Con i suoi 215 km di coste dei quali circa 55 km sabbiose, il Salento leccese (Puglia, Italia) costituisce un eccezionale laboratorio di approfondimento delle dinamiche agenti sulle spiagge e, in modo particolare sui sistemi dunali. La fascia costiera sabbiosa è sostanzialmente caratterizzata da spiagge di limitata estensione, delimitate lateralmente da piccoli promontori rocciosi e, nell'entroterra, da un sistema di dune, ampiamente erose dall'azione del mare e dalle attività antropiche. Questi sistemi di dune separano l'ambiente della spiaggia da vaste zone umide che occupano bassi morfologici più o meno stretti, allungati circa parallelamente alla linea di costa ed impostati in corrispondenza di depressioni tettoniche del substrato roccioso. Le aree umide sono state oggetto di interventi di bonifica svolti nella prima metà del secolo scorso e aventi l'obiettivo di debellare la malaria e restituire suolo utile per l'agricoltura. Negli anni 1960, e soprattutto nei decenni 1970 e 1980, queste aree, come tutte quelle costiere, sono state oggetto di un incontrollato sviluppo edilizio che ha portato a frammentare il paesaggio originario con estese aree costiere basse oggi interessate da veri e propri agglomerati edilizi a costituire centri urbani la cui continuità è interrotta da modestamente estese aree palustri e lagunari. Con l'approvazione degli strumenti di pianificazione regionale delle coste e, soprattutto, con il manifestarsi degli effetti dell'ingressione marina, la problematica inerente alla gestione degli ambienti di spiaggia è divenuta particolarmente sentita e di grande attualità. In questo contesto, la ricostruzione dell'evoluzione dei paesaggi e la lettura critica delle azioni antropiche che hanno accelerato e, in alcuni casi, determinato situazioni di erosione degli ambienti costieri con particolare riferimento alle dune è elemento basilare per la pianificazione delle azioni future. In questo articolo si presentano 5 casi di studio che costituiscono valido esempio di come le azioni antropiche abbiano ampiamente contributo ai fenomeni di erosione che oggi sono visibili lungo le coste del Salento leccese.




Figura 1. Ubicazione dell'area di studio.

## INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La Provincia di Lecce è ubicata nella porzione meridionale della Puglia (Italia), e mostra una lunghezza del perimetro costiero di circa 215 chilometri bagnati dai Mari Adriatico e Ionio (Fig. 1). La costa appare caratterizzata da paesaggi fisici alquanto diversi in funzione delle locali caratteristiche geologiche e morfologiche nonché della storia geologica. Nel suo insieme essa appare frastagliata tanto da poter individuare diverse unità fisiografiche principali, delimitate da promontori, e secondarie, comprese tra punte rocciose successive più o meno protese verso mare. L'analisi geomorfologica delle coste del Salento leccese permette di riconoscere quattro tipi morfologici principali: coste rocciose digradanti convesse, coste rocciose digradanti piane, falesie e spiagge. Le spiagge provengono dall'azione di trasporto e deposito da parte del moto ondoso. Esse caratterizzano, procedendo in senso orario da Nord, il litorale tra Casalabate e le Cesine, le località Torre dell'Orso e Alimini sul lato adriatico, il litorale tra Torre Vado e Torre San Giovanni, e delle località di Porto Cesareo e Gallipoli a ovest, sul lato ionico. Attualmente tutte le spiagge del Salento leccese presentano i segni più o meno vistosi di erosione (Sansò, 2023).

## I CASI DI STUDIO

In questo articolo si presentano i risultati di rilevamenti condotti su 5 aree campione ricadenti nei tratti sopra indicati (Fig. 1), allo scopo di evidenziare come l'erosione costiera sia stata accelerata dalla mancanza di politiche di oculata gestione degli ambienti e delle componenti geomorfologiche, con particolare riferimento alle dune.

### Casalabate – Cesine

Questo tratto comprende una fascia costiera estesa circa 35 km, grossomodo compresa tra Casalabate a Nord e

le Cesine a Sud. Geograficamente essa è ubicata a NE e E del centro abitato di Lecce, che amministra circa 25 km di questa fascia. Il territorio costiero può essere considerato un sistema costituito dalle unità naturali della spiaggia, delle dune e delle paludi retrodunali e da quelle antropiche degli insediamenti, delle strade, dei canali di bonifica e dei bacini (questi ultimi 2 elementi sono in più luoghi impostati su originari elementi naturali quali piccoli corsi d'acqua e aree lagunari e lacustri). Gli elementi naturali erano condizionati, quando non vi erano gli insediamenti, l'uno dall'altro per cui gli equilibri che si instauravano erano a tempo determinato ed i rispettivi perimetri mutavano al mutare soprattutto delle condizioni del mare, del vento e delle precipitazioni. Questa situazione è leggibile anche oggi: l'occupazione antropica ha di fatto smantellato in più punti il cordone dunale mettendo ancora più in comunicazione i tre elementi sopra descritti e cioè la spiaggia, le dune stesse e le aree paludose. Forti mareggiate provocano in più aree l'invasione del mare nelle aree paludose retrostanti provocando allagamenti diffusi così come, a seguito delle precipitazioni intense, le aree depresse tendono ad allargare i loro confini riconnettendosi. Vista la notevole estensione della costa che si descrive, qui si farà riferimento ad alcune insenature di Spiaggiabella - Torre Chianca (porzione settentrionale del territorio costiero) e San Cataldo (tratto meridionale) in quanto si ritengono esemplificative di alcuni aspetti che sono l'oggetto di questo articolo.

Il tratto costiero degli abitati di Spiaggiabella e Torre Chianca era naturalmente caratterizzato da una spiaggia sabbiosa delimitata da un cordone dunale dietro al quale esistevano estese aree paludose. Si tratta di una delle insenature più lunghe (complessivamente circa 3 km dei quali 2 km a N dell'Idume, un piccolo corso d'acqua che sfocia nell'insenatura e 1 km a S) orientata circa N130.

L'attuale stato dei luoghi è, però significativamente diverso da quello originario, essendo stato notevolmente modificato dall'operato antropico, dapprima con le opere di bonifica e quindi con l'edificazione. Con il progetto di bonifica del 1919 (Fig. 2), si prevedevano qui 4 distinti sistemi di canali, i quali dovevano raccogliere le acque delle più importanti risorgive poste lungo il loro percorso, convogliandole verso il mare con foci distinte. Il tracciato dei canali consentiva di allacciare tutte le principali aree morfologicamente depresse. L'apertura di un canaletto di scolo della palude posta nei pressi della Torre Chianca rilevò però ben presto problemi connessi al mantenimento in esercizio della foce così che i tecnici dell'Opera nazionale Combattenti si decisero a modificare le iniziali intenzioni. Fu così che con il progetto del 31 dicembre 1927 (presentato nella versione definitiva il 15 agosto del 1929) ad opera dell'Ing. Angelo Guerritore, si decise la riunione di tutte le acque in una sola foce, quella dell'Idume. In esso dovevano confluire 4 canali: il canale Corrente dei Gelsi e Rauccio che vennero realizzati e raccoglievano le acque delle bassure interne, il canale Fetida, anche esso poi realizzato, che collegava con l'omonima palude retrodunale posta a Est ed il canale Fiumicello (mai realizzato) che doveva arrivare al laghetto di Torre Rinalda (immediatamente a Nord di Spiaggiabella). I primi 3 canali si uniscono, così come da progetto, in un collettore principale che sbocca nell'Idume. Per realizzare tale progetto si pensò di formare (e si realizzò) nella zona delle risorgive litoranee che alimentavano prevalentemente l'Idume stesso, un bacino di espansione con fondo sotto il livello del mare allo scopo di favorire lo scambio delle acque e impedire l'insabbiamento della foce mediante l'asportazione delle sabbie nel periodo del riflusso. In questo progetto, inoltre, i tecnici pensarono di non realizzare le canalizzazioni secondarie preferendo colmare le depressioni e lasciando gli aisi (le sorgenti cioè, come vengono chiamate dai locali) *in regolari fontanili senza sfogo da utilizzare in seguito per l'irrigazione così come suggerito dal Libertini* (Todaro, 1928). Il colmamento delle bassure morfologiche avveniva mediante il prelievo delle sabbie delle dune che poi venivano trasportate mediante un sistema di rotaie laddove servivano (Cazzato e Margiotta, 2020). Si tratta quindi uno dei primi esempi documentati di smantellamento del cordone dunale e non è un caso che sia avvenuto non per mano dei privati ma del pubblico in ciò a materializzare la scarsa importanza che si dava, all'epoca, a questa importante componente geomorfologica.

Se le opere di bonifica avevano già comportato un importante modifica degli assetti naturali costieri, l'occupazione antropica mediante l'edificazione delle case che si realizza a cavallo degli anni 1980 determina uno sconvolgimento del paesaggio (Fig. 3). In questo caso l'occupazione delle aree retrodunali e non solo (come vedremo in seguito) è stata massiva e pochissimi sono gli spazi ancora liberi. In questa situazione di per sé delicata e geologicamente complessa l'aggressione antropica della zona costiera ha giocato un ruolo fondamentale nell'accelerare i processi erosivi.

Procedendo dalla linea di riva verso l'entroterra, il litorale è pressoché completamente sabbioso con tratti nei quali l'erosione costiera ha messo a nudo o mette in vista in occasione di mareggiate, il substrato sia roccioso che argilloso. Nel primo caso le rocce affioranti sono calcarenitiche a grana grossa e ricche in fossili e sono riferibili all'unità Pleistocenica inferiore delle Calcareniti di Gravina. Nel secon-




Figura 2. Una carta del 1916 (dall'Archivio di Stato di Lecce) allegata al progetto di bonifica del 17 febbraio 1919, dei terreni paludosi della III zona San Cataldo compresi tra Torre Chianca e Torre Rinalda. Gli elementi più o meno circolari rappresentano le sorgenti. Gli scoli previsti (qui riportati in matita blu), dovevano attraversare le aree depresse connettendo i vari aisi e quindi si sarebbero innestati sui due rami del fiume idume qui indicato con i nomi di Sagnia e canale pescabile del torrente.

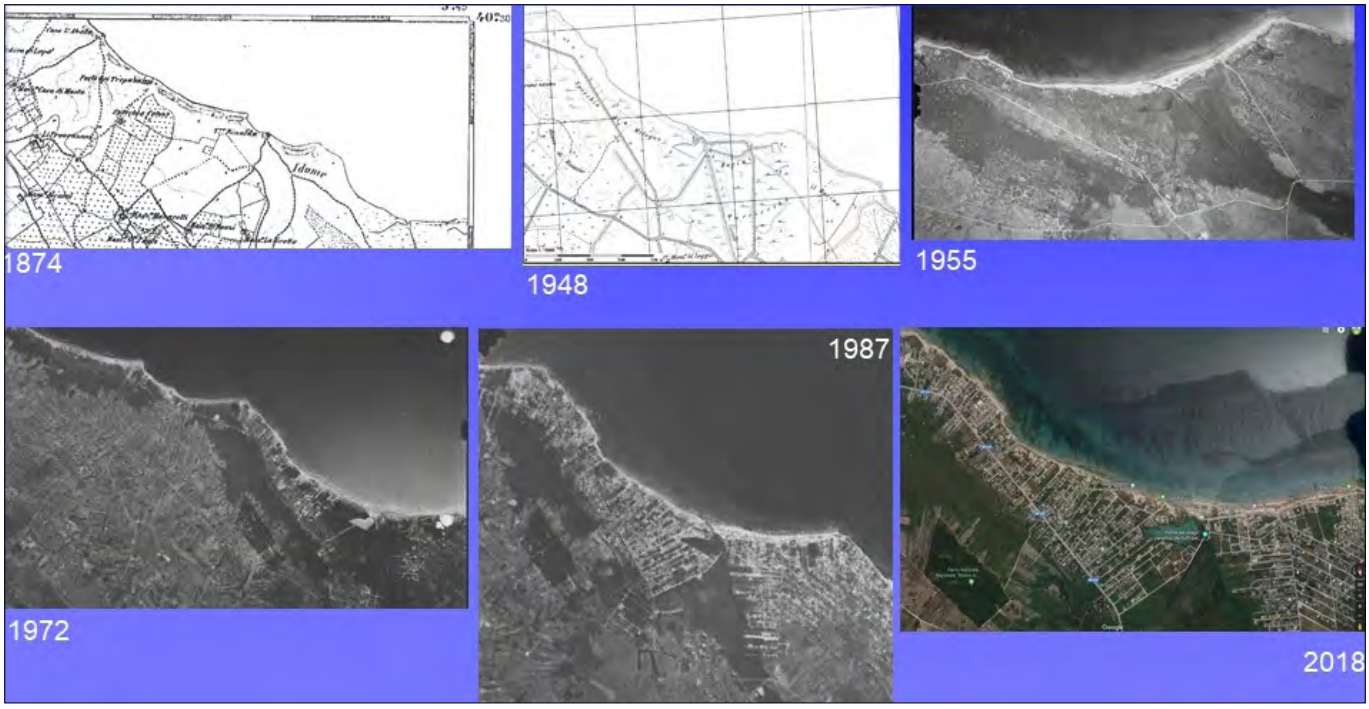



Figura 3. Cartografie e foto aeree che consentono di leggere agevolmente la trasformazione del paesaggio costiero: l'occupazione antropica si è materializzato soprattutto nel periodo tra il 1972 e il 1987.

do caso, le argille hanno colorazione dal bluastro al grigio scuro sino al nero in ciò evidenziando la natura palustre di tali sedimenti. È molto probabile che essi siano il prodotto sedimentario in una originaria palude che doveva estendersi nell'area oggi occupata dal mare, magari protetta da un sistema dunale i cui resti andrebbero ricercati sui fondali marini antistanti. Con riferimento al tratto posto a N del bacino Idume, il cordone dunale presenta quasi ovunque gli effetti dell'erosione marina con scalzamenti del piede della duna stessa (Fig. 4). Il litorale è delimitato da un sistema dunale smantellato in più punti per gli attraversamenti per il raggiungimento della spiaggia o, peggio, dove le abitazioni ed i lidi si sono sostituiti alle dune. Le aree retrodunali sono quasi ovunque occupate dalle abitazioni. Qui le strade, a seguito di eventi meteorici anche poco intensi, si allagano facilmente provocando ristagni di acqua che persistono per giorni. Gli allagamenti sono favoriti anche dalla presenza di una falda superficiale. Dal punto di vista idrogeologico, infatti, nell'area in esame sono presenti due acquiferi principali. Quello profondo, permeabile per fratturazione e carsismo, è contenuto nelle rocce mesozoiche e soggiace una novantina di metri il piano campagna. Quello superficiale circola nelle rocce permeabili per porosità del Pleistocene inferiore e soggiace poche decine di centimetri il piano campagna. Gli allagamenti di questa fascia costiera sono quindi essenzialmente conseguenza dell'impermeabilizzazione mediante l'edificato e le strade di vasti areali che un tempo occupavano aree paludose e quindi naturalmente predisposte agli allagamenti, della natura argillosa dei sedimenti palustri che non consentono un rapida infiltrazione delle acque, della presenza di una falda superficiale immediatamente sottostante il piano campagna che favorisce l'immediata saturazione del franco libero sfavorendo, al contempo, l'assorbimento delle meteoriche e dell'apertura di varchi nel cordone dunale il che permette l'invasione del mare (Fig. 5). Proprio l'apertura di questi varchi è il sinto-



Figura 4. Cordone di dune in avanzato stato di erosione a Spiaggiabella.



Figura 5. Esempio di smembramento del cordone dunale da parte dei privati nella vana speranza di allontanare le acque meteoriche accumulate da monte a ridosso dei cordoni stessi. L'apertura genera l'ingressione marina.



Figura 6. Abitazioni ormai in mare soggette a crolli e stato di intenso degrado. Si noti la presenza di un degradato cordone dunale discontinuo e smembrato per la presenza delle abitazioni.

mo più eclatante della reciproca crisi di rigetto esistente in questi territori tra la natura che non digerisce le imposizioni antropiche e cerca di riappropriarsi degli spazi perduti e l'uomo che non riesce ad addomesticare ai propri interessi il territorio che ha occupato: nel tentativo, mal riuscito, di risolvere il problema degli allagamenti eliminando l'ostacolo (le dune appunto) per il deflusso a mare delle meteoriche, i residenti hanno, infatti, tagliato il cordone dunale. Se in questa maniera può risultare più agevole l'allontanamento delle meteoriche, altrettanto agevolmente, le acque del mare invadono l'entroterra alluvionandolo (Margiotta e Parise, 2019).

Ai problemi degli allagamenti delle aree retrodunali si aggiungono quelli delle aree litorali di pericolosità geomorfologica e quindi di crollo che riguardano quelle abitazioni costruite a ridosso della linea di costa. In questo caso i problemi sono legati sia all'azione erosiva del mare che agisce direttamente sulle abitazioni che alle scarse proprietà dei terreni di fondazione che sono quasi ovunque costituiti da argille organiche di cui si è già detto e che sono attribuibili a depositi palustri meno recenti (Fig. 6). Il substrato carbonatico, in più estesi areali soggetto all'azione dei fenomeni carsici, è caratterizzato dalla presenza di cavità le quali laddove si estendono verso l'alto possono provocare la formazione di sinkhole visibili sia sulla spiaggia che nell'immediato entroterra con danni alle abitazioni e strade (Delle Rose *et al.*, 2022 e 2004; Margiotta *et al.*, 2012). Inoltre, non è da sottovalutare il danno ambientale e alla bellezza dei luoghi arrecato da queste abitazioni che sono state realizzate previo smantellamento del cordone dunale che infatti termina bruscamente in corrispondenza dei muri di cinta laterali delle suddette abitazioni (Fig. 7). In altri casi, laddove la spiaggia presenta maggiori spessori, le case costruite laddove un tempo vi era il cordone dunale sono sormontate da dune di nuova formazione la cui sabbia viene stagionalmente rimossa per permettere l'accesso agli immobili (Fig. 8).

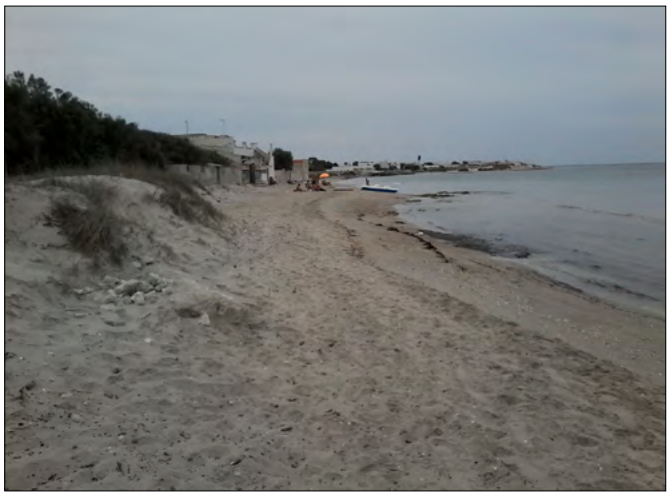


Figura 7. Abitazioni realizzate a discapito dei cordoni di dune.



Figura 8. Le abitazioni poste a ridosso della spiaggia costituiscono barriera fisica invalicabile per le sabbie che si accumulano a ridosso delle stesse abitazioni generando delle vere e proprie dune.



Figura 9. Accumuli di sabbia in corrispondenza delle strutture rigide di un lido in muratura

Situazione differente è possibile invece riscontrare a S del bacino dell'Idume laddove la spiaggia sabbiosa è delimitata nell'entroterra da una serie di lidi in muratura e cemento i quali hanno, anche in questo caso, preso il posto del sistema di dune. In questi casi, particolarmente nei periodi invernali, si può osservare come la sabbia tenda a riappropriarsi degli spazi che gli sarebbero naturalmente dovuti e si formano dune mobili anche di elevata altezza (superiore ai 2 m, Fig. 9). In corrispondenza delle aperture




Figura 10. Nel circolo, stabilimento balneare sorto laddove ci dovrebbe essere una duna, in San Cataldo.

tra i lidi stessi non è raro trovare dune che si vengono a formare nell'entroterra, al di là della strada litoranea, così come è ben visibile in più punti lungo il litorale di Torre Chianca. È evidente che i lidi in muratura, così come le abitazioni costituiscono oggi barriera rigida alla migrazione della sabbia che al primo ostacolo che incontra dà vita a estesi ed elevati cordoni dunali.

Un altro esempio particolarmente significativo delle dinamiche in atto sugli ambienti costieri salentini si può osservare a San Cataldo. Qui possiamo analizzare un tratto costiero lungo 840 m e posto a Sud del canale che collega la darsena esistente con il mare. Qui il litorale è costituito da coste basse e sabbiose bordate verso l'interno da poco estesi relitti di cordoni dunari segnati al piede da modesti gradini di erosione. Immediatamente a Sud del canale della darsena scompare l'esigua copertura sabbiosa e la linea di riva è condizionata da coste basse rocciose corrispondenti a superfici di strato che si immergono dolcemente in mare disegnando una piattaforma di modellamento in atto così come è testimoniato dai numerosi scogli isolati dalla terra ferma.

Il sito è particolarmente frequentato e negli anni, gli Amministratori hanno effettuato diverse opere sia per aumentarne la fruizione (con riferimento non esclusivo alla realizzazione di una strada litoranea immediatamente retrostante il cordone dunale) che per salvaguardarne gli ambienti di spiaggia. Per questo ultimo scopo sono stati realizzati una serie di pennelli e installate delle tecnoreef: i risultati, purtroppo non sono stati quelli sperati (Fig. 10).

Nell'equilibrio dinamico nel quale si trova l'ambiente transizionale appena descritto, un ruolo di grande importanza viene svolto dal cordone di dune fitogeniche che delimita l'ambiente costiero propriamente detto. La copertura discontinua di vegetazione presente sulla duna rappresenta infatti una specie di frangivento, in grado di intrappolare la sabbia della spiaggia, che con un moto di saltazione tenderebbe a spostarsi verso terra. In questo modo il cordone anteriore delle dune si innalza a costituire una sorta di barriera. Tuttavia, se la copertura vegetale delle dune viene danneggiata, in seguito al passaggio dei veicoli e di persone o, peggio, in seguito a lavori di sbancamento, costruzione di manufatti etc.., tenderanno a formarsi delle conche di deflazione che col tempo si estenderanno come solchi attraverso la fascia di dune. D'altra parte, un evidente risultato dello smantellamento dunare in corso è visibile proprio nel sito che qui si descrive laddove le dune si stanno evolvendo da una condizione di dune controllate dalla vegetazione ad una condizione di dune "libere" nella



Figura 11. L'apertura nella duna della precedente figura favorisce la migrazione delle sabbie nell'entroterra a formare accumuli e vere e proprie dune al di là della strada litoranea.

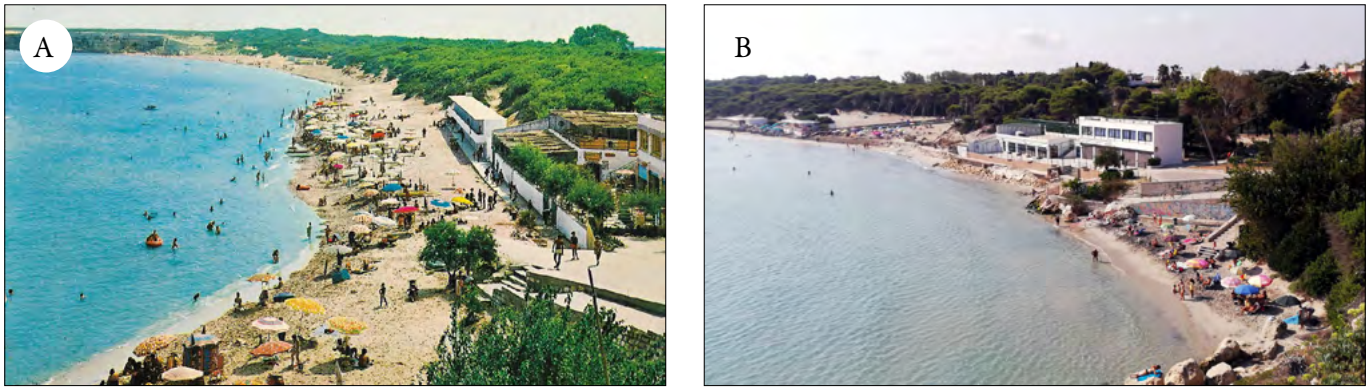



Figura 12. (A): cartolina degli anni 1970 di Torre dell'Orso. (B): foto recente dell'insenatura di Torre dell'Orso. Il confronto con la foto della precedente figura evidenzia lo stato di erosione.

quale il vento può prelevare grandi quantità di sabbia rimodellando l'intera fascia dunare. Venendo infatti a mancare interi tratti di cordoni dunari nonché estesi di vegetazione, i fenomeni di saltazione stanno facendo assumere alle dune forme "vive", con creste e versanti d'equilibrio le cui fronti stanno avanzando sommergendo la strada e parte della zona boscata posta all'interno. Risultato delle dinamiche in atto è la formazione di un cordone dunale alto oltre 2 m e posto sul lato monte della strada litoranea sopra citata (Fig. 11). Il caso appena presentato mostra con chiarezza come sia assolutamente inutile prevedere opere a mare quando il sistema a terra non sia sano, a partire dal sistema delle dune che deve essere integro e libero di reagire duttilmente alle sollecitazioni indotte dagli agenti che regolano l'ambiente costiero. Quando anche i sistemi di protezione previsti (pennelli e tecnoreef) svolgano la loro funzione favorendo l'accumulo delle sabbie, queste ultime facilmente si disperdono nell'entroterra attraverso i varchi tra i cordoni dunari. È altrettanto evidente che la soluzione di riqualificazione del paesaggio, in questo caso, passi attraverso la rinaturalizzazione degli ambienti che si potrà attuare mediante lo smantellamento della strada litoranea, la ricucitura delle ferite inferte alle dune e la rivisitazione delle opere di difesa realizzate.

## Torre dell'Orso

L'insenatura sabbiosa di Torre dell'Orso è aperta verso oriente (Fig. 1) ed è compresa tra due promontori di roccia, due falesie alte 15 m. Dal punto di vista geologico l'insenatura è costituita da calcareniti argillose giallastre (Bonfiglio e Donadeo, 1982) stratificate in banchi di spessore fino al metro e riferite al Pliocene medio; tali calcareniti affioranti in corrispondenza delle falesie, sottostanno alle sabbie della spiaggia ed al cordone dunare immediatamente retrostante. La bellezza del litorale è inoltre amplificata dalla presenza di caratteristici faraglioni, testimoni dei processi di arretramento in atto (Margiotta *et al.*, 1983) e denominati "le due sorelle". Le sabbie della spiaggia colmano la foce e parte dell'alveo di un vecchio solco torrentizio attualmente inattivo che si spingeva per qualche chilometro nell'entroterra (Mastronuzzi *et al.*, 1994). L'insenatura sabbiosa si estende per circa 800 m di lunghezza e 2,5 ettari di area ed è delimitata nell'entroterra da un sistema di dune alto qualche metro sul quale cresce una bassa vegetazione e una pineta (Fig. 12). Il nome di questa insenatura era ed è Torre dell'Orso, come quello della torre eretta nel XVI secolo a difesa della costa. La torre è di straordinaria bellezza o perlomeno così doveva apparire a coloro i quali si affacciavano su di essa dalle alte e ripide scogliere sino alla metà degli anni 1960, avvolti dal rumore del mare nel silenzio del paesaggio pressoché inabitato. Non poteva però sfuggire all'aggressione antropica della fascia costiera per gli scopi edilizi una costa bella come quella in cui è presente la baia di Torre dell'Orso. In pochi anni essa diviene una importante meta turistica. Se su 2.5 ettari di spiaggia nel 1955 si affacciavano pochi metri quadri di case, nel 1972 sono 37 ettari e oggi il territorio costruito del paese di Torre dell'Orso supera i 200 ettari (Fig. 13). Circa 100 ettari di costruito ogni ettaro di spiaggia! In questo contesto, si muovono anche gli stabilimenti balneari che sorgono, quasi ovunque, tagliando i cordoni dunali e sostituendoli con strutture in muratura e calcestruzzo. È uno scempio ambientale visto con gli occhi di oggi ma le




Figura 13. Confronto di foto aeree dell'area di Torre dell'Orso dalle quali si legge agevolmente la sproporzione tra l'abitato e la grandezza dell'insenatura.

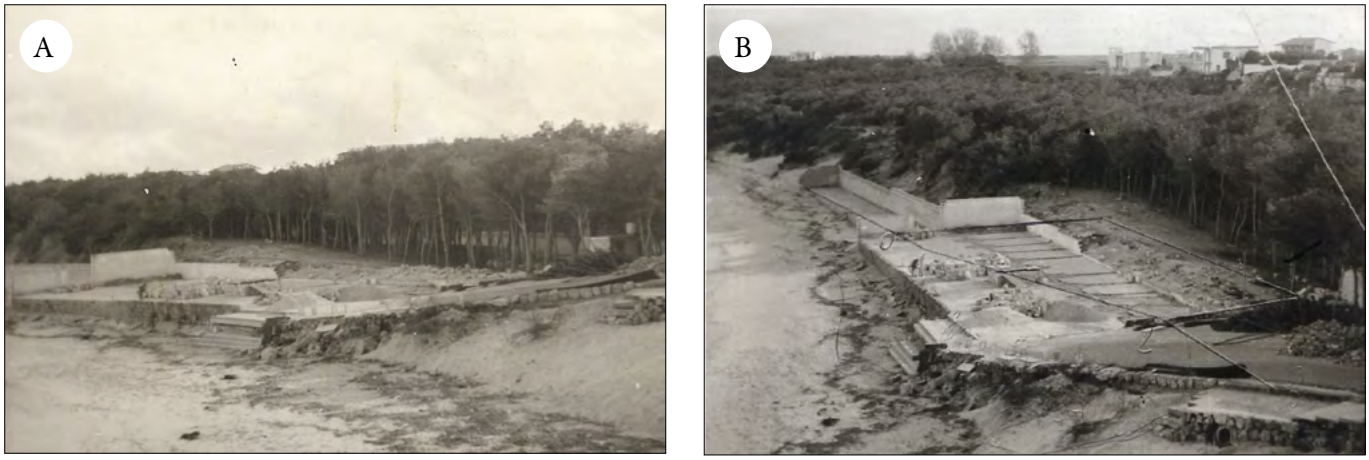



Figura 14. In figura (A) e (B) foto degli anni 1960 relative alla realizzazione del lido posto nella porzione nord della baia: si noti il taglio della pineta e la distruzione di gran parte del cordone dunale; in (C) la situazione attuale di profonda erosione e degrado.

cartoline dell'epoca dimostrano ampiamente che si tratta della norma in un periodo in cui dell'ambiente non sia ha quasi alcuna coscienza e ben che minima conoscenza. Le foto del lido risalenti all'epoca della costruzione testimoniano infatti (Fig. 14), oltre alla distruzione degli ambienti, che già allora, le onde di tempesta raggiungevano la base del fabbricato (si veda la posidonia spiaggiata).

Con questo stato dei luoghi la spiaggia di Torre dell'Orso oggi accoglie decine di migliaia di turisti potendone in realtà ospitare molti meno. La necessità dei fruitori della spiaggia di trovare una sistemazione li spinge ad "accamparsi" sin sulle dune in ciò determinando altro danno ambientale al sistema. È evidente che l'unica soluzione in grado di dare respiro all'ambiente di spiaggia allungando la vita all'insenatura oggi soggetta a una importante erosione costiera, è quella di spostare nell'entroterra tutti i servizi (compresi quelli degli stabilimenti), in corrispondenza della zona retrodunale, peraltro servita da una strada pedonale. Lungo la stessa strada potranno essere posti pannelli esplicativi delle dinamiche delle spiagge così come della storia geologica e recente dell'insenatura. Sarà inoltre necessario stimare la capacità della spiaggia in termini di numero di bagnanti che possono contemporaneamente usufruire dell'insenatura. L'accesso all'insenatura stessa dovrà quindi essere effettuato a numero chiuso e su pre-




Figura 15. Nel periodo estivo sono migliaia i bagnanti che si riversano nella baia di Torre dell'Orso. Non trovando spazio sulla spiaggia stazionano, frequentissimi, sulle dune.

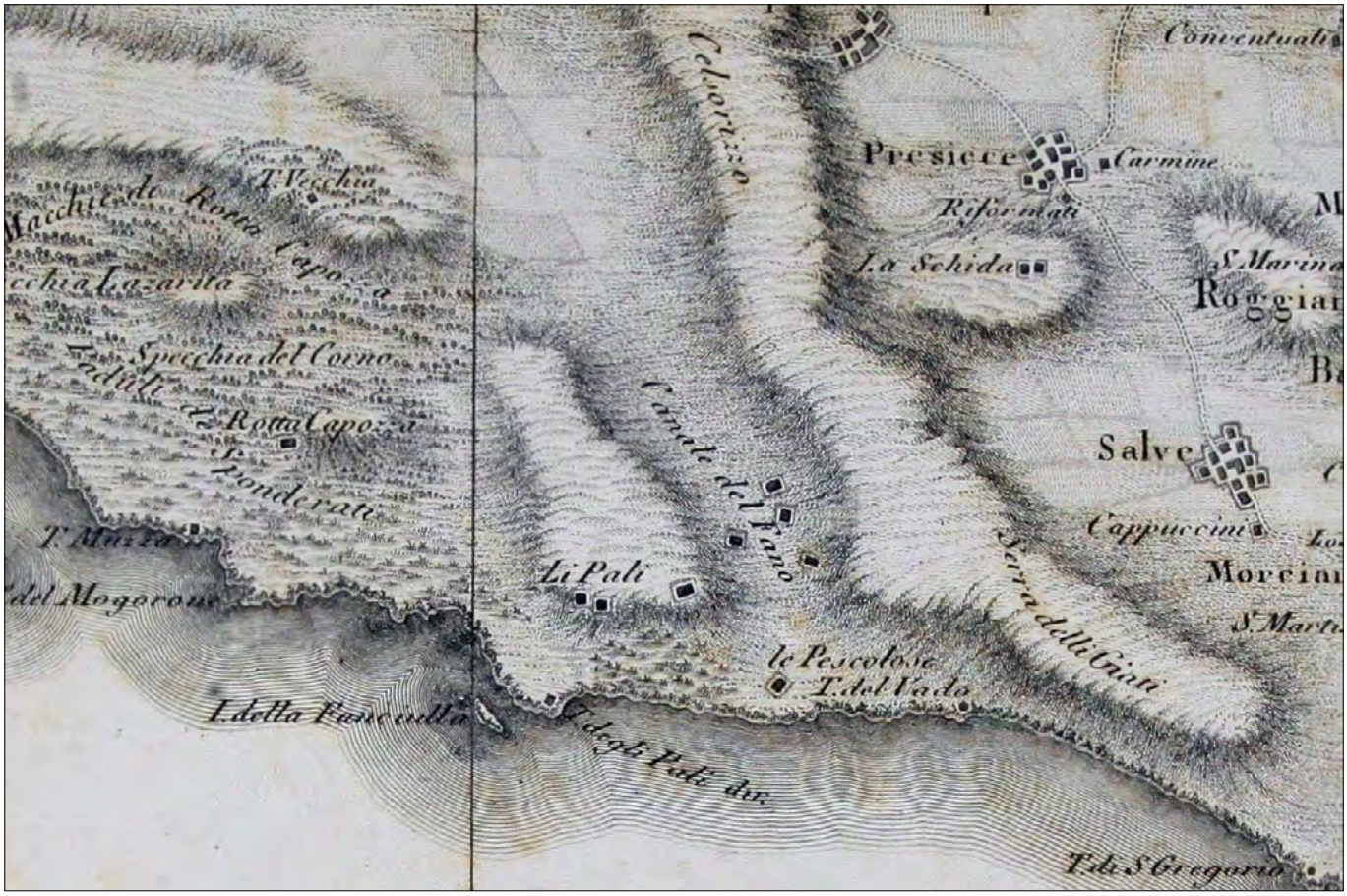



Figura 16. Atlante Rizzi Zannoni del 1808: si noti che Torre Pali si trova sulla terra ferma.

notazione: un approccio radicalmente differente da quello attuale che strizzi l'occhio al turismo di qualità piuttosto che alla quantità dei visitatori.

**Torre Vado – Torre San Giovanni**

Di questo esteso tratto posto nella porzione sud – occidentale del territorio Salentino e che si affaccia sul Mare Ionio, qui analizziamo una porzione ricadente nel territorio amministrativo di Salve (Fig. 1) in quanto presenta caratteri distintivi particolarmente interessanti per comprendere alcune dinamiche che coinvolgono i sistemi di dune. La fascia costiera che si analizza è lunga circa 7,5 km: 2,0 km sono caratterizzati da una costa rocciosa bassa con insenature sabbiose e ciottolose bordate da discontinui cordoni dunali; altri 5,5 km circa sono invece costituiti da spiagge con fondali sabbiosi solo a luoghi rocciosi, bordate nell'entroterra da cordoni dunali che delimitano a loro volta aree depresse retrodunali palustri oggi bonificate. Il territorio costiero ricade quindi in quello più vasto della fascia riportata nell'inquadramento territoriale compresa tra Torre Vado e Torre San Giovanni.

Il territorio di Salve è inoltre caratterizzato dalla presenza di numerose incisioni riconducibili a corsi d'acqua oggi inattivi o di carattere episodico: tali impluvi si attivano in corrispondenza di eventi meteorici di elevata intensità per i quali le portate drenate dai bacini imbriferi ruscellano superficialmente raccogliendosi nelle gravine maggiori o minori del territorio e defluiscono verso valle sboccando poi nel Mar Ionio. Talvolta le emergenze sorgentizie alimentano questi corsi d'acqua attraverso la risalita delle acque di falda. La fine delle gravine morfologicamente incise e lo sbocco nella piana retrodunale determinano fenomeni di alluvionamento diffusi sull'aree prossime alle foci, dove attualmente sono presenti numerosi parcheggi o altre strutture/attività.

L'analisi della cartografia e delle foto aeree disponibili consente di ripercorrere l'evoluzione del paesaggio costiero andando indietro nel tempo perlomeno sino agli ultimi 200 anni. Uno dei documenti più antichi ai quali è possibile fare riferimento è l'Atlante del Regno di Napoli delineato per Ordine di Ferdinando IV, re delle due Sicilie a Gio. Rizzi – Zannoni, geografo ufficiale del Regno. L'Atlante fu completato nel 1808 dopo circa 20 anni di studi. Salve fa parte del Foglio 23 dell'Atlante (Fig. 16). In questa carta, tra gli elementi più interessanti che possiamo notare è certamente il fatto che la Torre Pali (indicata come diruta) è posta sul substrato roccioso mentre oggi è in mare a circa 30 m dalla linea di riva del litorale sabbioso di Salve (Fig. 17). Torre



Figura 17. Immagine attuale di Torre Pali la quale si trova in mare.

Pali fu costruita nella seconda metà del XVI secolo, parte di un sistema difensivo costruito lungo il perimetro del Salento per contrastare le incursioni piratesche. La sua base è circolare ed ha un diametro di 15 m e raggiunge gli 11 m s.l.m. di altezza. Il locale paesaggio costiero è marcato dalla presenza di una piattaforma rocciosa debolmente inclinata verso mare fra 5 m e -1 m s.l.m. modellata su calcareniti del Pleistocene superiore (Sintema di Torre del Pizzo, Ricchetti 2009). Su di essa poggia Torre Pali che ha il piede ad una profondità compresa tra -0.47 e -0.70 m s.l.m.. Gli indicatori biologici rilevati sul suo muro perimetrale confermano la piccola escursione di marea (circa 25 cm) e la posizione della sua base alcuni decimetri al di sotto del livello di bassa marea. La posizione di Torre Pali può essere facilmente spiegata assumendo una posizione del livello del mare al tempo della sua costruzione 0.6 – 1.0 m più in basso dell'attuale. In questo caso la piattaforma rocciosa attualmente sommersa avrebbe costituito una poco rilevata punta rocciosa e la torre, al momento della sua costruzione, si sarebbe venuta a trovare in una posizione sufficientemente arretrata da non essere raggiunta dalle mareggiate. I dati raccolti nel bacino del Mediterraneo e i risultati dei modelli glacio-idro-isostatici disponibili indicano una posizione del livello del mare durante il XVI secolo a circa 20-30 cm al di sotto della posizione attuale. La presenza di Torre Pali suggerisce che almeno negli ultimi 500 anni la costa ionica del Salento è stata interessata da subsidenza tettonica (Mastronuzzi e Sansò 2014).

Un altro riferimento importante per la ricostruzione dell'evoluzione del paesaggio è certamente il rilievo IGM del 1874 in scala 1:50.000. Con riferimento alle osservazioni appena compiute sulla Torre Pali, appare evidente che qui la Torre stessa è già ubicata in mare in ciò consentendo di temporalmente ubicare nel periodo compreso tra la fine del XVIII e del XIX secolo il momento dell'annegamento della base della struttura (Fig. 18). Con particolare riferimento al territorio costiero, è possibile effettuare una dettagliata ricostruzione dell'evoluzione del paesaggio sulla base di numerose cartografie e relazioni dei primi del XX secolo.

Questa porzione di territorio costiero infatti, è stata interessata, sin dalla fine del XIX secolo, da una serie di progetti che avevano lo scopo di bonificare un esteso sistema di paludi che interessava la zona retrodunale costiera, da Ugento (paludi Mammalie e Rottacapozza) sino a Posto vecchio di Salve (palude denominata Pali nei documenti delle bonifiche).

*"Separati da oltre 2300 m da spiaggia a battigia rocciosa distendentesi pianeggiante e discretamente dominante a mò di terrazza sul mare, detti gruppi di paludi coprono un estensione rispettivamente di ettari 230,30 (paludi Mammalie e Rottacapozza) e 30,00 (quella di Pali appunto), rispettivamente, con oscillazioni abbastanza sensibili dall'inverno all'estate, a causa della scarsa elevazione del loro contorno pianeggiante, su cui, la maggiore immissione di acque da parte delle gronde montane e la minore evaporazione nello inverno, ed il fenomeni invertito nell'estate, ha facile giuoco sulle variazioni estensive dello specchio d'acqua. Originate dall'insabbiamento litoraneo ostacolante il libero deflusso in mare delle gronde e delle infiltrazione dei versanti collinosi retrostanti, le dette strisce sono isolate dal mare da dune alte ... . Il terreno delle paludi è costituito da alluvioni sabbiose sovrapposte al tufo calcareo conchiglifero pliocenico, a compattezza crescente dal mare all'interno ove congiungesi col calcare compatto del Cretaceo che costituisce gran parte il vicino altipiano. Il terreno paludoso e quello soggetto all'invasione delle acque ha un'altezza sul livello medio marino variabile da 10 cm a 80 cm. Su di esso si raccolgono le acque superficiali scendenti dalle alture vicine e quelle meteoriche proprie; mentre quelle di infiltrazione provenienti dal vicino altipiano, alimentano falde freatiche che si elevano sino a 70 cm sul livello del mare."*




Figura 18. Cartografia IGM del 1879: la Torre era già in acqua.

Così descriveva lo stato dei luoghi A. Torri in una relazione del 1913 (custodita presso l'archivio di Stato della sede di Lecce) riportante i cenni geologici del territorio e più in generale gli studi sulle bonifiche da attuarsi. I primi progetti di bonifica dei terreni paludosi sono già del 1860 ma di fatto escludono le paludi Pali tanto che si dovrà attendere il 1901 quando l'Amministrazione provinciale di Terra d'Otranto commissionò la stesura di un "progetto di risanamento igienico" più organico. Per drenare le acque in eccesso presenti in superficie si dovette attendere però il 1934, quando si avviò la bonifica integrale di numerosi comprensori palustri mediante lo scavo di bacini e canali.

Il progetto, redatto in più fasi tra il 1930 e il 1933, prevedeva:

- l'apertura di un canale di acque alte circondariali che raccoglieva le acque provenienti dalle alture convogliandole verso il mare;
- l'apertura di un canale collettore delle acque basse di modo che, durante le fasi di bassa marea, il flusso idrico sarebbe stato diretto verso mare e il contrario si sarebbe realizzato nelle fasi di alta marea, con il conseguente miscelamento di acque dolci e salmastre: ciò avrebbe reso più salubre il comprensorio. Le aree maggiormente depresse inoltre sarebbero state colmate utilizzando i terreni risultanti dallo scavo del bacino;
- l'apertura di emissari a mare per lo scolo delle paludi Foscarini e Conca d'arena che risultavano più elevate rispetto al livello del mare.

Di questi progetti restano splendide testimonianze cartografiche che ci consentono di osservare l'evoluzione del paesaggio costiero (Fig. 19). La massima espansione urbanistica di questi territori costieri si ha negli anni 1970 – 1990 e riguarda sostanzialmente i promontori rocciosi che delimitano la grande insenatura sabbiosa. Il territorio



Figura 19. Una delle cartografie (del 1915) allegate ai progetti di bonifica (dall'Archivio di Stato di Lecce) dalla quale si evince l'estensione delle aree palustri e il progetto del canale che le doveva drenare.

di Salve rappresenta un ottimo esempio, purtroppo, delle varie forme di degrado connesse agli usi antropici.

Con riferimento al tratto roccioso, qui il carattere distintivo è costituito dal paesaggio carsico: il sito rappresenta uno splendido esempio in cui l'evoluzione della costa è governata oltre che dai processi legati ai movimenti del mare, a quelli connessi a fenomeni di sprofondamento con genesi tettono-carsica. Le doline da crollo, in più aree costituiscono aree umide. Proprio la presenza dei sinkhole ha certamente nel tempo scoraggiato gli insediamenti urbani il che ha consentito una certa tutela dell'area. Ciò nondimeno, lo stato di abbandono e assente pianificazione degli accessi, consente oggi di giungere con gli autoveicoli sino alla linea di costa attraversa tratturi. Le auto (compresi i camper) arrivano sin sulla spiaggia provocando gravi danni agli ecosistemi (Fig. 20). Sono presenti veri e propri sentieri che tagliano i cordoni dunali i quali dovranno essere ripristinati. Questo tratto di costa può costituire per il territorio di Salve un attrattore di un'altra forma di turismo, quello culturale-ambientale. Per ottenere questo risultato è necessario ricucire gli strappi provocati dall'uomo e correttamente disciplinare gli accessi. Nessun mezzo a motore dovrà accedere all'area.

Il tratto costiero che si è descritto potrà essere dotato di una serie di servizi come chioschi, aree di scambio delle biciclette, info point. Potranno essere ideati dei percorsi a tema con cartellonistica e aree di sosta. Quest'area, in sostanza, sebbene presenti le ferite provocate dalle cattive abitudini di chi lo frequenta, ha ancora una naturalità importante motivo per il quale, se verranno messe in atto



Figura 20. Una delle piccole insenature della porzione rocciosa bassa: si noti la presenza delle auto le quali arrivano sin sulla linea di riva distruggendo le dune presenti.



Figura 21. Falesia nei depositi alluvionali del canale Fano che denuncia la profonda erosione della costa.



Figura 22. Resti di un cordone di dune inglobato nel giardino di un abitazione ormai a ridosso della linea di riva.

le politiche adeguate, potrà sviluppare virtuosamente le incredibili potenzialità che si è cercato qui di evidenziare costituendo valido esempio per aree con caratteristiche analoghe.

Per quanto riguarda l'insenatura sabbiosa, alle naturali dinamiche di ingressione marina e conseguente erosione dei cordoni dunali (particolarmente spettacolare l'erosione nei pressi del tratto della foce di un canale laddove la linea di costa si è trasformata da bassa sabbiosa in alta a falesia intagliata nei depositi alluvionali, Fig. 21), si sommano, in maniera ancora più accentuata, quelle legate alle azioni dell'uomo. Nella porzione urbana l'edificato affaccia ormai direttamente sulla spiaggia la cui ampiezza è molto limitata: in più casi le dune sono parte integrante dei giardini di proprietà privata (Fig. 22). L'eccessiva frequentazione nel periodo estivo fa si che il sistema dunale sia intensamente frammentato con numerosissimi accessi, mediamente uno ogni 15 m (Fig. 23). La gestione della duna è stata poi condizionata anche dai tentativi mal riusciti di risolvere il problema degli allagamenti. Le aree retrodunali, infatti, costituiscono territori molto appetibili in quanto consentono il parcheggio dei mezzi a motore dei bagnanti ma al contempo sono a elevato rischio idraulico proprio perché originariamente paludose e comunque, per la presenza delle dune che non consentono alle meteoriche la corrivazione in mare. I sistemi di bonifica dell'inizio del secolo scorso sono insufficienti a risolvere il problema anche in ragione di una scarsissima manutenzione dei canali. In questo contesto appare esemplificativo di una cattiva gestione dell'ambiente costiero la realizzazione di un progetto in cui è stato cucito un tratto di sistema dunare il quale però in realtà costituiva lo scolo originale di una laguna retrostante. L'intervento




Figura 23. Esempio di un tratto in cui in appena 300 m sono presenti circa 20 tagli trasversali al cordone dunale per l'accesso, una viabilità parallela al cordone (indicata con x) che di fatto lo attraversa e numerosi altri tagli nelle aree retrodunali (sempre con x). In verde gli attraversamenti che potrebbero essere consentiti realizzandoli nel rispetto delle originarie morfologie. Tutti gli altri percorsi dovranno essere rinaturalizzati.

è durato il tempo di un'alluvione essendo stato spazzato dalla forza delle acque ricadenti sul bacino di pertinenza (Fig. 24). D'altronde proprio lì la duna non c'era mai stata!

È evidente che qui la fruizione dell'area debba essere completamente ripensata e debba passare attraverso progetti che coniughino la mitigazione della pericolosità idraulica con la riqualificazione del paesaggio, il desiderio dei cittadini di fruirne e dei privati di averne profitto. In quest'ottica, la rinaturalizzazione delle foci, delle aree umide oggi interrite per consentire i parcheggi, la ricucitura dei cordoni dunali laddove effettivamente smantellati dall'uomo e quindi, la regolarizzazione degli accessi devono costituire le linee guida per una corretta gestione del territorio.

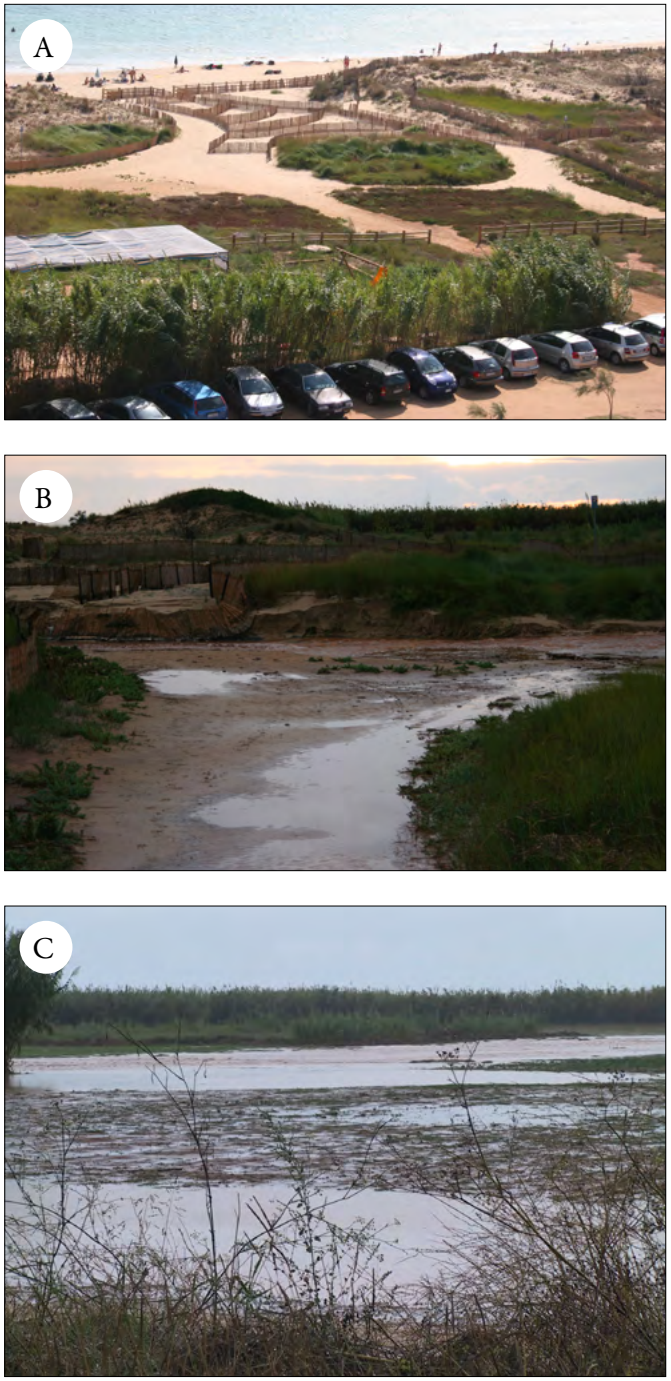



Figura 24. In (A) intervento di cucitura dei primi anni 2000 di un cordone di dune laddove però le dune non ci sono mai state per la presenza dello scolo di una depressione retrodunale; in (B) la furia delle acque meteoriche distrugge, inevitabilmente, l'intervento della figura precedente e in (C) l'alluvione dell'entroterra.

## Gallipoli

Gallipoli si affaccia, per circa 31 km sul mare Ionio (Fig. 1). In questo articolo si pone l'attenzione sull'unità fisiografica più meridionale del territorio amministrativo (lunga circa 10 km), compresa tra Punta del Pizzo a Sud e il porto di Gallipoli a Nord, laddove è presente l'agglomerato urbano.

All'interno di questa unità fisiografica, il trasporto solido litoraneo è influenzato dalla presenza della foce del canale dei Samari (Fig. 25). Il reticolo idrografico di quest'area è caratterizzato dall'asse principale in cui confluiscono numerosi corsi d'acqua minori diffusamente dislocati nel territorio a monte; essi sono talvolta riconducibili a incisioni marcate nel territorio e talvolta, in prossimità della costa, a canali di bonifica subparalleli alla riva. Nonostante le opere di bonifica che anche in Gallipoli hanno caratterizzato i decenni a cavallo del 1900, tutta la piana retrodunale mantiene una naturale predisposizione allo sviluppo della vegetazione tipica delle aree umide, tanto grazie all'affioramento delle acque di falda quanto per via delle esondazioni del fosso dei Samari; tale area si configura, in conclusione, come una vasta piana alluvionale retrodunale. Il basamento roccioso delle dune mobili è costituito da depositi eolici di duna cementati (dune fossili, Fig. 26), fra

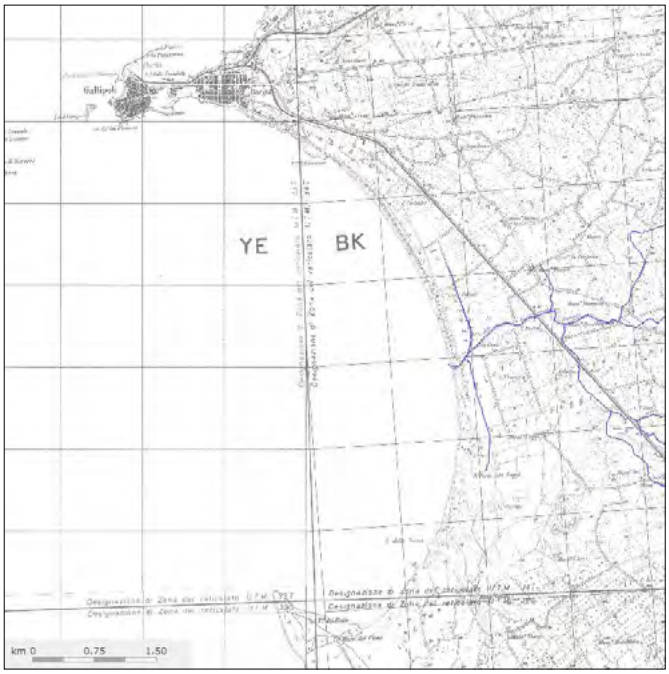



Figura 25. Stralcio della tavoletta IGM del 1948 con rappresentazione dell'insenatura a Sud di Gallipoli e del reticolo idrografico.



Figura 26. In primo piano le dune fossili che costituiscono il basamento delle dune recenti. A ridosso di queste ultime il guardrail della strada litoranea.

i meglio conservati dell'intero perimetro costiero pugliese, organizzati in cordoni circa paralleli alla costa fra i 28 m di quota e il livello del mare. Quello più esterno raggiunge la quota massima di circa 15 m ed è costituito da calcareniti di colore marroncino a granulometria medio-fine, molto ben classate, con stratificazione incrociata ad alto angolo e resti di gasteropodi polmonati. Esse poggiano su calcareniti cementate di colore marroncino chiaro, sottilmente stratificate. Il contatto è segnato da una crosta pedogenetica di colore rosso scuro e da una sottile copertura di suolo fortemente cementato di colore rosso brunastro. Il cordone dunare eolico è stato alimentato dalle ampie spiagge bioclastiche sviluppatesi lungo la costa della Puglia meridionale al termine della veloce fase di risalita del livello del mare verificatasi fra l'inizio dell'Olocene e l'Olocene medio. Il deposito costituisce geosito (Mastronuzzi *et al.*, 2015).

La porzione dell'insenatura a Sud della foce dei Samari è caratterizzata per circa 5 km da insenature sabbiose più o meno estese delimitate da promontori rocciosi anche alti oltre una decina di metri. Nell'insenatura più meridionale di questa porzione, l'erosione è causata principalmente dalla forza del mare così come è evidente per lo scalzamento del piede della duna che assume per tutta la sua lunghezza assetto a falesia. Un altro elemento che indica chiaramente l'erosione in corso è l'affioramento del substrato roccioso che caratterizza la porzione più settentrionale della baia. Lo stato di naturalità è sufficientemente conservato anche se è necessario meglio definire gli attraversamenti pedonali. La buona capacità del sistema del cordone dunare di migrare nell'entroterra in ragione della pressoché totale assenza di elementi antropici a confinarlo rigidamente e della buona larghezza del sistema stesso, concorrono a definire una resilienza moderata all'erosione. Situazione differente si può agevolmente leggere percorrendo il tratto costiero caratterizzato dall'insenatura delimitata a Nord dalla foce del canale dei Samari. La parte più meridionale di questa insenatura è stata interessata da interventi difesa con staccionate e schemi frangivento che hanno dato buoni risultati. D'altro canto, l'assetto a falesia del cordone mette in risalto l'azione erosiva esercitata dal mare rispetto alla quale saranno stati, appunto, previsti gli interventi di cui sopra. Il tratto settentrionale di questa insenatura è invece fortemente compromesso dalle attività antropiche. L'erosione per l'azione del mare è tangibile così come si evince dall'affioramento quasi continuo del substrato roccioso delle dune fossili e dall'assetto a falesia delle dune. La continuità del cordone dunare è fortemente minata dalle opere antropiche, anche importanti, presenti. Gli interventi di difesa previsti (probabilmente posti dai privati e costituiti da cannicciate e reti) appaiono non ben dimensionati e altrettanto malamente posizionati tanto che andrebbero eliminati (Fig. 27). La continuità interna del cordone dunare viene meno per la presenza degli insediamenti edili. Infine, la porzione più prossima alla foce del cordone dunare appare in evidente erosione: questa erosione è chiaramente connessa alla mancanza di una parte della ricarica derivante dal trasporto litorale dei sedimenti bloccato a Nord della foce a mare. In questo tratto è opportuno rivedere completamente il sistema costiero incentivando la rinaturalizzazione, per quanto possibile, e comunque prevedendo l'eliminazione degli elementi detrattori, la posa in opera di sistemi di difesa del cordone dunare, l'eradicazione delle specie aliene e l'impianto di specie vegetali compatibili con l'ambiente costiero.



Figura 27. Struttura ricettiva posta a ridosso del cordone dune parzialmente smantellato proprio per far posto all'edificio.

Per quanto riguarda l'unità gestionale costiera posta a Nord della foce del canale dei Samari, caratterizzata da un'estesa insenatura prevalentemente sabbiosa lunga circa 3300 m, importanti informazioni circa l'evoluzione di questo tratto del paesaggio costiero, anche in relazione alla componente geomorfologica dei cordoni dunari, rivengono dalle relazioni e disegni allegati ai progetti di bonifica. Nei primi anni del 1920 la progettazione degli interventi di bonifica (Fig. 28) della zona che si descrive prende corpo. In una relazione della seconda sezione del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici, adunatasi il 16 dicembre 1921 per discutere del progetto del 2 settembre dello stesso anno (che prevedeva la sistemazione della zona in destra del fosso dei Samari attraverso la regolarizzazione della foce e l'interrimento dei canali realizzati dagli agricoltori) e che porterà all'approvazione dello stesso progetto si legge, tra le altre cose che .... *È giocoforza ammettere che siano impiegati per tali colmate artificiali le sabbie delle dune. Che, però, a mantenere per quanto possibile intatta l'altezza dei più alti lobuli occorreva prelevare la materia dalle scarpate verso mare delle dune stesse, dove le condizioni locali si presenteranno più favorevoli, si evitando di intaccare i lobuli più internati, nei quali sia stata fatta già opera di bonifica agricola, piantagione di difesa ed altro nell'intento della difesa del retroterra dalle invasioni marine. Insomma devesi prescrivere che all'abbassamento delle dune, mai al di sotto dei metri tre sul livello medio del mare, si dovrà ricorrere solo quando non possono prelevarsi le materie altrimenti, anche aumentando la distanza di trasporto al sito d'impiego.....* Anche in questo caso quindi, così come per Lecce, le colmate delle paludi avvengono con le sabbie delle dune!

In questo contesto, nel novembre 1928, il Presidente del Consiglio Provinciale dell'economia di Lecce, Prefetto Giovanni Maria Formica, aveva richiesto delle segnalazioni preliminari al progetto di bonifica dei terreni paludosi. Il Commissario Prefettizio del Comune di Gallipoli aveva quindi dato mandato ai tecnici di rispondere alla richiesta del Prefetto e in quella lettera si legge che, tra gli altri interventi, viene caldeggiato il rimboschimento delle dune



Figura 28. Cartografia del 1930 (dall'archivio di Stato di Lecce) relativa all'area di interesse. In una relazione allegata a uno dei progetti di bonifica del 1915 si legge che *su un fronte litoraneo di 3 km, si estende una stretta zona di terreno paludoso di ettari 150, sulla quale a causa della presenza delle dune, ristagnano le scarse acque meteoriche e, soprattutto, le copiose acque freatiche quasi superficiali..... . Lo stato fisico del territorio offre attualmente speciali caratteristiche, in quanto la parte emergente di esso presentasi conformata a strisce di terreno coltivato* (circa 50 cm – 70 cm sopra il livello del mare)*, trasversali alla spiaggia, della larghezza di 3 m circa, a cui si alternano fossi larghi 1,5 m e 2 m, riuniti da altri fossi longitudinali comunicanti con 3 collettori, che attraversano le dune e si scaricano in mare. Tale configurazione è il risultato dei lavori eseguiti dai proprietari per tentare la bonifica agricola, la quale mediante la rete di canali aperti, se permette di utilizzare, per le speciali colture ortalizie, una parte dell'acqua raccolta nei canali, è incapace, del resto, per la mancanza di prevalenza sul livello marino, e per la irregolarità dei canali stessi, dei quali alcuni a fondo cieco e altri non allacciati ai collettori..... .* Nella planimetria di progetto di bonifica allegata, ben evidenti i tratti rettilinei circa perpendicolari alla linea di riva a costituire dossi e fossi realizzati dagli agricoltori.

costiere, estese per almeno 11 ettari nel Demanio, *con alberi a resistenza marittima* di modo da attenuare la mobilità dei sedimenti eolici che altrimenti potrebbero migrare nell'entroterra vanificando le bonifiche. Ad esempio, della buona riuscita di questa pratica di rimboschimento, si riporta quello realizzato dal Signor Senape Arturo De Pacenella nella zona Li Foggi. Questa lettera ci consente di datare gli interventi di rimboschimento delle dune della zona Li Foggi ai primi anni del 1920. Importanti interventi di rimboschimento sono del periodo compreso tra il 1935 e il 1939 (Fig. 29). Ma il sito che qui si descrive nel giro di breve tempo solletica l'interesse non più solo per i fini agricoli (le bonifiche erano volte anche all'utilizzo per questi scopi dei terreni) ma anche per quelli turistici. Da Gallipoli in Cartolina di E. Pindinelli, 2011), si legge una interessante testimonianza che qui si riporta. *Nell'estate scorsa, l'impresa Torsello ha allestito un moderno stabilimento balneare di cemento armato, che compete con i migliori d'Italia, con 120 cabine, con 30 appartamentini, con una vasta rotonda dotata di ristorante e di bar, con un'ampia pista da ballo e da tennis, sul Lido S. Giovanni, noto ai turisti per le finissime sabbie, provvide alle cure elioterapiche e antireumatiche. Ogni giorno traboccano di gente, fino a tarda notte e l'ampio parco è stato sempre rigurgitante di autovetture. Questo stabilimento che ha un servizio attivissimo di autopullman propri e, per l'estate 1951, sarà raddoppiato, ha dato un grande impulso alla vitalità cittadina ed all'afflusso di turisti e costituisce un esempio da imitare. (E. Vernole, 1950).* Come abbiamo avuto modo di evidenziare il paesaggio costiero e quindi dei cordoni dunari del tratto Foce del Canale dei Samari – Porto di Gallipoli è, più di ogni altro nel territorio di Gallipoli, frutto del sovrapporsi agli elementi naturali di quelli derivanti dalle azioni dell'uomo che, di fatto ha mirato, all'irrigidimento e confinamento degli elementi dimenticando che essi sono per loro natura estremamente mobili.

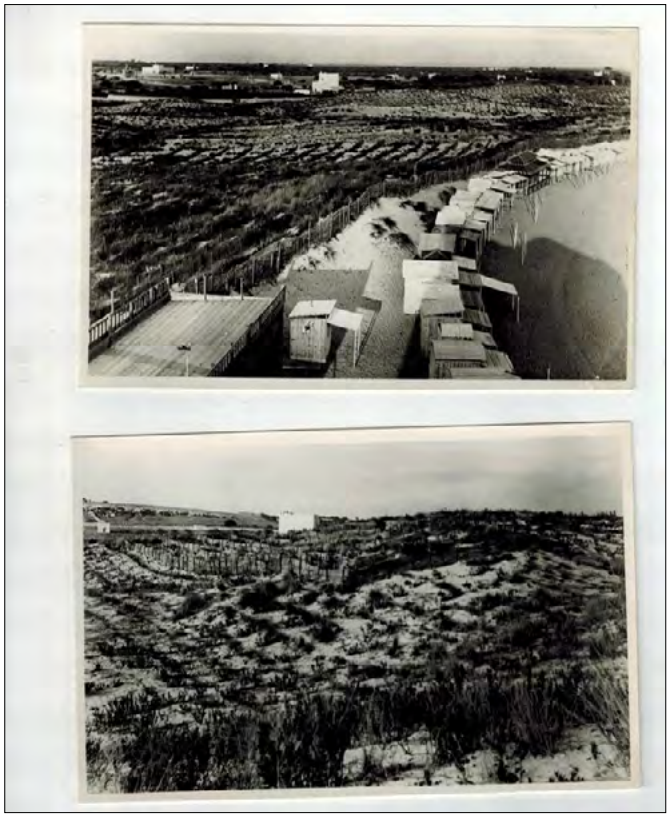


Figura 29. Documentazione fotografica relativa ai rimboschimenti della zona compresa tra l'attuale Lido San Giovanni e il canale dei Samari.

Il primo elemento di irrigidimento del sistema è costituito dalla strada litoranea la quale taglia in due i cordoni dunali esistenti: quelli posti a Ovest della strada che fronteggiano il mare e quelli ubicati a Est della stessa. Recentemente una parte di questa viabilità (quella più meridionale) è stata trasformata in pedonale. Certamente uno degli interventi necessari per il miglioramento ambientale del sistema e l'aumento della resilienza (che è quasi ovunque

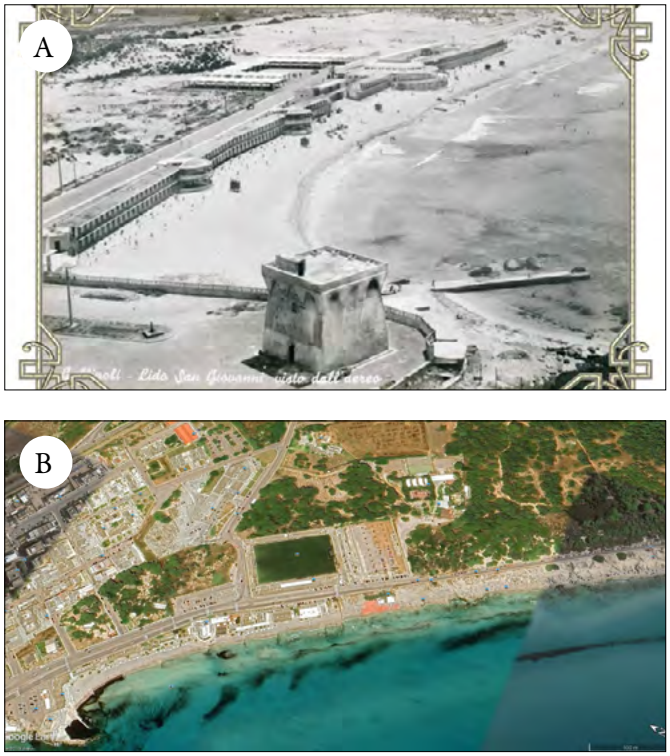



Figura 30b. In (A) cartolina degli anni 1960 del Lido San Giovanni. Dietro al lido in muratura la strada litoranea; in (B) foto area (da Google Maps) della stessa area: l'antropizzazione si è ulteriormente spinta con la realizzazione, tra l'altro, dello stadio con relativi parcheggi.

scarsa) è l'estensione dell'intervento già compiuto anche al tratto più settentrionale della viabilità.

Per quanto riguarda i cordoni dunari posti a monte della strada litoranea, essi oggi sono pressoché abbandonati. Si ritiene che, al contrario, possano costituire elemento morfologico fondante per la divulgazione dei caratteri di unicità dell'intero tratto costiero. Per svolgere questa funzione si potrà favorire la loro fruizione lenta attraverso la creazione di percorsi tematici (floristici, faunistici, geologici, storici) obbligati in legno a seguire l'andamento delle morfologie, con piccole aree di sosta posizionate nelle bassure e attrezzate per il ristoro, la lettura, meditazione, lo svolgimento di esercizi ginnici.

Un altro importante elemento di irrigidimento è poi rappresentato dagli stabilimenti balneari. Abbiamo avuto modo di evidenziare come la realizzazione di questi stabilimenti anche in muratura, oggi chiaramente identificabili come "ecomostri", all'epoca della loro realizzazione, in mancanza di una radicata coscienza ambientale basata su forti conoscenze geologiche e ecologiche in genere, fosse in realtà vista di ottimo occhio e indispensabile volano per lo sviluppo turistico del territorio (Fig. 30 a). Oggi, ovviamente, non può essere più così (Fig. 30 b). Laddove aventi carattere amovibile, ciò rende più immediatamente fattibile il loro riposizionamento e la rinaturalizzazione di quelle aree laddove essi sono insediati pur in presenza, in origine, di dune. Molto più impattanti risultano, ovviamente, gli stabilimenti caratterizzati da strutture in muratura. In questi contesti, non ci potrà essere riqualificazione paesaggistica senza la riconversione di tutte le strutture fisse in movibili, leggere ed ecocompatibili con ridistribuzione degli spazi a vantaggio della naturalità. Ovviamente, a questi interventi sarà opportuno accoppiarne altri volti all'individuazione degli accessi al mare che dovranno essere obbligati e in legno a seguire la morfologia dei cordoni dunari, alla chiusura dei varchi, così come si potranno prevedere interventi di difesa dall'erosione marina (sostituendo anche quelli messi dai privati che, pur testimoniando attenzione al bene dei cordoni dunari appaiono non sempre adeguati).

**Porto Cesareo**

Porto Cesareo è un comune costiero del Salento nordoccidentale, ubicato a Nord di Gallipoli (Fig. 1). Questo tratto costiero risulta articolato da ampie baie (tra Torre Lapillo e l'Isola della Malva), piccole cale di varie dimensioni e forma (in corrispondenza di Torre Chianca e a nord e a sud dello sperone di Furno) e due bacini lagunari ubicati sui lati settentrionale e meridionale dello sperone di Porto Cesareo.

Più modesto il bacino settentrionale la cui estensione risulta intorno al chilometro e l'ampiezza di circa 500 metri ed è chiuso parzialmente verso il mare dall'Isola Grande e da una serie di isolotti (Isole della Scogliera e del Caparrone); più grande il secondo la cui estensione è di circa 2.5 chilometri e la cui ampiezza è intorno al chilometro. Quest'ultimo presenta forma allungata in direzione NW-SE ed è limitato nella sua porzione sudoccidentale da una stretta penisola (La Strea, estesa per circa 1.5 chilometri ed ha una larghezza media di 250 metri). L'ambiente di laguna è quindi contenuto tra una barra costiera pleistocenica e il continente e comunica col mare aperto nel suo margine nordoccidentale grossomodo nel tratto compreso tra l'Isola della Scogliera - l'Isola del Caparrone e La Strea. La serie di isolotti presenti (Isola Grande, Isola della Malva, Isola della Scogliera e Isola del Caparrone) allineati tra i bassi promontori di Torre Lapillo e Penisola di La Strea e racchiudenti i bacini lagunari, costituiscono infine secondo Mastronuzzi *et al.* (1989) i resti di un cordone litorale frammentato ed elaborato dalle ultime fasi della trasgressione olocenica oltre che dagli agenti esterni. Il sito di studio che qui si presenta è ubicato in corrispondenza dell'insenatura compresa tra Torre lapillo e Torre Chianca, nella sua porzione sudorientale. Tale insenatura ha una lunghezza complessiva di circa 3.5 km. La costa bassa prevalentemente sabbiosa che caratterizza il litorale di Porto Cesareo, tra Scalo di Furno e Torre Lapillo, costituisce quindi un'area particolarmente significativa per la ricostruzione degli eventi, con particolare riferimento alle variazioni del livello del mare, che hanno caratterizzato questo tratto di litorale dal Pleistocene inferiore sino ai giorni nostri (Alfonso *et al.*, 2012; De Pippo *et al.*, 2004).

Punto di partenza per la ricostruzione del paesaggio è la Carta rilevata dall'IGM nel 1874 (Fig. 31). Dalla lettura di questa carta si evince chiaramente come l'area vasta di Porto Cesareo fosse all'epoca interessata da un cordone dunale piuttosto continuo ed aree retrodunali paludose. Proprio in fronte ad uno di questi "Paduli" era posto il tratto di litorale che ci interessa. L'area paludosa era piuttosto vasta e si allungava circa parallelamente al cordone dunale verso Nord sino ad interessare circa metà dell'insenatura com-



Figura 31. Cartografia IGM del 1879 dell'area di Porto Cesareo.

presa tra Torre Lapillo e Torre Chianca. Con questo stato dei luoghi, tra la fine del 1800 e gli inizi del 1900, l'area di Porto Cesareo fu attenzionata per una bonifica delle paludi (Fig. 32). La bonifica di Porto Cesareo riguardò quindi le Paludi Tamari, Belvedere e Bianca e venne compresa sotto la denominazione di Porto Columena e inscritta al n.49 della tabella III annessa al Testo unico del 22 marzo 1900. Il comprensorio della bonifica era di 290 ettari mentre il bacino idrografico venne delimitato a Nord dalla curva di livello 35 m passante per la Masseria Mandria Toriglione, ad Ovest da una linea che va dalla stessa Masseria a Torre lapillo, ad Est dalla linea che passa da Masseria Sarmenta (per l'ubicazione delle masserie si veda la carta del 1874) e va alla prima punta posta a Nord del piccolo golfo di Porto Cesareo. L'intero bacino idrografico era di circa 1130 ettari. La bonifica si rendeva necessaria per combattere la diffusione della malaria che colpiva i contadini.

I progetti di bonifica, nei primi due decenni del 1900, furono diversi e consistevano sostanzialmente nella separazione delle acque alte da quelle basse con prosciugamento meccanico delle seconde e scarico a mare delle prime. La colmata delle aree più depresse doveva avvenire mediante l'utilizzo delle sabbie delle dune (a testimonianza di come questa pratica fosse consentita un po' ovunque per effettuare le bonifiche) e dei materiali provenienti dall'escavazione dei canali. Con il progetto del 11 giugno 1925, l'Opera nazionale Combattenti, non discostandosi molto da quanto già presentato dagli uffici del Genio Civile il 6 settembre 1923, prevedeva la realizzazione di vari canali a marea con comunicazione con il mare attraverso 3 emissari aperti nella parte della costa dove la roccia era affiorante. Lungo il percorso dei canali, nelle aree maggiormente depresse era previsto la scavo di 3 bacini con fondo portato sino a – 1.0 m rispetto al livello del mare, che avevano la funzione di richiamare acque marine ed allo stesso tempo di fornire materiale per innalzare le aree limitrofe per almeno 35 cm (Fig. 33).

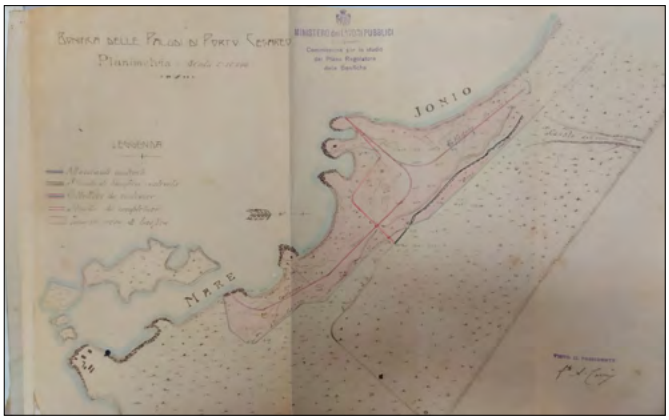



Figura 33. La bonifica delle paludi avveniva tramite la realizzazione di canali (le sabbie e le rocce rivenienti dallo scavo venivano utilizzate insieme alle sabbie delle dune per il riempimento delle depressioni) che sfociavano in corrispondenza dei speroni rocciosi (cartografia allegata a un progetto di bonifica, fonte Archivio di Stato di Lecce).

La tavoletta rilevata nel 1948 (Fig. 34) consente di verificare i lavori di bonifica effettuati. Inoltre, dall'analisi della tavoletta si evince la continuità del cordone dunale (la cui altezza varia dai 7m ai 9 m sul livello del mare) che risulta smembrato a ridosso del bacino artificiale realizzato (nella porzione meridionale) e a Nord dell'insenatura compresa tra Torre Lapillo e Torre Chianca. Nel 1948, inoltre, si registra l'assenza di insediamenti nella zona vasta di interesse retrostante il cordone dunale della baia suddetta. Un deciso



Figura 32. Cartografia della fine del 1800 (dall'Archivio di Stato di Lecce) allegata ai progetti di bonifica di Porto Cesareo.

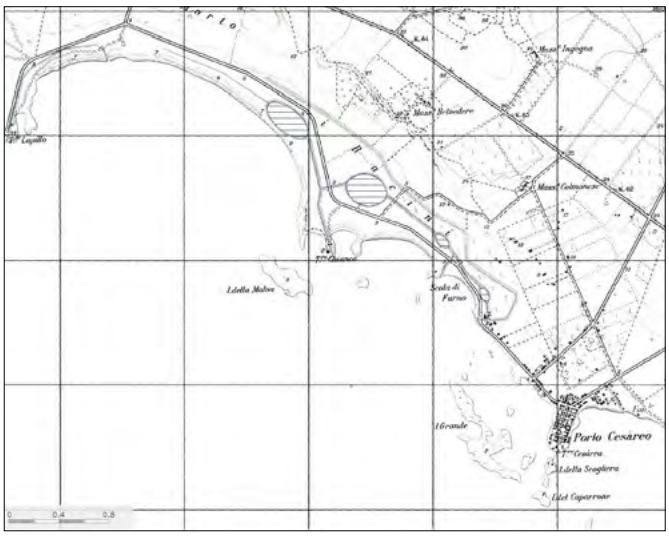



Figura 34. Cartografia IGM del 1948 dell'area di Porto Cesareo: Con eccezione del paese, le insenature sono pressoché inabitate.



Figura 35. Foto area IGM del 1972: l'espansione urbanistica comincia a interessare le insenature posta a Nord Ovest del paese.

cambiamento dello stato dei luoghi si deve essere verificato tra la fine degli anni 1960 e gli inizi del 1970. L'aerofotogrammetrico dell'IGM del 1972 (Fig. 35) consente infatti di osservare l'edificazione di una serie di abitazioni poste a ridosso della strada SP 340 nella porzione a monte della stessa strada. Al contrario le aree un tempo paludose erano ancora quasi del tutto prive di insediamenti. Ciò nondimeno, si può vedere che compaiono le prime strade circa parallele tra loro nell'entroterra e ad attraversare proprio i terreni un tempo paludosi, e all'epoca, già bonificati. Due di queste strade, ancora oggi esistenti, terminano proprio in corrispondenza del tratto di litorale di nostro interesse. Particolare ancora più importante è la presenza di tagli del cordone dunale in continuità con gli assi viari. La situazione che emerge dall'analisi della successiva foto aerea (1987, Fig. 36) è di quasi completa urbanizzazione non solo delle aree tra il cordone dunale e la SP340 ma anche a monte della strada suddetta. L'immagine restituisce quello che deve essere stato un vero e proprio boom edilizio per cui nel quindicennio tra il 1972 ed il 1987 si è costruito quasi tutto quello che anche oggi possiamo osservare in Porto Cesareo. Dall'ingrandimento dell'aerofotogrammetrico si può notare come il taglio del cordone dunale nel tratto di litorale di interesse sia ormai parte del paesaggio antropico. Lo stesso cordone appare difficilmente distinguibile è già ridotto a brandelli e nel tratto di costa di nostro interesse

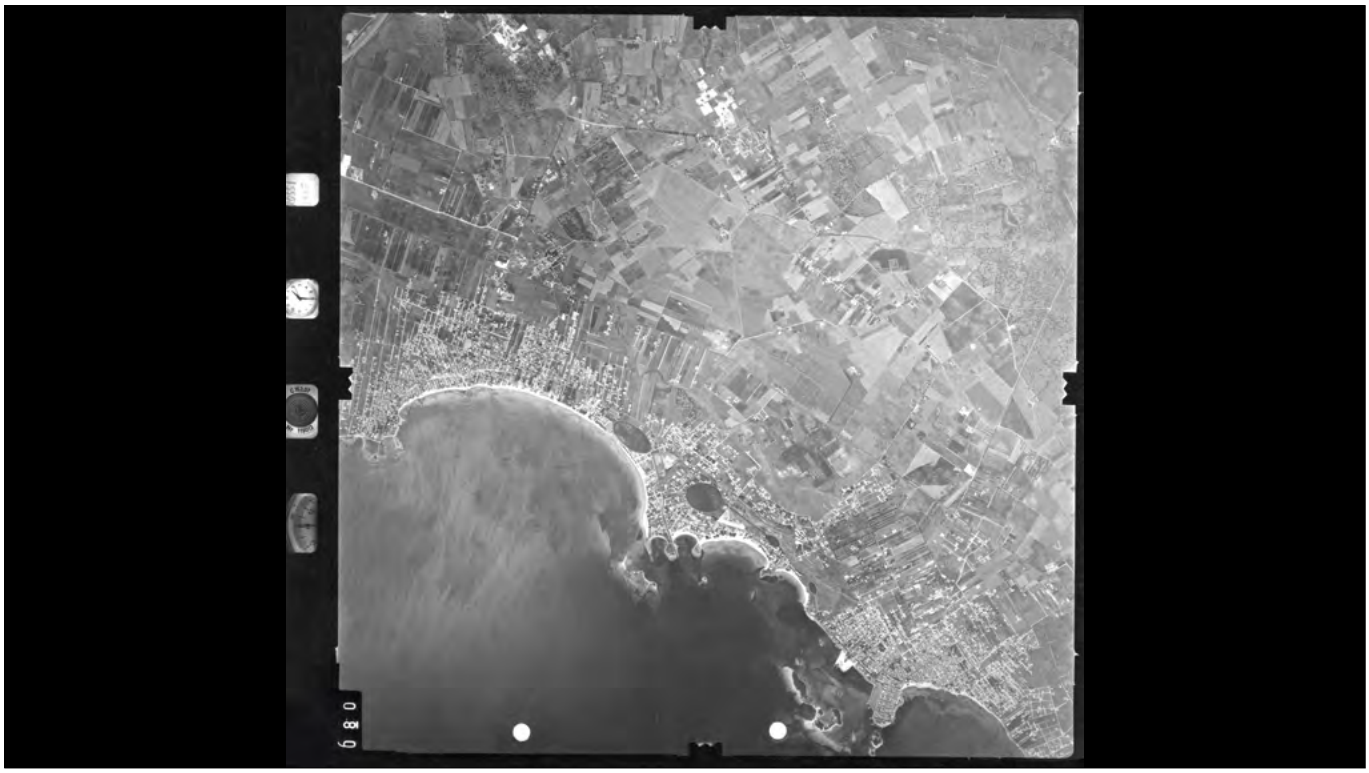


Figura 36. Foto area IGM del 1987: tutto il territorio comunale costiero è di fatto interessato dalla presenza di strade e abitazioni.




Figura 37. Confronto tra foto aeree scattate tra il 2006 e il 2019: si noti l'indietreggiamento della linea di riva e il cambio di profilo della stessa.

è stato quasi del tutto smantellato per fare posto alle abitazioni. Negli anni 70-80 la tendenza all'arretramento del litorale fu particolarmente marcata da interessare anche il cordone dunare il quale venne in più aree smantellato ed il materiale sabbioso utilizzato anche ai fini edilizi per la costruzione degli abitati di Riva degli Angeli, Torre Lapillo e di Torre Chianca. A questo processo si è accompagnato, negli ultimi 20 anni un deciso cambiamento dei fattori metereologici. In particolare, a partire dal 2006 si è registrata una inversione dei venti dominanti dai quadranti settentrionali ai meridionali e l'aumento esponenziale dei venti forti provenienti da sud-est e da ovest ha provocato un'accentuata erosione di molti tratti di litorale. Questo processo è particolarmente evidente lungo la porzione meridionale della baia di Torre lapillo dove in sei anni (2004-2010) le sporadiche mareggiate provenienti da ovest sono state in grado di provocare consistenti arretramenti della linea di riva con conseguenti danni alle infrastrutture (Girasoli e Milli, 2012). Su questa porzione meridionale della baia concentriamo ora la nostra attenzione.

Le foto più recenti (dal 2006, Fig. 37) evidenziano i processi di arretramento in atto peraltro ampiamente documentati dalla bibliografia scientifica (si veda Milli e Girasoli, 2017). Particolarmente interessante la foto del 2015. L'arretramento della linea di costa è di ben 19,8 m (rispetto al 2006 anche se bisogna tenere presente che tale dato è solo indicativo in quanto appare complicato confrontare foto scattate con condizioni di maree e correnti differenti) ma ciò che colpisce maggiormente è la variazione del profilo della stessa linea. L'arretramento infatti non è avvenuto in maniera uniforme lungo tutto il litorale ma è concentrato nella porzione meridionale laddove si è creata una "pancia" di erosione. L'erosione è spiegabile con la presenza di abitazioni ormai in mare a protezione delle quali sono stati messi dei sacchi riempiti di sabbia (Fig. 38). Queste abitazioni, infatti, essendo elementi rigidi si comportano esattamente come dei promontori rocciosi determinando un nuovo profilo della costa e favorendo accumulo di materiale trasportato lungo la costa nel tratto sopraflutto e favorendo l'erosione nel tratto di sottoflutto. Le abitazioni, in poche parole intercettano le



Figura 38. Foto aerea con drone di abitazione ormai in acqua a protezione della quale sono stati messi sacchi di juta riempiti di sabbia. Le abitazioni fungono da vero e proprio pennello.

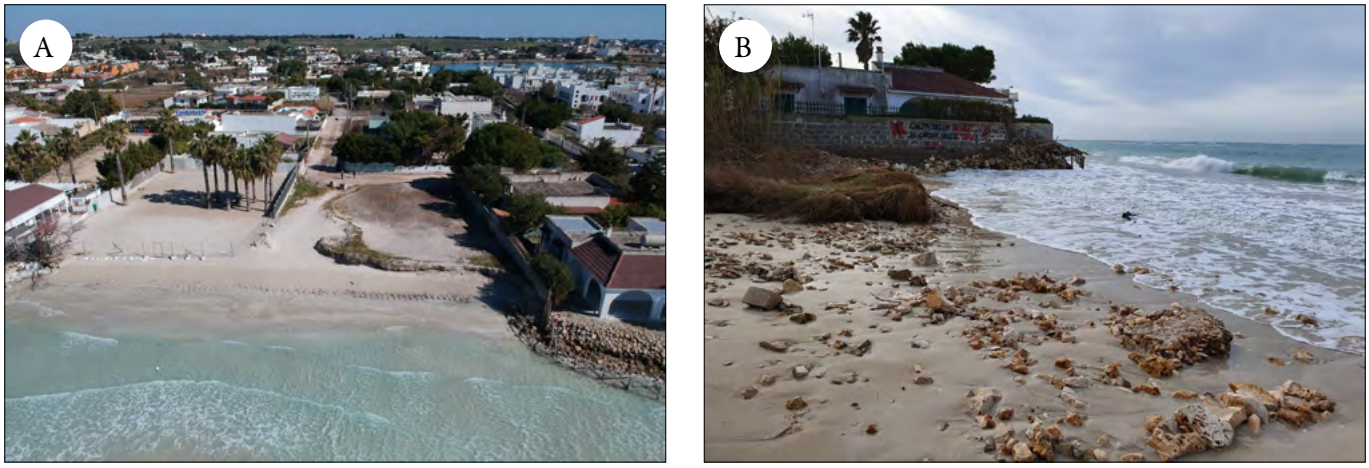



Figura 39. In (A) altra vista dall'alto dell'area di nostro interesse dalla quale si può apprezzare come l'erosione abbia messo a giorno il basamento palustre, in assenza di duna; in (B) vista da terra a evidenziare il profondo degrado dell'area.

correnti litoranee modificandone il trasporto solido longitudinale. È altrettanto evidente che l'erosione è accelerata per la scarsa qualità degli ambienti costieri a protezione, nell'entroterra, della spiaggia. Con particolare riferimento al tratto qui analizzato, l'erosione è talmente spinta che essa ha determinato l'impossibilità di riconoscere delle vere e proprie dune mentre è evidente la presenza di una piccola falesia tagliata nei depositi retrodunali (Fig. 39).

In questa fase, per restituire bellezza ad un paesaggio che da tempo ormai non ha assolutamente nulla di bello, è necessario effettuare un monitoraggio delle forze che agiscono sul litorale (venti, correnti, maree,..) allo scopo di adeguatamente programmare interventi. Questi ultimi non possono essere intrapresi per limitate aree e senza una visione più globale dell'area comprendente perlomeno l'intera baia di Torre Lapillo con particolare attenzione alla sua porzione meridionale. In poche parole, se si vuole realmente affrontare il problema dell'erosione costiera a Porto Cesareo si deve partire dalla scala dell'unità fisiografica della baia e solo dopo si potranno definire interventi alla piccola scala. In riferimento alla situazione della porzione meridionale, si ritiene che la ricreazione di un corpo dunale nell'area dove un tempo presumibilmente esisteva sarebbe assolutamente inutile in quanto si tratterebbe di realizzazione a vita breve. Qui l'erosione è evidentissima ed in mancanza di interventi a protezione la costa evolverà comunque da sabbiosa a rocciosa bassa. Certamente alcune azioni possono già essere intraprese con successo. Certo, una decisione dovrà essere presa per quanto riguarda le case ormai a mare, le quali hanno un impatto non solo visivo-paesaggistico importante ma anche un altrettanto significativo impatto sulla dinamica dei sedimenti costieri.

## CONCLUSIONI

I casi di studio qui presentati mostrano in maniera inequivocabile come il paesaggio costiero salentino leccese sia stato profondamente modificato dall'uomo in tre periodi distinti. Il primo coincide con quello delle bonifiche delle aree palustri retrodunali. È in questa fase che si sono verificate i primi documentati sbancamenti dei sistemi di dune, le cui sabbie venivano usate per il colmamento delle bassure. Nonostante gli interventi di bonifica le aree costiere sono restate quasi ovunque disabitate sino agli anni 1970 – 1980 allorquando si è verificato il boom edilizio. Questa invasione da parte dell'uomo è quella che ha determinato l'irrigidimento del sistema mediante la realizzazione di strade litoranee, lidi in muratura (in Gallipoli, già ubicata a ridosso della costa, questa fase è evidente sin dal 1950) e interi agglomerati urbani sorti principalmente in corrispondenza delle aree retrodunali palustri bonificate. In questa fase gli smantellamenti del corpo di dune sono stati invasivi e estensivi e mirati da un lato a liberare gli spazi per gli insediamenti, dall'altro a prendere la materia prima per la realizzazione del cemento. La terza fase di profonda modifica del paesaggio costiero coincide con i tempi più recenti che sono quelli del disagio degli abitanti dei luoghi a cui sono seguite azioni per lo più isolate e senza pianificazione di porre rimedio alle problematiche connesse all'erosione costiera, alle pericolosità idrauliche e geomorfologiche dei luoghi. In questa fase gli interventi messi in atto anche senza alcuna autorizzazione (aperture dei cordoni dunari per favorire l'allontanamento delle meteoriche, posa in opera di sistemi di protezione senza alcun studio, .....) dai privati hanno finito per rivelarsi un boomerang che hanno aggravato le situazioni in essere.

Il nuovo ambiente che si è quindi venuto a creare dalla sovrapposizione agli elementi naturali di quelli antropici è oggi incapace di assorbire le sollecitazioni di quegli agenti che modellano il paesaggio costiero laddove è facilmente leggibile una generale tendenza all'arretramento della linea di riva. L'errore comunemente effettuato in passato è stato quello di considerare il sistema costiero statico. Coloro i quali (privati o enti pubblici) abbiano realizzato un fabbricato o una strada smantellando un cordone dunale lo hanno fatto nella convinzione di poter usufruire di quell'opera poiché, probabilmente, al momento della sua costruzione, esso disponeva di un arenile ampio davanti a sé (in alcuni casi sono stati notati arretramenti della linea di riva, negli ultimi 50 anni, di oltre una trentina di metri). Tale convinzione nasceva dall'osservazione diretta e dalle conoscenze tramandate per un paio di generazioni dello stato dei luoghi ma non aveva, evidentemente, alcuna solida base geologica, non aveva coscienza del fatto che l'ambiente è dinamico e quello costiero ne è splendida testimonianza.

Ora che fare, il paesaggio è malato, la pressione antropica è insopportabile per l'ambiente, è in atto una reciproca crisi di rigetto uomo – natura. Una sola ricetta: si deve rendere il paesaggio meno rigido, dove possibile si deve restaurare, si devono ricucire i tagli dell'ambiente, si deve dare, in poche parole, la possibilità al mare e alla costa di muoversi. Ai tecnici il compito di spiegare, di individuare le azioni, ai fruitori dei luoghi quello di modificare le proprie abitudini rendendole compatibili con lo stato dei luoghi, agli Amministratori l'onere o forse meglio l'onore di avere coraggio e individuare gli strumenti per dare vita ad un nuovo paesaggio, che sia flessibile, che assecondi la natura invece di contrastarla.

Le linee guida uniche per lo sviluppo sostenibile del territorio costiero sono quindi correlate alla improcrastinabile messa in atto di azioni di monitoraggio della costa e delle forze che agiscono su di essa, così come di politiche volte alla valorizzazione degli elementi che gli conferiscono valore ed alla mitigazione di quelli che invece, irrigidendolo, ne minacciano l'integrità producendo così bellezza e aumento della resilienza del sistema stesso all'erosione, nel senso più ampio del termine.

La ricucitura con tecniche di ingegneria naturalistica dei tratti di cordone smantellato, la messa in opera di sistemi di difesa del piede del cordone stesso, la creazione di attraversamenti pedonali obbligati del cordone realizzati con materiale ecocompatibile, la creazione di percorsi culturali (a tema geologico, archeologico, botanico, faunistico) pedonali e ciclabili paralleli al cordone dunale, nell'entroterra di modo di fruire delle aree retrodunali compresi gli specchi d'acqua, la rivisitazione, sulla base di nuovi dati meteomarini, delle opere rigide di difesa presenti, la rinaturalizzazione di questi ultimi, la riconversione delle strutture fisse in amovibili, l'incentivazione a meccanismi di perequazione che consentano il trasferimento delle volumetrie edilizie oggi a ridosso della linea di riva in lotti posti maggiormente nell'entroterra, la rinaturalizzazione di strade poste a ridosso dei cordoni (queste ultime misure allo scopo di rendere quanto meno rigido il sistema), l'individuazione di aree a parcheggio allo scopo di alleggerire la pressione antropica oggi in più luoghi direttamente sulle dune, la diluizione della stessa pressione antropica su tutta la costa (mentre oggi osserviamo che i frequentatori delle spiagge si riversano numerosi su brevi tratti della stessa lasciandone altri completamente o scarsamente frequentati probabilmente per la mancanza di servizi), l'individuazione di nuove e ambientalmente compatibili destinazioni d'uso delle aree così come la valorizzazione dei beni presenti (le torri, gli edifici idrovori, i canali, i bacini.....) costituiscono tutte azioni indispensabili per ridare bellezza, aumentare la resilienza e generare economia nelle aree costiere sabbiose salentine leccesi.

## BIBLIOGRAFIA


Alfonso C., Auriemma R., Scarano T., Mastronuzzi G., Calcagnile L., Quarta G., Di Bartolo M. (2012). *Ancient coastal landscape of the marine protected area of porto Cesareo (Lecce, Italy): recent research*. International Journal of the society for under water technology, 30(4): 207-215.

Bonfiglio L., Donadeo G. (1982). *Cancer Sismondai Meyer nel pliocene di Torre dell'Orso (Puglia)*. Atti Soc. tosc. Sci. Nat., 123 (2-3).

Cazzato M., Margiotta S. (2020). *Idume e altre storie d'acqua*, Primiceri Editore, 128 pp.

Delle Rose, M. Parise (2002). M. Karst subsidence in south-central Apulia Italy. Int. J. Speleol. 31 (1/4), 181-199.

Delle Rose, M.; Federico, A.; Parise, M. (2004). *Sinkhole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment*. Nat. Hazards Earth Sys. Sci. 4, 747–755.

De Pippo T., Donadio C., Pennetta M., Terlizzi F. e Vecchione C. (2004). *Evoluzione morfologica del settore costiero di Porto Cesareo (Penisola salentina, Puglia)*. Studi costieri, 8, 37-48.

Girasoli D.E., Milli S. (2012). *Evoluzione dinamica delle spiagge nel tratto di costa tra Porto Cesareo e Torre Colimena*. Atti della II Edizione del Premio Decio De Lorentiis, Citta di Maglie, Museo civico di Paleontologia e Paletnologia, Editrice salentina, 17-45.

Margiotta B., Palmentola G., Dragone F. (1983). *La Dinamica del litorale dell'insenatura di Torre dell'Orso, in provincia di Lecce*. Quaderni di Ricerca del Centro Studi Geotecnici e di Ingegneria, n.8, Lecce.

Margiotta S., Negri S., Parise M., Valloni R. (2012). *Mapping the susceptibility to sinkholes in coastal areas, based on stratigraphy, geomorphology and geophysics*. Natural hazards. 62: 657-676.

Margiotta, S., Parise, M. (2019). *Hydraulic and Geomorphological Hazards at Wetland Geosites Along the Eastern Coast of Salento (SE Italy)*. Geoheritage, 11, 1655-1666.

Mastronuzzi G., Palmentola G., Ricchetti C. (1989). *Aspetti della evoluzione olocenica della costa pugliese*. Memorie della Società Geologica Italiana 42, 287-300.

Mastronuzzi G., Palmentola G., Sansò P. (1994). *Le tracce di alcune variazioni del livello del mare olocenico tra Torre dell'Orso ed Otranto (Lecce)*. Geografia fis. Dinam. Quat., 17: 55-60.

Mastronuzzi, G.; Valletta, S.; Damiani, A.; Fiore, A.; Francescangeli, R.; Giandonato, P.B.; Iurilli, V.; Sabato, L. (2015). *Geositi della Puglia*. Graphic Concept Lab, Bari, pp. 394.

Milli, S., Girasoli, D. E., Tentori, D., & Tortora, P. (2017). *Sedimentology and coastal dynamics of carbonate pocket beaches: the Ionian Apulia Coast between Torre Colimena and Porto Cesareo (Apulia, Southern Italy)*. Journal of Mediterranean Earth Sciences, 9.

Pindinelli E. (1985). *Gallipoli in cartolina 1900 – 1950*. Tipografia Pacella.

Sansò P. (2023). *La voce del mare: evoluzione geomorfologica recente del litorale adriatico leccese Idomeneo*, n. 35, 131-150.

Todaro U. (1928). *La bonifica di San Cataldo*, Opera Nazionale Combattenti, 30 pp.

Vernole E. (1950). *Gallipoli ha tutti i numeri per diventare un centro turistico*, in "Il Giornale d'Italia", 10.11.1950.

# Analisi della distribuzione di plastiche e microplastiche in ambiente di spiaggia

## Analysis of the distribution of plastics and microplastics in the sandy beach environment

Angela Rizzo[1,2], Teresa Fracchiolla[1], Isabella Lapietra[1], Stefania Lisco[1,2], Isabella Serena Liso[1,2], Antonella Marsico[1,2], Corrado Sasso[1], Angelo Sozio[1], Francesco Veneziano[1]

[1] Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari
[2] Centro Interdipartimentale di Ricerca sulla Dinamica Costiera, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari

*E-mail*: angela.rizzo@uniba.it

**Parole chiave**: Monitoraggio costiero, spiagge, plastiche, microplastiche, Puglia
**Key words**: Coastal monitoring, beaches, beach litter, microplastics, Apulia Region

## ABSTRACT

L'accumulo di plastiche e microplastiche in ambiente di spiaggia rappresenta una minaccia per la salute dell'intero sistema e per le attività antropiche ad esso connesse. Studi mirati alla caratterizzazione della presenza delle plastiche (macro e microplastiche) in ambiente marino-costiero e ai processi che ne favoriscono l'accumulo o l'allontanamento rappresentano una grande sfida dei nostri giorni. In questo lavoro si illustrano le attività in corso presso il Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro mirate alla valutazione dello stato di salute delle spiagge pugliesi in relazione alla caratterizzazione fisica e morfodinamica di tali ambienti. Le attività in corso sono svolte nell'ambito del progetto RETURN finanziato dal Piano Nazionale di Ripresa Resilienza e volto alla valutazione multirischio in differenti contesti ambientali.

## 1. INTRODUZIONE

Le aree costiere svolgono un ruolo cruciale nella crescita economica e sociale di moltissimi paesi. La tendenza all'abbandono abitativo delle aree interne, a vantaggio delle zone costiere, è ormai un processo diffuso su vasta scala. In Europa oggi si stima che il 40% della popolazione viva entro i primi 50 km dalla costa.

Le aree costiere caratterizzate dalla presenza di spiagge rappresentano il risultato di un delicato equilibrio tra processi fisici e biologici cui si somma l'ingente pressione antropica, che spesso ne determina un inarrestabile declino. Molte attività antropiche possono, seppur spesso in maniera indiretta, causare la perdita di grossi volumi di sedimento e di conseguenza la riduzione delle aree occupate dalle spiagge. Tra queste anche le forme di inquinamento incidono sulla riduzione dei volumi di sedimento disponibili per le spiagge. Esiste, per esempio, una diretta connessione tra la salute dell'ambiente marino e la produzione di bioclasti che vengono coinvolti nei volumi di spiaggia (Lapietra *et al.*, 2022). Durante gli ultimi 20 anni la comunità scientifica di settore si è dedicata alla quantificazione delle concentrazioni di plastiche in mare e alla stima delle potenziali zone di accumulo sulla base dei modelli di circolazione superficiale delle correnti (Lebreton *et al*. 2012). In generale le concentrazioni di plastiche in galleggiamento, sebbene siano già drammatiche, non tengono conto della quantità di plastiche che, coinvolte nelle dinamiche costiere, si accumulano nelle aree di spiaggia e di quelle che, a seguito di molteplici processi di degradazione, affondano e si depositano su fondali a differenti batimetrie. Da non sottovalutare è anche l'apporto di microplastiche dai corpi idrici sotterranei. Essi rappresentano serbatoi di accumulo di microplastiche che viaggiano dalla superficie verso il sottosuolo attraverso i pori e fratture della roccia, trasportate dall'acqua di infiltrazione. Le acque dolci, fluendo dalle zone interne verso la linea di costa, possono essere considerate veicolo di trasporto di inquinanti derivanti da settori lontani dalla costa che si aggiungono a quelli presenti nelle acque marine. Gli acquiferi carsici, caratterizzati da collegamenti diretti tra la superficie e il sottosuolo, risultano particolarmente suscettibili all'inquinamento da microplastiche (An *et al.*, 2022); nonostante l'infiltrazione di queste nel sottosuolo carsico stia diventando un serio problema per la qualità delle risorse idriche sotterranee, mancano ricerche specificamente incentrate sull'abbondanza e sui fattori ambientali che ne determinano l'accumulo (Panno *et al.*, 2019). In questo contesto, risulta fondamentale il monitoraggio delle plastiche e delle microplastiche che, per cause dirette ed indirette, si accumulano sulle spiagge e nei sedimenti. Numerosi studi sono stati invece svolti a livello internazionale per definire le quantità e la distribuzione delle macroplastiche (elementi con dimensione maggiore a 2,5 cm - Tab. 1) e delle microplastiche (elementi con dimensione inferiore a 5 mm - Tab. 1) in ambiente marino-costiero e per valutare la qualità ambientale dei sistemi costieri anche attraverso l'applicazione di specifici indici (Alkalay *et al.*, 2007; Rangel-Buitrago *et al.*, 2019, 2020, 2021; Abelouah *et al.*, 2022). Il bacino del Mar Mediterraneo e le sue aree costiere, oltre ad essere un hotspot di biodiversità a livello mondiale, rappresentano una delle aree maggiormente interessate dalla presenza di plastiche e microplastiche. Molteplici sono i fattori che contribuiscono all'accumulo

di rifiuti nel Mediterraneo; in particolare la sua conformazione semichiusa e la presenza di aree densamente abitate, numerosi siti industriali costieri e foci di fiumi che attraversano ampie aree urbane. La presenza di rifiuti spiaggiati ha effetti negativi sia sulla salute degli ecosistemi costieri ma anche sull'economia e, in particolar modo, sul settore turistico.

Questo lavoro fornisce una panoramica delle attività in corso presso il Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro volte a monitorare e caratterizzare le plastiche e le microplastiche in diversi settori di spiaggia della regione Puglia per proporre azioni di monitoraggio e piani di tutela mirati.

**Tabella 1. Categorie dimensionali proposte per la classificazione degli elementi di *Marine e Beach Litter*, assumendo una forma quasi sferica dell'elemento e considerando il lato lungo (GESAMP, 2019).**

| Classe | Dimensione relativa | Dimensione |
|---|---|---|
| Mega | Molto grade | > 1 m |
| Macro | Grande | 25 – 1000 mm |
| Meso | Media | 5 – 25 mm |
| Micro | Piccola | < 5 mm |
| Nano | Estremamente piccola | < 1 μm |

## 2. AREA STUDIO

Le spiagge rappresentano ambienti di transizione complessi in cui processi continentali e marini interagiscono a diverse scale spaziali e temporali. Esse delimitano circa il 40% della costa mondiale e variano per forma e dimensioni. Esistono diversi modi per descrivere la spiaggia e le sue parti. In Sedimentologia, una spiaggia si definisce come un corpo sedimentario costituito da sabbia, ghiaia o ciottoli trasportati e depositati principalmente dall'azione delle onde, delle maree e delle correnti. Nel Mar Mediterraneo le spiagge sono prevalentemente dominate dalle onde e i sedimenti terrigeni provengono principalmente da depositi deltizi, dall'erosione di scogliere o promontori mentre le componenti bioclastiche sono rappresentate da conchiglie e frammenti degli organismi che popolano gli ambienti marini prossimali (Moretti *et al.*, 2016; Pranzini, 2019).

Dal punto di vista geomorfologico, una spiaggia rappresenta un limite fisiografico terra/acqua costituito da una superficie inclinata compresa tra il limite massimo raggiunto dalle onde di mareggiata (talvolta corrispondente alla base delle dune) ed il livello base di influenza del moto ondoso (o limite di azione delle onde). In questo caso l'estensione della spiaggia corrisponde all'area caratterizzata dal moto ondoso principale che provoca continui cambiamenti in termini di trasporto solido e di morfologie del profilo.

Seguendo un approccio morfo-sedimentario, una spiaggia dominata dalle onde può essere suddivisa in tre zone:

- settore sommerso (shoreface).
- settore intertidale (foreshore),
- settore emerso (backshore).

Ciascun settore mostra, a sua volta, caratteristiche morfologiche, sedimentologiche e idrodinamiche diverse. Infatti, man mano che l'onda si avvicina alla costa, la diminuzione della profondità dei fondali provoca la trasformazione delle onde e quindi variazioni nella capacità di erosione, trasporto e deposizione.

Essendo zone di transizione tra terra e mare, le aree costiere sono anche caratterizzate da una complessa idrogeologia, influenzata dai processi sinora descritti (geologici-sedimentologici e geomorfologici) e antropici. Tale complessità è dovuta principalmente all'interazione tra acque dolci, che si muovono dalle aree interne verso la linea di costa, e salate, che si intrudono nel sottosuolo verso l'entroterra anche per diversi chilometri (Lu *et al.*, 2009; Chang *et al.*, 2023). L'equilibrio dinamico tra acque dolci e salate dipende, a sua volta, da numerosi fattori quali: regime pluviometrico, presenza di corsi d'acqua superficiali, tipologia e potenza delle falde idriche, fenomeni di subsidenza costiera, fattori antropici (eccessivi emungimenti) e dinamiche costiere (maree, intensità del moto ondoso, correnti marine, erosione costiera).

La Regione Puglia è caratterizzata da circa 900 km di costa, che corrispondono al 12% dei litorali italiani (CNR, 1985). La regione è definita come la terra compresa tra due mari (Mar Adriatico e Mar Ionio – Fig. 1) e la zona costiera è caratterizzata dall' alternanza di scogliere, coste rocciose e sabbiose. Tra tutte le diverse tipologie costiere (Fig. 1), i litorali sabbiosi sono i più comuni (più di 650 km di lunghezza) poiché scogliere e coste rocciose costituiscono solo ¼ dei litorali pugliesi (Mastronuzzi *et al.*, 2002).

Al fine di ottenere una valutazione della qualità ambientale in contesti costieri con differenti caratteristiche morfodinamiche e diverso livello di urbanizzazione, i siti oggetto di studio nelle attività di ricerca in corso sono situati sia sul litorale adriatico sia sul litorale ionico e ricadono in aree naturali (ad esempio l'area di Torre Guaceto, a nord della città di Brindisi) e in aree fortemente urbanizzate e interessate da intense attività antropiche (ad esempio il Golfo di Taranto).




Figura 1. Distribuzione regionale delle tipologie costiere (modificata da Mastronuzzi e Sansò, 2002).

## 3. ANALISI DELLE MACROPLASTICHE SULLE SPIAGGE SABBIOSE

L'analisi delle macroplastiche (Beach Litter - BL) in ambiente di spiaggia viene effettuata seguendo due approcci:

- l'approccio di tipo diretto, basato sul monitoraggio in situ;
- l'approccio di tipo indiretto, basato sul monitoraggio ex situ.

Durante le campagne di monitoraggio in situ, tutti gli elementi riconosciuti come BL di dimensioni superiori a 2,5 cm (appartenenti quindi alla categoria "macrolitter") sono identificati, fotografati e classificati secondo le linee guida europee (Fleet *et al.*, 2021). Dai dati raccolti in situ è possibile calcolare la densità di rifiuti, espressa come numero di oggetti nell'area di campionamento (elementi/m$^2$). Mediante la compilazione di specifiche schede, questo approccio porta ad una valutazione diretta sul campo della distribuzione dei rifiuti lungo i settori di spiaggia emersa.

Il monitoraggio ex situ del BL si basa sull'analisi manuale e/o automatica delle immagini ottenute da rilievi fotogrammetrici realizzati nelle aree di indagine mediante l'utilizzo di droni. Le immagini acquisite dal drone sono successivamente elaborate al fine di ottenere un ortomosaico georeferito dell'area di indagine, il quale sarà poi utilizzato per effettuare una fotointerpretazione manuale in ambiente GIS. In questo caso, si procede con l'implementazione di uno specifico *geo-database* nel quale è possibile inserire tutti gli elementi di BL identificati dall'analisi visiva. Anche in questo caso, sarà possibile calcolare il valore della densità di rifiuti presenti nell'area di indagine. Al fine di fornire un supporto operativo al procedimento di "*visual screening*", nuovi metodi di analisi e identificazione automatica degli oggetti spiaggiati sono stati proposti negli ultimi anni (Andriolo *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2022, Scarrica *et al.*, 2022). A questo scopo, sono stati sviluppati specifici algoritmi di Machine Learning (ML) che prevedono una prima fase di addestramento supervisionato per consentire la segmentazione e la classificazione automatica degli elementi di BL su ortomosaici georiferiti delle aree analizzate.

Per quanto riguarda la realizzazione di voli fotogrammetrici nei siti di indagine pugliesi, ad oggi sono stati eseguiti rilievi di monitoraggio in due diversi siti costieri: Torre Guaceto (Brindisi) e Capitolo (Monopoli, Bari). I due siti presentano caratteristiche differenti in quanto la spiaggia di Torre Guaceto rientra nell'Area Marina Protetta "Torre Guaceto" e, pertanto, non è soggetta ad attività di pulizia con mezzi meccanici, mentre la spiaggia di Capitolo rappresenta una rinomata destinazione turistica pugliese, offre numerose strutture balneari e, per questo motivo, è soggetta periodicamente ad attività di pulizia e sistemazioni programmate.

Sia nel caso del monitoraggio in-situ sia ex-situ, l'area studio è individuata secondo quanto riportato in Galgani *et al.* (2023). In particolare, i settori di spiaggia di indagine presentano una lunghezza di 100 m e ricoprono l'area che va dalla battigia al limite interno (naturale o antropico) della spiaggia emersa. I siti devono essere accessibili tutto l'anno e le attività di monitoraggio devono essere effettuate senza provocare disturbo o danni alla flora e alla fauna locale. Infine, i dati derivanti dal monitoraggio (numero e tipologia di elementi di BL) sono utilizzati per il calcolo di specifici indici ambientali che consentono di definire il grado di contaminazione del settore di spiaggia analizzato.

## 4. ANALISI DELLE MICROPLASTICHE NEI SEDIMENTI DI SPIAGGIA

Al fine di definire la distribuzione delle microplastiche (MPs) nei sedimenti marino-costieri, il campionamento dei sedimenti è effettuato in differenti punti della spiaggia emersa e intertidale e della spiaggia sommersa, lungo transetti perpendicolari alla costa. Il campionamento lungo la spiaggia emersa avviene tramite l'utilizzo di un setaccio di maglia 5 mm in modo da campionare solo la frazione di sedimento utile per l'analisi delle MPs (< 5 mm). Per quanto riguarda i campioni di spiaggia sommersa, essi vengono prelevati direttamente da un operatore entro il limite della profondità di chiusura mentre per i campionamenti offshore si utilizzano mezzi meccanici (benne e carotieri).

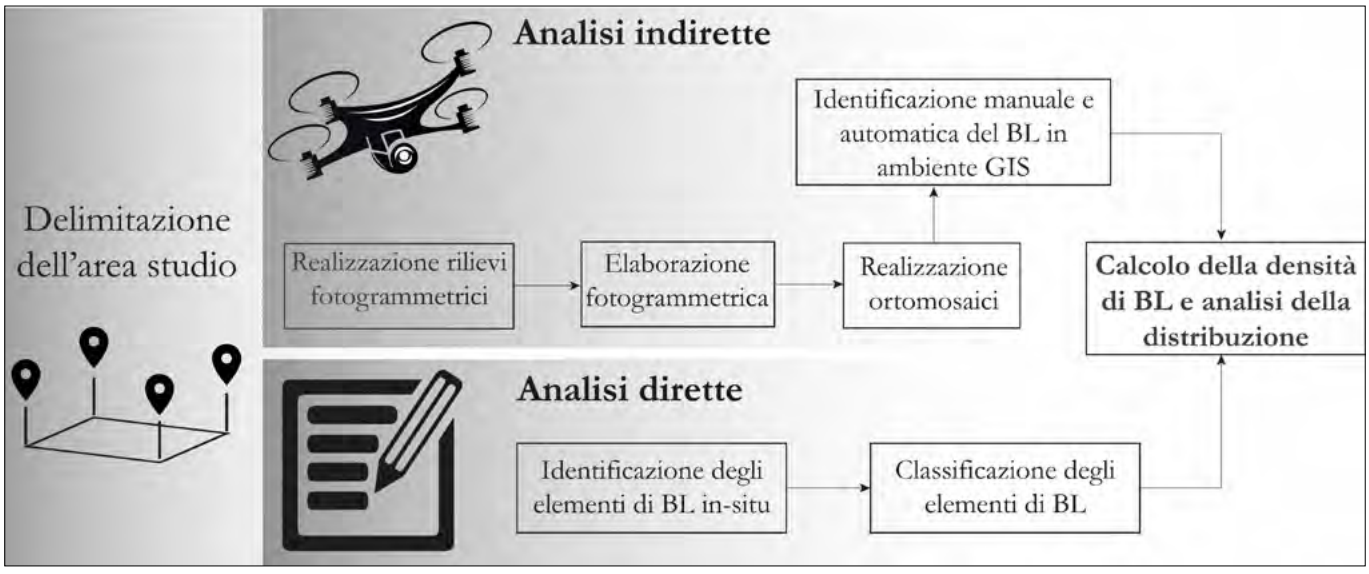



Figura 2. Acquisizione dei dati per l'analisi del BL. Analisi dirette in-situ e realizzazione di rilievi fotogrammetrici con drone per la successiva identificazione (manuale e/o automatica) degli elementi di BL su ortomosaici georeferiti.




Figura 3. Campionamento e analisi dei sedimenti di spiaggia per l'identificazione delle MPs. (A) Definizione punti di campionamento sulla spiaggia emersa; (B) campionamento in situ dei sedimenti tramite setaccio da 5 mm; (C) setacciatura dei sedimenti in laboratorio; (C) ossidazione della sostanza organica per la preparazione dei campioni alla fase di separazione delle MPs.

I campioni sono poi trasportati in laboratorio per le successive analisi. Seguendo le procedure standard indicate nelle linee guida europee (Galgani *et al.*, 2023), i sedimenti campionati sono prima analizzati dal punto di vista granulometrico, al fine di ottenere valutazioni statistiche dei principali parametri tessiturali. I campioni, suddivisi in tre classi granulometriche standard, sono poi sottoposti ad una fase di digestione al fine di eliminare la materia organica e ad una fase di estrazione delle MPs.

Nello specifico, le analisi granulometriche dei campioni di sedimento sono effettuate seguendo le procedure standard internazionali. In particolare, per la setacciatura è utilizzata una serie di setacci ASTM con maglie di ½ phi da 4 mm alla frazione granulometrica minima. In laboratorio, i campioni sono essiccati in forno ad una temperatura di 40°C per 24 ore e ogni singolo campione è suddiviso in quarti e posto nella colonna di setacci. I sedimenti di sabbia compresi tra 2,0 mm e 0,063 mm sono poi setacciati con il vibrovaglio per una durata di 20 minuti (Lapietra *et al.*, 2022). Successivamente, ciascuna frazione trattenuta è pesata ed i risultati sono elaborati tramite Gradistat© v8 in Microsoft Excel, che fornisce i risultati sotto forma di curve cumulative, istogrammi e restituisce i principali parametri tessiturali. Le analisi granulometriche della frazione < 63 μm sono condotte mediante l'uso dello strumento Counter Coulter e i risultati sono stati poi integrati in Gradistat© v8.

Per quanto riguarda la fase di estrazione e separazione delle MPs, in letteratura sono state proposte diverse procedure. Tra queste, la separazione per densità consente di separare le MPs presenti all'interno di una matrice attraverso l'utilizzo di una soluzione a densità nota in cui viene immerso il campione. L'utilizzo di soluzioni quali $ZnCl_2$, NaI, $ZnBr_2$ risulta molto efficace e in grado di separare i polimeri più comuni (PET, PVC, PC) ma tali soluzioni sono costose e potenzialmente dannose per l'ambiente e l'uomo (He *et al.*, 2021). Uno dei metodi a più basso impatto ambientale è stato recentemente proposto da Scopetani *et al.* (2019, 2020) ed è basato sull'utilizzo dell'olio di oliva il quale, sfruttando le proprietà oleofile della plastica, consente di separare le MPs dalla matrice che si intende analizzare. Il metodo inoltre è risultato idoneo per la separazione di una vasta gamma di polimeri.

L'ultima fase di analisi prevede la caratterizzazione per forma, dimensione, colore e tipologia delle MPs identificate nel campione. A questo scopo, i frammenti vengono preliminarmente analizzati tramite osservazione al microscopio ottico per identificare forme e colori prevalenti.




Figura 4. Esempi di oggetti (>2,5 cm) ritrovati durante le attività di monitoraggio in situ sulla spiaggia di Torre Guaceto (modificata da Rizzo *et al.*, 2023). (A) rete comunemente utilizzata per attività di pesca (codice J45), (B) bottiglia di vetro per bevande (codice J200), (C) pezzo di una cassetta di polistirolo (codice J82).

Al fine di fornire una caratterizzazione dei polimeri che compongono le MPs identificate, un subset di campioni è analizzato mediante tecniche standard, come μ-FTIR e μ-Raman (Frias *et al.*, 2018; Cofano *et al.*, 2023; Galgani *et al.*, 2023; Parga Martínez *et al.*, 2023) e innovative, come ad esempio l'analisi iperspettrale (Serranti *et al.*, 2018, 2019). La definizione dei polimeri che caratterizzano le MPs presenti nei campioni analizzati (PP, PE, PET, etc.) fornisce un'informazione utile per identificare la possibile origine delle MPs, distinguendo tra origine primaria e secondaria, e di relazionare le MPs alla possibile fonte di inquinamento. Al fine di definire set di dati rappresentativo dei diversi settori di spiaggia pugliesi, i campionamenti dei sedimenti sono stati effettuati sia sul settore adriatico (spiaggia di Torre Guaceto - Brindisi e spiaggia di Capitolo - Bari) sia sul settore ionico (spiaggia di Pino di Lenne - Taranto).

## 5. RISULTATI E CONSIDERAZIONI FINALI

Le attività svolte nell'ambito del progetto RETURN hanno permesso di effettuare delle valutazioni preliminari sulle metodologie di analisi applicate per il monitoraggio geo-ambientale delle spiagge pugliesi.

Per quanto riguarda le attività di analisi della distribuzione dei macro-rifiuti, si evidenzia che le attività di monitoraggio svolte direttamente in situ permettono di ottenere un'analisi di dettaglio di tutti gli elementi presenti sul settore di spiaggia in esame (Rizzo *et al.*, 2021), effettuando fotografie e classificando, in termini di dimensione e tipologia, con elevata precisione tutti gli oggetti individuati (Fig. 4). In questo caso, i dati raccolti permettono di identificare le possibili sorgenti della contaminazione. D'altro canto, le attività di monitoraggio in situ richiedono tempi lunghi e il coinvolgimento costante di operatori.

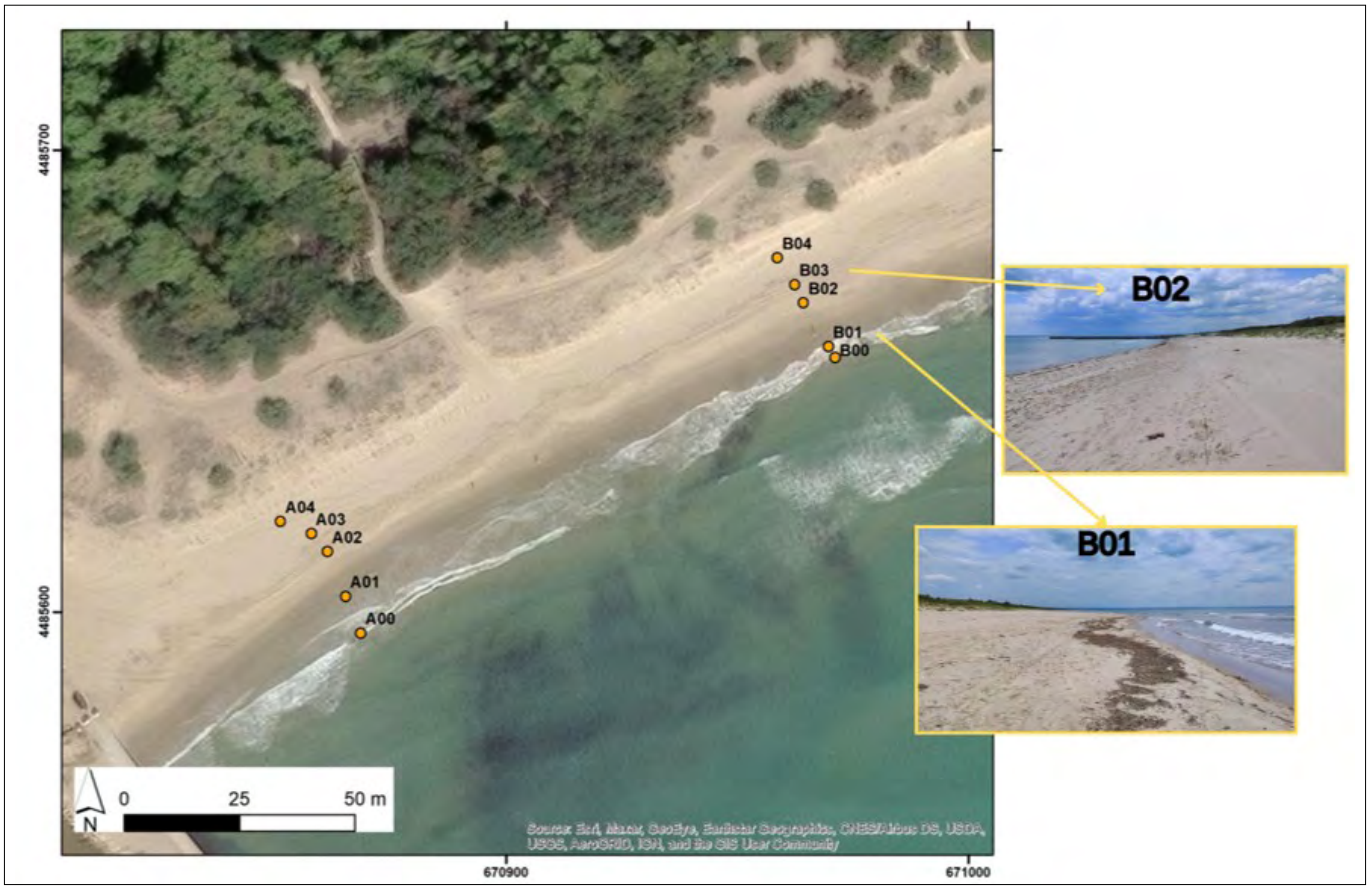



Figura 5. Distribuzione dei punti di campionamento dei sedimenti di spiaggia nell'area di Taranto. I campioni sono stati raccolti lungo transetti perpendicolari alla linea di riva, avendo cura di campionare anche gli elementi morfologici di rilievo (berma ordinaria, berma di tempesta e base duna).

I metodi di analisi più innovativi basati sull'utilizzo di immagini acquisite tramite drone (Scarrica *et al.*, 2022; Rizzo *et al.*, 2023) consentono di analizzare in tempi brevi settori di spiaggia più ampi e di realizzare un database di oggetti identificati facilmente consultabile e di aggiornare periodicamente i dati relativi ad uno stesso sito. Inoltre, attraverso l'utilizzo di sistemi GIS è possibile correlare l'analisi della distribuzione spaziale degli oggetti identificati sulle ortofoto del sito in esame con i processi morfodinamici in corso (avanzamento o arretramento della linea di riva) e di individuare eventuali zone preferenziali di accumulo dei rifiuti in funzione delle caratteristiche fisiche della spiaggia. Infine, l'applicazione di procedure automatiche per il riconoscimento e la classificazione dei rifiuti risultano essere strumenti molto promettenti a supporto del monitoraggio integrato delle spiagge. L'utilizzo di questi algoritmi richiede però una fase di addestramento molto lunga e precisa per la quale risulta necessaria la messa a punto di specifici database di immagini di riferimento. Pertanto, al fine di implementare un database di immagini più ampio e utile ai fini della fase di addestramento degli algoritmi per il riconoscimento automatico delle macroplastiche in diversi contesti morfodinamici, ulteriori rilievi fotogrammetrici sono stati svolti anche in altri settori costieri in Italia, Spagna, Portogallo e Colombia.

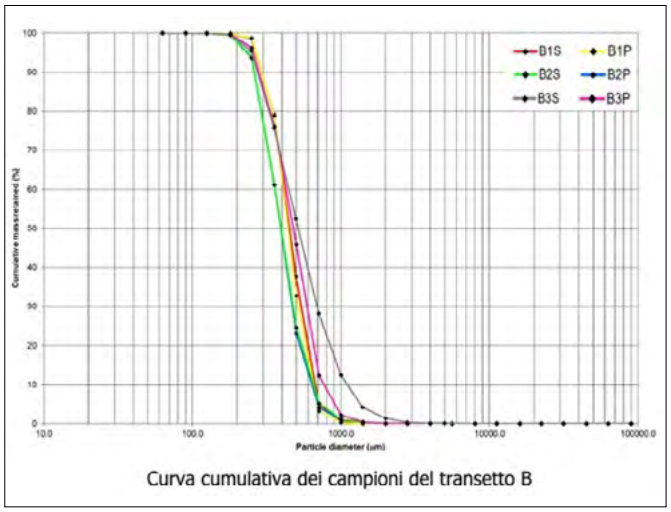



Figura 6. Esempio di grafico rappresentante le curve cumulative dei campioni appartenenti al profilo del settore emerso della spiaggia di Capitolo. Le lettere S e P descrivono se il campione è stato prelevato in superficie (S) o a qualche cm di profondità (P).

Per quanto riguarda la valutazione delle microplastiche nei sedimenti di spiaggia emersa, le attività in corso sono idonee per individuare le più adeguate procedure di campionamento al fine di ottenere una valutazione della distribuzione spaziale delle particelle lungo il profilo di spiaggia e di identificare quindi le aree di accumulo più probabili. A titolo di esempio, in Fig. 5 si mostrano i punti lungo il profilo di spiaggia in cui sono stati prelevati i campioni nella spiaggia di Pino di Lenne (Taranto). Analoghi campionamenti sono stati effettuati anche nelle spiagge di Capitolo (Bari) e Torre Guaceto (Brindisi).

I risultati delle analisi granulometriche condotte sui campioni di spiaggia possono dare informazioni sulle caratteristiche tessiturali del sedimento e quindi suggerire la distribuzione granulometrica dei granuli lungo i profili di campionamento e quindi lungo tutto l'ambiente del settore emerso. In particolare, l'interpretazione dei parametri granulometrici e la distribuzione delle curve cumulative (Fig. 6) dei campioni di spiaggia di Capitolo indica la presenza di sabbie da ben sortite a moderatamente ben sortite prevalentemente medie.

L'integrazione tra i dati sedimentologici e la quantificazione delle microplastiche consente di comprendere se e come i processi e le dinamiche che si sviluppano in questo settore costiero possano consentire l'accumulo delle microplastiche o, al contrario, favorirne l'allontanamento verso altri ambienti limitrofi. Entrando maggiormente nello specifico, infatti, lungo alcuni elementi morfologici, come per esempio i gradini di berma, è più frequente osservare maggiori accumuli di frammenti di plastiche e microplastiche a causa sia dei frequenti processi di accumulo dei sedimenti sia della capacità di tali depositi di agire come trappole per il materiale naturale (come sedimenti, resti vegetali e biologici) e antropico, incluse anche macro- e microplastiche ad essi associati. Inoltre, in questo settore di spiaggia agiscono anche i processi di trasporto e selezione operati dal vento, che favoriscono l'accumulo anche in settori di spiaggia più interni.

I risultati delle attività di monitoraggio ad oggi svolte, hanno evidenziato che le spiagge pugliesi sono fortemente interessate dalla presenza di rifiuti solidi e che gli elementi più comuni che si ritrovano sulle spiagge pugliesi sono i frammenti di polimeri artificiali (plastica e polistirolo), seguiti dalle reti da pesca, o parti di esse, e dai tappi e anelli in plastica di bottiglie per bevande. Inoltre, gli studi condotti hanno messo in evidenza che il settore più interno della spiaggia, rappresentato dal limite con la vegetazione dunale, mostra valori di densità più elevati e pertanto rappresenta un'area di accumulo preferenziale dei rifiuti. Dalle osservazioni al microscopio ottico effettuate sui campioni di spiaggia emersa sono state riscontrate densità di MPs variabili, con valori compresi tra 400 e 1000 MPs/kg. Le MPs individuate sono caratterizzate da differenti colori, dimensioni e forme. Le analisi dei sedimenti marini hanno messo in evidenza la presenza a diverse profondità di diversi polimeri come polietilene, polipropilene e polistirene (Cofano *et al.*, 2022; Rizzo *et al.*, 2024).

In conclusione, mediante l'applicazione di differenti metodi di analisi che includono attività in campo, strumentazione innovativa e analisi di laboratorio, le spiagge analizzate saranno caratterizzate sia da un punto di vista geologico-geomorfologico che ambientale. Ulteriori studi sulle dinamiche idrogeologico-carsiche in prossimità della linea di costa, come ad esempio il ruolo dei sistemi palustri generati da sorgenti retrodunali nell'intrappolamento e successiva diffusione di microplastiche nell'ambiente di spiaggia e marino (Ogbuagu *et al.,* 2022), sarebbero estremamente utili alla comprensione delle dinamiche ambientali che regolano la distribuzione di questi inquinanti. Proteggere le falde idriche carsiche dall'inquinamento da microplastiche attraverso azioni mirate di gestione sostenibile dei rifiuti per prevenire l'ingresso di microplastiche

nell'ambiente sotterraneo aiuterebbe a ridurre gli effetti dannosi che l'accumulo delle stesse potrebbe avere in ambiente costiero (Ramesh, 2023), generalmente recapito finale delle acque sotterranee.

La quantificazione delle plastiche e delle microplastiche rappresenta il punto di partenza per il calcolo di specifici indici relativi alla qualità ambientale. Attraverso il calcolo di questi indici sarà possibile determinare l'impatto ambientale dovuto alla presenza di plastiche e microplastiche nelle aree costiere analizzate. Pertanto, la definizione della qualità ambientale delle spiagge consentirà di valutare eventuali situazioni di rischio di inquinamento ambientale e di definire azioni di gestione strategiche sostenibili volte alla tutela e alla conservazione delle varie matrici ambientali e dei relativi ecosistemi marino-costieri, al fine di garantire che le spiagge continuino a essere risorse preziose e accessibili anche per le generazioni future.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI


Abelouah M. R., Ben-Haddad M., Rangel-Buitrago N., Hajji S., El Alem N., Ait Alla A. (2022). *Microplastics pollution along the central Atlantic coastline of Morocco*. Marine Pollution Bulletin, 174, 113190.

Alkalay R., Pasternak G., Zask A. (2007). *Clean-coast index—a new approach for beach cleanliness assessment*. Ocean Coast. Manag. 50, 352–362

An X., Li W., Lan J., Adnan M. (2022). *Preliminary study on the distribution, source, and ecological risk of typical microplastics in karst groundwater in Guizhou province, China*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(22), 14751.

Andriolo U., Gonçalves G., Bessa F., Sobral P. (2020). *Mapping marine litter on coastal dunes with unmanned aerial systems: A showcase on the Atlantic Coast*. Science of the Total Environment, 736: 139632.

Chang Q., Zheng T., Zhen X., Gao C., Song X., Walther M. (2023). *Repulsion driven by groundwater level difference around cutoff walls on seawater intrusion in unconfined aquifers*. Sci. Total Environ. 874, 162535.

CNR (1985). *Atlante delle spiagge italiane. Dinamismo – Tendenza evolutiva - Opere umane*. In: Progetto Finalizzato 'Conservazione del Suolo' sottoprogetto 'Dinamica dei Litorali'. Scala 1:100,000. S.EL.CA., Firenze.

Cofano V., Mele D., Lacalamita M., Di Leo P., Scardino G., Bravo B., Cammarota F., Capolongo D. (2023). *Microplastics in inland and offshore sediments in the Apulo-Lucanian region (Southern Italy)*. Marine Pollution Bulletin, 197, 115775.

Fleet D., Vlachogianni T., Hanke G. (2021). *A joint list of litter categories for marine macrolitter monitoring*. EUR, 30348, 52.

Frias J. P. G. L., Pagter E., Nash R., O'Connor I., Carretero O., Filgueiras A., Viñas L., J. Gago, Antunes J. C., Bessa F., Sobral P., Goruppi A., Tirelli V., Pedrotti M. L., Suaria G., Aliani S., Lopes C., Raimundo J., Caetano M., ... Gerdts G. (2018). *Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments*. JPI-Oceans BASEMAN project, 24 pp.

Galgani F., Ruiz-Orejón L. F., Ronch, F., Tallec K., Fischer E. K., Matiddi M., Anastasopoulou A., Andresmaa E., Angiolillo M., Bakker Paiva M., Booth A. M., Buhhalko N., Cadiou B., Clarò F., Consoli P., Darmon G., Deudero S., Fleet D., Fortibuoni T., Fossi M.C., Gago J., Gérigny O., Giorgetti A., González-Fernández D., Guse N., Haseler M., Ioakeimidis C., Kammann U., Kühn S., Lacroix C., Lips I., Loza A. L., Molina Jack M. E., Norén K., Papadoyannakis M., Pragnel-Raasch H., Rindorf A., Ruiz M., Setälä O., Schulz M., Schultze M, Silvestri C., Soederberg L., Stoica E., Storr-Paulsen M., Strand J., Valente T., van Franeker J., van Loon W. M. G. M., Vighi M., Vinci M., Vlachogianni T., Volckaert A., Weiel S., Wenneker B., Werner S., Zeri C., Zorzo P., Hanke G., European Commission. Joint Research Centre., MSFD Technical Group on Marine Litter. (2023). *Guidance on the monitoring of marine litter in European seas: an update to improve the harmonised monitoring of marine litter under the Marine Strategy Framework Directive*. Publications Office.

Gonçalves G., Andriolo U., Gonçalves L.M.S., Sobral P., Bessa F. (2022). *Beach litter survey by drones: Mini-review and discussion of a potential standardization*. Environmental Pollution, 315: 120370.

He D., Zhang X., Hu J. (2021). *Methods for separating microplastics from complex solid matrices: Comparative analysis*. Journal of Hazardous Materials, 409.

Lapietra I., Lisco S. N., Milli S., Rossini B., Moretti M. (2022). *Sediment provenance of a carbonate bioclastic pocket beach—Le Dune (Ionian Sea, South Italy)*. Journal of Palaeogeography, 11(2), 238-255.

Lapietra I., Lisco S., Capozzoli L., De Giosa F., Mastronuzzi G., Mele D., Milli S., Romano G., Sabatier F., Scardino G. Moretti M. (2022). *A potential beach monitoring based on integrated methods*. Journal of Marine Science and Engineering, 10(12), 1949.

Lebreton L.C.-M., Greer S.D., Borrero J.C. (2012). *Numerical modelling of floating debris in the world's oceans*. Marine Pollution Bulletin, Volume 64, Issue 3, 653-661.

Lisco S., Mastronuzzi G., Moretti V., Scotti R. (2016). *Texture and composition of the Rosa Marina beach sands (Adriatic coast, southern Italy): A sedimentological/ecological approach*. Geologos 22(2): 87-103.

Lu C., Kitanidis P. K., Luo J. (2009). *Effects of kinetic mass transfer and transient flow conditions on widening mixing zones in coastal aquifers*. Water Resour. Res. 45:1–17.

Mastronuzzi G., Palmentola G., Sansò P. (2002). *Lineamenti e dinamica della costa pugliese*. Studi Costieri 5: 9-22

Mastronuzzi G., Sansò P. (2002). *Holocene coastal dune development and environmental changes*. In: Apulia (Southern Italy) Sedimentary geology 150: 139-152.

Moretti M., Tropeano M., Van Loon A.J.T., Acquafredda P., Baldacconi R., Festa V., Lisco S., Mastronuzzi G., Moretti V., Scotti R. (2016). *Texture and composition of the Rosa Marina beach sands (Adriatic coast, southern Italy): A sedimentological/ecological approach*. Geologos 22, 2 (87–103)

Ogbuagu C., Kassem H., Udiba U., Stead J., Cundy A. (2022). *Role of saltmarsh systems in estuarine trapping of microplastics*. Scientific Reports, 12(1)

Panno S. V., Kelly W. R., Scott L., Zheng W., McNeish R. E., Holm N., Hoellein T. J., Baranski E. L. (2019). *Microplastic contamination in karst groundwater systems*. Ground Water, 57(2), 189-196.

Parga Martínez K. B., da Silva V. H., Andersen T. J., Posth N. R., & Strand J. (2023). *Improved separation and quantification method for microplastic analysis in sediment: A fine-grained matrix from Arctic*. Greenland Marine Pollution Bulletin, 196, 115574.

Pranzini E. (2019). *Dinamica e difesa dei litorali. Gestione integrata della fascia costiera*. Studi costieri 28: 3-12.

Ramesh S. (2023). *Microplastic contamination analysis for chennai coastal region*. Applied Environmental Biotechnology, 8(2), 10-17.

Rangel-Buitrago N., Arroyo-Olarte H., Trilleras J., Arana V. A., Mantilla-Barbosa E., Gracia C. A., Mendoza A. V., Neal W. J., Williams A. T., Micallef A. (2021). *Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches*. Marine Pollution Bulletin, 170, 112685.

Rangel-Buitrago N., Velez A., Gracia A., Mantilla E., Arana V., Trilleras J., Arroyo- Olarte H. (2019). *Litter impacts on cleanliness and environmental status of Atlantico department beaches, Colombian Caribbean coast*. Ocean Coast. Manag. 179, 104835.

Rangel-Buitrago N., Velez-Mendoza A., Gracia C. A., Neal W. J. (2020). *The impact of anthropogenic litter on Colombia's central Caribbean beaches*. Marine Pollution Bulletin, 152, 110909.

Rizzo A., Rangel-Buitrago N., Impedovo A., Mastronuzzi G., Scardino G., Scicchitano G. A. (2021). *Rapid Assessment of Litter Magnitudes and Impacts along the Torre Guaceto*. Marine Protected Area (Brindisi, Italy) Marine Pollution Bulletin, 173, 112987.

Rizzo A., Serranti S., Cucuzza P., Lisco S., Marsico A., Bonifazi G., Mastronuzzi G. (2024). *Application of hyperspectral imaging and machine learning for the automatic identification of microplastics on sandy beaches*. Proc. of SPIE Defence + Commercial Sensing conference, Vol. 13031, Article Number 130310Q (23-25 April 2024, Maryland, United States)

Rizzo A., Sozio A., Anfusio G., La Salandra M., Sasso C. (2022). *The use of UAV images to assess preliminary relationships between spatial litter distribution and beach morphodynamic trends: The case study of Torre Guaceto beach (Apulia region, Southern Italy)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 45(2), 237-250.

Scarrica V. M., Aucelli P. P. C., Cagnazzo C., Casolaro A., Fiore P., La Salandra M., Rizzo A., Scardino G., Scicchitano G., Staiano A. (2022). *A novel beach litter analysis system based on UAV images and Convolutional Neural Networks*. Ecological Informatics, 72: 101875

Scopetani C., Chelazzi D., Mikola J., Leiniö V., Heikkinen R., Cincinelli A., Pellinen J. (2020). *Olive oil-based method for the extraction, quantification and identification of microplastics in soil and compost samples*. Science of the Total Environment, 733.

Scopetani C., Pellinen J., Pflugmacher S. (2019). *A method for the extraction of microplastics from solid samples using olive oil CEST2019, Rhodes, Greece*.

Serranti S., Fiore L., Bonifazi G., Takeshima A., Takeuchi H., Kashiwada S. (2019). *Microplastics characterization by hyperspectral imaging in the SWIR range*. In: M. Kimata C. R. Valenta (A c. Di), *SPIE Future Sensing Technologies* (Vol. 11197, p. 1119710)

Serranti S., Palmieri R., Bonifazi G., Cózar A. (2018). *Characterization of microplastic litter from oceans by an innovative approach based on hyperspectral imaging.* Waste Management, 76, 117–125.

## RINGRAZIAMENTI

Le attività di ricerca mostrate in questo studio sono svolte nell'ambito del progetto "RETURN" finanziato dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Missione 4, Componente 2, Investimento 1.3-D.D. 1243 2/8/2022-Unione Europea NextGenerationEU (n. PE00000005, CUP: B53C22004020002).

Inoltre, le attività inerenti all'identificazione automatica dei rifiuti sono svolte nell'ambito del progetto "Marine & Beach litter monitoring in Apulia" finanziato dalla Regione Puglia tramite il programma RiPARTI (assegni di Ricerca per riPARTire con le Imprese - (POC PUGLIA FESRT-FSE 2014/2020 (responsabile scientifico: dott.ssa Angela Rizzo; responsabile aziendale: dott. Giovanni Barracane). Le attività ad esso associate sono state condotte nell'ambito dell'Accordo di Ricerca tra il Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro ed il Dipartimento di Scienze e Tecnologie dell'Università di Napoli Parthenope.

Le attività di campo sono state in parte finanziate nell'ambito della Convenzione di Ricerca stipulata tra il Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro e l'Area Marina Protetta di Torre Guaceto, (responsabile scientifico: prof. G. Scicchitano).

Gli autori ringraziano l'Environmental Survey S.r.l (ENSU) spin-off dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro per il supporto tecnico durante le alle attività di campo e lo staff del Consorzio di Gestione di Torre Guaceto e del centro Velico Torre Guaceto per il supporto logistico fornito durante le attività svolte nel sito di Torre Guaceto. Infine, si ringrazia la Marina Militare Italiana per il supporto alle attività di campionamento svolte nell'ambito del progetto MICA (Microplastiche nella Colonna d'Acqua).

# L'ultima spiaggia. Il declino degli ecosistemi dunali della Sicilia negli ultimi 50 anni

## The last beach. The decline of Sicily's dune ecosystems over the last 50 years

Salvatore Pasta*[1,2], Giuseppe Garfì[1], Alessandro Silvestre Gristina[3], Corrado Marcenò[4], Riccardo Guarino[5,2], Ignazio Sparacio[6,2], Calogero Muscarella[7,2], Gabriele Giacalone[5,7], Emilio Badalamenti[8], Tommaso La Mantia[8,2], Bruno Massa[8,9]

[1]Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Bioscienze e BioRisorse (IBBR), Palermo
[2]Società Siciliana di Scienze Naturali
[3]Dipartimento DiSTeM, Scienze della Terra e del Mare, Università degli Studi di Palermo, Palermo
[4]Dipartimento DCBB, Chimica, Biologia e Biotecnologie, Università degli Studi di Perugia, Perugia
[5]Dipartimento STeBiCeF, Scienze e Tecnologie Biologiche Chimiche e Farmaceutiche, Università degli Studi di Palermo, Palermo
[6]Edizioni Danaus, Palermo
[7]Cooperativa Silene, Palermo
[8] Dipartimento SAAF, Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali, Università degli Studi di Palermo, Palermo
[9]Fondazione Internazionale per la Biodiversità del Mediterraneo
*Primo autore e corrispondente

*E-mail*: salvatore.pasta@cnr.it

**Parole chiave**: ecosistemi dunali, evoluzione del paesaggio costiero, fruizione sostenibile, organismi psammofili, restauro e ripristino, Sicilia, spiagge sabbiose
**Key words**: dune ecosystems, evolution of coastal landscapes, sustainable use, psammophilous organisms, restoration and rehabilitation, Sicily, sandy beaches

## INTRODUZIONE: LE PIANTE DELLE DUNE, MOLTI SPECIALISTI PER UN AMBIENTE UNICO

Questo contributo mira non solo a denunciare l'estremo degrado di buona parte degli ecosistemi dunali della Sicilia, ma anche a suggerire strategie efficaci per una corretta salvaguardia e gestione sostenibile di ciò che ne rimane.

Il paesaggio dei litorali sabbiosi è il frutto del complesso e delicato equilibrio dinamico fra i processi di erosione e disgregazione delle rocce, il trasporto dei sedimenti e il moto ondoso marino. In queste dinamiche sono coinvolte sia le rocce presenti nei bacini idrografici che insistono sul tratto di costa (i cui clasti, frutto dei processi erosivi nell'entroterra, vengono trasportati in mare dai corsi d'acqua), sia quelle che formano i rilievi costieri. In particolare, va rimarcato che anche i sedimenti prodotti dal rimaneggiamento delle coste rocciose (falesie, terrazzi marini, ecc.) contribuiscono in modo significativo ad alimentare le spiagge. La prima parte della spiaggia emersa, compresa tra il livello minimo e massimo della marea, è la zona intertidale chiamata anche 'zona afitoica', ossia priva di piante. Questa fascia è caratterizzata da un'elevata salinità e da un costante rimaneggiamento, rimescolamento e spostamento della sabbia. Sebbene lo stress salino e l'intenso dinamismo impediscano l'instaurarsi di comunità vegetali, questo ambito costiero è popolato da molti animali (detritivori e predatori) capaci di sfruttarne le caratteristiche.

In condizioni naturali le spiagge ospitano un mosaico di ecosistemi che si avvicendano al variare della distanza rispetto alla linea di costa e a seconda della direzione prevalente del moto ondoso marino, della marea e dei venti. Ciò fa sì che nell'arco di poche decine di metri si possa osservare l'alternarsi di comunità che tendono a formare delle cinture di vegetazione parallele rispetto alla linea di costa (Fig. 1).

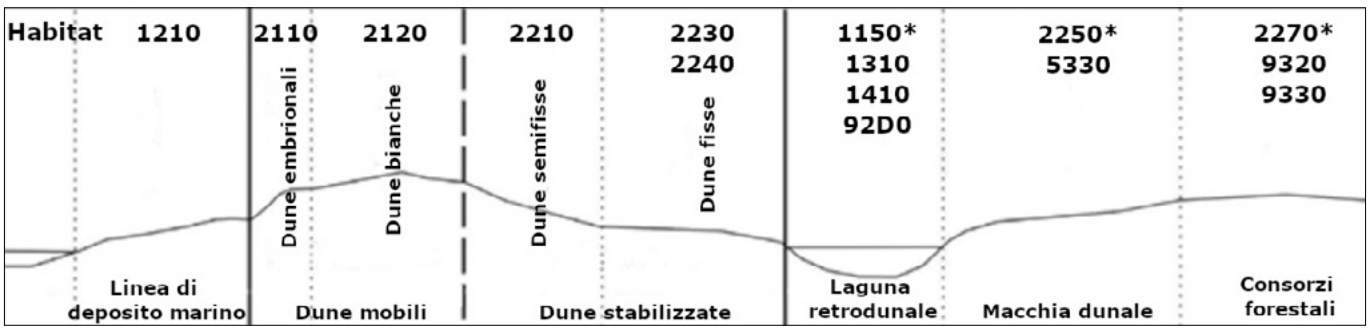



Figura 1. Schema di sistema dunale (da Marcenò *et al.*, 2018, *modif.*) e collocazione topografica degli habitat costieri d'interesse comunitario (cfr. Tab. 1).

Questa sorta di "staffetta" fra comunità, la cui ecologia e fisionomia sono spesso marcatamente distinte, è dovuta alla diversa capacità che hanno le specie che compongono tali consorzi vegetali di rispondere al variare della frequenza e dell'intensità del disturbo naturale, causato principalmente dal vento e dal moto ondoso. Le comunità a ridosso della linea di costa risentono maggiormente dell'apporto di sale e dell'accumulo di detriti spiaggiati dalle intense mareggiate e sono esposte al vento in maniera più o meno costante. *Cakile maritima* Scop. è la pianta simbolo di queste comunità pioniere, in genere povere di specie e con una composizione floristica e una struttura piuttosto monotona e costante. In posizione più arretrata rispetto alla linea di costa, l'accumulo della sabbia favorisce la colonizzazione di specie in grado di "bloccare" il sedimento, innescando la formazione delle dune, dapprima di piccole dimensioni e mobili, dette *embrionali*, poi di dimensioni via via maggiori e sempre più stabili, dette *bianche*. Più in dettaglio, le dune mobili sono dominate da una graminacea di grossa taglia, *Thinopyrum junceum* (L.) *Á. Löve*, le cui radici, assieme a quelle di numerose altre erbe perenni, come *Pancratium maritimum* L. (Fig. 2A), *Eryngium maritimum* L. (Fig. 2B), *Cyperus capitatus* Vand. (Fig. 2C), *Echinophora spinosa* L., *Convolvulus soldanella* L., *Euphorbia paralias* L., *Anthemis maritima* L., *Achillea maritima* (L.) Ehrend. & Y.P. Guo, *Crucianella maritima* L., *Lomelosia rutifolia* (Vahl) Avino & P. Caputo, ecc., trattengono il suolo sabbioso e bloccano i detriti organici spinti dal vento, arricchendo il terreno di sostanze nutritizie. La formazione delle dune bianche si deve invece ad un'altra graminacea perenne di grandi dimensioni, *Ammophila arenaria* (L.) subsp. *arundinacea* (Husn.) H. Lindb., che copre in maniera più o meno uniforme le dune sabbiose, accompagnandosi spesso a leguminose perenni come *Medicago marina* L. e *Lotus creticus* L.

Il retroduna risente meno dell'effetto dell'aerosol marino e del vento; la mitigazione dei fattori di stress facilita la *pedogenesi*, ovvero la graduale formazione di un vero e proprio suolo. A sua volta, l'accumulo di sostanza organica nel suolo crea le condizioni favorevoli per lo sviluppo di comunità vegetali più complesse sia dal punto di vista floristico e fisionomico-strutturale, con l'ingresso di specie legnose via via più grandi (suffrutici > frutici > liane > alberelli e alberi), sia sotto il profilo funzionale-trofico, con l'ingresso di nuove specie animali nelle catene alimentari sempre più articolate. In assenza di disturbo per periodi prolungati, i suoli e le cenosi retrodunali possono così evolvere, dando vita a consorzi sempre più chiusi e maturi (es.: macchia sclerofilla sempreverde) ed entrare in contatto diretto (spaziale e dinamico) con la vegetazione zonale del territorio limitrofo (es.: querceto termofilo misto, pineto). Di frequente il quadro d'insieme degli ecosistemi delle spiagge sabbiose è reso ancor più complesso dalla presenza di cordoni di sabbia. Questi sbarramenti naturali, determinati dal moto ondoso, interferiscono con il dinamismo e la morfologia dell'ultimo tratto dei corsi d'acqua, rallentandone il flusso e dando spesso vita a sistemi più o meno complessi di la-




Figura 2. Alcune specie delle dune embrionali dell'isola di Vulcano. (A) *Pancratium maritimum* L.; (B) *Eryngium maritimum* L.; (C) *Cyperus capitatus* Vand. (foto: P. Lo Cascio).

gune retrodunali, caratterizzate da acque salmastre per via della commistione dell'acqua dolce con quella marina. Le sponde di queste lagune ospitano spesso dense formazioni ad *elofite*, erbe perenni di grossa taglia legate agli ambienti palustri. A queste formazioni, spesso dominate da una o più specie di 'canne', quali *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Arundo donax* L. e *Imperata cylindrica* (L.) Räusch., partecipano anche diversi giunchi (es.: *Juncus acutus* L.), carici (*Carex* sp. pl.), nonché *Limniris pseudacorus* (L.) Fuss, *Typha* sp. pl., *Sonchus maritimus* L., *Scirpoides holoschoenus* (L.) Soják, *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla e *Cyperus* sp. pl. I pantani salmastri possono ospitare anche nuclei di boscaglia termoigrofila ripariale, dominati da specie legnose quali *Nerium oleander* L., *Tamarix africana* Poir., *Vitex agnus-castus* L., *Salix pedicellata* Desf., ecc.

## GEOGRAFIA DEI LITORALI SABBIOSI DELLA SICILIA

Lo sviluppo costiero dell'isola maggiore (senza, cioè, contare il perimetro litorale delle isole minori), è pari a circa 1150 km. Il versante settentrionale della Sicilia, interessato da un rapido e costante sollevamento tettonico, è caratterizzato perlopiù da coste rocciose o spiagge ciottolose. Le poche spiagge sabbiose del Tirreno, generalmente di modeste dimensioni, sono localizzate a Trapani, a San Vito Lo Capo, nei golfi di Castellamare del Golfo e di Carini, nei dintorni di Palermo (Mondello, Arenella, Romagnolo), a Campofelice di Roccella, a Cefalù, sotto Tindari e sul versante settentrionale di Capo Peloro. I tratti più ampi di costa sabbiosa e i principali sistemi dunali della Sicilia si concentrano invece lungo le sponde del Canale di Sicilia, in particolare presso Mazara del Vallo, fra Castelvetrano e Agrigento e tra Licata e Capo Passero. Lungo la costa ionica, dei sistemi dunali di notevoli dimensioni erano presenti nel Golfo di Catania, mentre alcuni nuclei piuttosto integri sopravvivono nell'area siracusana (es.: Vendicari). Spiagge sabbiose, perlopiù di dimensioni ridotte, sono presenti anche su alcune isole satelliti (Linosa, Lampedusa, Pantelleria, Ustica, Isola Lunga, Favignana, Vulcano, Panarea, Stromboli) e sulla costa occidentale della Sicilia (es.: Marausa) (Fig. 3).



Figura 3. Distribuzione attuale delle dune costiere sabbiose in Sicilia (cfr. Tab. 1) sulla base dei dati riportati sulla Carta Habitat delle Rete Natura 2000 (fonte: https://www.sitr.regione.sicilia.it/layer).

## UNO SCRIGNO RICCO DI TESORI PREZIOSI E VIOLATI

Le spiagge sabbiose della Sicilia ospitano tuttora un numero elevatissimo di habitat d'interesse comunitario ai sensi della Direttiva Europea 92/43 "Flora, Fauna, Habitat". Qui convivono infatti numerose comunità vegetali perfettamente adattate a colonizzare aspetti topograficamente contigui ma caratterizzati da una diversa incidenza e frequenza dei vari fattori di stress (termico, idrico) e di disturbo (erosione, sedimentazione). Il Manuale di Interpretazione degli Habitat presenti sul territorio nazionale (http://vnr.unipg.it/habitat/) rivela, infatti, come le coste sabbiose della Sicilia ospitino almeno 15 habitat d'interesse comunitario (Tab. 1).

**Tab. 1. Habitat della Direttiva 92/43 direttamente o indirettamente legati alle spiagge sabbiose, alle dune e ai retroduna della Sicilia. L'asterisco (*) evidenzia gli habitat la cui conservazione è considerata d'interesse prioritario.**

| |
|---|
| 1110: Banchi di sabbia a debole copertura permanente di acqua marina |
| 1120*: Praterie di *Posidonia* (*Posidonion oceanicae*) |
| 1130: Estuari |
| 1150*: Lagune costiere |
| 1210: Vegetazione annua delle linee di deposito marine |
| 1310: Vegetazione annua pioniera a *Salicornia* e altre specie delle zone fangose e sabbiose |
| 1410: Pascoli inondati mediterranei (*Juncetalia maritimi*) |
| 2110: Dune embrionali mobili |
| 2120: Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria* (dune bianche) |
| 2210: Dune fisse del litorale (*Crucianellion maritimae*) |
| 2230: Dune con prati dei *Malcolmietalia* |
| 2240: Dune con prati dei *Brachypodietalia* e vegetazione annua |
| 2250*: Dune costiere con *Juniperus* spp. |
| 2270*: Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* |
| 5330: Arbusteti termo-mediterranei e predesertici |
| 92D0: Gallerie e forteti ripari meridionali (*Nerio-Tamaricetea* e *Securinegion tinctoriae*) |
| 9320: Foreste di *Olea* e *Ceratonia* |
| 9330: Foreste di *Quercus suber* |

Occorre sottolineare l'intimo rapporto fra l'ambiente sottomarino e quello emerso. Ben quattro degli habitat elencati in Tab. 1, infatti, si trovano nella porzione perennemente o prevalentemente sommersa. Questi habitat e le specie che li caratterizzano, come ad esempio *Posidonia oceanica* (L.) Delile, svolgono un ruolo importante sia nel regolare l'idrodinamismo dei bassi fondali prossimi alla linea di costa sia nel sostentare le comunità animali che vivono in questo contesto. Il materiale organico spiaggiato

proveniente dagli habitat sottomarini prossimi alla costa svolge inoltre un ruolo cruciale per la stabilizzazione dei sedimenti sabbiosi e per lo sviluppo delle comunità vegetali che crescono sull'*adlitorale*, cioè sulla porzione della costa emersa più vicina alla battigia.

La flora dei litorali sabbiosi, detta *psammofila*, conta un numero considerevole di specie ad ampia distribuzione ed estremamente fedeli. Ciò conferisce un aspetto insolitamente 'familiare' alle spiagge di tutto il Mediterraneo, popolate da specie che si prestano ad essere scelte come 'specie ombrello' (la cui tutela può garantire indirettamente la protezione di molte altre specie che convivono nella stessa comunità e del loro habitat). Ad esempio, se un sito ospita un popolamento di *Pancratium maritimum*, con ogni probabilità le condizioni locali sono idonee ad altre specie compagne; pertanto, quello spazio andrebbe tutelato per salvaguardare l'evoluzione naturale della comunità vegetale locale, e lì dovrebbero essere concentrati gli sforzi per realizzare progetti di ripristino.

Lo studio delle dune offre la possibilità di usare un termine scientifico con un significato che ricalca perfettamente quello di un termine sportivo: possiamo infatti affermare che le 'formazioni' vegetali delle dune somigliano in tutto e per tutto alle 'formazioni' degli sport di squadra. In effetti dovunque ci siano delle dune in salute, la formazione vegetale conta sempre le stesse specie 'titolari', frutto di una selezione e di una coevoluzione lunga milioni di anni.



Figura 4. *Muscari gussonei* (Parl.) Nyman a Torre Manfria (foto: A. La Rosa).

Oltre ad ospitare piante molto comuni sulle sponde di tutto il Mediterraneo, le spiagge siciliane ospitano anche specie vegetali molto rare o persino *endemiche*, cioè esclusive, del territorio regionale. È questo il caso di *Muscari gussonei* (Parl.) Nyman (Fig. 4), endemico delle coste del Ragusano, e di *Calendula maritima* Guss., endemica delle Egadi, dello Stagnone di Marsala e del litorale trapanese. Ancora più numerosi sono gli animali invertebrati di grande interesse conservazionistico e biogeografico (es.: taxa endemici, ad areale molto ristretto e frammentato, ecc.) che vivono esclusivamente nelle spiagge sabbiose, nelle lagune retrodunali o negli ambienti dunali veri e propri.

In altri casi le spiagge siciliane, in particolare quelle del Canale di Sicilia, ospitano rari popolamenti di piante molto affini o del tutto identiche a specie che sono invece molto comuni sulle coste nordafricane del Mediterraneo, come *Retama raetam* (Forssk.) Webb & Berthel. subsp. *gussonei* (Webb) Greuter e *Senecio glaucus* L. subsp. *coronopifolius* (Maire) C. Alexander. Per le piante capaci di attraversare ampi tratti di mare sotto forma di seme, la loro presenza sull'isola potrebbe essere frutto di recenti colonizzazioni tramite meccanismi di dispersione *talassocora*, cioè grazie al trasporto da parte delle acque marine. In altri casi, invece, si potrebbe invocare la dispersione *ornitocora*: i semi sarebbero stati, cioè, ingeriti e poi espulsi da uccelli durante una pausa del loro percorso migratorio. Non si può tuttavia escludere un'introduzione volontaria o fortuita da parte dell'uomo, come nel caso di *Iris juncea* Poir., splendida bulbosa d'interesse ornamentale, osservata nell'area compresa fra la costa e le colline fra Licata e Gela intorno alla metà del XIX secolo. Un caso analogo riguarda il mondo animale. Pochi anni fa, infatti, nello stesso territorio è stato osservato il Boa delle sabbie, *Eryx jaculus* (Linnaeus, 1758) (Fig. 5). La presenza di questo serpente, ritenuta improbabile e sfuggita per secoli alla comunità scientifica, ha sollevato più di un dubbio. Recenti indagini suggeriscono una sua possibile introduzione in epoca storica o nel recente passato. Di contro, un'eventuale conferma del suo indigenato su base genetica restituirebbe una preziosa tessera di un mosaico ormai perduto, ponendo ulteriormente in risalto la ricchezza biologica degli ecosistemi e la complessità delle reti trofiche che un tempo probabilmente caratterizzavano questo settore della costa siciliana meridionale.



Figura 5. Il boa delle sabbie, *Eryx jaculus*, nel territorio di Licata (foto: G. Giacalone).

## 'TIPI DA SPIAGGIA': NON SOLO PIANTE

Le peculiari caratteristiche ecologiche delle spiagge, soggette per natura al disturbo dovuto al loro moto continuo e a diversi fattori di stress, hanno favorito l'adattamento e l'evoluzione di organismi capaci di vivere in questo contesto estremamente dinamico e fortemente selettivo. Non sorprende dunque il fatto che questi ambienti ospitino un ricco contingente di organismi psammofili esclusivi come, ad esempio, numerosi *macromiceti*, cioè funghi macroscopici (cfr. Bibliografia).

Le spiagge, le dune, e soprattutto le lagune retrodunali, costituiscono dei siti d'importanza cruciale per la sosta, l'alimentazione e la riproduzione di molti uccelli. Uno di questi, in particolare, è legato indissolubilmente alle spiagge sabbiose. Si tratta del fratino, *Charadrius alexandrinus* Linnaeus 1758, di cui la Sicilia, insieme alla Sardegna e al Veneto, è la regione italiana che ospita il maggior numero di coppie nidificanti e svernanti. Tuttavia, studi recenti hanno evidenziato un continuo declino del popolamento siciliano, causato senza dubbio dalla grave manomissione del loro habitat elettivo.

Ancora, sulle spiagge siciliane vivono - o forse è più corretto dire vivevano – numerose specie di insetti psammofili rari e/o di grande interesse biogeografico. Molte di esse, purtroppo, stanno scomparendo a causa della degradazione, della frammentazione e della distruzione degli habitat dunali.

L'impatto umano, come prevedibile, ha colpito soprattutto le specie più fragili ed ecologicamente più sensibili. Fra i numerosi esempi che si potrebbero citare, emblematico è il caso di *Anoxia scutellaris* subsp. *sicula* Motschulsky 1860, coleottero Melolonthinae endemico delle coste settentrionali dell'isola, comune nell'Ottocento nella spiaggia di Mondello, presso Palermo, dove è scomparso agli inizi del Novecento, quando questo biotopo costiero fu distrutto. Fino ai primi anni Settanta, durante la comparsa annuale degli adulti, da fine maggio a inizio giugno, questa specie formava degli sciami densissimi; nei pochi minuti a cavallo del crepuscolo centinaia di individui svolazzavano sulle cime delle tamerici in piena frenesia riproduttiva. Nel volgere di una quindicina d'anni tutti i biotopi costieri prossimi alla città di Palermo hanno subito un'intensa urbanizzazione che ha compromesso irreparabilmente habitat unici. Oggi anche l'ultima piccola colonia superstite, localizzata fino a pochi anni fa in corrispondenza di un frammento di vegetazione psammofila a Isola delle Femmine, sembra essere definitivamente scomparsa. Così appuntò amaramente Teodosio De Stefani junior, testimone diretto di quegli eventi: "Capaci, 27.8.1977: [...] la spiaggia è adesso completamente alterata e sono scomparse tutte le piante e gli insetti che vent'anni or sono si trovavano là in abbondanza. Adesso tutto è pieno di cabine per bagni e bagnanti. [...] Sferracavallo, 4.9.1977: è tutto lottizzato, fauna e flora spontanea distrutta, tutto mura e cancelli. [...] Anche la magnifica spiaggia fossilifera del Tirreniano è scomparsa [...]". Eventi come questo hanno determinato la sorte di *Anoxia scutellaris sicula* che si è inesorabilmente rarefatta fino a scomparire quasi del tutto. Altri Melolonthinae legati alle dune formano popolazioni tuttora relativamente abbondanti ma sempre più isolate e frammentate. Fra queste *Protanoxia orientalis* Krynicki, 1832 (Fig. 6), che colonizza soprattutto gli ambienti di foce, e *Polyphylla ragusae* (Kraatz, 1882), un importante endemita siciliano con due sottospecie: la subsp. *ragusae* (Fig. 7A), sulle coste occidentali (Fig. 7B) e la subsp. *aliquoi* in quella orientale.



Figura 6. *Protanoxia orientalis* nella R.N.O. "Foce del Simeto" (foto: C. Muscarella).

Le foci dei fiumi siciliani, un tempo ricchissime di specie e di comunità, sono fra gli ecosistemi che hanno subito il maggiore impatto, subendo una drastica diminuzione della propria biodiversità. È questa la sorte subita dalla fo-







Figura 7. (A) Maschio di *Polyphylla ragusae* subsp. *ragusae* sulla spiaggia di Torre Salsa (foto: C. Muscarella); (B) Veduta d'insieme del sistema dunale di Torre Salsa (foto: C. Muscarella).

ce del Fiume Torto, nel Golfo di Termini Imerese. Fino al 1970, quando fu avviata la costruzione dell'area industriale, in questo splendido biotopo convivevano e prosperavano quasi tutti gli insetti psammofili noti per la Sicilia, formando spesso popolazioni abbondantissime. Qui era comune anche *Scarabaeus sacer* Linnaeus 1758, lo scarabeo sacro degli antichi Egizi, oggi quasi scomparso dalle spiagge dell'isola maggiore e presente con un piccolo popolamento solo sull'isola di Vulcano. Malgrado il pesante disturbo antropico perdurato per decenni, in tempi recenti era tornata a insediarsi una corposa popolazione di *Protanoxia orientalis*. Tuttavia, una gestione del territorio poco attenta a queste tematiche, culminata con la distruzione di un relitto cordone di dune e il taglio della vegetazione lentamente ricostituitasi presso la foce per realizzare una pista d'atterraggio per aeromobili, ha nuovamente azzerato il processo di ricolonizzazione della fauna psammofila.

L'istituzione delle aree protette in ambito costiero ha svolto un ruolo cruciale per la salvaguardia di molte specie: lo dimostra la storia recente del territorio della Foce del Fiume Belice nel trapanese. Questo tratto di costa fu totalmente devastato da un incontrollato prelievo di sabbia fra il 1977 e il 1978, utilizzata per edificare le residenze estive di Triscina. Tale prelievo fu talmente massiccio da distruggere non solo buona parte delle dune ma da portare persino alla luce la roccia madre.

Il danno fu enorme e duplice: dopo aver distrutto e 'spianato' uno dei più imponenti sistemi dunali della Sicilia occidentale, esso venne quasi nell'arco di pochi anni. Tuttavia, a conferma della grande resilienza delle specie e degli ecosistemi dunali, dopo l'istituzione della riserva naturale 'Foce del Fiume Belice' nel 1984, la fauna ha cominciato a riappropriarsi gradualmente dei suoi spazi.

Oggi l'area ospita infatti una nutrita popolazione dei Melolonthinae *Polyphylla ragusae e Anoxia (Anoxia) scutellaris* subsp. *argentea* Aliquò & Massa, 1976, altro endemismo delle spiaggie sabbiose siciliane, nonché diverse altre specie rare, come *Calicnemis latreillei* Laporte de Castelnau 1832, coleottero Dynastinae che si nutre del legno morto che si accumula in prossimità delle foci, spesso indebitamente rimosso perché considerato un rifiuto. La rimozione dei macroresti spiaggiati impatta anche su altre fragili specie xilofaghe dunicole, come l'elateride *Isidus moreli* Mulsant & Rey, 1875, ormai confinato alle spiagge meridionali e forse definitivamente scomparso su quelle nord-occidentali dell'isola.

Il regime di tutela, non sempre impeccabile per via di notevoli pressioni antropiche sul territorio in cui ricadono le rispettive aree protette, ha cionondimeno garantito la sopravvivenza di due rarissimi endemiti puntiformi, il cui areale di distribuzione noto è di poche centinaia di metri quadrati. Si tratta dei due coleotteri psammofili *Hoplia attilioi* Massa, 1979 (Fig. 8A), nota solo per Capo Feto (Mazara del Vallo), e *Aplidia massai* (Baraud, 1975) (Fig. 8B), presente esclusivamente presso la foce del Fiume Simeto. L'intensificarsi della pressione antropica cui sono sottoposti entrambi i siti che ospitano queste due specie estremamente localizzate potrebbe provocarne l'estinzione.

Altri insetti intimamente legati alla flora e alla vegetazione delle dune sono ancora relativamente abbondanti sull'isola, come i Coleotteri Tenebrionidi *Pimelia grossa* Fabricius, 1792 ed *Erodius siculus* Solier, 1834, o il grosso Carabidae *Scarites buparius* (J. R. Forster, 1771) per citare alcune delle specie più appariscenti. Il Lepidottero *Brithis crini* (Fabricius, 1775) (Fig. 9A), che vive esclusivamente sul giglio di mare *Pancratium maritimum*, fornisce un esempio paradigmatico delle interazioni complesse, esclusive e indissolubili che legano piante e insetti delle spiagge, in cui le prime svolgono il ruolo di 'nutrici' insostituibili per il completo svolgimento del ciclo vitale dei secondi. Tuttavia, anche le specie decisamente più comuni ed ecologicamente più flessibili hanno subito una forte rarefazione. Questa sorte è toccata, ad esempio, a *Brachytrupes megacephalus* (Lefèvre, 1827), specie ombrello d'importanza strategica. Si tratta infatti di uno dei pochi insetti italiani inseriti negli allegati della Direttiva 92/43. La sua protezione rigorosa, come previsto dalle normative vigenti, consentirebbe infatti di salvaguardare l'intera coorte faunistica associata al suo habitat. In realtà, questo vistoso ortottero Gryllidae (Fig. 9B), un tempo talmente abbondante in Sicilia da essere considerato una minaccia per i vigneti, oggi è quasi scomparso dalle coste tirreniche, mentre è ancora piuttosto diffuso sulla co-

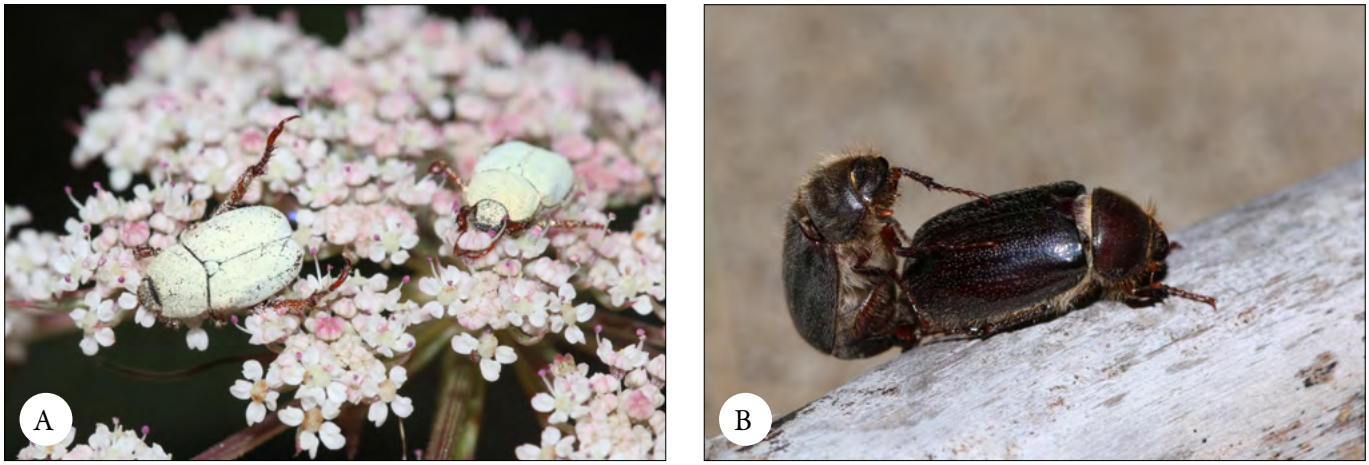



Figura 8. (A): *Hoplia attilioi* a Capo Feto presso Mazara del Vallo (foto: C. Muscarella); (B): *Aplidia massai* presso la Foce del Simeto (foto: C. Muscarella).

sta meridionale. Nel giro di 150 anni il senso dell'interesse verso questa specie è decisamente mutato: mentre prima si discuteva su come contenere il suo impatto, oggi ci si sforza per trovare strategie efficaci per garantirne la sopravvivenza. Questo caso evidenzia come nessun organismo può essere considerato 'al sicuro a priori'. Molte altre specie di insetti molto comuni sulle spiagge siciliane, infatti, hanno subito una riduzione molto rapida e drastica, e sono pertanto potenzialmente a rischio se non ci sarà un'inversione di rotta: è il caso del carabide *Parallelomorphus laevigatus* (Fabricius, 1792), e dei tenebrionidi *Phaleria bimaculata* subsp. *bimaculata* (Linnaeus, 1767) e *Phaleria acuminata* Kuster, 1852.

La malsana e aberrante idea di 'valorizzare' in chiave turistica il paesaggio naturale delle coste sabbiose si traduce troppo spesso in un impatto violento sulle comunità faunistiche locali, in particolare degli invertebrati, percepiti da alcune amministrazioni pubbliche, assurdamente, come un disturbo da rimuovere per consentire ai turisti una piacevole fruizione delle spiagge. In piena stagione estiva si assiste ad esempio all'indegno spettacolo di disinfestazioni massicce, effettuate scelleratamente persino all'interno di aree protette per 'liberarle' dal potenziale fastidio arrecato dagli insetti. Cosa che accade regolarmente, tanto per fare un esempio, nel litorale di Manfria, fra Gela e Licata, dove




Figura 9. Tre specie bandiera delle dune siciliane. (A): Bruco di *Brithys crini* che si nutre delle foglie di *Pancratium maritimum* sulle dune presso la foce del F. Simeto (foto: I. Sparacio); (B): *Brachytrupes megacephalus* sulla spiaggia di Marina di Modica (foto: T. Puma); (C): *Eurynebria complanata* a Eraclea Minoa (foto: C. Muscarella).

Una sorte simile ha subito *Eurynebria complanata* (Linnaeus, 1767) (Fig. 9C). A proposito di questo Carabidae, un tempo certamente abbondante su tutte le coste sabbiose dell'isola, Augusto Palumbo, naturalista ed entomologo di Castelvetrano, illustrando l'entomofauna delle dune selinuntine scriveva: "Sulle spiagge del mare selinuntino, non è raro il caso di trovarla in buon numero, spingendo coi piedi o con un bastone l'alga che si trova abbondante sulla riva sabbiosa, bagnata dalle onde". Questo insetto oggi è scomparso quasi del tutto lungo le coste settentrionali dell'isola ed è estremamente localizzato anche su quelle meridionali.

il Comune di Butera informa la cittadinanza di una disinfestazione contro gli insetti con tanto di avviso pubblico (https://www.comune.butera.cl.it/notizie/44-24.html). Superfluo ribadire l'impatto di queste azioni sulle specie ecologicamente più sensibili e dalle popolazioni più compromesse, come gli ortotteri *Ochrilidia sicula* (Salfi, 1931) (Fig. 10A) e *Dociostaurus minutus* La Greca 1962 (Fig. 10B), entrambi endemici della Sicilia.

Nell'ottica di 'migliorare la fruizione' delle aree costiere viene operata, talora quotidianamente, la pulizia delle spiagge con mezzi meccanici. Questa pratica ha un impatto

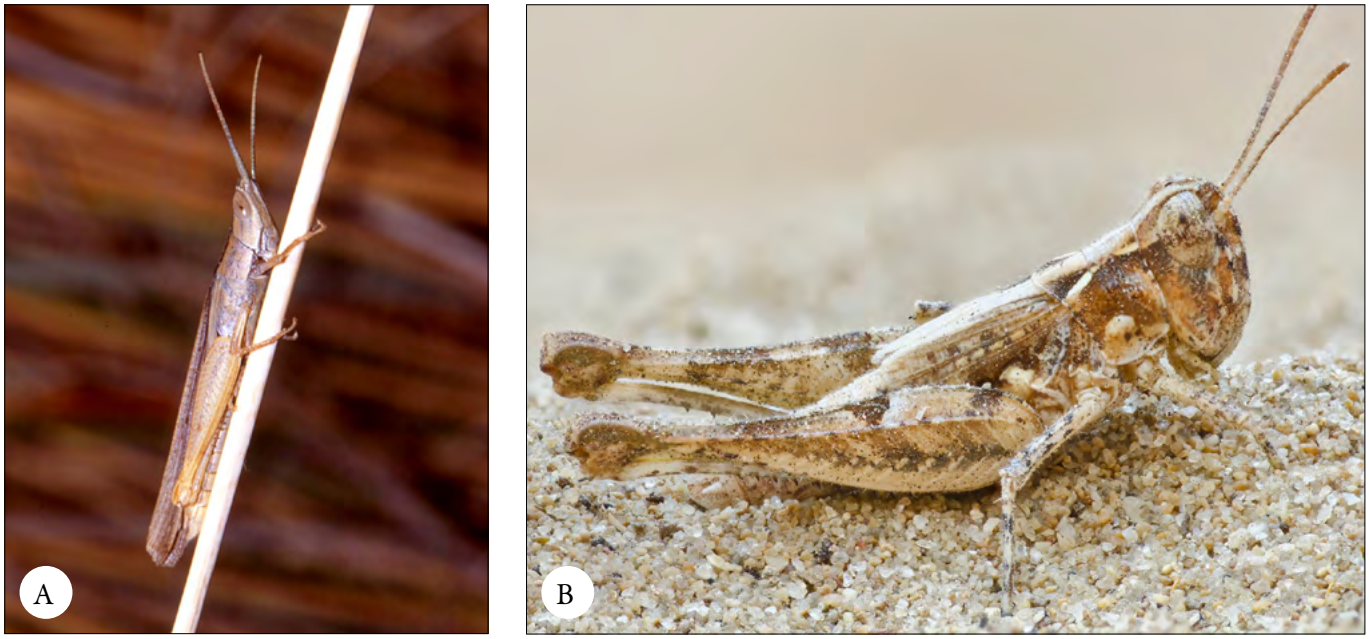



Figura 10. Due Ortotteri endemici delle coste sabbiose della Sicilia. (A): *Ochrilidia sicula* alla foce del Fiume Belice (foto: B. Massa); (B): *Dociostaurus minutus* sulle spiagge di Randello nel Ragusano (foto: T. Puma).

pesantissimo sull'entomofauna di tutta la fascia eulitorale, dove vivono specie estremamente interessanti e vulnerabili, come *Stenostoma rostratum septentrionale* Švihla, 2005, coleottero edemeride che vive sui fiori di alcune ombrellifere dunicole (*Echinophora* ed *Eryngium*), *Olpium pallipes* (H. Lucas, 1849) pseudoscorpione psammoalofilo, il Neurottero Myrmeleontidae *Synclisis baetica* (Rambur, 1842), le cui larve sono attive predatrici che si nascondono alla base delle piante psammofile (Badano & Pantaleoni, 2014), o ancora diversi Eterotteri fitofagi strettamente legati a piante psammofile, come *Graphosoma semipunctatum* (Fabricius, 1775) su *Crithmum maritimum* (Fig. 11A), *Platycranus putoni* Reuter 1879 su *Retama raetam* subsp. *gussonei* e *Campylomma vendicarinum* Carapezza, 1991 su *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*, oppure diversi Carabidae (Sparacio *et al.*, 2024) come *Cylindera (Eugrapha) trisignata* subsp. *siciliensis* (Horn, 1891) (Fig. 11B).

Diverse specie di molluschi terrestri in grado di tollerare condizioni xeriche estreme dovute alla prolungata siccità estiva appaiono perfettamente adattate a vivere anche negli ecosistemi dunali (Giusti & Castagnolo, 1982). La specie simbolo di questi ambienti è l'elicide *Theba pisana* (Müller, 1774) (Fig. 12A), preda elettiva del grosso coleottero carabidae dunicolo *Scarites* (*Scallophorites*) *buparius* (Förster, 1771), entrambi comuni in Sicilia. Anche il caso *Theba* offre lo spunto per sottolineare le complesse interazioni fra gli animali degli ambienti di duna: questo gasteropode viene infatti parassitato da *Salticella fasciata* (Meigen, 1830), un Dittero Sciomyzidae il cui nome inglese è "dune snail-killing fly" (= mosca killer delle lumache di spiaggia).

In Sicilia è presente anche una lumaca esclusivamente dunicola. Si tratta di *Cernuella* (*Cernuella*) *aradasii* (Pirajno, 1842) noto per le spiagge presso il faro di Capo Peloro a Messina (Fig. 12B).

Sebbene sia stata recentemente ritrovata anche in una località calabra, questa specie resta a forte rischio di estinzione sia per la sua distribuzione puntiforme sia per la sua localizzazione in ambienti profondamente alterati e fortemente esposti al rischio di ulteriore degrado ambientale. L'unica stazione siciliana coincide peraltro con l'area in cui dovrebbero essere eretti i piloni del anto discusso Ponte sullo Stretto.

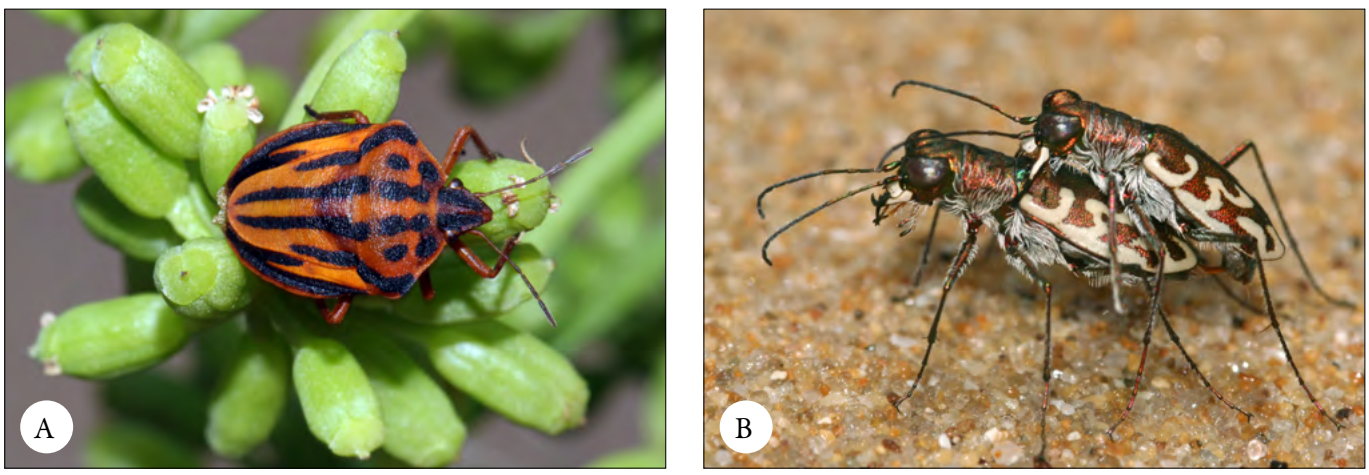



Figura 11. (A): Eterottero Pentatomide *Graphosoma semipunctatum* su *Crithmum maritimum* sulle dune embrionali di Vergine Maria (Palermo) (foto: I. Sparacio); (B): Coppia di *Cylindera* (*Eugrapha*) *trisignata* subsp. *siciliensis*, Torre Salsa (foto: C. Muscarella).

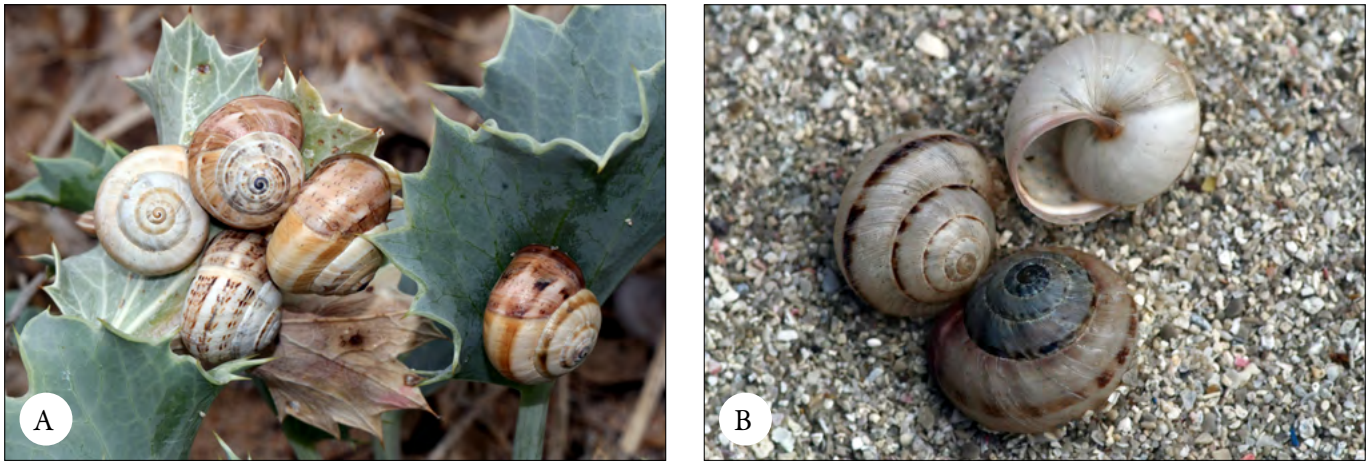



Figura 12. (A): *Theba pisana* su *Eryngium maritimum*, dune embrionali di Vergine Maria (Palermo) (foto: I. Sparacio); (B): *Cernuella aradasii* nelle dune presso il faro di Capo Peloro a Messina (foto: I. Sparacio).

## C'ERA UNA VOLTA

Oltre a rivestire un incredibile interesse scientifico, paesaggistico e conservazionistico, le spiagge sono purtroppo ambienti estremamente fragili e vulnerabili. Nell'introduzione a uno dei Quaderni Habitat editi dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio intitolato "Dune e spiagge sabbiose", Paolo Audisio scriveva: "Le spiagge e le dune costiere e subcostiere e gli ambienti umidi limoso- sabbiosi retrodunali e litoranei ad esse spesso associati rappresentano, su scala mondiale, ecosistemi tra i più vulnerabili e più seriamente minacciati".

Queste considerazioni valgono purtroppo anche per il territorio siciliano, teatro della grave e inarrestabile rarefazione, e talora della definitiva estinzione, di diversi habitat e di numerose specie vegetali e animali nel corso dei secoli, e addirittura nel passato più recente. La consultazione di fonti di varia natura (letteratura su flora e vegetazione, toponomastica, saggi di storia locale) ci ha permesso di reperire dati che appaiono oggi incredibili, rivelando la complessità della storia del paesaggio naturale della Sicilia e testimoniando le profonde trasformazioni subite dal territorio costiero dell'isola nel corso degli ultimi secoli. Ad esempio, nel XVI secolo l'architetto e ingegnere militare Camillo Camilliani riferisce della presenza di dense foreste costiere lungo le coste del Ragusano, e nella stessa area l'ammiraglio della marina militare inglese Smyth osserva intricati nuclei di macchia ancora all'inizio dell'Ottocento.

Le coste sabbiose situate in prossimità delle principali città dell'isola hanno risentito di modificazioni ancora più drastiche e irreversibili, come la bonifica del pantano sal-



Figura 13. John Curtis (1812). Veduta dello Stretto di Messina (da Consolo, 1993). Due secoli fa il litorale fra Messina e Capo Peloro, oggi teatro di una densa e caotica urbanizzazione, ospitava solo piccoli nuclei di case ed era ancora ricco di spiagge sabbiose.

mastro di Mondello a nord di Palermo e l'urbanizzazione delle spiagge e la distruzione delle paludi costiere nel porto di Messina e nei pressi di Capo Peloro (Fig. 13).

Analogamente, non resta alcuna traccia della macchia dominata da giganteschi individui di ginepro coccolone (*Juniperus macrocarpa* Sm.) presente sulla costa ionica a sud di Catania fino ai primi del XIX secolo. La drastica rarefazione e la definitiva scomparsa del ginepro coccolone e del ginepro turbinato (*Juniperus turbinata* Guss.) in molte località costiere testimoniano la sistematica distruzione

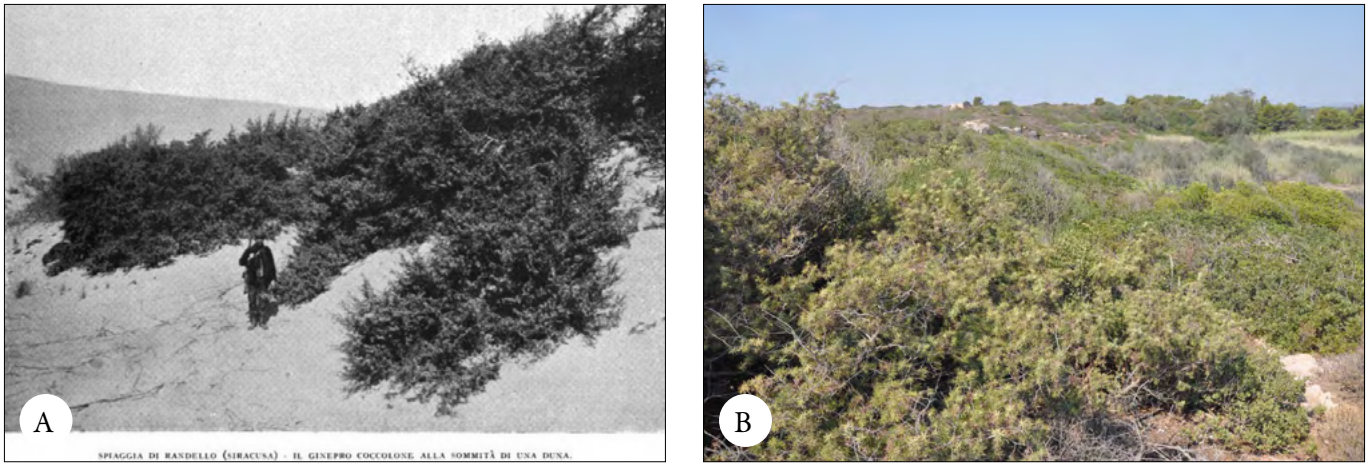



Figura 14. (A). Imponenti esemplari di ginepro coccolone crescevano sulle dune di Randello (Ragusa) prima che vi fossero realizzati i rimboschimenti a partire dalla fine degli anni '20 del secolo scorso; (B): macchia a ginepro coccolone a Cala Mosche nella R.N.O. di Vendicari (foto: T. La Mantia).

di interi ecosistemi, oggi assenti sulla costa settentrionale dell'isola e molto rarefatti su quella meridionale ed orientale (Fig. 14A-B).

I contributi scientifici sulla flora e sulla fauna degli ambienti litorali e le descrizioni storiche del paesaggio e delle comunità vegetali un tempo presenti lungo le coste siciliane sono la prova inconfutabile dei danni ambientali provocati dall'uomo e permettono di ricostruirne le tappe e, purtroppo, di apprezzarne l'estrema rapidità. In molti casi, infatti, interi ecosistemi costieri, ancora integri al tempo della loro descrizione, risalente a circa 50 anni fa, sono oggi scomparsi, cancellati dalle profonde trasformazioni del paesaggio e dell'uso del suolo con le finalità più diverse.

## ORDINE E DISCIPLINA?

La *Flora Sicula* di Lojacono-Pojero e le principali flore locali degli inizi del Novecento ci restituiscono le uniche informazioni utili a ricostruire paesaggi ed ecosistemi che non esistono più. Di lì a poco, infatti, numerose aree umide furono distrutte da poderosi interventi di drenaggio e di bonifica delle paludi costiere. Tali opere, ufficialmente tese a debellare l'incidenza delle febbri malariche, furono spesso funzionali alla messa a coltura delle piane costiere (destinate ad ospitare prevalentemente vigneti e agrumeti) e favorirono l'espansione degli insediamenti urbani. Tali interventi ebbero un enorme impatto sugli habitat, le piante e gli uccelli nidificanti legati ai pantani costieri, provocando non solo la rarefazione o la scomparsa locale di molte specie, ma persino la loro estinzione a livello regionale - come nel caso del pollo sultano *Porphyrio porphyrio* (Linnaeus, 1758), reintrodotto con successo qualche anno fa (Andreotti & Ientile, 2004). La manomissione o la distruzione dei pantani salmastri prosegue fino ai giorni d'oggi, e ha già provocato la scomparsa definitiva di diverse specie, come *Limonium intermedium* (Guss.) Brullo, la cui unica stazione, situata nei pressi dell'attuale porto di Lampedusa, fu distrutta verso la fine degli anni Settanta per creare un campo di calcio.

L'uso di graminacee esotiche a crescita rapida come *Saccharum biflorum* Forssk. e *Tripidium ravennae* (L.) H. Scholz per creare siepi frangivento e per stabilizzare le dune in diverse aree della Sicilia orientale (es.: a Catania, fra Taormina e Messina e alle Eolie) fu avviata già nell'Ottocento. Due secoli dopo, *Saccharum biflorum* è pienamente naturalizzata e si comporta come una specie invasiva che ha tratto vantaggio dell'abbandono delle colture e dalla crescente frequenza degli incendi colposi e dolosi.

Gli interventi di riforestazione delle dune risalgono all'Ottocento. Già Piccioli nel 1915 cita oltre 100 riferi-



Figura 15. La Plaja di Catania ospita uno dei più antichi interventi di forestazione dune effettuati in Sicilia. La didascalia originaria della figura (da Senni, 1934) riporta "Protezioni lineari [...] con *Saccharum* e *Agave* e rimboschimenti con *Acacia*, *Cupressus*, *Mesembryanthemum* [= *Carpobrotus*], *Pinus*".

menti bibliografici sul tema e parla estesamente degli interventi realizzati sulle coste siciliane. Un ulteriore sviluppo si ebbe durante il cosiddetto "ventennio fascista" (1922-1942), quando furono realizzati parecchi interventi di riforestazione impiegando numerose specie arboree, perlopiù esotiche o comunque estranee alla flora della Sicilia, come quello realizzato nel litorale della Plaja a sud di Catania (Fig. 15), con l'intento principale di 'fissare', stabilizzare le dune. I rimboschimenti ripresero con rinnovato fervore nell'immediato Secondo Dopoguerra, quando vennero invece privilegiate le latifoglie esotiche. In pochi decenni specie, che combinavano un rapido accrescimento a una spiccata resistenza allo stress termo-idrico, tolsero spazio vitale alle comunità psammofile preesistenti. Questi interventi comportarono l'immobilizzazione di ecosistemi 'mobili per natura' e una progressiva alterazione delle proprietà chimiche e fisiche della sabbia (compattezza, pH, materia organica), particolarmente dannoso per molte piante autoctone e per numerosi invertebrati legati agli ecosistemi dunali e alle spiagge sabbiose.

Ad un secolo dall'avvio dei rimboschimenti sulle dune i tempi sono maturi per fare un bilancio. Possiamo affermare che l'intento di 'domare' e 'disciplinare' il paesaggio litorale siciliano si è rivelato fallimentare. Infatti, se da un lato molti ponti, strade e massicciate ferroviarie realizzate un secolo fa nella fascia costiera dell'isola sfidano pressoché indenni il passare del tempo, numerose piante esotiche introdotte a partire dal secolo scorso, come *Nicotiana glauca* R.C. Graham (Fig. 16) o *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl., si sono rivelate dannose, iniziando ad espandersi in maniera incontrollata, modificando a proprio vantaggio le caratteristiche chimiche e trofiche dei suoli e finendo per alterare la fisionomia, la struttura, la flora e il naturale dinamismo di interi ecosistemi costieri (Fig. 17).



Figura 16. Una delle specie utilizzate nei rimboschimenti realizzati sotto il regime fascista fu *Nicotiana glauca*, qui fotografata a Gela con un soldato della Milizia in uniforme (da Senni, 1934). Del tutto scomparsa dalle dune, questa solanacea sudamericana colonizzò invece con successo gli ambienti ruderali e suburbani di tutta l'isola, dove oggi è diffusissima.



Figura 17. Gli ambienti retrodunali di Sampieri nel Ragusano sono coperti da un denso popolamento pressoché puro di *Acacia saligna* (foto: A. S. Gristina).

## LE "MAGNIFICHE SORTI E PROGRESSIVE" DELLO "SVILUPPO INDUSTRIALE"

"Su la sabbia di Gela colore della paglia mi stendevo fanciullo / in riva al mare antico di Grecia con molti sogni nei pugni stretti nel petto". Questi versi, scritti dal poeta modicano Salvatore Quasimodo tre anni prima di vincere il premio Nobel per la letteratura, non evocano soltanto l'immagine del 'bello', richiamando colori e spazi che non esistono più, ma ci spingono anche a riflettere sul radicale ribaltamento del concetto di 'utile' nell'uomo nato dopo la seconda rivoluzione industriale. A monte del vasto sistema dunale costiero, infatti, la Piana di Gela costituiva una delle aree costiere più ampie, più fertili e più ricche d'acqua di tutta la Sicilia. Non a caso, proprio in luoghi particolarmente propizi come questo, quasi tremila anni fa i Greci decisero di fondare anche le altre loro colonie più importanti (es.: Selinunte, Agrigento, Milazzo, Imera), attratti dalle risorse naturali e dalla possibilità di praticare un'agricoltura redditizia a breve distanza dagli insediamenti.

Come testimoniano i rilievi pubblicati da Molinier & Molinier nel 1955, fino all'immediato Secondo Dopoguerra, queste piane costiere ospitavano ancora le diverse tessere che formano il mosaico della vegetazione psammofila, nonché lembi ampi, integri e rappresentativi degli stadi più maturi, rappresentati da comunità di macchia sclerofilla sempreverde. Tuttavia, nel giro di appena vent'anni si è verificata la rapida e sistematica distruzione di questi territori, la cui morfologia e il cui paesaggio vegetale sono stati stravolti per sempre per fare spazio a grossi stabilimenti industriali. La prima 'grande opera' fu realizzata nel Siracusano, più precisamente ad Augusta, Priolo Gargallo e Melilli (petrolchimico, eternit, cemento,

1950). Successivamente vennero realizzati i siti industriali di Porto Empedocle (fertilizzanti, 1955), Milazzo e Gela (raffinazione, trasformazione e stoccaggio di idrocarburi, rispettivamente 1961 e 1963) e infine quello di Termini Imerese (industria automobilistica, 1970). Dopo appena 1-2 decenni di intensa attività, infatti, queste gigantesche infrastrutture si sono inceppate, più o meno contemporaneamente e più o meno per gli stessi motivi. Messe fuori gioco dalla crisi del mercato internazionale, esse hanno visto ridursi il proprio livello produttivo, diventando prima obsolete, poi fatiscenti. Oggi solo gli impianti di Gela sono stati parzialmente smantellati, mentre pochi altri sono stati ammodernati, proseguendo il loro declino, sopravvivendo a regime ridotto fino ai giorni nostri, diventando spesso aree di stoccaggio temporaneo o permanente di materiali tossici, infiammabili e pericolosi, con gravi effetti sulla qualità dell'acqua, dell'aria e sulla salute della popolazione che vive nei centri abitati limitrofi.

## MITICI, ANZI ORRENDI: GLI ANNI SESSANTA E SETTANTA, LA NASCITA DELLA LEGISLAZIONE AMBIENTALE E IL TRIONFO DELL'ILLEGALITÀ

Fino agli anni '60-'70 del secolo scorso il tratto costiero della Sicilia meridionale compreso fra Licata e Capo Passero era caratterizzato da una sequenza pressoché continua di coste sabbiose, che formavano talora dei veri e propri sistemi dunali che si spingevano verso l'interno per centinaia di metri dalla linea di costa, ospitando un complesso mosaico di comunità vegetali che costituivano un patrimonio naturale e paesaggistico dal valore inestimabile.

Forse proprio il fatto che a quei tempi non fosse percepito (e non venisse pertanto tenuto in conto) l'enorme valore economico dei cosiddetti *ecosystem services* (es.: mitigazione del calore, ritenzione idrica, cattura dell'anidride carbonica) forniti da quelle comunità vegetali ha impedito di capire in tempo il danno pecuniario che avrebbe provocato negli anni a venire la loro distruzione. Sul Corriere della Sera del 10 agosto 1973 venne pubblicato un articolo che ancora oggi suona come un appello accorato – quanto inascoltato – rivolto ai politici locali e alla comunità civile, per la tutela degli ambienti dunali superstiti della Sicilia. Così scrisse l'autore di quel pezzo, Renato Bazzoni, antesignano delle grandi campagne di Italia Nostra e del FAI in difesa del patrimonio paesaggistico e naturalistico del Belpaese: "Una costa, quella tirrenica, è irrimediabilmente perduta, quella jonica si sta perdendo, quella meridionale non si deve perdere. È doloroso dirlo, ma in un Paese che non sa governare il proprio territorio, la sopravvivenza di aree naturali dipende poco da una scelta consapevole, molto dalla mancata scoperta da parte degli speculatori e molto dalla miseria degli abitanti".

Cinquant'anni dopo questo articolo, l'emergenza ambientale non è un brutto ricordo, piuttosto si è inasprita, è una ferita che brucia ogni giorno di più. In questo lasso di tempo, infatti, molte aree naturali esteticamente appetibili sono state "scoperte" e cancellate da edificazioni totalmente incontrollate e al di fuori da qualunque intento pianificatorio. La miseria economica ha ceduto il passo alla miseria morale, culturale ed estetica, dando vita a brutture di ogni tipo, forma e dimensione in barba a vincoli demaniali e leggi dello Stato. Proprio la costa meridionale della Sicilia è quella che oggi appare maggiormente devastata e deturpata dall'abusivismo edilizio, che ha snaturato come un tumore improvviso tanti litorali, un tempo incantevoli. È questa la sorte toccata, ad esempio, ai bei sistemi dunali



Figura 18. Urbanizzazione massiccia realizzata dove un tempo c'erano le dune, all'interno della R.N.O. "Oasi del Simeto" (foto: R. De Pietro).

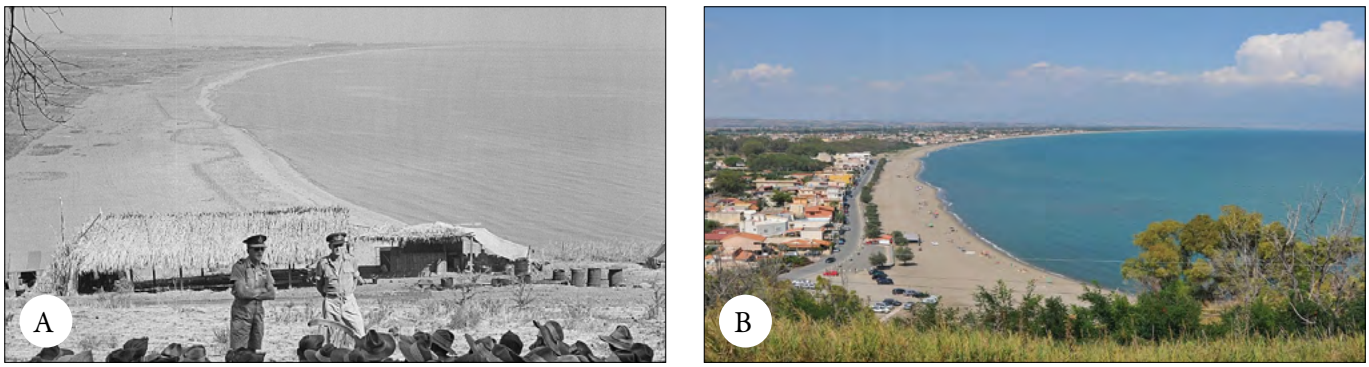



Figura 19. Il sistema dunale del litorale sabbioso del Golfo di Catania visto da Agnone in due epoche diverse. (A): Panorama in una foto scattata nel 1943 (fonte: Australian War Memorial; riproduzione autorizzata per soli fini scientifici); (B): situazione odierna dalla medesima prospettiva (foto: R. De Pietro).

un tempo presenti nel Golfo di Carini o a ridosso della foce del F. Simeto e all'Agnone in territorio di Carlentini, oggi pesantemente compromessi dall'abusivismo edilizio (Fig. 18 e Figg. 19A-B).

Fra gli anni Sessanta e Settanta del Novecento le periferie di molte città hanno cominciato ad espandersi a macchia d'olio invadendo le coste (es.: Gela, Castelvetrano, Carini, Barcellona Pozzo di Gotto, Bagheria). Altrove si è registrata un'esplosione di seconde case destinate ad ospitare gli abitanti delle città limitrofe per poche settimane all'anno durante la stagione balneare. Si tratta di un'edilizia fai da te, a dir poco 'effimera'. Molte di queste abitazioni, costruite in pochi giorni usando materiali di qualità scadente e senza alcuna perizia tecnica né cura per l'estetica, hanno cominciato a cedere dopo pochi anni. Il boom di questa edilizia a basso costo e basso raziocinio ha dato vita ad autentici 'non luoghi' come Tre Fontane o Marina di Licata, sul litorale meridionale dell'isola. 'Non luoghi' perché è molto più facile dire cosa NON hanno e cosa NON sono piuttosto che descrivere la loro irrazionalità e bruttezza. Assenti nelle carte pubblicate intorno al 1975 dall'Istituto Geografico Militare, questi ammassi caotici e anonimi di asfalto, cemento e mattoni sono nati e cresciuti in fretta e furia, senza nessuna pianificazione urbanistica, e spesso senza i servizi minimi (rete idrica, elettrica e fognaria), arrivati decenni dopo. In quegli anni di urbanizzazione sfrenata la sabbia di molte dune stabilizzate è stata estratta e usata come materiale da costruzione. Incredibilmente, parte della sabbia sottratta alle spiagge dell'Agrigentino in quel periodo fu utilizzata per l'edilizia persino in villaggi posti a 500 m di quota e a oltre 25 km di distanza dalla costa. Questo fatto inquietante è rivelato dalla presenza effimera di *Cakile maritima*, pianta tipica dell'avanspiaggia, al margine di un'area boscata a Marineo (Cosimo Marcenò, *com. pers.*) e fra le specie casuali censite nell'abitato di Bivona sui Monti Sicani, riportata da Catanzaro nel 1970.

Ai sensi dell'art. 142 D.L 42/04 e per l'art. 157/06 del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio della Regione Siciliana, le aree fino a 300 m dalla linea di battigia sono tutelate dal vincolo paesaggistico. Inoltre, l'art. 78 della Legge Regionale del 12/06/1976 dichiara inedificabili le aree poste entro i 150 m dalla linea di battigia. Nel 1985 la L. 431/85, nota come "Legge Galasso" assoggettava certe aree ai vincoli ambientali (oggi paesaggistici) di notevole interesse pubblico. Da oltre quarant'anni queste ed altre leggi rappresentano dei paletti che stabiliscono un limite ben visibile, un perimetro insormontabile, dentro il quale il paesaggio che caratterizza il bene pubblico, nel nostro caso costituito dalla linea di costa e dalle sue adiacenze, non può essere manomesso, alterato, inquinato, alienato alla pubblica fruizione. La Sicilia, tuttavia, è la terra di Pirandello: ciò che può sembrare chiaro, univoco e perentorio altrove, qui viene messo in discussione dai Siciliani, che prontamente sfidano e puntualmente eludono le regole con intraprendenza e spudoratezza.

Sull'isola persino l'abusivismo edilizio possiede un suo proverbio: "quattru pilastri e jisa", bastano cioè quattro pilastri per 'alzare' la propria abitazione, dotarla di un altro piano. Poco importa se il nuovo piano non viene finito; l'importante è poter esibire lo scheletro del piano da completare. Auspicio e presagio di ampliamenti volumetrici futuri, questo scheletro conferisce all'abusivo una sorta di 'diritto di prelazione': ci penseranno i suoi eredi a sanare l'abuso, che non appare neppure più come tale, bensì come la tappa dovuta di una procedura standard e sicura, scandita dai rituali condoni, generosamente elargiti da uno Stato che in passato è stato fin troppo indulgente. I condoni sono un oltraggio istituzionalizzato, un'offesa al concetto stesso di bene pubblico e alla cura del benessere comune. I condoni, in questo contesto, possono sembrare una misura discutibile, poiché rischiano di minare il principio di bene pubblico e la cura del benessere collettivo. Possono, infatti, consentire a chi ha agito in modo irresponsabile di evitare le conseguenze delle proprie azioni, creando un clima di sfiducia e cinismo.

## L'INSOSTENIBILE 'LEGGEREZZA' (APPARENTE) DELLE SERRE

Ancora fino alla metà degli anni Settanta, come riportato dai botanici dell'epoca che ne descrivono la flora e la vegetazione, parte della macchia delle zone più interne del campo dunale di Gela era miracolosamente sopravvissuta alla realizzazione del locale polo petrolchimico. A partire dai primi anni Ottanta, tuttavia, a Gela come altrove l'esplosione delle colture protette in serra ha dato il colpo di grazia alla vegetazione superstite, provocando la distruzione di decine di chilometri quadrati di spazi naturali (Fig. 20 A-B), con la cancellazione della vegetazione preesistente e

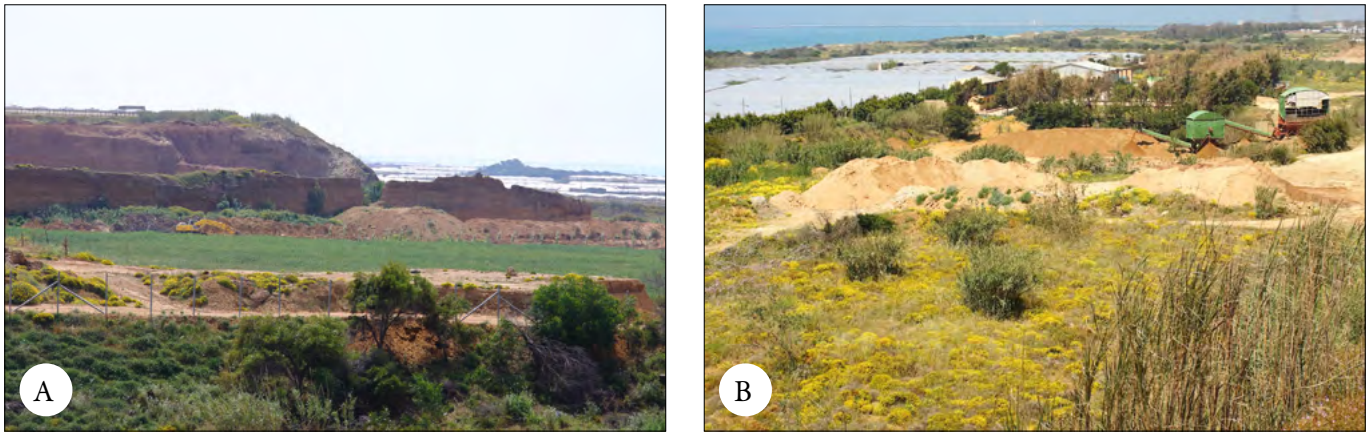



Figura 20. (A): Nel territorio di Gela molte dune sono state sbancate per guadagnare spazi utili per le colture in serra (foto: A. S. Gristina); (B): parte della sabbia viene successivamente utilizzata come materiale da costruzione o per preparare i letti drenanti su cui impiantare nuove serre (foto: A. S. Gristina).



Figura 21. Nella Fascia Trasformata numerosi individui arborei di ginepro coccolone crescono 'fuori contesto', ad esempio lungo le strade, ai margini delle serre o all'ingresso di strutture turistico-ricettive (foto: G. Clementi).

la drastica riduzione dello spazio vitale di molte piante e animali psammofili. Sparsi individui di ginepro coccolone o di altre specie arbustive, piccoli punti verdi in un mare di plastica e sabbia, sopravvivono in un paesaggio devastato come malinconici testimoni della passata presenza della macchia mediterranea (Fig. 21).

La zona delle colture in serra di Gela fa parte della più vasta "Fascia Trasformata", la cui superficie interessa circa 4000 ha e quasi 80 km di costa della Sicilia sud-orientale. Quest'area ricade nelle ex-province di Siracusa (Pachino e Porto Palo di Capo Passero), Ragusa (Acate, Ispica, Pozzallo, Ragusa, Vittoria, Scicli e Santa Croce Camerina), Caltanissetta (Gela) e Agrigento (Licata e Palma di Montechiaro). Sono quasi 13.000 le aziende presenti nel distretto ragusano, che rappresenta il principale polo agricolo nazionale (47% della produzione floricola e ortofrutticola in serra). Negli ultimi decenni il numero di serre in questo territorio è quasi triplicato.

Negli anni più recenti, inoltre, il settore ha subito un abbassamento dei prezzi, dovuto principalmente alla concorrenza di altre regioni del Mediterraneo occidentale, favorendone l'ulteriore espansione. La piccola produzione è diventata di fatto un ingranaggio del mercato globale, dove l'abbassamento dei costi di produzione viene compensato dall'aumento della quantità di prodotto e dalla diminuzione dei costi, *in primis* quello della manodopera, come illustrato efficacemente nel documentario "Serre: La fascia trasformata ragusana", diretto da Luca Salvatore Pistone



Figura 22. Il paesaggio delle serre: scene di ordinario degrado nell'area di Gela (foto: B. Massa).

(https://www.youtube.com/@lucasalvatorepistone6291), promosso dal CISS (Cooperazione Internazionale Sud-Sud) di Palermo e proposto in diverse manifestazioni nazionali e internazionali a partire dal 2023.

Le serre moderne, facili da montare e da smontare, si possono considerare delle strutture "leggere" solo in termini di peso. Per il resto, l'agricoltura in serra ha un impatto ambientale decisamente pesante, semplicemente eccessivo, insostenibile, soprattutto per le risorse idriche della fascia litoranea (Fig. 22). Ad esempio, le colture protette necessitano di ingenti quantitativi di acqua ad uso irriguo. L'intensificazione delle opere di captazione idrica per far fronte al crescente fabbisogno d'acqua ha provocato la salinizzazione della falda in un'area molto vasta. Le colture protette richiedono un uso massiccio (nell'ordine di circa 50.000 tonnellate/anno) di pesticidi e concimi, il cui impiego ininterrotto finisce per indurre una progressiva perdita di fertilità del suolo, mentre i residui diventano i principali responsabili dell'inquinamento delle acque dei territori limitrofi. A ciò si aggiunge il prelievo illegale di sabbia, utilizzata per preparare i letti drenanti su cui realizzare le strutture delle serre. Considerando infine la forte dipendenza della catena di distribuzione dai sistemi di trasporto, l'intensificazione della produzione in serra ha contribuito a rendere l'agricoltura locale ancor meno sostenibile.

Un'altra grave emergenza ambientale legata all'agricoltura in serra è la produzione di rifiuti plastici e il loro smaltimento. Per dare un'idea delle dimensioni del problema, si consideri che il distretto di Ragusa 'vanta' il 60% della produzione nazionale di materiali plastici per l'agricoltura. Di contro, secondo le più recenti stime dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA), in questo solo distretto i rifiuti plastici prodotti annualmente, escludendo i residui di imballaggio e di spedizione dei prodotti, si aggirano intorno alle 20.000 tonnellate (16.000 per la copertura e manutenzione delle serre, 4.000 per la pacciamatura delle colture, tuttora molto in uso). Molto spesso questi materiali plastici non vengono conferiti in discarica o riciclati, ma vengono seppelliti consumando altra sabbia, talora dopo essere stati bruciati sommariamente assieme ai residui di coltura e potatura, producendo sostanze tossiche pericolose. Nel corso degli ultimi anni la frequenza degli incendi dolosi è aumentata perché i terreni esausti e le serre in disuso diventano presto delle discariche abusive a cielo aperto e il fuoco fornisce una soluzione rapida per smaltire i vecchi rifiuti e fare spazio ai nuovi.

## A-VIDITÀ: MOMENTI, MOVENTI E GRADI DI UNA MIOPIA COLLETTIVA

Secondo la mitologia greca, Zeus condannò Sisifo a spingere per l'eternità un grande masso verso la vetta di una montagna. Una volta portato in cima, il macigno sarebbe precipitato nuovamente a valle, rendendo la pena di quell'infelice sinonimo di uno sforzo ingrato, enorme




Figura 23. Il litorale di Eraclea Minoa vista da Capo Bianco in due foto risalenti rispettivamente all'agosto del 2019 (A) e del 2022 (B) (foto: M. Interlandi); l'erosione aveva già smantellato la spiaggia e aveva iniziato a scalzare la duna rimboschita già nell'estate del 2012 (C) (foto: M. Perricone).

quanto vano. Sembra che in un momento di dotta creatività, i politici e gli imprenditori siciliani abbiano scelto la spiaggia di Eraclea Minoa nell'Agrigentino come scenario dove trasformare quel mito antico in realtà tangibile.

Fino alla fine degli anni Ottanta la costa di Eraclea Minoa era una meta ambita dai bagnanti e rinomata per l'ampiezza della sua spiaggia, delimitata da splendide falesie di marne bianche (i cosiddetti 'trubi'). Nell'arco degli ultimi dieci anni la situazione è cambiata profondamente: le mareggiate hanno scalzato al piede la duna smantellando la pineta artificiale e oggi la spiaggia è larga pochi metri (Figg. 23A-B-C).

Negli ultimi anni il litorale a Est di Capo Bianco è arretrato infatti di oltre 120 metri, a danno della duna rimboschita e delle strutture turistico-ricettive realizzate al suo interno. Per porre un argine al processo di erosione in atto, che ha provocato un massiccio spostamento della sabbia verso Est e interessa un tratto di costa lungo circa 2 km, è stato finanziato un progetto da 4 milioni di euro finalizzato al "ripascimento" dell'arenile di Eraclea Minoa. Questo progetto prevede la movimentazione di un'enorme quantità di sabbia, protagonista di un 'viaggio di andata e ritorno' a dir poco surreale. Infatti, la sabbia che verrà trasportata da Siciliana Marina a Eraclea Minoa è proprio quella che il mare ha portato via da Eraclea Minoa nel corso degli ultimi anni, depositandola nel porticciolo di Siciliana Marina fino a colmarlo. Un progetto che potremmo dunque definire la tredicesima fatica di Ercole, la cui *location* non avrebbe potuto avere un nome più azzeccato di 'Eraclea' Minoa.




Figura 24. Litorale di Eraclea Minoa. (A): attività di cantiere durante la realizzazione di una delle barriere frangiflutto (https://www.guidasicilia.it/notizia/c-era-una-volta-la-spiaggia-di-eraclea-minoa-e-tornera-ad-esserci/3018156); (B): visione d'insieme delle tre barriere frangiflutto (https://qds.it/eraclea-minoa-viaggi-camion-rifare-spiaggia/amp/); si noti come le mareggiate abbiano rimaneggiato la duna e provocato la morte dei pini più vicini alla spiaggia.

Poiché il trasferimento via terra della sabbia richiederebbe migliaia di viaggi di camion, il progetto prevede il dragaggio del sedimento nel mare antistante il porticciolo turistico di Siciliana Marina e di trasportarlo con una chiatta. Per mitigare l'effetto delle mareggiate sono state inoltre realizzate tre grandi barriere rigide (Fig. 24A-B).

Ma quali sono le cause di un'erosione costiera così rapida e violenta, di cui peraltro la spiaggia di Eraclea purtroppo



Figura 25. Lungo le coste meridionali della Sicilia i pozzi ad uso agricolo creati nei decenni scorsi si trovano oggi in mezzo al mare a causa dell'arretramento della costa. Questa foto è stata scattata nei pressi degli impianti petrolchimici di Gela (foto: A. S. Gristina).

non costituisce affatto un esempio isolato (Fig. 25)? Le istituzioni pubbliche e le associazioni ambientaliste sembrano conoscere perfettamente la risposta. Nei loro rapporti, infatti, l'ISPRA, gli Enti regionali preposti alla prevenzione e al monitoraggio del rischio di erosione e Legambiente Sicilia concordano nell'individuare senza esitazione gli stessi fattori. Pochi dipendono da processi su vasta scala, legati al riscaldamento globale, ovvero gli eventi meteo-marini estremi (piogge torrenziali, mareggiate). Molti altri sono invece riconducibili direttamente ad interventi compiuti dall'uomo a livello locale, ovvero:

1) *Prelievo di sabbia e ghiaia negli alvei fluviali*. Per la produzione del calcestruzzo necessario per costruire case e altre infrastrutture si è fatto spesso ricorso a materiale estratto dai greti di fiumi e fiumare, alterando quindi il regime e il volume del trasporto solido di tali corpi idrici. Questa pratica è durata fino alla fine degli anni '70, provocando diffusi e significativi arretramenti della linea costa.
2) *Manomissione e alterazione del dinamismo naturale dei corsi d'acqua*. Negli anni Ottanta e Novanta i fiumi siciliani hanno subito un nuovo tipo di attacco, con la realizzazione di opere rigide di sbarramento (briglie, soglie e traverse), spesso motivate più dall'interesse ad attivare appalti pubblici che da reali esigenze idrogeologiche.
3) *Inurbamento e urbanizzazione della fascia costiera*. La graduale concentrazione della popolazione siciliana sulle coste, iniziata negli anni Settanta del secolo scorso, è stata esacerbata dall'affermarsi del turismo balneare. In molti casi la costruzione di case, strade, massicciate e altre infrastrutture che si spingono fino alla battigia ha provocato la distruzione delle comunità vegetali tipiche delle spiagge sabbiose e dei sistemi dunali.
4) *Manomissione e alterazione del dinamismo naturale dei litorali sabbiosi*. A partire dagli anni Ottanta si è consumata l'ultima forma di aggressione alle spiagge sabbiose, con la realizzazione di una miriade di interventi di 'sistemazione', 'ampliamento' o 'ammodernamento' dei porti commerciali e pescherecci e la fioritura - ben oltre qualsiasi ragionevole esigenza - di porti turistici a gestione privata. Ciò ha comportato la costruzione *ex novo* di numerose grosse infrastrutture rigide, che inevitabilmente hanno provocato una forte alterazione del dinamismo costiero, innescando rapidi e intensi processi di erosione e sottrazione di sedimenti in alcuni tratti del litorale e il loro accumulo 'anomalo' in altre aree costiere. Ad esempio, le dighe foranee hanno inibito il flusso dei sedimenti innescando processi diffusi di erosione sottoflutto in corrispondenza di numerose zone abitate. Negli stessi anni molte amministrazioni comunali, invece di fare applicare le leggi e sanzionare i prelievi abusivi da spiagge e fiumi, si sono intestardite nel commissionare a più riprese costose quanto inutili scogliere artificiali (radenti, a pettine, parallele, soffolte, ecc.). Paradossalmente, queste opere, nate da intenti di "difesa" della costa, hanno finito per compromettere definitivamente il regime sedimentologico delle spiagge, contribuendo in modo decisivo al loro degrado e, talora, alla scomparsa definitiva dei litorali che si volevano proteggere.

Il rapidissimo sconvolgimento della linea di costa delle spiagge sabbiose è solo l'epilogo catastrofico di processi che avvengono sott'acqua, nella spiaggia sommersa, spesso nell'arco di tempi più lunghi, ma sfuggono all'osservazione. A tal proposito occorre sottolineare che la spiaggia, oltre alla parte emersa che vediamo, è costituita da una porzione più o meno estesa che si trova sott'acqua e che si estende anche per centinaia di metri dalla linea di costa. La costruzione di infrastrutture rigide ha infatti come prima e immediata conseguenza lo smantellamento delle *barre intertidali*, autentiche 'dune sottomarine' che svolgono un ruolo fondamentale nel mitigare l'impatto del moto ondoso e rappresentano l'habitat elettivo per numerosi molluschi marini (gasteropodi e lamellibranchi), i cui gusci, una volta disgregati, costituiscono una porzione significativa delle sabbie, dette per questo *organogene*.

Come hanno correttamente evidenziato Gurgone *et al.* (2024), "la drastica riduzione del numero e della superficie delle spiagge siciliane costituisce un fattore di rischio per le infrastrutture (case, strade) realizzate nell'area di espansione storica delle onde, con grave danno all'economia locale e alla sicurezza degli abitanti". I maldestri interventi degli ultimi decenni hanno finito per sortire l'effetto paradossale di distruggere la risorsa primaria del turismo balneare (le spiagge) per il cui sfruttamento miope era stato avviato lo stravolgimento del paesaggio locale. Fa riflettere il fatto che il termine "a-vidità" indica mancanza di visione: chi è avido è cieco, o quantomeno poco pre-vidente...

## LE SPIAGGE SABBIOSE: TERRA DI TUTTI O TERRA DI NESSUNO?

Come ribadito in precedenza, le aree costiere comprese entro 300 m dalla battigia fanno parte del cosiddetto "demanio marittimo", un bene pubblico inalienabile dello Stato. Nei fatti, tuttavia, il termine e il concetto stesso di "pubblico" sembra particolarmente ostico a una moltitudine di persone abituate a disprezzare, deturpare, e distrugge-

re ciò che non è una loro proprietà esclusiva, seguendo un percorso mentale a dir poco perverso, sintetizzabile come segue "Se è di tutti non è mio > non ha un grande valore per me > io e chiunque altro ne possiamo fare ciò che vogliamo (anche distruggerlo)". In un libro del Vecchio Testamento Sansone, persa ogni speranza di salvarsi, esclama "Muoia Sansone con tutti i Filistei" prima di suicidarsi e uccidere i suoi nemici facendo crollare il tempio. Sansoni e Filistei allo stesso tempo, molti Siciliani fanno lo stesso, distruggendo l'ambiente costiero in cui potrebbero vivere giornate felici e spensierate.

Sensibili 'per natura', le spiagge e le dune ospitano ecosistemi particolarmente vulnerabili alla crescente pressione antropica. Pertanto, il rischio di degrado ambientale è molto più elevato qui piuttosto che in habitat costituiti da substrati solidi. È dunque necessario ribadire con forza che la spiaggia non è terra di nessuno, bensì di tutti, laddove il termine 'tutti' include anche gli organismi che fanno parte degli ecosistemi costieri. Questi ultimi ospitano miriadi di specie animali che si nutrono, si riproducono, nidificano, nascono e crescono nell'ambiente dunale da tempo immemore. La fauna si trova 'a casa sua', pertanto ha il diritto di continuare a vivere indisturbata in questi ambienti naturali, di certo ha più diritto di quanto ne abbia un cantante di città di esibirsi attirando folle di gente di città. Purtroppo, durante la stagione estiva le spiagge ricevono orde di persone ignare, indifferenti e impreparate alla bellezza dei luoghi, che non si preoccupano delle conseguenze dell'inquinamento acustico H24 sugli uccelli nidificanti, dei danni meccanici provocati dal loro calpestio sulle piante psammofile, o della mole dei rifiuti abbandonati sulla spiaggia (una singola lattina di una bibita zuccherata può attirare, intrappolare e uccidere centinaia di insetti) (Fig. 26).

D'estate anche l'inquinamento luminoso prodotto dalle abitazioni, dall'illuminazione dei lungomari e dalle strutture ricettive costruite a ridosso della battigia costituisce un grosso problema per la fauna locale. La luce artificiale disorienta non soltanto gli uccelli marini e le tartarughe marine *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) appena nate, ma attrae e uccide ogni notte migliaia di insetti. Si tratta di un'autentica ecatombe che dura 2-3 mesi, provocando danni enormi soprattutto ai popolamenti superstiti di specie rare e vulnerabili. Ogni singola mattina d'estate a Menfi, ad esempio, molte centinaia di individui di *Polyphylla ragusae* subsp. *ragusae* giacciono a terra esausti o già stecchiti dopo una notte di volo senza sosta intorno alle luci esterne delle case di villeggiatura.



Figura 26. Lasciare rifiuti non è solo segno di inciviltà ma è un grave crimine: una sola bottiglia di bibita zuccherina o alcolica può trasformarsi prontamente in una trappola letale, la tomba di centinaia di insetti, come nel caso degli *Scarites* ritratti in questa foto, morti a Capo Feto (foto: B. Massa).

Gli stessi bagnanti che si muovono sulle spiagge noncuranti della spazzatura o limitandosi a schivarla, e persino quelli che vi abbandonano quotidianamente rifiuti d'ogni sorta, sono spesso i primi a indignarsi per il 'degrado' e il cattivo odore dovuto alle foglie morte spiaggiate di *Posidonia*. Questi cumuli scuri di materiale organico in decomposizione, noti anche come *banquette*, si formano per effetto dell'azione marina; nonostante il loro aspetto poco attraente per i bagnanti, le banquette svolgono molteplici ruoli d'importanza cruciale per il funzionamento delle spiagge:

1) ne incrementano la diversità animale, ospitando decine di specie di invertebrati, alcuni dei quali molto rari ed esclusivi di questi ambienti, come lo Pseudoscorpione *Garypus beauvoisii* (Audoin, 1826);
2) offrono rifugio e nutrienti alle giovani plantule delle specie che caratterizzano la vegetazione psammofila come *Cakile maritima* e *Thinopyrum junceum*;
3) favoriscono l'aggregazione del sedimento sabbioso e limitano l'erosione delle spiagge, opponendosi elasticamente all'impatto del moto ondoso e 4) contribuiscono ai cicli biogeochimici negli ecosistemi costieri. Vista la complessa funzione ecologica della banquette e il suo ruolo cruciale nella protezione delle spiagge dall'erosione, con la Circolare n. 8838/2019 "Gestione degli accumuli di *Posidonia oceanica* spiaggiati" il Ministero dell'Ambiente (MATTM) ha individuato le seguenti opzioni per la gestione dei cumuli di posidonia: 1) mantenimento *in loco*; 2) spostamento nell'ambito della stessa spiaggia o su spiagge poco accessibili non frequentate da bagnanti o su spiagge particolarmente esposte all'erosione; 3) interramento in situ delle biomasse spiaggiate naturalmente, senza trasporto né trattamento e previa rimozione dei materiali non biodegradabili di origine antropica; 4) trasferimento degli accumuli presso impianti di compostaggio o di digestione anaerobica per la produzione di ammendanti da utilizzare in agricoltura; 5) trasferimento degli accumuli in discarica qualora non fosse possibile ricorrere a nessuna delle soluzioni di cui sopra; 6) reimmissione in mare previa vagliatura per rimuovere la sabbia ed eventuali rifiuti. Nonostante le diverse soluzioni proposte a livello ministeriale per la corretta gestione dei residui di posidonia, a distanza di quasi 20 anni dalla prima circolare sull'argomento (n. 8123/2006), la gestione dei cumuli di posidonia spiaggiata continua ad essere un fatto di cronaca che non gode di buona fama né di una stampa favorevole.

Lo spianamento delle dune e la "pulizia" delle spiagge, pratiche barbare che durante i mesi estivi vengono effettuate quotidianamente con mezzi pesanti (Fig. 27A-B), contravvengono a quanto espressamente indicato nelle linee guida del Ministero dell'Ambiente che, al contrario, impone come parte integrante della strategia della conservazione degli habitat costieri il ricorso a procedure di rastrellamento manuale avvalendosi di personale addestrato allo scopo. La pulizia meccanizzata delle spiagge produce numerosi danni perché compromette sul nascere la formazione delle dune embrionali, altera la *classazione*, cioè le modalità di sedimentazione, e il grado di coesione del sedimento, rendendo più incisiva l'azione erosiva delle onde, danneggia o elimina del tutto la vegetazione pioniera, asporta residui vegetali spiaggiati e sabbia. Queste pratiche sono incompatibili con il regime di tutela vigente nelle aree protette e nei siti Natura 2000, dove andrebbe osservata una fascia di rispetto assoluto, ampia almeno 6-8 metri a partire dal piede del deposito eolico, in cui andrebbe semmai attuata una pulizia manuale e selettiva, lasciando (eventualmente spostando verso la base della duna) i resti organici trasportati dal moto ondoso.

Un'adeguata sensibilità verso le specie, le comunità e gli habitat delle spiagge sabbiose non è un *optional*. Chi vive 'di' turismo balneare dovrebbe conoscere bene chi vive 'in' questo contesto. Pertanto, le società che ottengono le concessioni per lo sfruttamento delle spiagge e gestiscono lidi attrezzati e strutture mobili stagionali dovrebbero farsi carico della regolare e necessaria formazione del proprio personale. La presenza nelle vicinanze di vegetali, animali, habitat e particolarità geologiche d'interesse naturalistico e il loro regime di tutela possono anzi rappresentare un valore aggiunto e fornire un'opportunità per differenziare l'offerta turistica. Questa *conditio sine qua non* vale anche per gli operai delle ditte che effettuano le attività di pulizia delle spiagge, in modo da risparmiare le dune embrionali in formazione ed evitare la rimozione - non necessaria e dannosa - di materiale spiaggiato che, oltre a contribuire alla stabilizzazione delle dune e a fornire sostanze nutritive fondamentali per l'attecchimento delle comunità vegetali pioniere dell'avanspiaggia, costituisce una risorsa fondamentale per la dieta e la riproduzione di molte specie di insetti.

In realtà "le spiagge superstiti sono interessate da un processo di appropriazione privata attraverso concessioni balneari, che spesso determinano l'insediamento di nuovi manufatti a destinazione commerciale nelle aree a rischio di erosione. Il risultato finale di questi processi, tuttora in corso, è la progressiva scomparsa delle spiagge e quindi il 'furto' di un bene comune sul quale si è fondata l'identità e lo sviluppo sociale di molte città e paesi costieri" (Gurgone *et al*., 2024).

La proliferazione di infrastrutture sugli arenili (abitazioni, strade, parcheggi, bar, locali notturni 'volanti', realizzati su improbabili 'palafitte' di legno, ecc.; Fig. 28) ha drasticamente ridotto e frammentato lo spazio vitale di piante e animali psammofili. Inoltre, il calpestio eccessivo e incontrollato da parte dei veicoli fuoristrada e dei bagnanti può alterare la compattazione e il microclima della coltre sabbiosa, con effetti catastrofici sulla flora (riducendo il tasso di attecchimento delle giovani piante), sugli invertebrati psammofili, oltre che sulle loro tane e gallerie.

Per la loro stessa posizione, le spiagge sabbiose mostrano di essere un luogo 'di tutti' e 'per tutti'. Esse rappresentano tradizionalmente la meta, il traguardo, il 'punto di prima accoglienza' e il 'trampolino di lancio' per molte specie vegetali provenienti dai paesi vicini, trasportate dal vento,







Figura 27. (A): Ruspa in azione durante le operazioni di 'pulizia' sulla spiaggia di Priolo Gargallo nel Siracusano (foto: F. Cilea); (B): Spiaggia di Santa Maria del Focallo dopo la pulizia con mezzi meccanici (foto: C. Muscarella).



Figura 28. Le dune embrionali sono spesso rimaneggiate e interrotte da strutture 'temporanee' che temporanee non sono, così come non lo sono i danni alla vegetazione. Nella foto, struttura in legno con annesso parcheggio 'volante' sulla spiaggia di Priolo Gargallo nel Siracusano (foto: F. Cilea).

dal mare o dagli uccelli migratori. Fra queste figurano anche diverse piante aliene, specie vegetali deliberatamente introdotte dall'uomo e diffuse sulle spiagge di tutto il Mediterraneo, approdate anche sulle coste siciliane negli scorsi decenni (Bazan & Speciale, 2002). Alcune di esse furono utilizzate massicciamente fin dall'inizio del Novecento come specie tappezzanti e stabilizzanti di dune e spiagge sabbiose. È questo il caso delle agavi, *Agave americana* L. e *Agave sisalana* Perrine. Un discorso a parte meritano i fichi degli Ottentotti, *Carpobrotus acinaciformis* (L.) L. Bolus e *Carpobrotus edulis* (L.) N.E.Br. che, per la loro spiccata capacità di sopportare forti stress ambientali (crescono rapidamente su suoli poveri senza bisogno di alcuna cura), e le loro qualità ornamentali (possiedono foglie carnose, turgide e sempreverdi e producono vistose fioriture per buona parte dell'anno), sono stati ampiamente utilizzati e si sono rapidamente diffusi, finendo per trasformare in modo radicale gli ecosistemi costieri a loro vantaggio e, di conseguenza, a svantaggio delle specie autoctone. Nel corso degli ultimi decenni, infatti, i *Carpobrotus* sono stati i protagonisti incontrastati della banalizzazione del paesaggio vegetale su diverse migliaia di ettari di costa sulle sponde di tutto il Mediterraneo, sicché diversi paesi hanno investito milioni di euro per eliminarli. Sotto un profilo tecnico l'eliminazione dei *Carpobrotus* è tutt'altro che impossibile, come mostra il successo di diversi progetti europei, alcuni dei quali portati a termine in Sicilia, come il Progetto Life+ Nat/It 000093 "Pelagic Birds", realizzato nell'isola di Linosa (https://www.unipa.it/dipartimenti/saaf/LIFE11/pelagic-birds/) e il Progetto Life 15 NAT/IT/000914 "CalMarSi" (https://lifecalmarsi.eu/), realizzato nelle coste e nelle isole del Trapanese (Fig. 29A-B). Le difficoltà maggiori riguardano le dimensioni delle aree d'intervento, che possono essere molto vaste e richiedere pertanto ingenti risorse umane e mezzi, e l'assoluta necessità di attuare un lungo monitoraggio per molto probabilmente ripresa di queste specie esotiche invasive. Infatti, basta un piccolo frammento vegetativo di *Carpobrotus* per innescare la rapida ricostituzione dell'apparato fogliare e il progressivo recupero dello spazio perduto.

La storia del successo della leguminosa arborea *Acacia saligna*, una delle specie più utilizzate nei rimboschimenti effettuati sulle dune del Mediterraneo, è per certi versi simile a quella di *Carpobrotus*, con l'aggravante che si tratta di una specie arborea, capace quindi di vivere più a lungo e di alterare in modo ancora più significativo l'ecosistema invaso. Come *Carpobrotus*, l'acacia è in grado di cambiare drasticamente il tenore trofico del suolo su cui cresce, inducendo un forte aumento nel contenuto di nitrati e di sostanza organica, utile alla sua crescita ma letale per le specie autoctone. L'eradicazione definitiva di queste specie è estremamente problematica e richiede tanto tempo e tanto lavoro perché esse sono in grado di creare un'enorme banca di semi nel suolo, capaci di germinare anche a distanza di diversi anni. Per l'Acacia, un altro problema sostanziale è che il solo intervento fisico (es.: tagli alla base della pianta) ha un effetto effimero se non controproducente perché è seguito, in breve tempo, dall'emissione di nuovi fusti dalla base tagliata, con l'effetto di aumentare la densità della specie invasiva. Il contrasto alle acacie va fatto con particolare cura ed evitando approssimazioni semplicistiche, come dimostra l'esperienza della foce del Platani, dove l'eliminazione dei pini ha stimolato la germinazione dei semi contenuti nel suolo, provocando un'incontenibile esplosione demografica di *Acacia saligna*. Per quanto la diffusione di piante invasive in habitat spesso già alterati possa sembrare un problema meno grave e del tutto trascurabile rispetto ad altri come l'urbanizzazione, in realtà esso stesso è parte integrante dell'alterazione ambientale che ha colpito pesantemente i sistemi dunali della Sicilia e di vaste aree del Mediterraneo. Infatti, queste specie a rapida diffusione e dall'elevata capacità di competere con le specie autoctone cambiano radicalmente l'assetto paesaggistico dei luoghi colonizzati e, in definitiva, compromettono gravemente e cancellano l'identità ambientale e culturale delle aree interessate.




Figura 29. *Carpobrotus acinaciformis* sull'Isola della Colombaia presso la città di Trapani. (A): Particolare del popolamento; (B): attività di eradicazione in seno al Progetto Life "CalMarSi" (foto: A.S. Gristina).

Gli ecosistemi costieri cambiano, e quando vengono pesantemente perturbati si crea lo spazio per nuovi 'commensali'. Circa 15 anni fa le coste della Sicilia meridionale sono state colonizzate da un'altra specie poco nota per la fauna siciliana, il Granchio fantasma *Ocypode cursor* (Linnaeus, 1758) (Fig. 30), originariamente presente solo sulle coste atlantiche dell'Africa, alle Azzorre, a Panama e in Tailandia e sulle sponde del Mediterraneo orientale. Non si può escludere che il suo arrivo e il suo rapido successo

siano stati facilitati dal riscaldamento globale, ma molto probabilmente una grossa responsabilità nella rapida diffusione di questa specie onnivora e opportunista ha giocato la disponibilità di rifiuti abbandonati dai bagnanti e di quelli spiaggiati trasportati dai corsi d'acqua che attraversano la Fascia Trasformata. Tuttavia, questa specie, vistosa e inconfondibile è protetta da diverse convenzioni internazionali, in virtù delle quali può svolgere egregiamente il ruolo di specie ombrello degli ecosistemi dunali della Sicilia.

## CHE FARE?

Osservando lo scempio perpetrato su vasti tratti della costa siciliana, sorge spontanea e puntuale la domanda "Perché i responsabili non hanno pagato per il danno procurato al bene pubblico?". Non si può infatti fare a meno di pensare che qualche punizione esemplare avrebbe costituito un buon deterrente e uno strumento educativo efficace per i bruti della cazzuola, che sono rimasti invece quasi sempre impuniti. Molte case costruite a ridosso delle spiagge sono mummie che la sabbia sta già tumulando, o che la salsedine ha già provveduto a sgretolare, trasformandole di nuovo in sabbia. Nel frattempo, vale la pena di concentrarsi su ciò che si può e si deve fare, qui ed ora. L'imperativo è semplice: bisogna salvare il salvabile, sottoponendo ad un'effettiva tutela ciò che non è ancora legalmente protetto, o lo è solo sulla carta (es.: riserva naturale "Oasi del Simeto", Agnone, siti ITA070029 'Biviere di Lentini, tratto mediano e foce del Fiume Simeto e area antistante la foce' e ITA070001 'Foce del Fiume Simeto e Lago Gornalunga' della Rete Natura 2000 del litorale ionico, pantani costieri e spiagge sabbiose della Sicilia sud-orientale, Isola di Vulcano, Capo Feto). Bisogna spingere la classe politica a migliorare le strategie e gli strumenti di gestione e conservazione degli spazi naturali costieri, aumentando il personale dedito al monitoraggio degli habitat e al controllo del territorio, in particolare quello soggetto a vincoli (demanio marittimo e fluviale). Senza il controllo del territorio, qualsiasi velleità di conservazione è pura illusione, e la natura non può essere presa in giro in eterno, perché prima o poi rivendica rispetto e spazio con gli interessi.



Figura 30. *Ocypode cursor* a spasso sulla spiaggia di Santa Maria del Focallo (foto: A. Schittone).

La sabbia in continuo movimento ha ispirato mille immagini e modi di dire, e continua a suggerirne di nuovi, senza sosta. Volendo dare spazio a un po' di sano ottimismo e a qualche idea e proposta concreta, immaginiamo il futuro degli ambienti costieri usando delle clessidre di diverse dimensioni e velocità, cioè secondo prospettive e con finalità differenti, ripensando il ruolo e il senso di responsabilità della comunità umana e lo spazio e il tempo in cui le dune si muovono e si muoveranno insieme agli organismi e agli habitat che esse ospitano.

A livello regionale, bisognerà individuare le aree idonee e funzionali ad aumentare la connettività tra le singole tessere di vegetazione psammofila. Ciò permetterebbe al contempo di rispondere alla richiesta dell'UE di incrementare la superficie delle aree inserite dentro la Rete Natura 2000.

A livello locale, per garantire e migliorare la qualità e integrità delle comunità e degli ecosistemi dunali superstiti, andrebbero invece adottate diverse misure di sicuro effetto immediato:

- Limitare il numero e l'estensione delle concessioni balneari. In questo modo si combatterebbe la privatizzazione a basso costo delle spiagge residue, si preverrebbe la realizzazione di opere o installazioni che da mobili finiscono per diventare permanenti;
- Ridurre l'inquinamento luminoso e acustico degli spazi costieri durante i mesi estivi;
- Impedire il transito di veicoli sportivi a motore a due e quattro ruote e vietare la costruzione di nuovi parcheggi nelle aree dunali, utilizzando invece allo scopo zone già urbanizzate o degradate e potenziando l'uso di servizi navetta gratuiti per le spiagge;
- Combattere strenuamente e sanzionare puntualmente l'insana abitudine di abbandonare rifiuti di ogni genere nelle aree retrodunali e interdunali;
- Limitatamente alle spiagge ricadenti in aree naturali protette o nella Rete Natura 2000, valutare la capacità di carico antropico delle spiagge ai fini del dimensionamento del numero di fruitori;
- Creare aree di interdizione e fasce tampone per proteggere la vegetazione dunale e garantire i processi che ne consentono la rinnovazione e il dinamismo;
- Favorire la crescita dell'avanduna e ridurre gli effetti della deflazione eolica nelle aree ove i cordoni dunali sono interrotti da vie d'accesso alla spiaggia, anche mediante l'impiego di piccole barriere artificiali costruite con materiali biodegradabili;
- Regolamentare l'accesso pedonale alle spiagge costruendo vie d'accesso obbligate sopraelevate in modo da limitare il calpestio diffuso e incontrollato della vegetazione psammofila;
- Condurre una campagna di eradicazione delle specie esotiche più invasive, in particolare *Acacia saligna* e *Carpobrotus* sp. pl.

Gran parte delle misure suelencate figurano nel "Quadro delle Azioni Prioritarie (Prioritized Action Framework – PAF) per la Rete Natura 2000 siciliana" elaborato dal Dipartimento dell'Ambiente dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Siciliana nel 2021. Per inciso, se

ci fosse la volontà politica, tali misure potrebbero essere finanziate anche in aree esterne alla Rete Natura 2000.

Non si può tuttavia pensare di poter salvare gli ecosistemi dunali senza operare 'a monte' un profondo cambiamento del modo di concepire la percezione e l'uso dell'ambiente fisico costiero. Gli abitanti delle zone costiere densamente popolate sono davanti a un bivio e sono chiamati a fare delle scelte consapevoli. Alcune spiagge, sulla cui esistenza si basa l'economia di molti comuni rivieraschi, potrebbero cambiare prima di quanto previsto, sia per il costante innalzamento del livello marino dovuto al riscaldamento globale, sia per le pratiche delittuose e le scelte infelici operate negli ultimi decenni, che hanno gravemente compromesso l'assetto delle coste e il dinamismo delle spiagge. Purtroppo, però, gli amministratori di questi centri abitati si ostinano a difendere ciò che non è economicamente e moralmente difendibile. È ora di dare una svolta e abbandonare per sempre un sistema ispirato a dei criteri di intervento "obsoleti, costosi e dannosi" (Gurgone *et al.*, 2024).

## CONCLUSIONI: TANTE AZIONI PER UN EPILOGO MIGLIORE

A conclusione di questo *excursus* si riporta qualche dato che da solo esprime l'imponenza della sfida che bisogna affrontare. L'analisi e l'interpretazione della cartografia ufficiale prodotta dall'Istituto Geografico Militare mostra come nel corso degli ultimi 150 anni le coste sabbiose siciliane abbiano subito un attacco senza precedenti. Ad esempio, i sistemi dunali presenti fra Punta Secca e Cava d'Aliga nel Ragusano, che occupavano circa 23 ettari nel 1897, coprivano una superficie inferiore a 4,1 ettari nel 1967 e meno di 0,4 ettari oggi. Tutto è perduto quindi? No, non ancora: diversi casi e fatti dimostrano che un'inversione di tendenza è tuttora possibile, e che interrompendo l'azione di disturbo e la distruzione sistematica delle coste la natura è tuttora capace di ripristinare, 'da sola' e in tempi relativamente brevi, le comunità vegetali e i meccanismi che ne regolano il dinamismo.

Numerose iniziative messe in atto nel corso degli ultimi decenni hanno avuto delle conseguenze pratiche importanti. Esse dimostrano che cambiare i paradigmi della gestione delle coste è non solo urgente e necessario, ma possibile. Alcune di queste iniziative hanno rappresentato degli autentici *casus belli*, considerando le tensioni economiche e sociali che hanno acceso e le diatribe legali che hanno provocato. Al contempo, esse mostrano che la risorsa economica costituita dalle spiagge può essere sfruttata seguendo percorsi ben diversi dalla sistematica distruzione degli ecosistemi dunali.

In primo luogo, è necessaria e inderogabile un'efficace ed effettiva tutela. In pieno accordo con un passaggio di Gurgone *et al.* (2024): "Le spiagge siciliane vanno tutelate affinché costituiscano quella straordinaria risorsa ambientale, capace di trainare un settore turistico basato sulla effettiva valorizzazione dell'identità culturale dei luoghi. La loro tutela dipende anche e soprattutto dalla qualità delle politiche urbanistiche e dalle strategie di governo del territorio in area vasta. L'occupazione delle pianure costiere, l'urbanizzazione spinta ai limiti della battigia deturpa il paesaggio, crea i presupposti per fenomeni di erosione degli arenili e di inquinamento delle acque del mare", e compromette l'autenticità dei luoghi e azzera le comunità vegetali che sostengono le catene trofiche locali. L'erosione costiera si combatte facendo innanzitutto rispettare i vincoli e le leggi vigenti, che regolano e vietano già da decenni la realizzazione di infrastrutture entro i 300 metri dalla battigia.

Ma una reale inversione di tendenza è possibile solo adottando una serie di misure concrete. Prioritarie e particolarmente efficaci appaiono quattro di queste misure, ovvero:

- Prevenire l'erosione costiera effettuando una regolare monitoraggio dello stato di salute della spiaggia sommersa, in particolare delle barre intertidali e, ove necessario, intervenire creando barriere permeabili, che lascino passare una parte dei sedimenti, anziché strutture rigide emerse a ridosso della battigia;
- Applicare una rigorosa analisi costi/benefici ad ogni scelta d'intervento, rinunciando alla difesa a tutti i costi delle strutture costruite in ambiti esposti al rischio di inondazione e ai danni dovuti alle mareggiate (Fig. 31); in questi siti va inoltre vietata la costruzione di qualsiasi nuova infrastruttura;



Figura 31. Costruire strade asfaltate sulle dune, come quella fotografata a San Leone vicino Agrigento, compromette la funzionalità dell'ecosistema provocandone la frammentazione e alterandone il dinamismo (foto: M. Interlandi).

- Spezzare il circolo vizioso erosione > difesa costiera > progetti-appalti-sprechi > nuova erosione, che alimenta una vera e propria industria dell'emergenza. Circondare le spiagge di barriere frangiflutti significa cancellare una risorsa economica, l'identità storica dei centri rivieraschi e di interi tratti di costa. Bisogna invece lavorare nella direzione del ripristino del trasporto solido dei corsi d'acqua, delocalizzare le strutture rigide finalizzate a mitigare l'effetto delle mareggiate per ridare profondità alle spiagge, attuare dei ripascimenti artificiali che siano progettati attentamente, monitorati adeguatamente e soggetti a costante manutenzione;
- Abbandonare una volta e per tutte il modello "coloniale" di sfruttamento dei litorali. Non serve costruire porti turistici insostenibili. Le promesse di posti di lavoro e di aumento dell'indotto rappresentano spesso la leva sociale, l'*escamotage* con il quale si autorizza a "costruire

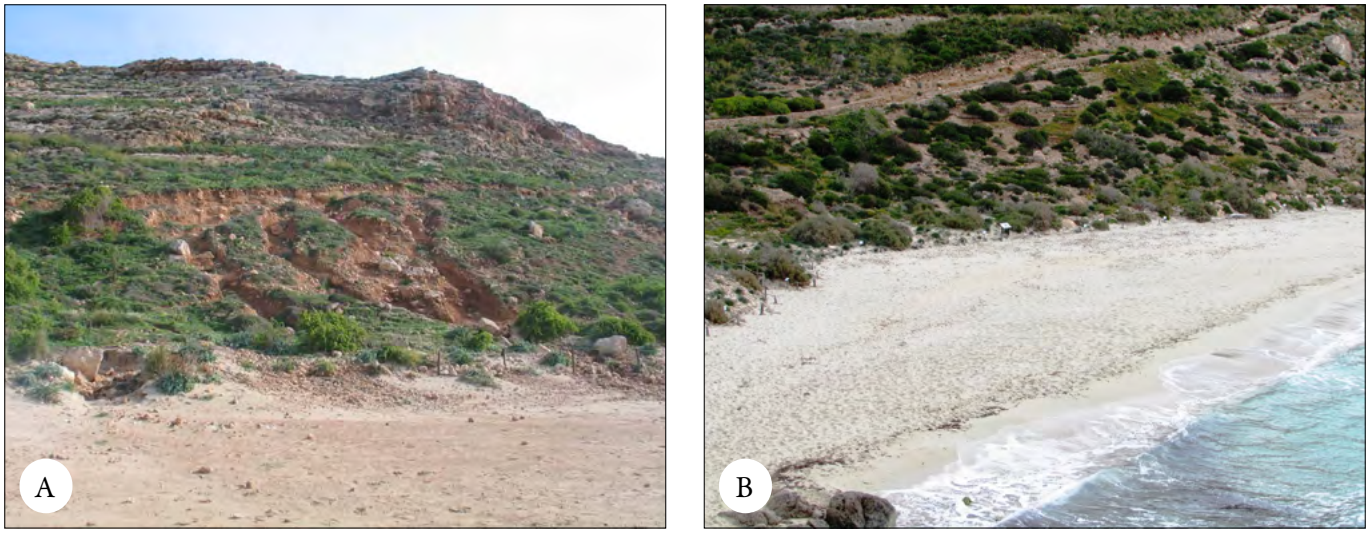



Figura 32. Particolare del versante sopra la Spiaggia dei Conigli (Lampedusa, Isole Pelagie) prima (A) e dopo (B) gli interventi di ingegneria naturalistica (foto: E. Prazzi).

in pieno demanio pubblico, replicando modelli insediativi estranei alla storia ed alla vocazione del territorio siciliano" (Gurgone *et al.*, 2024).

Siamo convinti dell'importanza di pubblicizzare le iniziative volte alla sensibilizzazione e alla denuncia dei crimini ambientali contro le spiagge (es.: http://www.erosionespiagge.eu/) e alla conoscenza e alla tutela delle coste sabbiose (es.: https://www.dunesicilia.it/ e http://www.biologiamarina.eu/Funghi_delle_spiagge.html), dando il massimo risalto possibile ai casi virtuosi di fruizione sostenibile delle spiagge - come quello messo in atto alla Spiaggia dei Conigli a Lampedusa, dove negli ultimi anni si è deciso di contingentare il numero di accessi giornalieri durante tutta la stagione balneare - o agli interventi di restauro ambientale e ingegneria naturalistica realizzati in seno al Progetto LIFE03 NAT/IT/000163 "Riduzione dell'impatto umano su *Caretta caretta* e *Tursiops truncatus* e loro conservazione in Sicilia", che hanno avuto effetti positivi e duraturi, permettendo di arrestare i processi erosivi e ripristinare la copertura vegetale sul versante a monte della Spiaggia dei Conigli a Lampedusa (Fig. 32A-B), oppure la creazione *ex novo* di popolamenti di *Calendula maritima* (Fig. 33) e



Figura 33. *Calendula maritima* Guss. cresce rigogliosa e si rinnova da seme in uno dei nuclei creati *ex novo* sull'isola di Favignana (foto: A. S. Gristina).



Figura 34. Giovani piante ottenute per talea a partire dall'unico individuo superstite di *Juniperus macrocarpa* trovato a Capo Rasocolmo, coltivate presso l'Orto Botanico di Messina. Una volta cresciute, alcune di esse verranno trasferite in natura per ripristinare un nucleo di macchia psammofila a ginepro coccolone (foto: A. Crisafulli).



Figura 35. Individui di *Marcus-kochia ramosissima* (Desf.) Al-Shehbaz nei lembi residui di spiaggia della Caletta degli Zimmari a Panarea (foto: A. Crisafulli).

l'effettiva tutela legale dei siti in cui vive sulle coste del Trapanese. In riferimento a quest'ultimo caso, uno degli obiettivi centrati dal Progetto Life "CalMarSi" è stato quello di ottenere una protezione formale di *Calendula maritima*. Grazie all'emanazione di un Decreto Presidenziale *ad hoc* (DPRS del 13/09/2019), infatti, questa pianta endemica oggi è tutelata 'per legge', e questa norma si è rivelata più efficace e stringente rispetto ai tanti vincoli di tutela già vigenti nel suo areale di diffusione (Demanio marittimo, Riserva Naturale Orientata "Saline di Trapani e Paceco", Rete Natura 2000).

Uno dei popolamenti di *Calendula maritima* cresce nel promontorio di Punta Tipa, a ridosso dei ruderi della tonnara di San Giuliano, sul litorale della città di Trapani. Nel corso degli ultimi anni sono stati redatti diversi progetti mirati a 'valorizzare' quest'area costiera mediante la creazione di un vasto parco urbano. L'ultimo di questi progetti, presentato dal Comune di Trapani nel 2017, prevedeva la realizzazione di numerose opere che rischiavano di avere un forte impatto diretto e indiretto sulla popolazione di *Calendula* e sul suo habitat. Giacché il progetto era palesemente in conflitto con il vincolo posto dalla protezione assoluta della specie, la sua attuazione ha ricevuto parere negativo da parte degli Enti preposti alla vigilanza (WWF Trapani, Ente Gestore della R.N.O. "Saline di Trapani e Paceco") e alle autorizzazioni (Dipartimento Regionale Ambiente Regione Siciliana), e il soggetto proponente è stato esortato ad apportare i necessari emendamenti (es. ridimensionamento e mitigazione degli interventi, opere di compensazione, ecc.) che tenessero conto delle finalità di conservazione della specie e dell'area nel suo complesso. Nella sua nuova versione, che ha assunto (significativamente) anche la nuova connotazione di "Parco Urbano Naturalistico vocato alla Conservazione di Habitat", il progetto ha ottenuto finalmente (nel 2024) parere favorevole dalla Commissione Tecnica Specialistica (CTS) perché in linea con gli obiettivi prioritari di riqualificazione e recupero di una porzione di litorale di Punta Tipa mediante l'integrazione di specifiche azioni di potenziamento e difesa della naturalità esistente, ripristino della valenza ecologica, tutela della macchia mediterranea, tutela e valorizzazione dell'ambito dunale e retrodunale.

Questo episodio, seppur abbastanza isolato, fornisce un esempio concreto, per certi versi eclatante per la realtà siciliana, del fatto che cambiare approccio è importante, necessario e possibile. Il rispetto e l'applicazione di leggi e decreti vigenti può costituire uno spartiacque, permettendo di modulare, mitigare o impedire frettolosi interventi di 'riqualificazione' delle coste.

Divulgare le 'buone notizie' restituisce un po' di fiducia nelle capacità di adattamento e nella resilienza degli organismi psammofili, abituati ad affrontare le difficoltà poste da ambienti dinamici 'per natura'. Durante il 2024, ad esempio, è stato propagato l'ultimo individuo superstite di *Juniperus macrocarpa*, scoperto di recente a Capo Rasocolmo vicino Messina (Fig. 34), è stata confermata la presenza di *Marcus-kochia ramosissima* (Desf.) Al-Shehbaz negli ultimi lembi di vegetazione psammofila di Panarea



FIGURA 36. *Ipomoea imperati*, una 'nuova arrivata' alla Spiaggia dei Conigli a Lampedusa (foto: E. Prazzi).

(Fig. 35), mentre *Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb. è arrivata a Lampedusa ed è attecchita sulle dune embrionali della Spiaggia dei Conigli (Fig. 36).

Negli anni scorsi, i botanici del Dipartimento di Scienze Chimiche, Biologiche, Farmaceutiche e Ambientali dell'Università di Messina hanno raccolto i semi di diverse specie vegetali psammofile (es.: *Ephedra fragilis* Desf., *Ephedra distachya* L., *Centaurea sphaerocephala* L.), alcune delle quali estremamente rare o esclusive delle spiagge sabbiose di Messina, come *Centaurea deusta* Ten. subsp. *divaricata* (Guss.) Matth. & Pignatti, *Anthemis peregrina* L. e *Hypecoum torulosum* Å.E. Dahl.

Una volta propagate presso l'Orto Botanico di Messina, parte delle giovani piante ottenute sono state messe a dimora in alcuni siti idonei (es.: Capo Peloro, Mortelle, Ortora-Timpazzi, San Saba, Rometta Marea, Furnari). Tali esperienze pilota hanno permesso di rafforzare le popolazioni di specie severamente minacciate e di verificare la fattibilità di progetti finalizzati al restauro dei nuclei superstiti di vegetazione dunale (es.: Capo Peloro, Canale degli Inglesi, San Saba) e al ripristino di ambienti umidi retrodunali fortemente ridotti e compromessi (es.: Ortora, Lido Mortelle).

Fin dal 1992, su iniziativa del Circolo di Legambiente di Milazzo, un gruppo di volontari ha portato avanti un progetto di riqualificazione di un tratto del litorale di Ponente di Milazzo. Questa piccola area verde, nota ai locali come "boschetto dell'Ancora", ospita oggi ben 82 specie vegetali, tra cui le principali psammofite locali (https://gazzettadelsud.it/articoli/archivio/2024/09/15/milazzo-lorto-botanico-censisce-al-boschetto-dellancora-82-specie-vegetali-d062007c-ff05-47cd-bf8d-9dfef29d4591/).

Come già scritto, la letteratura scientifica fornisce una descrizione impietosamente dettagliata della manomissione recente del paesaggio costiero siciliano. Questa documentazione, tuttavia, non è soltanto fonte di frustrazione, rabbia e tristezza. Essa costituisce infatti una sorta di 'mappa concettuale', di 'manuale d'istruzioni', l'unico riferimento utile per conoscere l'assetto e l'aspetto passato di questa porzione di territorio e, quindi, per poter immaginare e realizzare il restauro e il ripristino degli ecosistemi costieri dell'isola.

A questo proposito, vale la pena di evidenziare che la Legge Europea sul Ripristino della Natura, nota come "Nature Restoration Law", è entrata in vigore il 18 agosto 2024. Si tratta di un testo lungo, complesso e ambizioso, in linea con la Direttiva 92/43 "Flora, Fauna, Habitat". La legge prevede che entro il 2030 (fra appena sei anni!) il 30% degli habitat naturali classificati come degradati in ogni Paese europeo debba essere oggetto di interventi di ripristino, valore che dovrà salire al 60% entro il 2040 e al 90% entro il 2050.

La Nature Restoration Law non si limita a dettare dei compiti ed elencare dei doveri, ma offre delle opportunità concrete e degli strumenti economici per realizzare una conversione verso un'economia più rispettosa delle valenze paesaggistiche, storiche e naturalistiche del territorio e per migliorare lo stato di salute degli habitat degradati. Per inciso, tra gli habitat d'interesse comunitario per i quali si deve intervenire, elencati negli allegati in appendice alla Nature Restoration Law, figurano tutti gli habitat elencati in Tab. 1.

È quindi giunto il tempo di rimboccarsi le maniche per fare in modo che le generazioni future non debbano più osservare sconsolate lo scempio di dune morienti, prive di vita, martoriate e 'smosse' dalle ruspe, ma tornino ad avere familiarità con dune vive, dinamiche, "mosse", come recita la canzone di Zucchero Fornaciari e come succede in natura da quando esistono le coste sabbiose, il mare e il vento.

## RINGRAZIAMENTI

Questo contributo nasce da un'iniziativa promossa da Franco Blandi, ideatore del documentario "Dune ferite", prodotto nel 2022 (https://www.francoblandi.it/dune-ferite) e distribuito e proiettato in occasione di diverse manifestazioni nazionali e internazionali negli anni successivi. Siamo grati ai tanti amici e colleghi che nei mesi scorsi (Giuseppe Clementi, Pietro Lo Cascio, Leonardo Scuderi, Marisa Meli, Elena Prazzi, Giulia Casamento, Alessandro Crisafulli, Mario Crisafulli, Rosella Picone, Vincenzo Di Dio, Vittorio Garfì, Marco Interlandi, Toni Puma, Fabio Cilea, Roberto De Pietro, Alfonso La Rosa, Maria Concetta Consentino, Adele Schittone, Giancarlo Torre, Philippe Ponel, Monica Perricone e Gloria Nicoletti) o negli anni passati (Angelo Troia, Gianluigi Pirrera, Salvatore Livreri Console, Giuseppe Messana, Giusi Nicolini) hanno condiviso esperienze, discussioni, dati, articoli, immagini su tematiche inerenti alla conservazione e al ripristino delle coste sabbiose della Sicilia.

## BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO


AA. VV. (2020). *La Spiaggia Ecologica: gestione sostenibile della banquette* Posidonia oceanica *sugli arenili del Lazio*. Roma, ISPRA, Manuali e Linee Guida ISPRA n° 192/2020, 55 pp.

AA.VV. (2001). *Biogeografia degli ambienti costieri*. Parte I. Atti XXXIII Congr. Soc. Ital. Biogeografia (Cefalù, 3-7 ottobre 2000). Biogeographia, 32, pp. 1-264.

AA.VV. (2002). *Biogeografia degli ambienti costieri. Parte II*. Atti XXXIII Congr. Soc. Ital. Biogeografia (Cefalù, 3-7 ottobre 2000). Biogeographia, 33, pp. 1-238.

AA.VV. (2021). *La Fascia Trasformata del Ragusano. Diritti dei lavoratori, migranti, agromafie e salute pubblica*. Sicilia Punto L Edizioni, 190 pp.

Acosta A.T.R., Ercole S. (a cura di) (2015). *Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione*. ISPRA, Serie Rapporti, 215/2015, 115 pp.

Albo G. (1919). *La vita delle piante vascolari della Sicilia Meridionale-Orientale. II. Flora*. Ragusa, Tip. S. Piccitto, 308 pp.

Aliquò V., Massa B., Mignani R. (1973). *Brevi note sulla fauna coleotterologica di un particolare biotopo costiero del palermitano*. Boll. Soc. ent. it., 105: 59-68.

Amore C., Giuffrida E., Randazzo E. (2006b). *Lo stato dei litorali italiani. Le spiagge della Sicilia*. GNRAC, 10: 39-44.

Andreotti A., Ientile R. (2024). *La reintroduzione del Pollo sultano* Porphyrio porphyrio *in Sicilia, una popolazione in espansione*. In: Atti del Conv. 'Rewilding in Sicilia, reintroduzioni e ripopolamenti: status, problematiche, prospettive'. Paleermo, Danaus ed., pp. 69-72.

Angelone C. (2002). *La Gestione del demanio marittimo: dallo Stato, alle regioni, ai comuni*. Centro di ricerche giuridiche per la pesca e la navigazione / Camera di commercio industria artigianato e agricoltura Università di Pescara vol. 11. Milano, Giuffrè, vii + 124 pp.

Audisio P., Muscio G., Pignatti S., Solari M. (2002). *Dune e spiagge sabbiose*. Roma, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Museo Friulano di Storia Naturale, Quaderni Habitat n° 4, 160 pp.

Badalamenti E., da Silveira Bueno R., Campo O., Gallo M., La Mela Veca D.S., Pasta S., Sala G., La Mantia T. (2018). *Pine stand density influences the regeneration of* Acacia saligna *(Labill.) H.L. (Wendl.) and native woody species in a Mediterranean coastal pine plantation*. Forests, 9(6): 359.

Badalamenti E., Gristina L., Laudicina V.A., Novara A., Pasta S., La Mantia T. (2016). *The impact of* Carpobrotus *cfr.* acinaciformis *(L.) L. Bolus on soil nutrients, microbial communities structure and native plant communities in Mediterranean ecosystems*. Plant and Soil, 409: 19-34.

Badano D., Pantaleoni R. (2014). *The larvae of European Myrmeleontidae (Neuroptera)*. Zootaxa, 3762(1): 1-71.

Bartolo G., Brullo S., Marcenò Cos. (1982). *La vegetazione costiera della Sicilia Sud-orientale. Contributo alla interpretazione delle fasce di vegetazione delle coste mediterranee*. C.N.R., Progetto Finalizzato "Promozione della Qualità dell'Ambiente", AQ/1/226: 1-49, Roma.

Bartolo G., Brullo S., Minissale P., Spampinato G. (1990). *Flora e vegetazione dell'isola di Lampedusa*. Boll. Accad. Gioenia Sci. nat., ser. 4, 21 (334)[1988]: 119-255.

Bazan G., Domina G., Raimondo F.M. (2008). *Il metodo fitosociologico per il monitoraggio degli habitat del S.I.C. "Biviere e Macconi di Gela" (Sicilia meridionale)*. Quad. Bot. ambientale appl., 19: 67-72.

Bombace M., De Domenico R., Lo Valvo F., Nicolini G. (2001). *Interventi finalizzati alla salvaguardia del sito di ovodeposizione della tartaruga marina* Caretta caretta *a Lampedusa*. Naturalista sicil., ser. 4, 25(suppl.): 111-119.

Borzì A. (1916). *Di alcune graminacee atte al rinsaldamento delle sabbie mobili del Mezzogiorno*. Boll. St. Inform. R. Giard. colon. Palermo, 2(4): 189-213.

Boudouresque C.F., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Thibaut T., Verlaque M. (2016). *The necromass of the* Posidonia oceanica *seagrass meadow: fate, role, ecosystem services and vulnerability*. Hydrobiologia, 781: 25-42.

Boyer M., Marteau A., Menegalli C. (2022). *Etude des communautés d'arthropodes dans les laisses de mer sur les plages de Favignana et Levanzo (Archipel des îles Egades) en Sicile*. Compte-rendu de l'école de terrain Master Recherche 2ème année BIOEFFECT (Iles Egades, Sicile, 9-16 octobre 2022), Aix-Marseille Université, 21 pp.

Brullo S., Di Martino A. (1974). *Vegetazione dell'Isola Grande dello Stagnone (Marsala)*. Boll. Studi Inform. Giard. colon. Palermo, 26: 15-62.

Brullo S., Di Martino A., Marcenò Cos. (1974). *Osservazioni sulla vegetazione psammofila tra Capo Granitola e Selinunte (Sicilia occidentale)*. Boll. Stud. Inform. Reale Giardino colon. Palermo, 26: 103-110.

Brullo S., Di Martino A., Marcenò Cos. (1977). *La vegetazione di Pantelleria (studio fitosociologico)*. Pubbl. Ist. Bot. Univ. Catania, Tipografia Coniglione, Catania, 110 pp.

Brullo S., Fagotto F., Marcenò Cos. (1980b). *Esempi di cartografia della vegetazione di alcune aree della Sicilia. Carta della vegetazione di Vendicari (scala 1:10.000)*. Roma, Collana Programma Finalizzato "Promozione della Qualità dell'Ambiente", C.N.R., AQ/1/38: 25-41, 4 figg.

Brullo S., Furnari F. (1970). *Vegetazione psammofila presso il Capo Isola delle Correnti (Sicilia sud-orientale)*. Pubbl. Ist. Bot. Univ. Catania, 6 pp. + 3 tabb. f.-t.

Brullo S., Gianguzzi L., La Mantia A., Siracusa G. (2009). *La classe* Quercetea ilicis *in Sicilia*. Boll. Accad. Gioenia Sci. nat., ser. 4, 41 (369) [2008]: 1-124.

Brullo S., Giusso Del Galdo G. (2003b). La classe *Saginetea maritimae* in Italia. Fitosociologia, 40(2): 29-41.

Brullo S., Giusso del Galdo G., Siracusa G., Spampinato G. (2001). *Considerazioni fitogeografiche sulla vegetazione psammofila dei litorali italiani*. Biogeographia, 22: 93-137.

Brullo S., Grillo M. (1986). *Le associazioni psammofile effimere dei* Malcolmietalia *rinvenute in Sicilia*. Boll. Accad. Gioenia Sci. nat., ser. 4, 18 (325) [1985]: 271-282, 1 fig.

Brullo S., Marcenò Cos. (1974). *Vulpio-Leopoldietum gussonei, ass. nova* dell'*Alkanneto-Malcolmion* nella Sicilia meridionale. Not. Fitosoc., 8: 75-83.

Brullo S., Marcenò Cos. (1985). *Contributo alla conoscenza della classe* Quercetea ilicis *in Sicilia*. Not. Fitosoc., 19(1) [1984]: 183-229.

Brullo S., Piccione V. (1980). *Esempi di cartografia della vegetazione di alcune aree della Sicilia. Carta della vegetazione di Linosa (scala 1:12.500)*. C.N.R., Roma, Programma Finalizzato "Promozione Qualità dell'Ambiente", AQ/1/40: 53-66, 14 figg.

Brullo S., Scelsi F. (1998). *Contributo alla conoscenza della vegetazione terofitica costiera del territorio ibleo*. Atti del Convegno "Flora e Vegetazione degli Iblei" Boll. Acc. Gioenia Sci. nat., ser. 4, 29 (352) [1996]: 151-168.

Brullo S., Siracusa G. (1996). *Studio fitosociologico dell'isola di Linosa*. Doc. Phytosoc., n. s., 16: 123-174, 30 tabb., 10 figg.

Cammalleri I., Gianguzzi L., Ilardi V., Sortino S. (1996). *Dati preliminari sulla vegetazione della fascia costiera di Torre Salsa (Sicilia meridionale)*. Giorn. Bot. Ital., 130(1): 477.

Cardona L., García M. (2008). *Beach-cast seagrass material fertilizes the foredune vegetation of Mediterranean coastal dunes*. Acta Oecologica, 34(1): 97-103.

Carullo L., Sciandrello S., Tomaselli G. (2016). *Linee guida per fronteggiare l'erosione costiera nelle aree del Progeto Life Leopoldia*. Life11 NAT/IT/000232. Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente (Di3A), Università degli Studi di Catania. Caltagirone, Tipografia Punto Stampe, 44 pp.

Cassola F. (2002). *Le cicindele e le coste: biogeografia e conservazione (Studi sui Cicindelidi, CXIX)*. Biogeographia, n. s., 23: 55-69.

Catanzaro F. (1970). *Le piante officinali del Territorio di Bivona (AG) nella tradizione popolare*. Fitoterapia, 41(2) [1968]: 64-84.

Chapman M.A., Abbott R.J. (2005). *The origin of a novel form of* Senecio *(Asteraceae) restricted to sand dunes in southern Sicily*. New Phytol., 166(3): 1051-1063.

Ciolli M. (2001). *Eraclea Minoa: archeologia, forestazione e turismo*. Italia Forestale e Montana, 3: 220-226.

Colombini I., Mateo M.Á., Serrano O., Fallaci M., Gagnarli E., Serrano L., Chelazzi L. (2009). *On the role of* Posidonia oceanica *beach wrack for macroinvertebrates of a Tyrrhenian sandy shore*. Acta Oecologica, 35: 32-44.

Consolo V. (1993). *Vedute dello Stretto di Messina*. Palermo, Sellerio Editore, 184 pp.

Conti E., Costa G., Petralia A., Petralia E. (2014). *Eco-ethology of* Brachytrupes megacephalus *(Orthoptera, Gryllidae), protected species in UE*. Atti e Memorie dell'Ente Fauna Siciliana, 11: 51-56.

Contu M., Signorello P. (1999). *Contributo alla conoscenza della flora micologica (macromiceti) delle dune della Sicilia*. Boll. Accad. Gioenia Sci. nat., 32 (356): 31-45.

Cosentini F. (1825). *Saggio di topografia botanica della campagna detta Arena di Catania, col catalogo, delle piante che spontaneamente vi crescono*. Atti Accad. Gioenia Sci. nat., 1: 147-170.

Crisafulli A., Lo Cascio P., Picone R.M., Pasta S. (2024). *Conferma della presenza di* Marcus-kochia ramosissima *a Panarea (Isole Eolie, Sicilia)*. Naturalista sicil., ser. 4, 47(2): 47-51.

Crisafulli A., Picone R.M., Spampinato G., Zaccone S. (2003). *Aspetti della conservazione del patrimonio floristico e vegetazionale della Riserva Naturale Orientata "Laghetti di Marinello" (Sicilia nord-orientale)*. 98° Congr. Naz. Soc. Bot. Ital. (Catania, 24-26 settembre 2003), riassunti: 46.

De Stefani Perez T., Riggio G. (1882). *Catalogo dei Coleotteri siciliani raccolti ed ordinati da Teodosio De Stefani Perez e Giuseppe Riggio ed esistenti nella collezione entomologica del Museo Zoologico-Zootomico della R. Università di Palermo*. Palermo, Tip. Giornale di Sicilia, 27 pp.

Deidun A., Saliba S., Schembri P.J. (2009). *Considerations on the ecological role of wrack accumulations on sandy beaches in the Maltese islands and recommendations for their conservation management*. J. Coastal Res., 56: 410-414.

Del Vecchio S., Acosta A.T.R., Stanisci A. (2013). *The impact of* Acacia saligna *invasion on Italian coastal dune EC habitats*. Comptes Rendus Biologies, 336(7): 364-369. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2013.06.004

Del Vecchio S., Jucker T., Carboni M., Acosta, A.T.R. (2017). *Linking plant communities on land and at sea: the effects of* Posidonia oceanica *wrack on the structure of dune vegetation*. Estuarine, Coastal & Shelf Sci., 184: 30-36.

Del Vecchio S., Marbà N., Acosta A.T.R., Vignolo C., Traveset A. (2013). *Effects of* Posidonia oceanica *beach-cast on germination, growth and nutrient uptake of coastal dune plants*. PLoS ONE, 8(7): e70607.

Dimarca A., Billeci V., Casamento G., Di Pietro R., Maraventano G., Prazzi E., Sorrentino G. (2024). *Protected Natural Areas and sustainable use: the Spiaggia dei Conigli in the "Lampedusa Island" Nature Reserve (Agrigento, Sicily, Italy)*. Biodiversity Journal, 15(2): 163-168.

Dimarca A., Casamento G., Prazzi E. (2023). *La gestione della Spiaggia dei Conigli nell'Isola di Lampedusa. Protezione della natura, riqualificazione ambientale e turismo sostenibile*. Seascape, 2 (Tourism): 132-137.

DRA-ARTA (2021). *Quadro delle Azioni Prioritarie (Prioritized Action Framework – PAF) per la Rete Natura 2000 siciliana*. Palermo, Dipartimento Regionale dell'Ambiente dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Siciliana, 117 pp.

Ente Fauna Siciliana (1991). *Vendicari*. Palermo, Ediprint, pp. 143, 7 foto.

Fagotto F. (1982). *Aspetti eco-faunistici della zona costiera di Vendicari (Sicilia)*. Quad. Struttura Zoocenosi Terrestri C.N.R.: 185-198.

Fanini L., Marchetti G., Scapini F., Defeo O. (2009). *Effects of beach nourishment and groynes building on population and community descriptors of mobile arthropodofauna*. Ecological Indicators, 9: 167-178.

Faraone F.P., Russotto S., Barra S.A., Chiara R., Giacalone G., Lo Valvo M. (2019). *Morphological variation of the newly confirmed population of the Javelin sand boa,* Eryx jaculus *(Linnaeus, 1758) (Serpentes, Erycidae) in Sicily, Italy*. Acta Herpetologica, 14(2): 135-139.

Ferro G., Furnari F. (1968). *Flora e vegetazione di Stromboli (Isole Eolie)*. Arch. Bot. Biogeogr. Ital., 64, ser. 4, 12(1-2): 21-45; 12(3): 59-87.

Ferro G., Furnari F. (1970). *Flora e vegetazione di Vulcano (Isole Eolie)*. Pubbl. Ist. Bot. Univ. Catania, 64 + ii pp., 5 tavv.

Galasso P., Aiello L., Bottini B. (2013). *Limicoli svernanti nel litorale sabbioso del Golfo di Catania 2010-2013*. Naturalista sicil., ser. 4, 37: 673-675.

Genco L., Callea G., Muscarella C., Salemi A, Massa B. (2024). *Presence of* Brachytrupes megacephalus *(Lefebvre, 1827) (Orthoptera Gryllidae) in the Oriented Nature Reserves "Capo Rama" and "Torre Salsa" (Sicily, Italy)*. Biodiversity Journal, 15(2): 355-361.

Gianguzzi L., Ilardi V., Caldarella O., Cusimano D., Cuttonaro P., Romano S. (2012). *Phytosociological characterization of the* Juniperus phoenicea *L. subsp.* turbinata *(Guss.) Nyman formations in the Italo-Tyrrhenian Province (Mediterranean Region)*. Plant Sociology, 49(2): 3-28.

Giulio S., Acosta A.T.R., Carboni M., Campos J.A., Chytrý M., Loidi J., Pergl J., Pyšek P., Isermann M., Janssen J.A.M., Rodwell J.S., Schaminée J.H.J., Marcenò Cor. (2020). *Alien flora across European coastal dunes*. Appl. Veg. Sci., 23: 317-327.

Giusso del Galdo G.P., Marcenò Cor., Musarella C.M., Sciandrello S. (2008). *La vegetazione costiera della R.N.O. "Torre Salsa" (Siciliana, AG)*. Inform. Bot. Ital., 40(1): 73-89.

Giusti F., Castagnolo L. (1982). *I molluschi terrestri delle dune italiane: brevi cenni di ecologia, elenco delle specie e chiavi per il loro riconoscimento*. Quaderni sulla "Struttura delle zoocenosi terrestri", 3. Ambienti mediterranei, 1. Le coste sabbiose. Roma, C.N.R., pp. 51-102.

Greco F. (a cura di) (2021). *Il Monitoraggio e la Gestione dei Rischi Costieri. Risultati Preliminari Progetto Interreg V-A Italia-Malta "Gli interventi di pianificazione regionale per la gestione del rischio idrogeologico e di erosione costiera"*. Palermo, Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia, Presidenza della Regione Siciliana.

Guarino R., Cerra D., Zaia R., Chiarucci A., Lo Cascio P., Rocchini D., Zannini P., Pasta S. (2024). *Remote sensing reveals fire-driven facilitation of a C4 rhizomatous alien grass on a small Mediterranean volcanic island*. BioGeosciences, 21(11): 2717-2730.

Guarino R., Chytrý M., Attorre F., Landucci F., Marcenò, Cor. (2021). *Alien plant invasions in Mediterranean habitats: an assessment for Sicily*. Biological Invasions, 23(10): 3091-3107.

Guarino R., Guglielmo A. (a cura di) (2010). *Il litorale di Manfria (Gela): natura e storia da proteggere*. Dipartimento di Botanica dell'Università degli Studi Catania, 127 pp.

Guarino R., Guglielmo A., Ronsisvalle F., Sciandrello S. (2007). *Il progetto ECONET-COHAST: strategie per la conservazione degli habitat costieri di Torre Manfria (Sicilia merid.)*. Fitosociologia, 44(2, suppl. 1): 333-337.

Guarino R., Minissale P., Sciandrello S. (2008). *Analisi della biodiversità vegetale e relativa cartografia del pSIC "Torre Manfria" (Sicilia meridionale)*. Quad. Bot. Ambientale appl., 19: 37-66.

Guarino R., Pasta S. (eds.) (2017). *Botanical Excursions in Central and Western Sicily. Field Guide for the 60th IAVS Symposium* (Palermo, 20-24 June 2017). Palermo, Palermo University Press, 606 pp.

Gurgone S., Granata S., Bontempo E., Interlandi M. (a cura di) (2024). *Dossier Erosione costiera in Sicilia. Tra danni, sfide e soluzioni*. Legambiente Sicilia, 38 pp.

Gussone G. (1845). *Florae Siculae Synopsis exhibens plantas vasculares in Sicilia insulisque adjacentibus hucusque detectas secundum systema Linneanum dispositas*. Neapoli, Typ. Tramater, Vol. 2(2): pp. 775-920.

Hallermeier R.J. (1981). *A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate*. Coastal Engineering, 4: 253-277.

Ientile R. (2011). *Stato di conservazione e fattori limitanti per la diffusione del Fratino* (Charadrius alexandrinus) *in Sicilia*. In: Biondi M., Pietrelli L. (a cura di), Atti del Convegno Nazionale "Il Fratino: status, biologia e conservazione di una specie minacciata" (Bracciano, RM, 18 Settembre 2010). Latina, Edizioni Belvedere, Collana Le Scienze n° 13, pp. 61-66.

Ilardi V., Bazan G. (2007). *Aspetti residuali di vegetazione psammofila nel litorale tirrenico del Palermitano*. In: F.M. Raimondo, G. Venturella (a cura di), Riassunti: Relazioni - Comunicazioni - Poster del 102° Congr. Naz. Soc. Bot. Ital. (Palermo, 26-29 settembre 2007), Collana "Sicilia Foreste", 34: 408.

La Greca M. (2002). *Gli ambienti delle coste marine*. In: A. Minelli, C. Chemini, A. Argano, S. La Posta, A. Ruffo (a cura di), "La Fauna in Italia". Touring Club Italiano, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e Centro di Ecologia Alpina.

La Mantia T. (2011). *I rimboschimenti delle dune*. In: Ientile R., Rühl J., La Mantia T., Massa B. (a cura di), "I cambiamenti nell'ecosistema della Riserva Naturale di Vendicari e gli effetti sull'avifauna". Palermo, Edizioni Danaus, pp. 97-109.

La Mantia T., La Mantia A., da Silveira Bueno R.

(2022). *Nuovi dati sull'espansione del granchio fantasma* Ocypode cursor *(Malacostraca Decapoda Ocypodidae) in Sicilia*. Naturalista sicil., ser. 4, 46(2): 153-158.

La Mantia T., Messana G., Billeci V., Dimarca A., Del Signore B., Leanza M., Livreri Console S., Maraventano G., Nicolini G., Prazzi E., Quatrini P., Sanguedolce F., Sorrentino G., Pasta S. (2012). *Combining bioengineering and plant conservation on a Mediterranean islet*. iForest, 2012 (5): 296-305.

La Mantia T., Pasta S., Troia A. (2023). *Il declino degli ambienti umidi in Sicilia: primo elenco delle zone scomparse*. Naturalista sicil., ser. 4, 46(2) [2022]: 159-202.

La Mantia T., Rizzo S., da Silveira Bueno R. (2024). *Possibilità di reintroduzione delle specie di Picchi estinti in Sicilia*. In: Atti del Conv. 'Rewilding in Sicilia, reintroduzioni e ripopolamenti: status, problematiche, prospettive'. Palermo, Danaus ed., pp. 25-33.

La Rocca, S. & Anastase, A. (2002). *Contributo alla conoscenza della micoflora delle dune costiere della Sicilia: i macromiceti di contrada "Le Macchie" (Balestrate, Palermo)*. Quad. Bot. ambientale appl., 12 [2001]: 3-12.

La Rosa A., Compagno R., Saitta A., Gargano M.L., Alaimo M., Sammarco I., Venturella G. (2012). *Contribution to the knowledge of fungal diversity in the archeological park of Selinunte (S.-W. Sicily)*. Atti XIX Convegno Nazionale di Micologia (Gubbio, PG, 11-12 ottobre 2012): 33.

La Rosa A., Gianguzzi L., Ottonello D. (2007). *Primi dati sulla flora vascolare del SIC "Sistema dunale Capo Granitola, Porto Palo e Foce del Belice" (Sicilia sud-occidentale)*. In: F.M. Raimondo, G. Venturella (a cura di), Riassunti: Relazioni - Comunicazioni - Poster del 102° Congr. Naz. Soc. Bot. Ital. (Palermo, 26-29 settembre 2007), Collana "Sicilia Foreste", 34: 302.

Lantieri A., Gargano M.L., Venturella G. (2009). *The sabulicolous fungi from Sicily (southern Italy): Additions and critical review*. Mycotaxon, 110: 151-154.

Lapiana F., Sparacio I. (2008). *Lo studio degli insetti nella valutazione della naturalità degli ambienti dunali costieri in Sicilia: Coleoptera e Orthoptera*. Naturalista sicil., ser. 4, 32(3-4): 411-434.

Lapiana F., Sparacio I. (2010). *Le dune e gli ambienti umidi costieri della Sicilia tra passato, presente e futuro*. Palermo, Le guide del Brigantino n° 2, Il Brigantino, 279 pp.

Lazzaro L., Bolpagni R., Buffa G., Gentili R., Lonati M., Stinca A., Acosta Rosario A.T., Adorni M., Aleffi M., Allegrezza M., Angiolini C., Assini S., Bagella S., Bonari G., Bovio M., Bracco F., Brundu G., Caccianiga M., Carnevali L., Di Cecco V., Ceschin S., Ciaschetti G., Cogoni A., Foggi B., Frattaroli A.R., Genovesi P., Gigante D., Lucchese F., Mainetti A., Mariotti M., Minissale P., Paura B., Pellizzari M., Perrino E.V., Pirone G., Poggio L., Poldini L., Poponessi S., Prisco I., Prosser F., Puglisi M., Rosati L., Selvaggi A., Sottovia L., Spampinato G., Stanisci A., Venanzoni R., Viciani D., Vidali M., Villani M., Lastrucci L. (2020). *Impact of invasive alien plants on native plant communities and Natura 2000 habitats: State of the art, gap analysis and perspectives in Italy*. J. Environ. Manag., 274: 111140.

Leonardi S., Maugeri G., Poli E. (1976). *La macchia mediterranea sulle dune costiere della Sicilia meridionale*. Arch. Bot. Biogeogr. Ital. 52, ser. 5, 20(3): 153-158.

Licandro G., Marino P., Raimondo F.M. (2011). *Flora e vegetazione della Riserva Naturale Orientata "Laghetti di Marinello" (Sicilia nord-orientale)*. Inform. Bot. Ital., 43(2): 333-351.

Lo Cascio P. (2012). *Il pantano dell'Istmo di Vulcano (Isole Eolie): dati storici e avifaunistici su un ecosistema umido costiero circumsiciliano*. Naturalista sicil., ser. 4, 36(1): 55-76.

Lo Valvo M., Massa B., Sarà M. (eds.) (1993). *Uccelli e paesaggio in Sicilia alle soglie del terzo millennio*. Naturalista sicil., ser. 4, 17(suppl.): 1-371.

Longhitano N., Fagotto F., Cirino E. (1992). *Valori naturalistici nalla fascia costiera della provincia di Siracusa. Conservazione, gestione e restauro ambientale*. Boll. Accad. Gioenia Sci. nat., ser. 4, 24 (337) [1991]: 5-19.

Malavasi M., Santoro R., Cutini M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. (2014). *The impact of human pressure on landscape patterns and plant species richness in Mediterranean coastal dunes*. Plant Biosyst., 29: 1541-1550.

Mancuso B., Schipani R. (1955). *Ricerche sulle vie di migrazione delle piante delle spiagge dello Stretto di Messina*. Atti Soc. Pelor. Sci. Fis. Mat. Nat., n. s., 1(1): 65-82.

Mancuso B., Schipani R. (1958). *Osservazioni preliminari sulla flora e vegetazione psammofila sullo Stretto di Messina*. Boll. Accad. Gioenia Sci. nat., ser. 4, 4(5): 231-262.

Mancuso M., Genovese G., Porcino N., Natale S., Crisafulli A., Spagnuolo D., Catalfamo M., Morabito M., Bottari T. (2023). *Psammophytes as traps for beach litter in the Strait of Messina (Mediterranean Sea)*. Regional Studies in Marine Science, 65: 103057.

Marcenò Cor., Guarino R., Lloidi J., Herrera M., Isermann M., Knollová I., Tichý L., Tzonev R.T., Acosta A.T.R., Fitzpatrick Ú., Iakushenko D., Janssen J.A.M., Jiménez-Alfaro B., Kącki Z., Keizer-Sedláková I., Kolomiychuk V., Rodwell J.S., Schaminée J.H.J., Šilc U., Chytrý M. (2018). *Classification of European and Mediterranean coastal dune vegetation*. Appl. Veg. Sci., 21(3): 533-559.

Marcenò Cor., Romano S. (2010). *La vegetazione psammofila della Sicilia settentrionale*. Inform. Bot. Ital., 42(1): 91-98.

Massa B. (2023). Le dune, un ambiente in via d'estinzione. Natura e Società, 2023 (4): 11-13.

Massa B., Rovelli V., Zapparoli M., Bologna M.A.

(2016). *Brachytrupes megacephalus* (Lefèbvre, 1827) (Grillo testone). In: Stoch F., Genovesi P. (a cura di), Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: specie animali. ISPRA, Serie Manuali e Linee Guida,141/2016.

Mattei G.E. (1911). *La flora delle arene marittime in rapporto al rinsaldamento e rimboschimento delle dune*. Boll. Reale Torto bot. Giard. Colon. Palermo, 10: 193-198.

Menicagli V., Balestri E., Bernardini G., Barsotti F., Fulignati S., Galletti A.M.R., Lardicci C. (2024). *Beach-cast seagrass wrack: A natural marine resource improving the establishment of dune plant communities under a changing climate*. Marine Pollution Bulletin, 201: 116270.

Minissale P., Sciandrello S. (2010). *Flora e vegetazione terrestre della Riserva naturale di Vendicari (Sicilia sud-orientale)*. In: A. Petralia (a cura di), Atti del convegno "L'area protetta di Vendicari" (Case Cittadella, Vendicari, SR, 25-26 ottobre 2008): 131-194, Noto, Ente Fauna Siciliana.

Minissale P., Sciandrello S. (2013a). *A relict wood of* Juniperus turbinata *Guss. (Cupressaceae) in Sicily. Ecological features and conservation perspectives.* Plant Biosyst., 147 (1): 145-157.

Minissale P., Sciandrello S. (2013b). *Annual dune plant communities in Sicily: new insights through the statistical approach*. Proc. 2nd FIP International Conference (Rome, 11-13 April 2013): 19-20.

Minissale P., Sciandrello S. (2015). *The sabulicolous therophytic associations in Sicily: new insights through the statistical approach stressing on the continuum versus discrete model of plant communities*. Acta Botanica Gallica, 162(1): 55-78.

Minissale P., Sciandrello S., Scuderi L., Spampinato G. (2010). *Gli ambienti costieri della Sicilia meridionale*. Escursione della Società Italiana di Scienze della Vegetazione (14-18 aprile 2010), Guida Itinerario. Collana "Ambienti e Paesaggi" 1, Bonanno Editore, 74 pp.

Molinier Ren., Molinier Rob. (1955a). *Observations sur la végétation littorale de l'Italie occidentale et de la Sicile*. Arch. Bot. Biogeogr. Ital., 31, ser. 3, 15(1): 1-35.

Motta L., Motta M. (2007). *Rischio geomorfologico indotto da elevato carico turistico: il caso della Spiaggia dei Conigli (Isola di Lampedusa)*. In: Picazzo M. (a cura di), *Clima e rischio geomorfologico in aree turistiche*. Quarto inferiore (BO), Patron, pp. 181-205.

Muscarella C., Costa S., Paolo Faraone F.P., Mascarello G., Salemi A., Sechi D., Giacalone G. 2024). Isidus moreli *Mulsant et Rey, 1874 in Sicily (Elateridae Pomachiliini): regional distribution and threat factors*. Biodiversity Journal, 15(2): 399-405.

Muscarella C., Luiselli L., Di Vittorio M., Sparacio I., Amori G., Dendi D. (2022). *Factors associated with occurrence, potential distribution and conservation of* Polyphylla ragusae*, an endemic Scarabaeidae (Melolonthinae) from Sicily*. J. Insect Conserv., 26: 619-626.

Muscarella C., Luiselli L., Di Vittorio M., Sparacio I., Dendi D. (2022). *Factors associated with the occurrence, potential distribution and conservation of* Anoxia orientalis *(Coleoptera, Scarabaeidae) at different spatial scales*. Diversity, 14(5): 397.

Napoli M. (1996). *Contributo alla conoscenza di macromiceti della Sicilia rinvenuti su terreni sabbiosi*. Micol. Veg. Medit., 11(1): 75-80.

Nicolini G., Chesi P., Piovano S., Giacoma C. (2006). *Turismo di massa e nidificazione di* Caretta caretta *nelle Isole Pelagie: proposte di gestione per la conservazione*. In: Zuffi A.L. (a cura di), Atti del V Congresso Nazionale Societas Herpetologica Italica, pp. 173-180.

Onori L., Battisti C., Boccalaro F. (a cura di) (2013). *SOS Dune: stato, problemi, interventi, gestione*. Attivi Convegno ISPRA (Roma, 23 ottobre 2009), 30 pp.

Palumbo A. (1889-1896). *Notizie di Zoologia e Botanica sulla plaga selinuntina*. Naturalista sicil., 8: 270-274; 9: 19-24, 49-52, 166-170, 191-198, 262-266; 10: 104-108; 11: 97-106; 13: 249-252; 14: 25-26; n. ser., 1: 124-131.

Pasta S., Clementi G., Genchi M., Crisafulli A., Di Dio V., Scuderi L., Traina G., La Mantia T. (2023). *Distribuzione storica e attuale delle specie del genere* Juniperus *in Sicilia*. Naturalista sicil., ser. 4, 46(2) [2022]: 1-48.

Pasta S., La Mantia T. (2013). *Plant species richness, biogeographic and conservation interest of the vascular flora of the satellite islands of Sicily: patterns, driving forces and threats*. In: E. Cardona Pons, I. Estaún Clarisó, M. Comas Casademont, P. Fraga i Arguimbau (eds.), *Proceedings and abstracts of the 2nd Botanical Conference in Menorca "Islands and plants: preservation and understanding of flora on Mediterranean Islands* (Es Mercadal, 26-30 april 2011), Maó, Institut Menorquí d'Estudis, Consell Insular de Menorca, pp. 201-240.

Pasta S., Marcenò C., Garfì G., Carimi F. (2017). *Human disturbance, habitat degradation and niche shift: the case of the endemic* Calendula maritima *Guss. (W Sicily, Italy)*. Rendiconti dell'Accademia dei Lincei, Classe Scienze Fisiche e Naturali, 28(2): 415-424.

Piccioli L. (1915). *Selvicoltura*. Nuova Enciclopedia Agraria Italiana. Torino, Unione Tipografica Editrice Torinese (.U.T.E.T.), 672 pp.

Pignatti S. (1952). *La vegetazione delle spiagge della costa settentrionale siciliana*. Nuovo Giorn. Bot. Ital., n. s., 58(3-4) [1951]: 581-583.

Pincitore Marott G. (1879). *Di un insetto del genere Locusta che danneggia le viti nel territorio di Terrasini*. Giornale ed Atti del Comizio agrario di Palermo, 34: 162-164.

Pirola A. (1960a). *Aspetti della vegetazione delle dune del litorale catanese (Sicilia orientale)*. Boll. Ist. Bot. Univ. Catania, ser. 2, 3 [1959]: 35-64.

Pirola A. (1960b). *Contributo alla conoscenza della vegetazione dell'isola di Capo Passero (Sicilia Sud-orientale)*. Boll. Ist. Bot. Univ. Catania, ser. 2, 3 [1959]: 65-75.

Pisciotta S. (2005). *Importanza naturalistica della Riserva Naturale Orientata "Foce del Fiume Belice e Dune Limitrofe" con particolare riferimento alla Coleotterofauna*. Tesi da laurea in Scienze Naturali, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Università degli Studi di Palermo, AA 2004-2005.

Ponzo A. (1905). *La flora psammofila del litorale di Trapani*. Naturalista sicil., n. s., 12(7-8): 173-177; 12(9): 201-208; 12(10): 230-237.

Pratesi F., Tassi F. (1974). *Guida alla natura della Sicilia*. Verona, A. Mondadori Editore, 296 pp.

Prazzi E., Nicolini G., Piovano S., Giacoma C. (2010). *Protezione di* Caretta caretta *(Reptilia Chelonia) nella Riserva Naturale di Lampedusa*. Naturalista Sicil., ser. 4, 34: 265-294.

Ragusa E. (1874). *Calendario coleotterologico per Palermo e dintorni*. Bull. Soc. ent. it., 6: 302-312.

Raimondo F.M., Castiglia G., Schicchi R. (1991). *La macchia insediata sulle rovine dell'antica città di Selinunte (Trapani)*. Giorn. Bot. Ital., 125(3): 413.

Raimondo F.M., Rossitto M. (1978). *La vegetazione della laguna e dell'arenile di Oliveri-Tindari (Messina) e problemi relativi alla sua tutela*. Giorn. Bot. Ital., 112(4): 309-310.

Riggio S., Massa B. (1974). *Problemi di conservazione della natura in Sicilia*, 1° contributo. Dati preliminari per un'analisi della degradazione ambientale ed elenco delle aree dell'isola di maggiore interesse naturalistico. Atti del IV Simposio Nazionale sulla Conservazione della Natura (Bari, 23-28 Aprile 1974), vol. II: 299-425.

Riguccio L., Falanga C., Tomaselli G., Failla A. (2009). *La riqualificazione paesaggistica del territorio agro-urbano-costiero ragusano nel contesto della desertificazione*, IX Convegno Nazionale AIIA (Associazione Italiana di Ingegneria Agraria) (Ischia Porto, 12-16 settembre 2009), memoria n. 468.

Romano M., Sparacio I., Massa B. (2008). *Gli Insetti delle saline di Trapani*. In: Troia A. (a cura di) "Guida Naturalistica alle Saline di Trapani e Paceco", Edizioni Fotograf, Palermo, pp. 129-137.

Ronsisvalle G.A. (1995). *Gli ambienti costieri sabbiosi siciliani*. Boll. Accad. Gioenia Sci. nat., ser. 4, 26 (344) [1993]: 125-146.

Russo P., Carullo L., Tomaselli G. (2009). *Analisi del paesaggio rurale delle aree "Natura 2000" di Gela per la comprensione delle dinamiche storiche di trasformazione*. IX Convegno Nazionale AIIA (Associazione Italiana di Ingegneria Agraria) (Ischia Porto, 12-16 settembre 2009), memoria n. 184.

Sabella G., Sparacio I. (2004). *Il ruolo dei Parchi siciliani nella conservazione dei taxa di insetti di particolare interesse naturalistico (Insecta Coleoptera et Lepidoptera Rhopalocera)*. Naturalista sicil., ser. 4, 28(1): 477-508

Scalia C. (1982). *La vegetazione delle dune costiere italiane*. In: "Struttura delle zoocenosi terrestri. 3. Ambienti mediterranei I. Le coste sabbiose". C.N.R., Roma, Collana Progr. Finalizzato "Promozione Qualità dell'Ambiente", AQ/1/172: 9-25.

Sciandrello S., Tomaselli G., Minissale P. (2015). *The role of natural vegetation in the analysis of the spatio-temporal changes of coastal dune system: a case study in Sicily*. J. Coastal Conservation, 19: 199-212.

Scifo A.D. (2024). *Se Colapesce si stancasse*. Palermo, Navarra Editore, 122 pp.

Senni L. (1928). *Le dune della Sicilia*. L'Alpe, 15(10): 341-352.

Senni L. (1930). *Sistemazioni idraulico-forestali e rimboschimenti eseguiti nel 1927-28 nella Sicilia orientale*. L'Alpe, 17(5): 193-204.

Senni L. (1934). *Consolidamento delle dune e frangiventi*. Nuovi Annali Agric., 14: 81-132.

Senni L. (1950). *Consolidamento delle dune e frangivento*. Monti e Boschi, 10-11: 492-499.

Sortino M. (1968). *Flora e vegetazione terrestre e marina dei litorale di Palma di Montechiaro (AG)*. Lav. Ist. Bot. Giardino colon. Palermo, 23 [1967]: 195-304.

Sortino M., Di Martino A. (1974). *La flora del litorale di Licata (AG)*. Lav. Ist. Bot. Giardino colon. Palermo, 25: 39-70.

Sortino M., Giaccone G. (1970). *Flora e vegetazione della fascia costiera del Golfo di Castellamare (TP)*. Lav. Ist. Bot. Giard. colon. Palermo, 24: 62-108.

Sortino M., Marcenò Cos. (1974). *La vegetazione del litorale di Licata (Sicilia meridionale)*. Boll. Stud. Inform. Reale Giardino colon. Palermo, 26: 111-115.

Sparacio I., Muscarella C., Falci A., Surdo S. (2024). *Tiger beetles of Sicily (Coleoptera Cicindelidae)*. Biodiversity Journal, 14: 791-849.

Surdo S., Matteucci P. (2016). *Indagine comparativa sulla popolazione nidificante di Fratino* Charadrius alexandrinus *(Aves Charadriiformes) nelle saline della Provincia di Trapani*. Naturalista sicil., ser. 4, 40: 289-299.

Troia A., Spallino R.E. (2009). *Conferma della presenza nella Sicilia occidentale di* Retama raetam *(Forssk.) Webb subsp.* gussonei *(Webb) W. Greuter (Fabaceae Cytiseae), specie a rischio della flora italiana*. Naturalista sicil., ser. 4, 33(3-4): 305-314.

Turrisi R.E. (2007). *Importanza della conservazione in situ delle popolazioni di* Ipomoea imperati *(Vahl) Grised. (Convolvulaceae) della Sicilia*. Boll. Accad. Gioenia Sci. nat., 40 (368): 141-148.

Vecchio A., Anzidei M., Serpelloni E. (2024). *Sea level rise projections up to 2150 in the northern Mediterranean coasts*. Environ. Res. Letters, 19(1): 014050.

Venturella G., Contu M. (2002). *Contribution to the knowledge of sand dunes mycological flora from Sicily (South Italy)*. Doc. Mycol., 31 (123): 51-55.

Viande É., Ambu J., Mahé P., Hoffmann R. (2019). *Évolution de l'abondance et de la richesse des arthropodes des banquettes de posidonie (Sicile, Île de Marettimo)*. Compte-rendu de l'école de terrain Master Recherche 2ème année BIOEFFECT (UE - Ecologie globale) (Sicile, Ile de Marettimo, 28 octobre-4 novembre 2019), Aix-Marseille Université, 21 pp.

Voce B. (1941). *Il rimboschimento delle dune di Gela*. Riv. For. Ital., 8: 335-344.

# Governance degli ambienti di duna costiera

## Governance of coastal dune environment

Fabio Vallarola
Architetto - Direttore di Aree naturali protette

*E-mail*: fabiovallarola@gmail.com

**Parole chiave**: Linea costa, Erosione, Ecosistema dunale
**Key words**: Coastline, Dunes habitat, Marine Strategy Framework Directive, Barcelona Convention, Integrated Coastal Zone Management, ICZM; Marine Spatial Planning

## PARTE I - L'ITALIA IN UN QUADRO INTERNAZIONALE: MANCA UNA CULTURA DEL MARE

### Santi, poeti e navigatori

Qualcuno parla degli italiani come un popolo di santi, poeti e navigatori.

Ed è proprio questo lo spirito con cui gli italiani affrontano il tema del mare!

Santi. Perché un popolo particolarmente legato ad una visione religiosa del mondo in cui la cultura si è stratificata nei secoli con l'idea che l'uomo è il centro dell'universo e la natura al suo servizio. L'essere umano come motivo di esistenza dello stesso pianeta; l'essere umano creato da un Dio che motiva la creazione del mondo perché è utile, indispensabile per il proprio benessere. Uomo inteso come essere unico non modificabile, non soggetto al divenire degli eventi, superiore alle altre specie, capace di miracoli, Santo. Siamo nel noto dibattito storico del rifiuto delle teorie evoluzioniste Darwiniane da parte del nostro credo religioso. Tema ancora oggi difficile da superare.

Poeti. Perché guardiamo alla natura con una visione legata al paesaggio alla bellezza dei luoghi e al fascino romantico che questa esercita su di noi. Una percezione dell'ambiente di tipo pittorico e inevitabilmente un pò superficiale che, anche qui con l'uomo al centro, soddisfa il nostro benessere in termini percettivi. Siamo fortemente spinti per la nostra cultura di italiani, a guardare o immaginare "l'ermo colle" dell'Infinito di Giacomo Leopardi o le "sacre sponde" a Zacinto di Ugo Foscolo, come luoghi importanti per il fascino che esercitano su di noi con i racconti meravigliosi scritti dai nostri poeti. Racconti pregni di romanticismo e ricchi di rimandi storici. Paesaggi resi importanti da riferimenti antropocentrici e mai per i loro immensi contenuti naturalistici. Qualunque italiano sa che Zante è un'isola del Mediterraneo non lontana dalle coste italiane, pochi, invece, sanno che si tratta di un'isola greca che in realtà si chiama Zakynthos. Quasi nessuno sa che si tratta di uno dei più bei parchi nazionali greci con all'intorno una delle più importanti aree marine protette del mondo: perché uno dei pochi luoghi dove si riproducono sia le Tartarughe marine, con tutte le tre specie presenti nel Mediterraneo, che le Foche monache, uno dei mammiferi marini più rari sul pianeta.

Navigatori. Lo siamo stati e lo saremo in futuro, validi navigatori, come lo siamo oggi persino nelle competizioni internazionali. Un paese come l'Italia, penisola nel bel mezzo del Mediterraneo, non poteva non avere una cultura legata al mare. Una cultura, però, legata sempre e solo all'uso che ne facciamo: per spostamenti, trasporti, divertimento e sport. Il mare è un orizzonte blu, per quello che vediamo dalla costa o da una imbarcazione. Una superficie

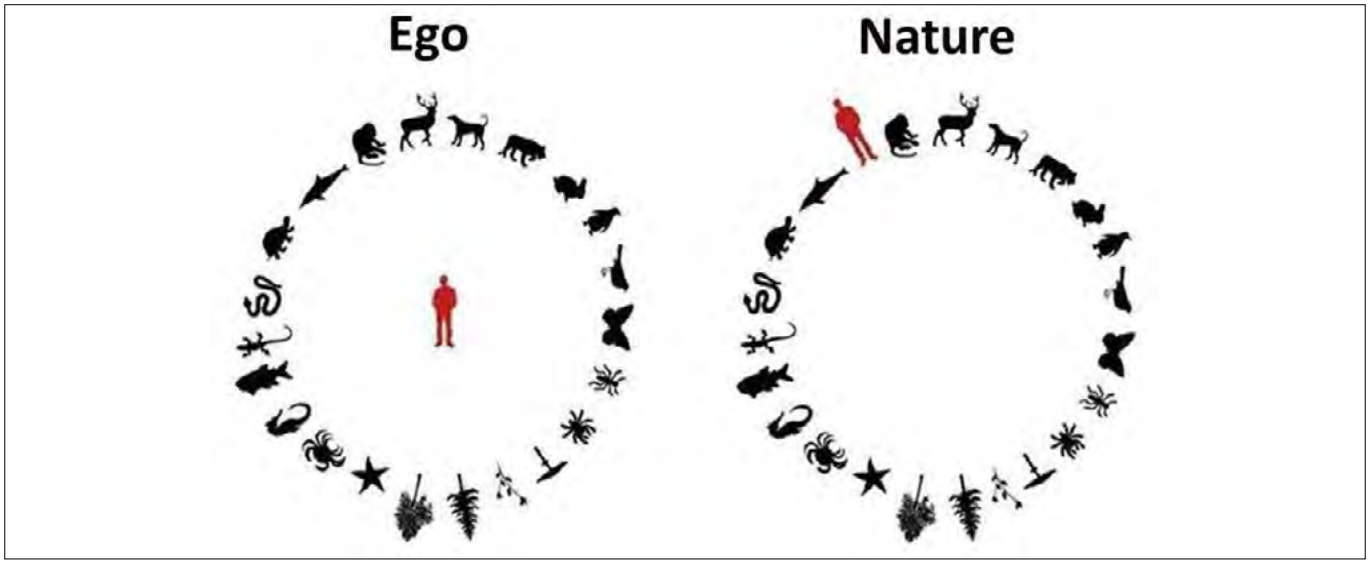



Figura 1. Ego-Nature (Africa Centre For Holistic Management).

per quell'elemento esterno che si mostra facilmente a chi lo osserva. Mai, se non raramente, per i suoi straordinari contenuti.

Navigatori lo erano gli antichi romani, perché all'interno del proprio impero ricompresero anche le popolazioni che ben conoscevano l'arte marinara. Lo erano i tanti Stati, Principati e Repubbliche, in particolare quelle marinare, di cui è stata buon ospite la penisola nella sua lunga storia prima dell'unità d'Italia. Lo è stato Cristoforo Colombo come Magellano o Vespucci, lo erano i Costa e i Doria, i Colonna, i Medici, i Quirini, o i tanti altri che si unirono per affrontare a Lepanto la flotta degli ostili infedeli. Lo sono stati i corpi della marina dell'Italia unita, prima in un Regno oggi in una Repubblica, in tempi di pace e di guerra. Lo sono ancora oggi gli esploratori e sportivi i cui nomi balzano talvolta agli onori delle cronache rendendoci orgogliosi.

Navigatori ed esploratori comandanti e timonieri, esperti dell'andar per mare e conoscitori del come affrontare il mare ma ... non del mare, non conoscitori dei suoi contenuti.

Santi e poeti, quindi, e navigatori ... solo e soltanto navigatori.

**Cultura del Mare**

In Italia si approccia al tema del mare, delle isole, delle coste e delle spiagge in particolare, in maniera superfciale. Non è il contenuto che interessa, non ci affascina conoscere meglio questi ambienti. Non siamo mai stati interessati alla terza dimensione dell'ambiente marino, ciò che avviene nella colonna d'acqua, ciò che avviene sui fondali e la vita che brulica sopra e dentro le ignote e buie profondità marine.

Nei millenni in cui si è formata la cultura del popolo italiano, la passione per i contenuti dell'ambiente marino è rimasta sempre limitata ai numeri ridotti di coloro che, tra esperti e studiosi, erano portati ad approfondire l'argomento. Anche nell'ultimo secolo, quando abbiamo avuto tutti gli strumenti utili per approfondire le consocenze sul mare, abbordabili da chiunque per l'enorme diffusione che hanno avuto gli attrezzi per le immersioni, gli italiani si sono avvicinati alle discipline subacquee per amore dello sport e dell'avventura, assai meno con la sete di conoscenza che ha contraddistinto altri paesi.

Tanti sono stati i popoli di navigatori come lo sono stati gli italiani, ma la volontà di fare ricerca sui contenuti è sempre stata una caratteristica che ha accompagnato maggiormente i nord europei. Le spedizioni scientifiche inglesi sui velieri del 1700, le esplorazioni colonialiste del 1800, fino ai documentari TV francesi del 1900 di Jeaques-Yves Cousteau, hanno sempre avuto una volontà di capire e comprendere gli ambienti marini a cui gli italiani non si sono mai appassionati.

Parte importate dell'ambiente marino è la linea di costa, con le sue lagune e falesie e, soprattutto, le sue spiagge con formazioni dunali. Come per il resto del pianeta coperto di acqua, questi ambienti estremi misti, tra il mare e la terra ma che non sono spazi produttivi nè navigabili, non ospitali per la vita dell'uomo, non catturano l'interesse di noi italiani. Il popolo italiano, la grande massa della popolazione, quella che svolge una vita ordinaria, ha difficoltà a comprendere i valori naturalistici da rispettare e salvaguardare in questi spazi di "confine".

Una mancanza di conoscenza sulla delicatezza di tali ambienti, da parte della maggioranza dei cittadini, non può che tradursi, in poca attenzione da parte dei decisori politici e delle strutture di gestione e sorveglianza ai temi della tutela del mare e della costa.

La conoscenza di tutti noi degli ambienti terrestri è radicata in secoli di studi approfonditi tradotti in esperienze e memoria storica, mentre la conoscenza degli ambienti marini solo nell'epoca moderna sta divenendo oggetto di approfonditi studi e non abbiamo ancora stratificato nella cultura diffusa una memoria dei luoghi.

**Sensibilità ambientale**

Con le dovute eccezioni, questo deficit culturale, questo approccio superficiale alla materia del mare e delle coste, fa sì che i decisori politici non sentano sulle proprie spalle la responsabilità di legiferare e organizzare per bene questo patrimonio liquido e sabbioso o, perlomeno, mai in maniera tale che le peculiarità naturalistiche vengano poste nel pubblico interesse con la giusta attenzione.

Al crescere repentino, negli ultimi anni, della sensibilità ambientale della collettività mondiale ed europea sul tema del mare e degli oceani, l'Italia sembra rimanere indietro. Nel panorama internazionale quel 70% di superficie blu che ricopre il pianeta è diventato il tema centrale di dibattito globale che riguarda il futuro di tutti noi. Nel mondo e in Europa qualunque programmazione di lungo periodo considera il mare al centro. La tutela dei mari e degli oceani è la nuova emergenza planetaria. In Italia questa attenzione si percepisce a malapena nei soli settori specialistici dell'argomento e nonostante l'ambiente marino e delle coste sia oggi all'attenzione del mondo, come luogo di nuovo interesse, l'area di transizione, quella fascia di mare e terra dove complessi equilibri dinamici creano concentrazioni importanti di biodiversità, non sono affatto ancora sufficientemente compresi per la loro importanza.

La più evidente conseguenza di questo radicato e diffuso disinteresse, è la pessima gestione che si registra oggi per gli ambienti costieri. C'è una situazione a dir poco disordinata, mal gestita, poco considerata e, inevitabilmente, incontrollata.

Basta guardare cosa sta avvenendo nella triste vicenda, da tempo balzata agli onori delle cronache, dell'applicazione della direttiva Bolkenstein, per rendersi conto che esiste un disinteresse diffuso e che il tema è assai poco conosciuto dagli amministratori ad ogni livello. Non esiste altro settore della normativa italiana lasciato per circa due decenni in questo stato di indeterminatezza, di fatto consapevoli, ad ogni livello amministrativo dello Stato, fino agli Enti Locali, di non sapere bene come affrontare il tema. Tutt'ora, dopo 20 anni di indeterminatezza, è proprio quel ritardo culturale sui temi del mare, di cui si diceva sopra, che non ha consentito in Italia di superare e risolvere questo problema,

come anche tanti altri che affliggono la gestione del mare e delle coste.

Questo ben noto esempio consente di capire come, ad una crescita della sensibilità collettiva a livello globale, in particolare nel panorama europeo, verso gli ambienti legati al mare, da considerarsi patrimonio collettivo, bene naturale limitato ed esuribile, non è corrisposta altrettanta attenzione in Italia.

Nella stessa situazione ci si trova, altro esempio, quando si tratta di affrontare lungo le coste della penisola il tema dell'erosione, sia in termini fisici dell'arretramento della linea di costa, così come in termini naturalistici della diminuzione della naturalità dei luoghi. I temi della geologia, geomorgologia, ingegneria, idrodinamica marina, sono di fatto strettamente collegati a quelli naturalistici di tutela della biodiversità e corretta gestione delle aree dunali. Una linea di costa lasciata alla sua naturalità in termini biologici e non irrigidita artificialmente trova facilmente quegli equilibri necessari per rimanere dinamicamente stabile riuscendo a mantenere quelle caratteristiche di resilienza tali da riuscire a difendersi anche dagli eventi estremi.

Questo inscindibile binomio, che sarebbe evidente lungo la costa, in pochi lo comprendono, a dire il vero a volte anche tra gli esperti. La stragrande maggioranza della popolazione neanche lo sospetta. Esattamente come non si comprende la ricchezza del mare nella sua terza dimensione, confondendo i due terzi del pianeta, il suo contenuto di acqua ricco di vita, energia e servizi ecosistemici, con un semplice vasto spazio riempito da un liquido inanimato da sfruttare fino ad esaurimento della risorsa, analogamente, si guarda alle coste come il semplice termine del territorio in cui viviamo, il luogo dove finisce la vita. Guardiamo alla fascia costiera, fino agli arenili, come a luoghi privi di vita, lineari, spesso piatti e, quindi, facilmente utilizzabili per mille usi, da sfruttare come fossero inesauribili. Così, in maniera forte e crescente, abbiamo negli anni occupato la costa, estratto risorse, distrutto ecosistemi, costruito infrastrutture e riempito ogni piccolo spazio disponibile con la nostra invadente presenza. Usi portuali, di vita urbana e soprattutto turistici, hanno invaso quasi tutte le coste basse della penisola, le nostre spiagge.

## Problemi delle coste

La superficie terrestre complessiva dell'Italia ammonta a oltre 300.000 Kmq mentre la superficie complessiva delle acque territoriali italiane è di circa 155.000 Kmq, la metà. Sulla terraferma abbiamo aree protette per il 21,68% del territorio, mentre l'ambiente marino vede una protezione del solo 11,62% del mare territoriale[1]. E di questi sono effettivamente gestiti, all'interno di Aree marine protette, superfici irrisorie. Siamo forse a meno dell'1% dei mari italiani sottoposti a misure di tutela efficaci e appena lo 0,04% rientra nel computo delle aree in cui è vietata qualsiasi tipo di attività, inclusa la pesca[2].

La linea di costa italiana si estende per 7.500 chilometri lineari (3.700 km di coste continentali e 3.800 km di coste insulari di cui 1.500 della Sicilia e 1.800 della Sardegna).

Circa il 70% delle coste basse è costituito da spiagge sabbiose o ghiaiose, per una lunghezza complessiva di 3.300 Km e una superficie territoriale di circa 120 chilometri quadrati, superficie irrisoria rispetto ai numeri della superficie a terra e quella delle acque territoriali. Eppure, per quanto esile, in quella linea si concentra una biodiversità sorprendente, sostanzialmente sconosciuta e lasciata ad una situazione di *governance* non chiara. Di circa 3.300 Km di coste basse, ben oltre la metà è interamente urbanizzato e sono registrate 12.166 concessioni ufficiali: praticamente in me-



1. Terraferma Kmq 300.000 2. Mare territoriale Kmq 155.000 3. Costa Bassa Kmq 120

Figura 2. Superfici nazionali (ISPRA).

1 "*La copertura nazionale di superficie protetta, al netto delle sovrapposizioni tra aree protette e siti Natura2000, ad oggi* è di circa 4.068.476 *ettari a mare, pari all'11,62% delle acque territoriali e ZPE (Zona di Protezione Ecologica) italiane, e di circa 6.532.341 a terra, pari al 21,68% del territorio italiano. L'estensione delle aree di sovrapposizione, ovvero di quelle aree che rientrano sia in un'area protetta sia in un sito Natura2000, è aumentata nel tempo arrivando, nel 2023, a 862.631 ettari a mare* e 2.447.046 a *terra. I trend mostrano che la percentuale nazionale di superficie protetta si è stabilizzata a partire dal 2006 per il mare e dal 2011 per la parte terrestre*". Cfr. Agnesi S., D'Antoni S., Ercole S. e Properzi S., "*Superficie Nazionale Protetta Terrestre e Marina*", ISPRA (https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/aree-tutelate/superficie-nazionale-protetta-terrestre-e-marina) 30-06-2024.

2 GreenPeace, "*Mediterraneo, nuova indagine di Greenpeace: Meno dell'1% dei mari italiani è davvero protetto*" (https://www.greenpeace.org/italy/comunicato-stampa/24263/mediterraneo-nuova-indagine-di-greenpeace-meno-dell1-dei-mari-italiani-e-davvero-protetto/), GreenPeace Italy, 29-07- 2024.

dia c'è una concessione ogni 270 metri, in Emilia Romagna si raggiunge il picco di una concessione ogni 90 metri: se si considera che le concessioni hanno in media una estensione che varia dai 100 ai 300 metri di fronte spiaggia, si capisce che la quasi totalità delle nostre spiagge sono destinate a usi balneari privati con finalità turistiche[3].

Un "ecotono" è ciò che separa in natura due comunità, due differenti ecosistemi. Una sorta di *comunità di transizione* formata da un popolamento misto di specie appartenenti alle due differenti realtà territoriali. Più le condizioni ambientali variano bruscamente e più sono netti i confini tra due comunità.

In pochi metri, nel transetto trasversale della linea di costa cambiano enormemente i parametri di umidità, salinità, granulometria, etc., per cui in pochi metri si insediano molte specie differenti, portando il livello di biodiversità a crescere enormemente.

La fascia costiera è un ecotono per eccellenza, il luogo in cui la diversità biologica regna incontrastata. Una esile fascia da salvaguardare ad ogni costo ed in ogni modo. È il luogo delle dune, il regno delle sabbie, mai fermo, sempre in movimento ed in lento divenire. Dune emerse e dune sommerse aree umide e boschi retrodunali, macchia mediterranea e regno interditale. Una flora straordinaria, presenze vegetazionali uniche, luogo incredibile di riproduzione delle più rare specie animali: uccelli che solcano i cieli da sud a nord del pianeta, tartarughe che nuotano intorno al mondo e specie ittiche sempre più rare che nel Mediterraneo rappresentano veri e propri endemismi.

L'esponenziale incremento demografico della popolazione e la domanda crescente di beni e servizi offerti dal mare, le condizioni di facile utilizzazione delle aree pianeggianti e la qualità di vita in riva al mare, hanno condotto ad una massiccia antropizzazione della linea di costa in tutto il mondo in particolare nel Mediterraneo e ad un continuo impoverimento dell'enorme capitale naturale che rappresenta. Inevitabile la riduzione del valore ecologico della biodiversità, la perdita di paesaggi di indiscutibile bellezza e, di conseguenza, l'impoverimento delle risorse godibili per l'uomo.

Esiste inoltre, anche una cresciuta e incontrollata immissione sia di rifiuti, in gran parte plastiche diperse in ambiente, che di inquinanti, provenienti dalle reti di scarico sui fiumi. Una costante minaccia per l'ambiente e la biodiversità marina, ma anche una condizione di rischio, per la salubrità degli ambienti dove si svolge la vita di una grande fetta della popolazione.

Si può certamente affermare che l'attuale uso dei servizi offerti dal mare, è insostenibile su tanti fronti, siano essi di pesca, energetici o produttivi di ogni tipo, compreso il sempre crescente uso turistico.

L'Unione Europea ha avviato da tempo una strategia per l'uso dei mari e per la gestione integrata della fascia costiera, per provare a risolvere tali problematiche attraverso una attenta pianificazione e programmazione dell'uso delle risorse.

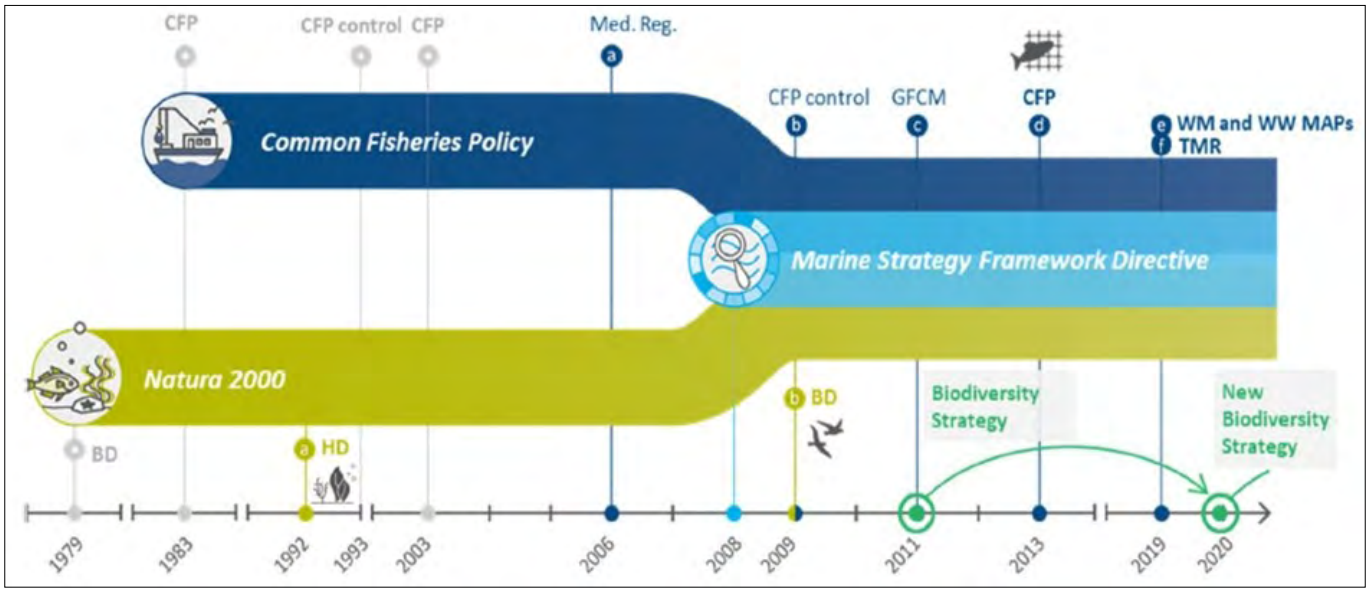



Figura 3. Marine Strategy (European Court of Auditors).

**Strategia Marina Europea – Marine Strategy**

Al fine di aumentare il livello di protezione e conservazione dell'ambiente marino e garantire un uso sostenibile dei servizi eco-sistemici, l'Unione Europea ha emanato nel 2008, un'importante direttiva nota, appunto, con il nome di *Strategia Marina*: più precisamente *Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino* 2008/56/CE *Marine Strategy Framework Directive* (MSFD).

La "*Direttiva quadro sulla strategia marina*" è stata adottata il 17 giugno 2008. L'Italia ha recepito la Direttiva con il Decreto Legislativo n. 190/2010, con l'obiettivo preciso di incentivare la conservazione della biodiversità dell'ambiente marino. Nel rispetto di tale decreto, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Minambiente) si è attivato per determinare i requisiti del "*Buono Stato Ambientale*" (GES) e definito i traguardi ambientali e i programmi di monitoraggio da attuare.

3 Tozzi M., "*Le coste italiane sventrate dai balneari un disastro per l'ambiente e per l'economia*", La Stampa 19-01-2024.

La strategia punta a preservare, infatti, il "buono stato ambientale", laddove rilevato, o ad attuare le misure necessarie per poter procedere ad un ripristino degli habitat marini danneggiati; infine, promuove un utilizzo concretamente sostenibile, da parte di tutti i settori utilizzatori di risorse marine, dell'ecosistema naturale. Ruolo chiave lo svolgono quelle aree marine e costiere interessate da specifici provvedimenti di protezione.

L'Unione Europea ha svolto una approfondita analisi della attuazione della Strategia Marina con la "*Relazione della Commissione al Parlamento Europeo ed al Consiglio, sui progressi nella istituzione di Aree Marine Protette (come richiesto dall'articolo 21 della Marine Strategy Framework Directive 2008/56/EC)*". Brussels, 1 ottobre 2015, lavoro concluso nel 2017. Da tale quadro, sviluppato su tutti i mari europei, è emerso un panorama desolante per l'Italia. Si sono registrati numeri sulla protezione dei mari che circondano il nostro Paese davvero risibili.

Contestualmente la Commissione ha prodotto una serie di criteri dettagliati e norme metodologiche per aiutare gli Stati membri ad attuare la direttiva. Questi sono stati rivisti nel 2017 portando alla nuova decisione della Commissione sul buono stato dell'ambiente marino (G.E.S., *Good Environmental State*) che si sarebbero dovuti conseguire entro il 2020.

Sulla definizione della G.E.S. della Marine Strategy si sono versati fiumi di inchiostro. In questa sede possiamo, semplificando, affermare che il "buono stato dell'ambiente marino" è quello che riesce a mantenere un sostanziale equilibrio all'interno degli ecosistemi che lo compongono.

## Una questione di equilibri

"Equilibrio" è la parola chiave. In particolare sulle coste basse, quelle sabbiose, una zona costiera particolarmente ampia, di cui fanno parte i fiumi, le spiagge, i fondali sotto costa, etc., interagisce attraverso innumerevoli fattori. Si tratta di quella linea, quella fascia, in cui la terra emersa lascia lo spazio all'acqua o, in altri termini, il mare sommerge la spiaggia. Un sistema dinamico, mai fermo, in cui interagiscono fattori fisici come i venti, le correnti, la subsidenza, gli apporti fluviali, il moto ondoso, eccetera, nonché fattori biologici come i boschi costieri, la vegetazione psammofila, le formazioni algali, le praterie di fanerogame, le bio costruzioni marine, i processi di bio-turbazione, la decomposizione degli organismi morti e la formazione del suolo, a terra e sui fondali.

Esistono luoghi dove, anche se antropizzati, si riesce a conservare un buono stato ambientale per aver ritrovato con un minimo di apporto, una presenza di vegetazione dunale e retro-dunale, quell'equilibrio necessario tra i vari fattori che creano la dinamicità costiera.

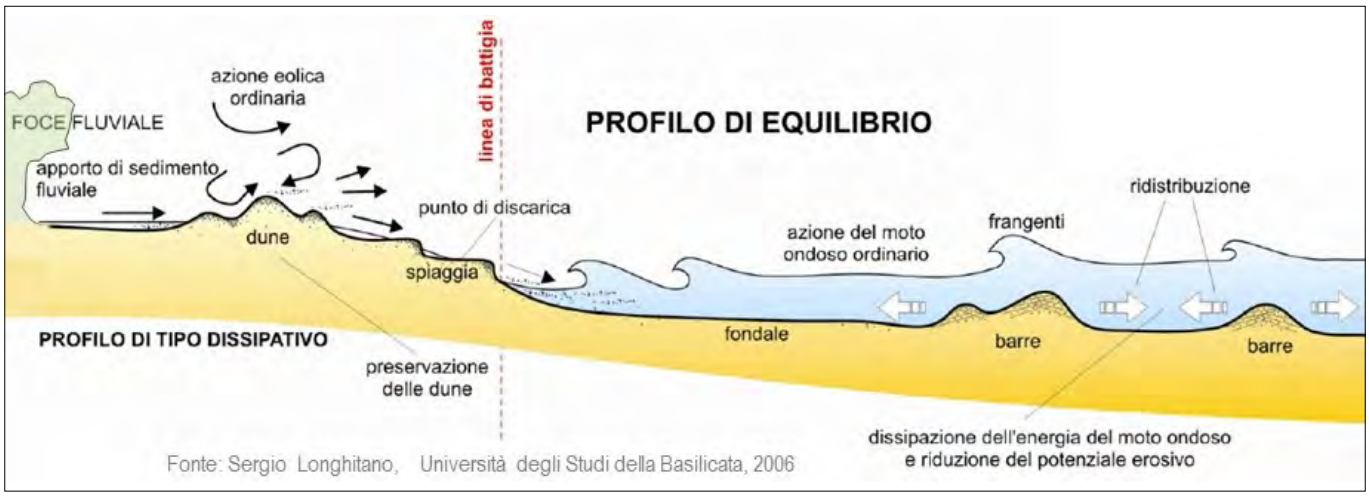



Figura 4. Profilo equilibrio (Università Basilicata).

Ma una moltitudine di fattori sbilanciano oggi quei difficili punti di equilibrio che la natura riesce ancora a trovare. Ovviamente la parte importante la fanno gli elementi permanenti di irrigidimento, impermeabilizzazione e trasformazione della fascia costiera che hanno caratterizzato ormai da anni l'antropizzazione massiccia delle coste ma, stante la situazione in cui ci troviamo, anche quegli interventi occasionali e temporaneai ma costanti nella loro periodicità, effettuati per necessità manutentive e di gestione hanno il loro peso: interventi attuati con l'uso di sistemi meccanizzati a forte capacità di alterazione e distruzione dell'ambiente naturale.

L'utilizzo continuo delle macchine, in vari settori con molteplici scopi e in differenti luoghi, comporta un'amplificazione dell'impatto che l'uomo già produce sugli ambienti, fluviali, costieri e marini, modificando in maniera importante la possibilità degli ecosistemi impattati di poter recuperare la condizione ottimale di equilibrio attraverso la propria insita capacità di resilienza.

L'intervento di escavatori sugli alvei fluviali per gli interventi di sicurezza idrogeologica, quando non addirittura ancora di estrazione; l'azione delle ruspe sulle spiagge per la cosiddetta "pulizia" per finalità turistiche o per, discutibili, "messe in sicurezza" e, infine, l'uso delle draghe idrauliche delle imbarcazioni cosiddette "turbo soffianti" sui fondali bassi per la pesca dei molluschi bivalvi, vongole, telline, etc. sta comportando modifiche irreversibili agli ecosistemi delle nostre coste sabbiose. Le bellissime spiagge italiane amate da tutti.

Dai fiumi, a cui si fa una costante opera di "rettifica", ai boschi retro dunali, ormai ridotti a poche residue pinete prese d'assalto dal turismo, alle dune, costantemente spia-

nate per essere "pulite", fino alle barre sabbiose dei primi fondali, le secche, arate quotidianamente dalle draghe idrauliche per qualche piatto di vongole, il modo in cui gestiamo i pochi spazi costieri ancora liberi risulta, oggi, assolutamente insostenibile.

Fermo restando che, nel tempo, l'uomo si è insediato in maniera massiva e ingombrante lungo le coste, creando condizioni di antropizzazione difficilmente reversibili, dovremmo oggi perlomeno essere attenti alle modalità con cui affrontiamo la gestione e l'utilizzo di quei luoghi residui ancora liberi dal cemento: un approccio rispettoso degli equilibri naturali diviene essenziale. Approcci basati sulle peculiarità del luogo dove si interviene, che tengono conto degli equilibri ancora esistenti in questi sempre più rari ecosistemi.

**EBA – Ecosystem Based Approach**

La Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD) (COP 5/ Decisione V/6) ha stabilito nel maggio 2000 la seguente definizione di approccio ecosistemico: "*L'approccio ecosistemico è una strategia per la gestione integrata della terra, dell'acqua e delle risorse viventi che promuove la conservazione e un uso sostenibile in modo equo. Pertanto, l'applicazione dell'approccio ecosistemico aiuterà a raggiungere un equilibrio dei tre obiettivi della Convenzione: la conservazione, l'uso sostenibile e la condivisione giusta ed equa dei benefici derivanti dall'utilizzo delle risorse genetiche. Un approccio ecosistemico si basa sull'applicazione di metodologie scientifiche appropriate incentrate sui livelli di organizzazione biologica, che comprendono la struttura, i processi, le funzioni e le interazioni essenziali tra gli organismi e il loro ambiente. Riconosce che gli esseri umani, con la loro diversità culturale, sono parte integrante di molti ecosistemi*".

Anche qui torna l'uomo al centro, non "santo" ma parte del proprio ambiente.

L'*Ecosystem-Based Approach* (EBA) considera gli esseri umani come parte integrante dell'ecosistema naturale e, se applicato, può mostrare lo scambio e le interazioni tra i beni e i servizi forniti dagli ecosistemi naturali e i diversi obiettivi di gestione.

La necessità di approcci di gestione basati su una prospettiva ecosistemica, nella pianificazione marina, è diventata sempre più urgente[4].

Le politiche internazionali hanno cercato di affrontare i problemi maggiori attraverso la Gestione Integrata della Zona Costiera (ICZM) che ha portato, successivamente, a nuove politiche per la Pianificazione dello Spazio Marittimo (MSP). Due moderni strumenti messi a disposizione degli amministratori dei paesi europei bagnati dal mare.

**ICZM - Integrated Coastal Zone Management**

Il Protocollo I.C.Z.M. - *Integrated Coastal Zone Management,* in Italia a volte chiamato Protocollo G.I.Z.C.- Gestione Integrata della Zona Costiera, è pensato per lo spazio geografico mediterraneo, integrato nella "Convenzione di Barcellona", è entrato in vigore nel 2010.

Quella firmata a Barcellona, in Spagna, il 16 febbraio 1976, è il più importante accordo internazionale che si occupa di tutela ambientale per la protezione dell'ecosistema marino e dei litorali del Mediterraneo. Promossa dall'UNEP -*United Nation Environmental Programme*, la "*Convention for the Protection of the Mediterranean Sea againist Pollution*", conosciuta con il nome semplificato di "*Convenzione di Barcellona*", è stata adottata a Barcellona e ratificata dall'Italia con la legge 25 gennaio 1979 n.30. A tutt'oggi è considerata la più riuscita forma di approccio, per aree geografiche definite, ai problemi della protezione dell'ambiente marino grazie al suo modello di convenzione quadro di contenuto generale poi completata da protocolli aggiuntivi, da approvare singolarmente, per la disciplina di aspetti specifici.

In tale ambito normativo tra i protocolli aggiunti, nel 2008, è stato introdotto quello volto alla disciplina di dettaglio della pianificazione integrata della zona costiera, indicata generalmente con l'acronimo ICZM.

Firmato il 21 gennaio 2008 a Madrid, con l'Italia tra i quindici firmatari, ed entrato a far parte subito delle azioni previste dalla "Convenzione di Barcellona", il Protocollo ICZM è stato subito firmato da 14 Stati (tra cui appunto l'Italia), e poi si è aggiunta anche l'Unione Europea, rispetto ai 22 membri della Convenzione di Barcellona. Alla avvenuta ratifica di almeno sei Paesi, il 24 marzo 2011, il trattato è entrato in vigore. Di fatto è stato il primo provvedimento normativo internazionale adottato su scala mediterranea.

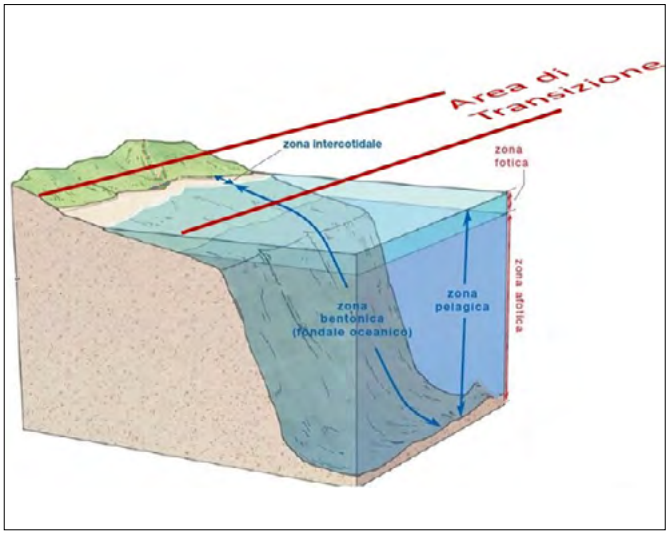



Figura 5. Integrated Coastal Zone Management (Scienze naturali, Zanichelli).

La procedura ICZM è una forma di pianificazione e gestione integrata della costa. Si tratta di attuare un approccio strategico per la gestione delle aree costiere coinvolgendo nei processi di decisione tutti i soggetti pubblici che abbiano una qualche responsabilità di pianificazione, programmazione e gestione degli ecosistemi.

Il confine tra l'ambiente terrestre e l'ambiente marino, luogo di transizione e di estrema delicatezza e particolar-

4 Douvere F., *The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management*. Marine Policy (2008)

mente ricco di biodiversità, è sottoposto a una enorme pressione antropica e, di converso, non attenzionato per una corretta tutela. Si tratta di un luogo dove la natura va salvaguardata in maniera particolare e, invece, è sottovalutato dal sentire comune, dai comuni costieri e dalle amministrazioni sovraordinate. Di conseguenza, nelle norme che lo regolano, nella gestione, nella governance e persino nel sistema delle aree protette istituite, si registra ancora molto ritardo per una giusta considerazione ad entrambi gli ambienti, terrestri e marini, guardando ad una loro integrazione nella fascia costiera.

Di fatto, come in tanti altri contesti, l'Italia è rimasta quasi inattiva nell'attuazione del protocollo ICZM su scala nazionale. Solo alcune regioni, autonomamente, in forza della delega delle funzioni urbanistiche e di gestione del turismo, hanno creato normative connesse, anche se, spesso, interpretando in maniera assai restrittiva il concetto e limitandosi quasi esclusivamente a legiferare in materia di difesa costiera in termini di erosione per i suoi aspetti geoingegneristici invece di provare ad affrontare il tema ben più ampio, della gestione di tutti gli aspetti coinvolti.

**MSP - Maritime Spatial Planning**

Approccio ancor più ampio è quello, più recente, adottato dall'Unione Europea con i Piani di gestione dello Spazio Marittimo che individuano la distribuzione spaziale e temporale delle attività e degli usi delle acque marine di ogni singolo Stato.

La Direttiva 2014/89/UE "*Maritime spatial planning*", istituisce un quadro per la Pianificazione dello Spazio Marittimo (MSP), con l'intento di promuovere la crescita sostenibile delle economie marittime, lo sviluppo sostenibile delle zone marine e l'uso sostenibile delle risorse. Invita gli Stati membri a elaborare e attuare la pianificazione dello spazio marittimo prendendo in considerazione gli aspetti economici, sociali e ambientali al fine di favorire uno sviluppo e una crescita sostenibile, applicando un approccio ecosistemico e promuovendo la coesistenza delle varie attività e dei relativi usi che ricadono sul mare e le coste.

In Italia la Direttiva è stata recepita tramite il D.Lgs. n.201 del 17 ottobre 2016 che individua il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti (MIT) quale Autorità competente, con un proprio Comitato tecnico[5], di cui fanno parte le Amministrazioni maggiormente coinvolte e le Regioni interessate e che istituisce il Tavolo interministeriale di coordinamento presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per le politiche europee, di cui fanno parte, invece, tutte le amministrazioni interessate.

Con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 1° dicembre 2017 sono state approvate le Linee Guida contenenti gli indirizzi e i criteri per la predisposizione dei Piani di gestione dello spazio marittimo, che prevedono l'identificazione delle aree da considerare per la redazione dei piani marittimi e la definizione delle aree rilevanti in termini di interazioni terra-mare. Vengono identificate le aree marittime di riferimento, coerentemente con la definizione di sottoregioni marine ai sensi della Direttiva Quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (2008/56/UE) il Mar Mediterraneo occidentale, il Mar Adriatico, il Mar Ionio e il Mar Mediterraneo centrale. Tale soluzione permette di mettere a fattor comune il lavoro già svolto nell'ambito della strategia marina relativamente all'individuazione degli indicatori e all'acquisizione dei dati ambientali.

Per ciascuna Area Marittima e per le loro sub-aree Il Piano fornisce indicazioni di livello strategico e di indirizzo, da utilizzare quale riferimento per altre azioni di pianificazione (di settore o di livello locale) e per il rilascio di concessioni o autorizzazioni. L'orizzonte temporale di riferimento del Piano è il 2032, anno nel quale, al più tardi, sarà dovuto un primo aggiornamento del Piano stesso, tenendo conto, ove possibile, di un orizzonte temporale di più lungo periodo (anno 2050).

Il Piano di gestione dello spazio marittimo è stato configurato dal diritto interno di recepimento della direttiva come piano sovraordinato rispetto a tutti gli altri piani e

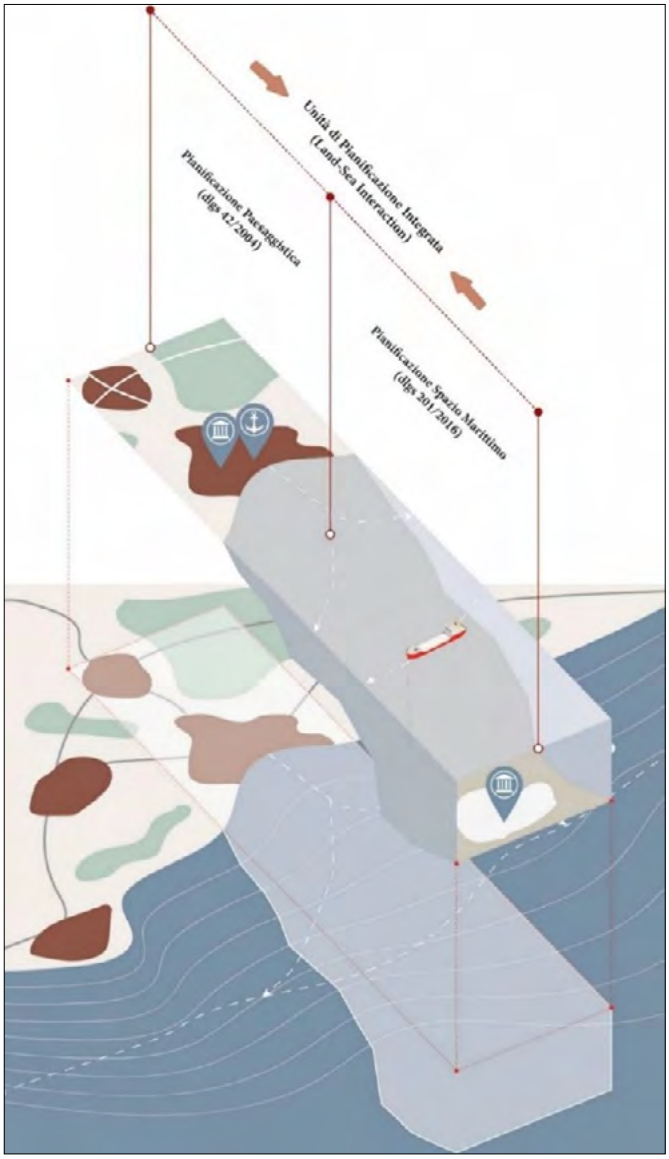



Figura 6. Marine Spatial Planning (MIMS Dip.Trasporti e Navigazione).

5 Con il Decreto Ministeriale del 13/11/2017, n. 529, come poi modificato dal Decreto Ministeriale dell'11 marzo 2019, n. 89 e dal Decreto Ministeriale del 27 giugno 2019, n. 263, si è disciplinato l'organizzazione ed il funzionamento del Comitato Tecnico.

programmi capaci di avere effetti sul suo medesimo ambito applicativo, non solo quelli aventi ad oggetto le acque marine, ma anche quelli concernenti attività terrestri che possono avere effetti sulle acque marine tentando di coordinare diverse politiche attraverso un unico atto di gestione, che acquisisce il carattere di "piano integrato" e di "piano globale", idoneo ad identificare i diversi usi dello spazio marittimo.

L'attuazione della direttiva europea non ha mutato il quadro delle competenze legislative e amministrative, non imponendo una forma di pianificazione e una *governance* sostitutiva di quella preesistente ma ha solo aggiunto un livello di pianificazione sovraordinato, che si pone come necessario per assicurare un quadro chiaro, coerente, e capace di perseguire gli obiettivi delle diverse politiche europee sul mare, anche nell'ottica di una cooperazione transfrontaliera.

Il Piano ha natura di "strumento di primo livello, sovraordinato, cioè, agli ulteriori e previgenti atti di pianificazione della gestione del "territorio marino", il cui contenuto deve necessariamente confluirvi"[6], e rientra nella tipologia dei "superpiani"[7]. Il legislatore nazionale chiarisce che l'ambito applicativo del Piano di gestione dello spazio marittimo è diverso da quello del piano urbanistico cui può essere assimilato il piano regolatore portuale, approvato dopo l'entrata in vigore della l. n. 84/1994. Le linee guida integrative, hanno la premura di chiarire che la pianificazione dello spazio marittimo non si applica alla pianificazione urbana e rurale (la terminologia utilizzata riprende testualmente il contenuto della direttiva, che lascia impregiudicata la "pianificazione urbana e rurale" dello Stato membro) e dall'altro lato stabiliscono che il Piano di gestione dello spazio marittimo include e armonizza le previsioni contenute in piani e programmi concernenti attività terrestri rilevanti per le interazioni terra-mare, e dunque anche quelle contenute nei piani territoriali e urbanistici, nei piani paesaggistici, nei piani di bacino, nei piani di gestione integrata della zona costiera, nei documenti di pianificazione strategica di sistema e nei piani regolatori portuali[8].

### Nature Restoration Law

Riprendendo quanto sin in cui accennato si può affermare che la *Marine Strategy*, attuata attraverso l'*Ecosystem Based Approach*, applicato nell'*Integrated Coastal Zone Management* e nella *Maritime Spatial Planning*, è uno degli strumenti fondamentali per l'attuazione del "*Green Deal*" europeo: la sfida post-Covid che proietta l'Unione Europea verso il futuro, puntando ad una "Europa ad impatto climatico zero entro il 2050". Il Green Deal UE considera la natura un alleato importante nella lotta contro i cambiamenti climatici per proteggere il pianeta e, con lui, la nostra salute ed ha avviato un importante programma di tutela e ripristino della natura con la nuova normativa per il restauro della natura.

Il 17 giugno 2024, infatti, anche nel Consiglio UE, dopo il Parlamento Europeo, è stato definitivamente approvato uno dei pilastri fondamentali del Green Deal europeo la "*Nature Restoration Law*", la prima norma a livello continentale che fissa degli specifici obiettivi per il restauro degli ecosistemi degradati, in particolare quelli utili all'adattamento ai cambiamenti climatici e cioè che aiutano nella cattura e lo stoccaggio del carbonio e prevengono e riducono l'impatto di ciò che noi chiamiamo "disastri naturali". Il restauro di quell'80% di ecosistemi che si trova in pessime condizioni, tra cui quelli marini e costieri, è un obiettivo da raggiungere entro il 2030 quando per almeno il 20% di tali superfici dovrà aver completato il ripristino, per ottenere la totalità degli ecosistemi restaurati prima del 2050. Il vero nome di questo regolamento europeo, che, come tale, si applica direttamente dai 20 giorni dopo la pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee, senza alcuna necessità di recepimento da parte degli Stati membri, è "*Nature Restoration and Amending Regulation"* EU 2022/ 869[9].

L'Italia, nel procedimento di approvazione di questa che appare la più completa normativa in tema di tutela dell'ambiente mai prodotta a livello internazionale, si è rilevata non ancora pronta. Il Governo italiano si è trovato ad esprimere tra il 2023 e il 2024, un voto negativo alla *Nature Restoration Law*. Il voto contrario espresso, in pessima compagnia della sola Ungheria, è stata una triste rappresentazione, ancora, di quell'Italia antica dei Poeti, Santi e Navigatori che persiste, sempre, che fa fatica ad allontanarsi da antiquati modi di pensare, nonostante gli appelli unanimi del mondo scientifico, ma ormai anche della cultura, nonché dei giovani, a salvare il pianeta.

## PARTE II - LA GESTIONE DEL DEMANIO MARITTIMO: NORMATIVE VECCHIE E MALE INTERPRETATE

### Vecchi modi di intendere la costa

Esiste un nuovo spirito globale a protezione della natura, in particolare di quella parte di pianeta coperta di acqua, una nuova spinta internazionale che in Europa si è tradotta in una normativa che chiede la necessità di una pianificazione dello spazio marittimo. Strumenti che inevitabilmente interessano la costa nel concetto, ormai acquisito, che la pianificazione della fascia costiera vada gestita in maniera integrata tra mare e terra. In Italia, però, non riusciamo a seguire queste nuove visioni, in presenza di uno stratificarsi di norme nazionali antiche e, possiamo affermare, superate,

6 Consiglio di Stato, sez. IV, 2 marzo 2020, n. 1486

7 Insieme al Piano di bacino, di cui all'art.65 del d.lgs. n.152/2006, e al Piano paesaggistico, di cui all'art.145 del d.lgs. n.42/2004

8 D.lgs. n.201/2016. DECRETO LEGISLATIVO 17 ottobre 2016, n. 201, Attuazione della direttiva 2014/89/UE che istituisce un quadro per la pianificazione dello spazio marittimo. GU n.260 del 07-11-2016

9 Pubblicata sul Official Journal of the European Union il 29-07-2024, la "*Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869*" è entrata in vigore il 18 agosto 2024 e da quella data è vincolante per tutti I Paesi membri della UE, indipendentemente dal recepimento, essendo un Regolamento immediatamente applicabile.

perché create in un contesto totalmente diverso dall'attuale. La normativa vigente, che tarda ad aggiornarsi, guarda alle spiagge italiane come ad uno spazio libero, un demanio pubblico, a disposizione dell'uomo e rivolto ad un uso prettamente utilitaristico di sfruttamento degli spazi; anche da concedere a privati in cambio di un ritorno economico.

Utilizzazioni spesso incompatibili con la delicatezza degli ambienti costieri. Le concessioni balneari affidate ai privati, falsamente presentate con carattere di temporaneità si sono rivelate negli anni, di fatto, la peggiore azione di privatizzazione incontrollata del proprio patrimonio pubblico che l'Italia abbia potuto vivere dall'unità ad oggi.

Quelle spiagge naturali, quella fascia costiera di cui si sono evidenziate le peculiarità naturalistiche, sono per le leggi italiane, semplicemente un "demanio marittimo", aree da utilizzare secondo sterili regole amministrative dove contano solo i metri di spiaggia e gli importi del canone.

**I beni demaniali**

I beni del Demanio Marittimo fanno riferimento al Regio Decreto 3 marzo 1942 numero 327, in vigore dal 21 aprile 1942.

Il Demanio, in generale, non solo quello Marittimo, è costituito da alcune tipologie di beni, di origine naturale, che, in relazione alle loro intrinseche caratteristiche, non possono non appartenere allo Stato ed essere qualificati demaniali (demanio necessario). Sono individuati nel libro terzo del Codice Civile, dedicato alla proprietà, agli articoli 822 e seguenti, e in altre norme integrative. Codice Civile approvato con regio decreto del 16 marzo 1942 numero 262, entrato in vigore lo stesso 21 aprile 1942.

L'acquisto della qualità di bene demaniale non dipende da un atto giuridico di destinazione, in quanto la demanialità, è derivante dalla sua stessa natura intrinseca. Nella concezione codicistica, qualunque bene idoneo ad essere oggetto di diritti è una "cosa" (v. art. 810 c.c.), avente dunque una sua "materialità"; che, tra i beni di proprietà dello Stato–persona, quelli demaniali si qualificano per essere naturalmente, di per sé, atti a servire all'uso di ciascuno (uso pubblico); che la tutela di questi beni, proprio per le suddette caratteristiche, spetta all'autorità.

I beni che fanno parte del demanio pubblico non possono formare oggetto di diritti a favore di terzi ma, nei modi e nei limiti stabiliti dalle leggi che li riguardano (art. 823 c. c.) e compatibilmente con le esigenze del pubblico uso, l'amministrazione competente, può concedere l'occupazione e l'uso, anche esclusivo, di beni demaniali marittimi e di zone di mare territoriale per un determinato periodo di tempo (art. 36 cod. nav.). Al fine di ottenere il godimento in forma differenziata e particolare dei beni suddetti, è dunque necessario per il privato il rilascio di un provvedimento di attribuzione (concessione) dell'autorità pubblica.

I beni del demanio sono:

- *inalienabili* (qualunque atto di trasferimento sarebbe nullo per l'impossibilità dell'oggetto);
- *inusucapibili* (in quanto il possesso delle cose di cui non si può acquistare la proprietà è senza effetto, a norma dell'art. 1145, c. 1, c. c.);
- *imprescrittibili* (dato che agli stessi non si applicano le norme della prescrizione) ed *inespropriabili,* fino a quando non ne venga pronunciata la sdemanializzazione (v. art. 4 del D.P.R. 327/2001).

Eventuali diritti di godimento a privati sui beni demaniali (v. art. 823 c.c.) possono essere attribuiti solo con atti amministrativi di concessione e, se questa è utilizzata a scopo lucrativo, non a titolo gratuito.

I beni del demanio, per ciò che concerne il Demanio marittimo, sono elencati all'art. 28 del codice della navigazione (R.D. 3 marzo 1942, n. 327) a conferma ed integrazione dell'art. 822, primo comma, del codice civile (R.D. 16 marzo 1942, n. 262). Ne fanno parte:

- 1. il lido, la spiaggia, i porti e le rade (*idem* nel citato art. 822 c.c.);
- 2. le lagune, le foci dei fiumi che sboccano in mare, i bacini di acqua salsa o salmastra che almeno durante una parte dell'anno comunicano liberamente col mare;
- 3. i canali utilizzabili ad uso pubblico marittimo.

In base alla dottrina e alla giurisprudenza, il "lido" del mare è la zona di riva che si estende all'interno fino al limite massimo delle mareggiate ordinarie, escluse quindi quelle dei momenti di tempesta; mentre la "spiaggia" è quella parte di terra che risulta dal naturale ritirarsi del mare, ma che non può essere una volta per tutte determinata, in quanto non possiede confini certi, bensì mutevoli, in relazione all'avanzarsi e al ritirarsi delle acque[10]. I "porti" e le "rade", spazi di mare prossimi al porto, sono quelle strutture permanentemente utilizzate per il riparo e l'approdo delle navi; poi le "lagune" sono specchi d'acqua stagnanti separati dal mare (lagune "morte") ovvero con esso comunicanti (lagune "vive") e, infine, i "canali utilizzabili ad uso pubblico marittimo" sono quelli che servono al ricovero di imbarcazioni ed alle operazioni di carico e scarico di merci e passeggeri.

**Usi del demanio**

Fermi restando i capisaldi normativi dei codici del 1942, gli usi del demanio marittimo sono stati interessati da una evoluzione legata ad alcune innovazioni legislative, che hanno meglio specificato le competenze amministrative e gestionali e i criteri di determinazione dei canoni concessori.

Da un punto di vista generale si è andata affermando una concezione dei beni demaniali, che ha portato a farli considerare sempre meno dal punto di vista della tutela della loro conservazione e sempre più da quello delle opportunità del loro utilizzo e gestione, beninteso per il raggiungimento di obiettivi, di pertinenza statale, di interesse collettivo.

Una siffatta evoluzione ha riguardato il demanio marittimo considerato come "strumento" da valorizzare, alla luce delle sue elevate potenzialità nello sviluppo economico, come fonte di benessere della popolazione, ma anche per questa stessa ragione, dovrebbe essere per molti aspetti oggetto di doverosa preservazione ambientale, paesaggistica e biologica.

10 v. Cass., Sez. un., 2.5.1962, n. 849

Questo ulteriore passaggio tarda a divenire il perno intorno a cui dovrebbe oggi ruotare ogni aggiornamento normativo.

Il Demanio è il vero e proprio suolo dello Stato, come le montagne, i fiumi, la costa ed il mare. Il Demanio Marittimo ha in più la caratteristica di essere ovunque l'estremo lembo del suolo dello Stato, cioè un confine di Stato.

Le coste sono il confine dell'Italia sul mare, sono un patrimonio pubblico dello Stato, sono un ambiente delicato e importante da salvaguardare.

- Sono un confine di Stato, un luogo su cui la dogana ha pieno controllo e chiede che non vi siano attività inadeguate.
- Sono proprietà demaniali marittime quindi statali sulle quali opera una specifica autorità marittima e sulle quali vige una normativa particolare volta ad una particolare attenzione dei luoghi.
- Sono ambienti rari di estrema limitatezza contenenti una elevata biodiversità, che non hanno assolutamente una riproducibilità ed una diffusione a livello planetario.

Su di esso vigila l'Autorità Marittima, ossia la Guardia Costiera – Corpo delle Capitanerie di Porto, diretta emanazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. La gestione amministrativa, come ad esempio il rilascio ed il rinnovo delle concessioni demaniali, è affidato, tramite un sistema di deleghe dallo Stato alle Regioni e, tramite strumenti di pianificazione "a cascata", da queste agli Enti locali, ai Comuni costieri. La gestione dei canoni eventualmente assegnati, è affidata all'Agenzia del Demanio.

## Competenza sulla tutela delle spiagge

La tutela dell'ambiente marino e costiero della sua naturalità, della biodiversità, è una competenza dello Stato. La Costituzione della Repubblica italiana assegna allo Stato la competenza su tali aspetti. La tutela dell'ambiente, ancor più dopo le ultime modifiche costituzionali[11], è una competenza esclusiva dello Stato che ha l'obbligo di salvaguardia nei confronti dei propri cittadini sull'intero territorio nazionale e all'interno delle acque territoriali.

Le spiagge italiane sono una parte importante delle coste più interessanti del Mediterraneo. Pochi luoghi al mondo hanno le medesime caratteristiche in termini naturalistici e di biodiversità. Si trovano ad una latitudine che rappresenta il limite meridionale delle specie nord europee e il limite settentrionale di molte specie africane. Punto intermedio delle migrazioni scelto da molte specie, anche molto rare, per la riproduzione. Questa particolarità di habitat costieri nel cuore del Mediterraneo fa sì che l'Unione Europea ne abbia definito l'estrema importanza, inserendo piante e animali, il contesto ecologico in cui vivono, con i loro differenti ecosistemi ed habitat, negli allegati a due importanti Direttive Europee. Si tratta delle *Direttive* 79/409/CEE *Uccelli e* 92/43/CEE *Habitat,* dove sono stati identificati a livello continentale, gli ambienti da inserire nella rete Natura 2000*,* la rete di aree protette europea, un network ecologico di siti da porre sotto tutela, qualora presenti Specie e Habitat classificati sugli elenchi allegati alle due direttive, con provvedimenti che ogni singolo Stato è obbligato ad adottare. In Italia le due direttive sono state recepite rispettivamente con la Legge 11-02-1992 n.157 e con il DPR 08-09-1997, n.357.

La presenza di specie o habitat di interesse per la rete Natura 2000, cioè citati negli allegati alle due Direttive, non necessita di uno specifico vincolo per richiederne una protezione attiva, ma ne è sufficiente il riconoscimento della presenza per richiedere un intervento dello Stato italiano in applicazione delle direttive europee che chiedono l'immediata tutela di tali ambienti. Ciò vuol dire che non serve l'istituzione effettiva e il riconoscimento ufficiale di un sito Natura 2000, sia esso Sito di Interesse Comunitario (SIC), Zona Speciale di Conservazione (ZSC) oppure Zona di Protezione Speciale (ZPS), ma è sufficiente l'esistenza o la potenziale presenza, di specie o habitat iscritte negli elenchi delle due direttive, per richiederne la protezione.

Siamo nel campo della protezione della natura, della tutela dell'ambiente, della salvaguardia della salute umana.

Se la tutela ambientale e la salute delle specie che vivono in tali ambienti va garantita ovunque ed in ogni contesto, è ancor più importante, che ciò avvenga su aree demaniali, quindi statali. Nel caso delle coste, del demanio marittimo, confine di Stato, la competenza esclusiva del governo centrale della Repubblica non è equivocabile. Il demanio marittimo costiero per la gestione e la tutela degli aspetti ambientali è materia dello Stato centrale.

## Enti Locali e usi impropri

Inspiegabilmente, negli ultimi anni, in ambienti costieri, demaniali, di estrema naturalità, per quelle parti non utilizzate stabilmente per usi turistici, laddove cioè non esistono concessioni demaniali stabili e quindi la natura continua nel suo corso, dove l'insediamento di specie vegetazionali rare tende ad aumentare e la presenza di specie animali protette è, per quanto temporanea, costante ogni anno e in ogni stagione, si è assistito ad usi impropri senza alcuna autorizzazione dagli organismi deputati, per com-

11 COSTITUZIONE DELLA REPUBBLICA ITALIANA (GU n.298 del 27-12-1947), Art. 117: "*La potestà legislativa è esercitata dallo Stato e dalle Regioni nel rispetto della Costituzione, nonché dei vincoli derivanti dall'ordinamento comunitario e dagli obblighi internazionali. Lo Stato ha legislazione esclusiva nelle seguenti materie:*
*a) politica estera e rapporti internazionali dello Stato; rapporti dello Stato con l'Unione europea; diritto di asilo e condizione giuridica dei cittadini di Stati non appartenenti all'Unione europea;* [...]
p) *legislazione elettorale, organi di governo e funzioni fondamentali di Comuni, Province e Città metropolitane;*
*q) dogane, protezione dei confini nazionali e profilassi internazionale;*
*r) pesi, misure e determinazione del tempo; coordinamento informativo statistico e informatico dei dati dell'amministrazione statale, regionale e locale; opere dell'ingegno;*
***s) tutela dell'ambiente, dell'ecosistema e dei beni culturali.*** [...]
*Spetta alle Regioni la potestà legislativa in riferimento ad ogni materia non espressamente riservata alla legislazione dello Stato.* [...] *La potestà regolamentare spetta allo Stato nelle materie di legislazione esclusiva, salva delega alle Regioni. La potestà regolamentare spetta alle Regioni in ogni altra materia. I Comuni, le Province e le Città metropolitane hanno potestà regolamentare in ordine alla disciplina dell'organizzazione e dello svolgimento delle funzioni loro attribuite*".

petenza, in tale ruolo: lo Stato italiano con le sue dirette emanazioni. In quei pochi spazi ancora liberi dove esiste ancora una presenza di habitat e specie meritorie di tutele, dove ancora esiste un equilibrio tra i differenti fattori di resilienza della natura rispetto alla presenza dell'uomo, proprio in quei residui di spiaggia dove esiste ancora una duna costiera, si innescano sempre più spesso azioni distruttive e o di alterazione di tali ambienti.

Si è già scritto sopra delle pessime modalità di gestione che con periodica costanza si mettono purtroppo in atto lungo la fascia costiera con l'uso di impattanti mezzi meccanici, ma gli usi ludici saltuari che stanno emergendo in questi ultimi anni, rende la situazione davvero insostenibile.

Si sta parlando dell'increscioso uso degli spazi demaniali marittimi che avviene per fini esclusivamente ludici in qualità di eventi temporanei, come concerti, raduni musicali, "rave party", tornei sportivi, spettacoli motoristici, gare di motocross. Eventi di ogni tipo, insomma, vengono organizzati di recente, sempre più spesso e sempre più grandi, non più negli stadi o negli spazi sportivi adatti allo scopo ma sulle spiagge italiane, proprio in quei pochi spazi naturali residuali salvatisi dalla antropizzazione massiccia intervenuta nell'ultimo secolo.

Ciò avviene spesso avvalendosi della sola autorizzazione degli Enti Locali. A volte tali autorizzazioni sono la conseguenza di pareri che i Comuni acquisiscono in Conferenze di Servizi o riunioni tecniche dei Tavoli di Pubblica Sicurezza per eventi e spettacoli, confondendo la propedeutica fase della procedura autorizzativa, degli ambienti naturali sopra citati, come si è scritto sopra, saldamente in capo agli organi dello Stato, con la problematica organizzativa dell'evento per il quale è necessario il coinvolgimento di altri enti regionali e locali. I pareri rilasciati da regioni o soprintendenze in tali contesti non possono sostituire l'autorizzazione dell'organismo statale deputato alla tutela dell'ambiente sugli aspetti legati alla conservazione della biodiversità in un contesto unico e demaniale come quello marittimo. Solo il Ministero dell'Ambiente e/o Transizione Ecologica, o Energetica che sia, per competenza e capacità, potendosi avvalere del proprio organismo tecnico scientifico l'ISPRA, può essere considerato l'ente competente in materia per conto dello Stato.

L'equivoco che sempre più spesso si viene a creare in tali situazioni, si fonda sulla sub-delega che le Regioni assegnano spesso agli Enti Locali per svolgere attività di pianificazione e regolazione degli usi turistici del territorio e, talvolta, anche del demanio marittimo. Tali deleghe e tali competenze regionali si reggono sull'assunto costituzionale che le materie urbanistiche, nel senso di connessione della pianificazione ordinaria con quella demaniale, nonchè turistiche per la gestioni degli usi concessi al privato su suolo demaniale, sono materie concorrenti tra lo Stato e le Regioni, per alcuni aspetti anche totalmente delegate.

Il D.P.R. 616/1977 all'art.59 prevedeva, infatti, la delega alle Regioni delle funzioni amministrative sul litorale marittimo, sulle aree demaniali immediatamente prospicienti, sulle aree del demanio lacuale e fluviale, quando l'utilizzazione avesse finalità turistiche e ricreative ed escludendo le funzioni esercitate dallo Stato in materia di navigazione marittima, di sicurezza nazionale e di polizia doganale. Il contenuto della delega andava determinato in rapporto al Codice della Navigazione che attribuiva un ampio potere discrezionale alla Pubblica amministrazione (nella fattispecie Amministrazione della Marina Mercantile) finalizzato alla determinazione della più proficua utilizzazione del bene demaniale marittimo e nella prevalente scelta dell'interesse pubblico.

Pratica attuazione alla delega prevista dal D.P.R.616/1977 veniva data con la Legge 494/1993: a partire dal I° gennaio 1995, che così recita: "sono trasferite alle Regioni le funzioni amministrative relative al rilascio e al rinnovo delle concessioni per finalità turistico-ricreative". Era previsto che per lo svolgimento di attività turistico-ricreative le concessioni, indipendentemente dalla natura o dal tipo degli impianti, avessero durata di soli quattro anni e il presupposto per rendere operativa la delega era, in base a tale legge, la predisposizione, da parte delle Regioni, di un Piano di utilizzazione delle aree del demanio marittimo (art 6, comma 3 L.494/1993), sentita l'Autorità marittima e dopo aver acquisito il parere dei Sindaci dei Comuni interessati e delle Associazioni regionali di categoria appartenenti alle organizzazioni sindacali più rappresentative nel settore turistico dei concessionari demaniali marittimi.

Successivamente le funzioni amministrative sul demanio marittimo sono state integralmente trasferite dallo Stato alle Regioni con il D.Lgs.112/1998, invertendo il criterio di attribuzione: la prima delega estrapolava solo le finalità turistico-ricreative, da quel momento la generalità delle funzioni amministrative sarebbe stato di competenza delle Regioni.

Il conferimento alle Regioni del "rilascio di concessioni di beni del demanio della navigazione interna, del demanio marittimo e di zone del mare territoriale per finalità diverse da quelle di approvvigionamento di fonti di energia" acquista valore innovativo, rispetto al 1977, in quanto, essendo incardinato nel principio di sussidiarietà, implica la ulteriore attribuzione all'ente locale di funzioni localizzabili nel territorio di riferimento.

Ogni singola regione ha poi legiferato secondo le proprie necessità e gli specifici contesti, disponendo a sua volta una sub-delega ai comuni della totalità o parte delle funzioni secondo le previsioni dei piani di coordinamento.

La Regione Marche con la Legge n.10/1999, ad esempio, ha disposto il conferimento ai Comuni delle funzioni amministrative concernenti il rilascio di concessioni di beni del demanio marittimo, lacuale e fluviale (art.31) fissando poi, con la Deliberazione di Giunta n.2167 del 17-10-2000 ("Esercizio delle funzioni amministrative in materia di demanio marittimo: indirizzi e criteri agli Enti delegati ai sensi dell'art.31 della L.R. n.10/99"), due principi fondamentali:

a) la decorrenza del conferimento delle funzioni coincide con la data di trasferimento agli stessi dei beni e delle risorse finanziarie, umane, organizzative e strumentali, ferma restando la competenza delle Capitanerie di porto per i procedimenti pendenti;

b) le concessioni demaniali sono rilasciate o rinnovate dai Comuni nel cui territorio sono comprese le aree demaniali marittime, in conformità al Piano di utilizzazione di cui all'articolo 6 della Legge 4 dicembre 1993, n.494.

La Regione Marche ha poi "ratificato" tale attribuzione con l'art.2 e l'art.3 della L.R. 7 febbraio 2010 n.7, specificando che restano alla Regione solo le funzioni di:

- programmazione, pianificazione ed indirizzo generale;
- raccolta, catalogazione e archiviazione dei dati e informazioni sull'uso del demanio marittimo;
- controllo sulla pianificazione comunale relativa al demanio marittimo.

Sono state conferite cioè ai Comuni le funzioni amministrative concernenti il rilascio e il rinnovo delle concessioni dei beni del demanio marittimo compresi nella lettera l) dell'art.105 del Decreto Legislativo 31 marzo 1998, n.112, che deve avvenire in conformità alle leggi e ai regolamenti dello Stato e della Regione, nonché alle indicazioni contenute nel Piano di utilizzazione delle aree del demanio marittimo vigente e nel rispetto delle disposizioni del Piano di gestione integrata delle aree costiere; strumento approvato successivamente con la Legge Regione Marche 14 luglio 2004 n.15, in base al quale i Comuni costieri devono elaborare specifici Piani Particolareggiati di Spiaggia. Questi vengono predisposti ed adottati dai Comuni, previo parere di conformità alle disposizioni del "Piano regionale di gestione integrata delle aree costiere" e approvati definitivamente da parte della Regione sentito il parere dei Servizi regionali competenti.

La Regione disciplina, quindi, l'utilizzazione delle aree del demanio marittimo per garantire un corretto equilibrio fra la salvaguardia degli aspetti ambientali e paesaggistici del litorale e lo sviluppo delle attività turistiche e ricreative che vi si svolgono in attuazione dell'articolo 6, comma 3, del D.L. 5 ottobre 1993, n.400, convertito in legge 4 dicembre 1993, n.494, mentre contemporaneamente altri enti preposti esprimono il loro parere (vincolante) sul Piano, ciascuna in relazione alle loro competenze (es. Agenzia delle dogane, Agenzia del Demanio, Guardia Costiera). Il controllo dell'osservanza delle disposizioni del Piano spetta alle polizie locali, (nonché ai vari organi di Polizia quali Carabinieri, Guardia di Finanza, Guardia Forestale ecc.) e alla Guardia Costiera.

L'esercizio delle funzioni di gestione amministrativa delle concessioni demaniali marittime, originariamente attribuite esclusivamente allo Stato, è passato quindi, progressivamente, alle Regioni e agli Enti Locali, con l'eccezione di talune competenze rimaste tuttora all'Amministrazione centrale.

Tra le competenze rimaste allo Stato, oltre quelle della sicurezza nazionale, si registra ovviamente la tutela dell'ambiente e della biodiversità.

Una modifica dello stato dei luoghi che provochi una perdita di naturalità, della consistenza della biodiversità presente, o anche semplicemente al danneggiamento di un solo filo d'erba della rara vegetazione dunale protetta delle spiagge italiane, non rientra nelle materie dell'urbanistica e del turismo o, comunque, non solo. Quella della tutela dell'ambiente è una materia strettamente ed esclusivamente di competenza dello Stato. Gli obblighi dell'Italia, intesa come governo centrale, non solo nei confronti dei propri cittadini, ma anche nei confronti dell'Unione Europea e del resto del mondo, sono chiari e definiti dalle norme vigenti per quanto ci si è impegnati a fare anche all'atto della firma dei trattati internazionali.

In nessun caso e per nessun motivo un Ente Locale può utilizzare spazi non specificatamente pianificati per un uso turistico a scopo concessorio a proprio piacimento e/o modificarli in maniera consistente in modo da cambiarne, anche solo temporaneamente, caratteristiche di naturalità e di biodiversità, senza che ciò avvenga dopo un espresso parere dello Stato.

### Concessioni e spiagge libere

Con una linea di costa completamente antropizzata e per un 50% interamente cementificata, l'Italia si ritrova con un enorme problema di gestione delle poche aree ancora libere e con un quadro normativo particolarmente complesso, forse incompleto, certamente non ancora adeguato agli indirizzi internazionali di tutela di tali ambienti. Da un lato una normativa incentrata sull'uso degli spazi molto ambiti della fascia costiera ed un processo gestionale complesso, talvolta fallace, di ciò che è identificato come demanio marittimo, dall'altro una necessità di adempiere a indirizzi provenienti dalle organizzazioni internazionali sovraordinate, nell'ambito delle quali si sono assunti impegni e si sono firmati trattati rivolti alla protezione e conservazione della biodiversità in ambito costiero e marino. Ad oggi, quindi, in attesa di una normativa più organica che comprenda gli impegni assunti a livello internazionale e che inverta il processo in una direzione volta al restauro degli ecosistemi naturali costieri, si tratta di organizzare la gestione degli spazi residui ancora non dettagliatamente pianificati e utilizzati, nel migliore dei modi affinché non

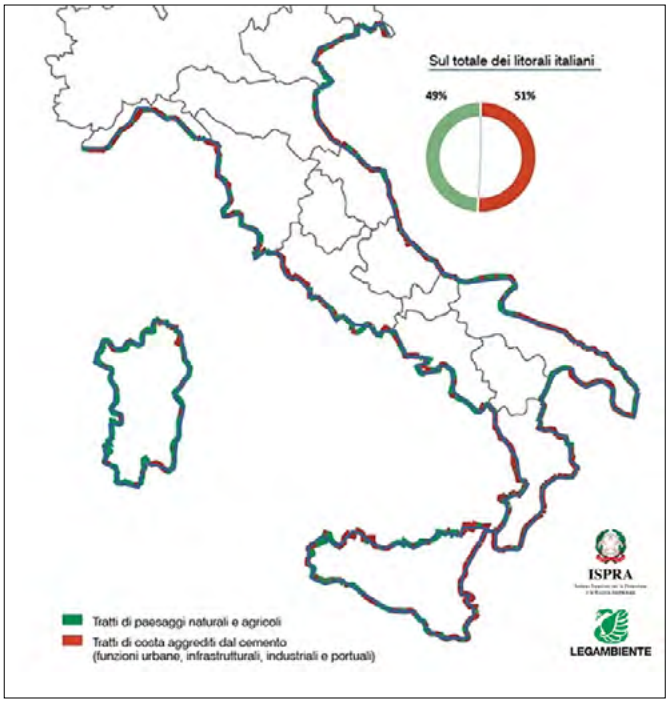



FIGURA 7. Antropizzazione Costa (ISPRA-Legambiente).




Figura 8. Mappa Torre Cerrano (TE) e Casabianca (FM).

vengano distrutti con utilizzazioni incompatibili alla naturalità dei luoghi.

Il filone normativo di gestione del demanio marittimo che sub-delega le funzioni in tema urbanistico e turistico fino all'ente locale, difficilmente può funzionare per la tutela naturalistica degli spazi residui dello stesso demanio. Per quanto non ancora chiaro e definito, il sistema di delega per l'affidamento delle concessioni sulla base di piani di utilizzo delle spiagge, ha una sua logica che potrebbe essere mantenuta, anche se migliorata, solo per tutte quelle aree già fortemente utilizzate e ormai sottoposte a una forte pressione, cementificate o meno che siano.

Tutt'altro discorso andrebbe invece posto per le aree libere, naturali, che mantengono ancora le caratteristiche degli ecosistemi costieri, dove l'approccio dovrebbe essere tutt'altro e rivolto, non agli usi turistici e commerciali bensì alla tutela e restauro ambientale. Nel momento in cui nella già scarsa risorsa della fascia costiera italiana la metà degli spazi è già tolta alla possibilità di una corretta e sostenibile gestione, diventa urgente definire una formula che consenta allo Stato centrale l'applicazione, almeno nelle aree residue, delle norme di tutela che la comunità internazionale ci chiede di applicare.

È un aspetto, questo, che negli ultimi anni, sta invece completamente sfuggendo di mano. L'equivoco per cui si crede che l'ente locale abbia piena competenza sugli spazi naturali del demanio marittimo crea danni importanti e sempre maggiori con il passare del tempo.

Il cortocircuito che si è creato negli ultimi anni a causa della spinta enorme arrivata sugli enti locali da parte di importanti realtà economiche che chiedevano a gran voce di organizzare eventi sulle spiagge italiane, forti di firme importanti del mondo dello spettacolo e di blasonate associazioni, anche ambientaliste, andrebbe interrotto immediatamente, riportando il regime autorizzativo nel suo proprio livello statale e riconoscendo, nuovamente se servisse, che è a tale livello sovraordinato che le necessarie verifiche andrebbero effettuate.

Negli ultimi anni stanno aumentando in maniera esponenziale i grandi eventi negli ambienti naturali e quelli organizzati nei pochi residuali spazi liberi del demanio marittimo stanno distruggendo quel poco di naturalità che ancora si rinviene nelle spiagge italiane. La forte spinta economica che porta all'organizzazione dei grandi eventi, unita alla voglia di notorietà degli amministratori locali, spesso di piccoli e semi sconosciuti comuni costieri, ha fatto credere, nel silenzio degli organi deputati al controllo, che un singolo comune avesse il potere e la competenza per autorizzare l'uso di aree di costa libere non già oggetto di provvedimenti amministrativi di concessione, per eventi più o meno temporanei che ne provocano una modifica sia sullo stato dei luoghi che in termini di presenza di biodiversità.

Questo gigantesco equivoco, ha attivato una impunita serie di eventi, nel quasi assoluto silenzio degli organismi centrali dello Stato, siano essi Ministeri, dell'Ambiente, della Cultura o dell'Interno, così come delle autorità di pubblica sicurezza, come i Corpi delle Capitaneria di Porto o quelli di Polizia e dei Carabinieri Forestali, ed ha innescato un inarrestabile processo di emulazione, con effetto domino, che si è allargato rapidamente a tutti i comuni costieri italiani, aprendo spesso inevitabili battaglie mediatiche, se coinvolti negli eventi erano anche personaggi famosi, e talvolta supportati da parte di associazioni di protezione ambientale, che non vede ancora la parola fine[12].

12 Recenti atti di questa "querrelle" sono stati la richiesta di intervento avanzata dall'Associazione MareVivo ai Ministeri dell'Ambiente, Infrastrutture e Agricoltura del 5 giugno 2024. Fondazione MAREVIVO, nota Prt.n.044/24/RG/pd del 5 giugno 2024, , nonchè la redazione e pubblicazione delle prime linee Guida del Comitato CI TANGE- Coordinamento Italiano per la Tutela dell'Ambiente Naturale dai Grandi Eventi, per contrastare l'organizzazione di grandi eventi sulle aree naturali del Paese. CI TANGE- Coordinamento Italiano per la Tutela dell'Ambiente Naturale dai Grandi Eventi "*LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA POSTA A TUTELA DELLE AREE NATURALI*" v. 2.1 (25/05/2024).

## PARTE III - ESEMPI CONCRETI: DUE LUOGHI VICINI, DUE MONDI DIVERSI

### Comunità locali e luoghi

Lungo la costa adriatica, non lontane tra loro, esistono due località che, prese a riferimento e messe a confronto per fatti recentemente accaduti, potrebbero chiarire meglio la situazione fin qui illustrata.

Si tratta della spiaggia di Torre Cerrano in Abruzzo nel Comune di Pineto (TE), oggi all'interno di un'Area Marina Protetta, e della spiaggia di Casabianca nelle Marche, in Comune di Fermo (FM), destinata oggi, purtroppo, a differente destinazione e a tutt'altro utilizzo.

Partendo da un contesto similare di spiaggia bassa adriatica che vedeva forse un secolo fa un contesto naturale molto simile, ci si trova oggi in situazioni del tutto diverse una, l'opposto dell'altra, in un contesto che nel tempo è evoluto in maniera diversa per gli usi che se ne sono fatti e per le scelte che vi si sono sviluppate.



2012 2016 2020

Figura 9. Evoluzione della spiaggia dall'Istituzione dell'Area marina protetta.

### Spiaggia di Torre Cerrano

Torre Cerrano, tra le cittadine di Pineto e Silvi, in provincia di Teramo, e Casabianca tra i centri abitati di San Tommaso e Lido, entrambi in Comune di Fermo, sono le classiche spiagge in origine non molto considerate perché posizionate in luoghi non baricentrici rispetto alle aree urbane e, quindi, sostanzialmente lasciate ad una propria naturale evoluzione.

Con il passare del tempo, la crescita degli abitati costieri e l'aumento della richiesta di spiagge da parte del turismo balneare, ha fatto si che anche queste aree residuali diventassero luoghi di interesse. Sia Torre Cerrano che Casabianca sono diventate spiagge ambite per una utilizzazione economica e produttiva. In entrambi i casi ci si è trovati di fronte a due arenili naturali in cui le caratteristiche di una vegetazione tipica degli habitat dunali e la nidificazione di specie rare, come il Fratino (Charadrius alexandrinus), ne certificavano un interesse che avrebbe meritato certamente l'inserimento di entrambe le spiagge nell'elenco dei siti di Natura 2000, la rete europea di aree protette.

A Torre Cerrano amministrazioni molto sensibili e una comunità coesa nella volontà di difendere il proprio patrimonio ambientale costiero, ha portato negli anni 90 del secolo scorso alla emersione di una azione per l'istituzione di un'area protetta. Nel 1997 venne predisposto un disegno di legge da presentare alla Camera dei Deputati con la proposta di un Parco che proteggesse l'area del Cerrano; trovando in un parlamentare locale un convinto sostegno. L'approvazione da parte del Parlamento italiano della proposta arrivò subito e, con l'art.4 della legge n.344/1997, nell'ottobre successivo, "Torre del Cerrano" entrò nell'elenco delle aree di reperimento per l'istituzione di un'Area Marina Protetta e dopo una serie di passaggi non poco travagliati, durata dieci anni, si è arrivati alla definitiva consacrazione avvenuta nel 2009[13].

L'attenzione ai luoghi e la cura di quel lembo di costa ancora non totalmente antropizzato ha fatto sì che oggi 7 km di costa si trovano in un equilibrio tale, che, non solo vede tutelate le specie e gli habitat preesistenti, ma vede il livello di biodiversità aumentare anno dopo anno, registrando successi anche nella riproduzione delle specie più rare, sia in mare che lungo la costa: è del 2022 la bellissima novità della nidificazione di una Tartaruga marina (Caretta caretta), giunta tranquillamente a riproduzione con 72 tartarughine nate, a fine stagione estiva, circondate dall'entusiasmo di volontari, turisti e cittadini.

A Torre Cerrano un insieme di scelte oculate nel sistema di *governance* e di gestione accurato delle spiagge ha

13 Il 7 febbraio 2008 si è costituito il Consorzio di Gestione tra i due comuni interessati, Pineto e Silvi, la Provincia di Teramo e la Regione Abruzzo e poi l'Area Marina Protetta Torre del Cerrano è stata istituita con Decreto del Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare del 21-10-2009, pubblicato in Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.80 del 07-04-2010.

portato oggi, dopo aver fermato le draghe idrauliche "turbosoffianti", che nel processo di pesca delle vongole distruggevano le barre sommerse a difesa della costa, aver avviato la raccolta dei rifiuti spiaggiati in modalità mista limitando l'uso di mezzi meccanici solo per la raccolta di ciò che viene spostato a mano dalle aree dunali, aver delimitato le zone di vegetazione psammofila di duna e aver rinforzato i boschi retrodunali, ad un rallentamento importante del il processo erosivo della costa. L'arretramento si è praticamente arrestato, anzi, nella parte centrale dell'Area marina protetta, nella zona B dove la duna ha ritrovato tutta la sua naturalità, la linea di costa è in lento e costante avanzamento[14].

Negli anni l'istituzione dell'area marina protetta ha facilitato anche tutti i successivi procedimenti di tutela come ad esempio l'inserimento dell'area in un livello di protezione anche più importante, quello della rete Natura 2000. Il lavoro di individuazione del sito è partito nel 2010 dagli uffici dell'Area Marina Protetta ed ha coinvolto i comuni interessati e poi la Regione Abruzzo, che ha approvato la candidatura a settembre 2010[15], ed il Ministero dell'Ambiente, che ha validato la candidatura l'anno successivo. L'approvazione ed il riconoscimento del Sito di Interesse Comunitario da parte dell'Unione Europea si è avuto il 16 novembre 2012, con un perimetro che ricomprende l'intera estensione dell'Area Marina Protetta[16].

Oggi quella di Torre Cerrano è la più bella spiaggia del medio Adriatico. Regole chiare di gestione sia a terra che in mare, una attività di pesca limitata e cogestita con anche una comunità Slowfood della piccola pesca artigianale del Cerrano, la coprogettazione delle attività promozionali all'interno della Carta Europea del Turismo Sostenibile, il controllo della qualità delle acque con il Contratto di Fiume del Cerrano, una costante attività di ricerca e sviluppo con tutte le Università e gli Istituti di Ricerca più importanti del centro Italia, etc., tutto senza nulla togliere alla fruibilità turistica, anzi, creando un "appeal" che ha portato ad un aumento esponenziale delle presenze. In 20 anni la piccola Pineto è passata dall'essere la cenerentola del turismo costiero abruzzese ad una delle più note località dell'Adriatico in una posizione di leadership per presenze turistiche in rapporto al numero di abitanti e dei posti letto disponibili.

### Spiaggia di Casabianca

A Casabianca, spiaggia in località Lido di Fermo la mancanza, invece, della istituzione di una protezione adeguata ha portato nel tempo a risultati diametralmente opposti.



Figura 10. Torre Cerrano e Fratino.

Un contesto di antropizzazione della costa molto simile, con infrastrutture ferroviarie e viarie a ridosso della fascia costiera e con esse lo sviluppo lineare di costruzioni dell'abitato marino, ha visto scelte molto diverse della comunità locale e dell'amministrazione comunale, rivolte a un'utilizzazione spinta della spiaggia. È la storia di tante aree costiere italiane, ma a Casabianca è accaduto ciò che in questo lavoro si cerca di far capire in relazione al superamento dei limiti di sostenibilità dell'utilizzo della risorsa. Un luogo che presentava ancora carattere di naturalità, meritevole di protezione, con la nidificazione, costantemente registrata, del Fratino (Charadrius alexandrinus), specie inserita nell'allegato II° della direttiva uccelli, specie prioritaria, quindi, simbolo e indicatore di un ecosistema e di un habitat di estremo interesse, non ha raggiunto la conclusione del processo avviato per l'istituzione di un Sito di Interesse Comunitario e negli stessi anni in cui si promuoveva l'istituzione del sito Natura 2000, il Comune di Fermo ha autorizzato l'utilizzazione degli spazi costieri per delle attività che hanno comportato la compromissione del sito e la perdità delle interessanti peculiarità che presentava.

Se nel caso di Torre Cerrano, gli organi centrali dello Stato sono stati presenti e solerti nel raccogliere le indicazioni provenienti da regione ed Enti Locali istituendo con relativa celerità un'Area marina protetta, nel secondo caso, nonostante vi fosse la presenza dimostrata di habitat

14 Pericolosi progetti di scogliere in mare fuori dal confine nord dell'Area marina protetta, minano oggi questo equilibrio ritrovato dopo dieci anni dall'avvio della gestione effettiva tramite un Consorzio dal 2009 a oggi.

15 Delibera di Giunta n.738 del 27.09.2010.

16 Pubblicato in Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 26 gennaio 2013. Con Decreto del Ministro dell'Ambiente n.11 del 12 gennaio 2017 è stato approvato il Regolamento di Esecuzione ed Organizzazione, dove, all'art.1 comma 2, si specifica che tale regolamento ha valore anche quale normativa di Misure di Conservazione Sitospecifiche relative al Sito IT7120215. Il 23 gennaio 2019 è stato pubblicato in Gazzetta Ufficiale (GU Serie Generale n.19 del 23-01-2019), il Decreto del Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare 28 dicembre 2018 istitutivo della Zona Speciale di Conservazione-ZSC Torre del Cerrano, cioè la trasformazione del SIC IT7120215 in vero e proprio Sito Natura 2000.

e specie che necessitavano certamente di un intervento di protezione di livello statale, in mancanza di decisioni assunte a livello locale, l'esito è stato ben diverso. È accaduto esattamente ciò che purtroppo si registra in tante spiagge italiane in situazioni in cui lo Stato latita nella corretta azione di tutela del proprio patrimonio demaniale, così eventi musicali o motoristici occupano spazi naturali con la sola autorizzazione del Comune del posto, distruggendone la naturalità, per avviare poi quella antropizzazione che si traduce nel tempo in una utilizzazione intensiva del demanio pubblico. Quello di Casabianca di Fermo è un caso da manuale, che però, per alcuni aspetti, rasenta l'assurdo.

Negli stessi anni in cui a Torre Cerrano si concretizzava l'istituzione dell'area marina protetta a Casabianca si lavorava per la salvaguardia del luogo attraverso un'azione proattiva di tutte le varie associazioni culturali ed ambientaliste avviando anche lì la richiesta per il riconoscimento come Sito di Interesse Comunitario e l'istituzione di un'area protetta europea della rete Natura 2000.

Nel 2013 nel fermano si riconosce pubblicamente l'importanza del sito[17]. Dopo un'importante lavoro svolto dalle associazioni si avvia nel 2017 il procedimento di candidatura a Sito di Interesse Comunitario della spiaggia di Casabianca insieme al Comune di Fermo[18].

Grazie ad un Progetto Life finanziato dall'Unione Europea, la LIPU- Lega Italiana Protezione Uccelli, potè raccogliere e riordinare i dati della presenza del Fratino nell'area di Casabianca tra il 2017 e il 2019[19]. In quegli anni si era formato il Comitato "Torri A Guardia della costa e del mare Adriatico", conosciuto come Comitato TAG costa-mare, composto da tutte le maggiori e riconosciute associazioni di protezione ambientale nazionale, che aveva lo scopo di promuovere la tutela della costa e del mare Adriatico attraverso la istituzione di siti Natura 2000 in particolare lungo la costa bassa marchigiana che ne era completamente priva[20]. Con una proposta del Comitato TAG costa-mare per i Siti Natura 2000 del fermano, progetto denominato "*Progetto Litorale Fermo 2020 – la costa fermana in Natura2000",* Casa Bianca sarebbe dovuta definitivamente divenire un Sito di Interesse Comunitario[21]. Si trattava semplicemente di portare avanti quanto dal Comune promesso e programmato per la candidatura dell'area a Sito di Interesse Comunitario in modo da portare Casabianca nella rete europea Natura 2000.

Nel 2019, però, arrivò al Comune di Fermo la proposta da una società milanese, la Trident Music Srl, di svolgere un concerto, per l'esattezza il "*Jova Beach Party*", su quella spiaggia.

Apparve subito evidente che un evento importante come quello, non potesse svolgersi sul demanio marittimo ma doveva trovare giusta collocazione in aree dedicate a tale scopo, come un campo sportivo, una arena o anche, semplicemente, sempre a Casabianca, in una delle aree agricole libere tra ferrovia e mare come ne esistono in vari punti della costa, anche a Casabianca poco più a nord spostandosi verso San Tommaso.

Incredibilmente, smentendo persino quanto concordato tra l'organizzazione dell'evento e il WWF nazionale, infelice partner dell'iniziativa, che aveva chiesto che tutto si svolgesse in un'area diversa da quella oggetto di protezione, più a sud, alla fine si decise di far svolgere quell'evento a Casabianca, esattamente sulla stessa spiaggia che qualche mese prima era stata destinata a tutela per gli elevati valori naturalistici presenti. L'11 giugno 2019 venne pubblicata all'Albo del Comune di Fermo, al n.2113, la Delibera di Giunta n.164/2019[22].

La delibera approvava un evento, un gigantesco show, che poi si tenne il 3 Agosto 2019 in località Casabianca del Lido di Fermo: il *Jova Beach Party* (JBP). Alla delibera era allegata la planimetria dell'area interessata dall'evento, che coincideva esattamente con l'area demaniale indicata per essere candidata ad un riconoscimento di area naturale protetta all'interno del programma europeo Natura 2000.

Il 21 luglio 2019 le ruspe entrarono sulla spiaggia di Casabianca, esattamente nell'Area di tutela del Fratino, dove era vietato fino ad un minuto prima, per ordinanza dello stesso Sindaco, persino il normale calpestio, e spianarono completamente le dune embrionali presenti, livellando il

17 "*Prosegue l'opera di salvaguardia ambientale e avifaunistica a Lido di Fermo per la difesa del Fratino*: *operazione sostenuta dall' Assessorato all'Ambiente con la collaborazione fattiva delle associazioni Smilax Nova, Lipu* e *Bioma finalizzata alla protezione e difesa dell'ambiente. Nel tratto di spiaggia libera a "Casabianca" ove il Fratino nidifica da diversi anni, è stata posizionata una rete di protezione che si estende fino ad una superficie di quasi cinque mila metri quadrati, per consentire un successo riproduttivo maggiore*" in: Prima Pagina On Line, Quotidiano del Piceno e delle Marche, "*Lido di Fermo, la salvaguardia del Fratino*", scritto da Redazione - pubblicato il 27 Marzo 2013. https://www.primapaginaonline.it/2013/03/27/tutela-del-fratino-a-rischio-di-estinzione/ (giugno 2024)

18 "*Abbiamo appreso nei giorni scorsi che l'amministrazione comunale ha richiesto alla Regione Marche il riconoscimento dell'area di spiaggia di Casabianca, l'area in cui nidifica il Fratino, per intenderci, come area SIC, che sta per Sito di Interesse Comunitario*" in: Cronache Fermane. it, "*Spiaggia di Casabianca, chiesto il riconoscimento come sito di Interesse comunitario: plauso della LIPU*", 4 novembre 2017. https://www.cronachefermane.it/2017/11/04/spiaggia-di-casabianca-chiesto-il-riconoscimento-come-sito-di-interesse-comunitario-il-plauso-della-lipu/121412/ (giugno 2024).

19 Progetto Life CHOO-NA! (LIFE16 ESC/IT/002) *"Choose the Nature! Involvement of young volunteers for the Italian nature conservation"*. http://www.lipu.it/choona/ (luglio 2024).

20 Il Comitato "Torri A Guardia della Costa e del Mare" è stato fondato il 16 dicembre 2017 con la sottoscrizione dell'atto costitutivo da parte delle maggiori associazioni di protezione ambientale di livello nazionale e locale: Italia Nostra, Legambiente, LIPU-Lega Italiana Protezione Uccelli, Marevivo, Marche Rifiuti Zero, SlowFood, Società Operaia "G.Garibaldi" WWF. A seguire si sono unite anche l'Associazione Ornitologi Marchigiani e la FIAB-Federazione Italiana Ambiente e Bicicletta.

21 Il progetto per Fermo si chiama "*Litorale Fermo 2020*" e nel 2018 è stato presentato in una Conferenza Stampa alla presenza di Sindaco ed Assessori competenti, entusiasti dell'idea. Conferenza Stampa del 15 dicembre 2018 a Fermo. https://legambientemarche.org/il-t-a-g-costa-mare-torri-a-guardia-della-costa-e-del-mare-adriatico-propone-al-comune-di-fermo-listituzione-di-due-siti-natura-2000/ (agosto 2024).

22 Delibera di Giunta Comune di FERMO n.164 del 4-06-2019, "*Evento Jova Beach Party 3 agosto 2029, Atto di Indirizzo*".



Casabianca, 27 giugno 2019



Casabianca, 27 luglio 2019

Figura 11. Casabianca di Lido di Fermo, lavori di sistemazione dell'area del Jova Beach Party 2019.

piano dell'arenile per la preparazione del concerto, cambiando definitivamente l'orografia del luogo e con una perdita delle condizioni di naturalità presenti. Tutta la vegetazione dunale venne completamente distrutta e, il giorno del concerto più di 20mila persone si accalcarono su quegli stessi spazi distruggendo qualunque forma di vegetazione avesse potuto resistere ai precedenti spianamenti.

Attoniti si è assistito nel 2019 a Casabianca, come anche in tante altre località costiere italiane, a questo evento-concerto che rappresentava un qualcosa di molto vicino ad un *"Rave party"*, uno di quei raduni che in genere si svolgono in maniera abusiva ed illegale, inevitabilmente, perchè organizzati in ambienti naturali, spesso su luoghi di proprietà pubblica, dove nessuno avrebbe mai potuto pensare ad una autorizzazione. Per un personaggio molto noto, invece, come l'artista Jovanotti, nonostante tutto si svolgesse, comunque, su Demanio dello Stato e in ambienti naturali preziosi e delicati, tutto avveniva apparentemente in maniera regolare perchè in possesso dell'autorizzazione comunale. Invece di affrontare criticamente il tema all'interno delle proprie limitate competenze, tutti i comuni interessati hanno applaudito all'iniziativa ed hanno investito risorse ingenti per la riuscita dell'evento. Un evento privato, per accedere al quale si è pagato un biglietto molto costoso, svolto su suolo pubblico, con investimento di risorse economiche comunali e un dispiego enorme di risorse e personale delle autorità di pubblica sicurezza e protezione civile: perché trasformare una spiaggia in uno stadio con i dovuti spazi di servizio, ristorazione, sicurezza e igiene, non è cosa semplice e necessita di personale e infrastrutture provvisorie importanti, talvolta impensabili[23].

In questo contesto il ruolo dell'Autorità Marittima, che in Italia è il Corpo delle Capitanerie di Porto-Guardia Costiera, ha l'obbligo di sorveglianza non solo per i transiti, la sicurezza, l'utilizzo, ma anche e sempre di più, sui temi della tutela della naturalità del demanio marittimo affidatogli. In passato, la Guardia Costiera, tra gli altri, aveva il compito di concedere le licenze per tutti i tipi di attività da realizzare all'interno dell'area demaniale; ora questi compiti sono passati alle regioni e ai comuni.

Ogni qualvolta dovesse arrivare ora una richiesta dell'uso di luoghi non soggetti a concessione e non rientranti in strumenti di pianificazione che ne hanno già definito la destinazione, in presenza di rilevanti caratteristiche naturali, è lo Stato Italiano che, anche attraverso processi decisionali ormai riconosciuti e utilizzati nell'applicazione delle forme di valutazione, come i processi di VAS, VIA, VIncA, etc. ormai unanimemente conosciuti ed utilizzati ad ogni livello, a dover rilasciare l'autorizzazione[24].

Sarebbe consono che l'Autorità marittima restasse ben più distante da certe operazioni commerciali pensate sul demanio costiero, per poter più liberamente vigliare sul loro operato, in particolare se in assenza degli atti necessari di provenienza centrale dal Ministero dell'Ambiente o dal proprio stesso Ministero, il Ministero delle Infrastrutture. In tali contesti, invece, è accaduto che localmente i rappresentanti del Corpo dell capitanerie di Porto affiancavano talvolta gli Enti Locali nelle operazioni promozionali costruite nell'organizzazione degli stessi eventi.

Nel 2020 il Comune di Fermo, dopo l'evento, per cercare di ripristinare l'ambiente distrutto dal JBP, anche per arginare le pressioni dell'opinione pubblica, si è lanciato in un tentativo disperato di rinaturalizzazione dell'area, assumendo provvedimenti già utilizzati in precedenza, come le ordinanze rivolte alla tutela del Fratino escludendo, quindi,

23 Senza dover raccontare quanto si è reso necessario per traffico, parcheggi, acqua, servizi igienici, ristorazione, situazione difficilmente immaginabile se non si è avuto modo di vedere la colonna di camion frigorifero che hanno sostato nella zona, per giorni, ovviamente a motori accesi per mantenere tutto a temperature adeguate, si pensi che sono stati installati in ogni luogo dove si è svolto l'evento, persino appositi ripetitori mobili per la telefonia cellulare al fine di garantire comunque le comunicazioni dei visitatori, aspetto considerato importante per la sicurezza delle persone.

24 La Costituzione della Repubblica Italiana. Articolo 9: *"La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione. TUTELA L'AMBIENTE, LA BIODIVERSITÀ E GLI ECOSISTEMI, ANCHE NELL'INTERESSE DELLE FUTURE GENERAZIONI. La legge dello stato disciplina i modi e le forme di TUTELA DEGLI ANIMALI".* Articolo 41: *"L'iniziativa economica privata è libera. Non può svolgersi in contrasto con l'utilità sociale o in modo da recare danno alla sicurezza, alla libertà, alla dignità umana, alla salute, ALL'AMBIENTE".*



Casabianca, 26 giugno 2022



Casabianca, 26 luglio 2022

Figura 12. Casabianca di Lido di Fermo, lavori di sistemazione dell'area del Jova Beach Party 2022.

ogni possibile attività in quell'area[25], ma anche finanziando la riallocazione delle piante rare andate perdute per le quali si sono avute speciali autorizzazioni di prelievo di piantine e semi in altre aree protette marchigiane[26]. Per garantire che tali spazi riprendessero la loro caratteristica di naturalità il Comune di Fermo ha chiamato consulenti botanici, esperti e volontari che hanno lavorato nel 2020 e nel 2021 nella speranza di ricostruire un ambiente unico ma forse ormai irrimediabilmente perduto, alla cui scomparsa non ci si voleva comunque rassegnare, arrivati, come era, ad un passo dalla protezione europea.

A fine 2021 sembrava si stesse iniziando a rivedere qualcosa. Sarebbe stato ancora tanto il lavoro da fare per un restauro naturalistico completo di quell'area e, sebbene difficile si sperava di tornare ad avere la condizione di naturalità preesistente con un paziente lavoro di monitoraggio e aiuto dei processi naturali. Il sogno di tutti era quello di poter riavere un giorno a Casabianca persino la vegetazione di duna e di nuovo la nidificazione del Fratino.

Ma come vuole un buon copione del teatro dell'assurdo il bello doveva ancora venire.

Il Sindaco di Fermo, sempre lo stesso, della medesima amministrazione, in una Conferenza Stampa di fine anno 2021, svoltasi insieme alla Trident srl e con Jovanotti in videoconferenza, annunciò, a sorpresa, che il 6 e 7 agosto 2022, il *Jova Beach Party* sarebbe tornato a Lido di Fermo, come anche in tante altre spiagge italiane[27].

Una vera e propria mobilitazione a quel punto si accese in tutta Italia contro la ripetizione di una devastazione dell'ambiente costiero. Se la prima volta qualcosa poteva essere sfuggito all'opinione pubblica anche per la velocità con cui tutto il procedimento si era sviluppato, il perseverare nell'errore di invadere le spiagge naturali con eventi temporanei non poteva essere accettato. A Fermo incontri[28], riunioni[29], convegni[30], approfondimenti, dibattiti, fino ad arrivare alle diffide, è stato organizzato di tutto per convincere il Comune a delocalizzare il *Jova Beach Party 2022* in uno spazio più idoneo, differente dalla spiaggia oggetto di restauro naturalistico. Come se nulla fosse il 17 maggio 2022 il Comune di Fermo diede indicazioni perché si svolgesse nuovamente tutto sulla spiaggia di Casabianca[31].

All'avvicinarsi dell'estate gli eventi precipitarono in tutta Italia perchè nessun Comune scelse di fare marcia indietro per delocalizzare i concerti e iniziarono a partire esposti e denunce in vari luoghi[32]. Molti furono gli appelli a Ministero Ambiente e ISPRA[33] e a luglio la situazione divenne di interesse nazionale con il tema dell'incompatibilità di certi eventi con la naturalità delle spiagge, portati all'attenzione del grande pubblico dai media più importanti[34].

In un tale contesto a Casabianca regna il caos: il 26 luglio 2022 le ruspe entrano in spiaggia, senza ancora alcuna autorizzazione, ed iniziano a spianare sulla stessa area su cui c'era stato il restauro ambientale. A quella data l'unico

25 Ordinanza del Sindaco n.12 del 21-02-2020

26 Autorizzazione Regione Marche PFAA n.122 del 20-07-2020.

27 "*Rappresenta una grandissima conferma per la nostra città, anche in considerazione del fatto che sono state ridotte le location e l'evento torna laddove si sono trovati meglio. Rivedere circuita Lido di Fermo dentro l'elenco delle più importanti spiagge italiane è una promozione unica che va al di là delle due giorni e siamo orgogliosi di questo*" in VivereFermo "*Nuovo singolo e altro Beach Party nel 2022: Jovanotti risbarca a Lido di Fermo*" 19-11-2021 https://www.viverefermo.it/2021/11/22/nuovo-singolo-e-altro-beach-party-nel-2022-jovanotti-risbarca-a-lido-di-fermo/1075988/ (luglio 2024).

28 29-04-2022, Mozione TAG costa-mare contro il Jova Beach Party

29 02-05-2022, Diffida TAG al Sindaco di Fermo

30 28-05-2022, "*Si Fratino No Party*" Convegno con Franco Sacchetti, Società Operaia di Porto S.Giorgio (FM). www.corriereadriatico.it/fermo/fermo_ultime_notizie_jovanotti_jova_beach_party_lido_casabianca_ambientalisti_fratino_sacchetti-6698057.html (giugno 2024).

31 Delibera di Giunta Comune di FERMO n.164 del 17-05-2022, "*Evento Jova Bach Party del 5 e 6 agosto 2022. Atto di indirizzo*".

32 Il 02-07-2022, il TAG costa-mare deposita un Esposto-Diffida alla Procura di Fermo e alla Corte dei Conti.

33 Il 18-07-2022 TAG costa-mare chiede l'intervento di urgenza al Ministero della Transizione Ecologica e all'ISPRA,

34 Chiara Grasso "*Il Jova Beach Party e non solo. Non dovrebbe essere la Natura il vero ombelico del mondo?*" in: La Stampa, Torino, 14-07-2022. https://www.lastampa.it/la-zampa/2022/07/14/news/il_jova_beach_party_in_spiaggia_e_non_solo_non_dovrebbe_essere_la_natura_il_vero_ombelico_del_mondo-367928429/ (luglio 2024).

atto esecutivo esistente e reperibile all'Albo del Comune del Comune di Fermo è l'ordinanza che parla solo della interdizione alla fruizione, dal 27 luglio 2022 al 9 agosto 2022, dell'intera passeggiata pedonale e della pista ciclabile di Casabianca.

Il 28 luglio 2022 entrano in spiaggia i camion e gli elevatori e si inizia a montare il Palco senza ancora alcuna autorizzazione formale da parte degli uffici comunali. Ad inizio agosto arriva l'Ordinanza della Capitaneria di Porto che regolamenta lo spazio acqueo disinteressandosi completamente del demanio marittimo costiero[35].

assoluto rispetto e salvaguardia delle aree costiere segnalate dagli studi botanici fatti effettuare dalla stessa regione anni prima, tra cui spiccava anche la spiaggia di Casabianca, che era segnalata in vari studi condotti per conto della Regione Marche e, tra l'altro pubblicati proprio nel 2021[37].

L'assurdo di tale situazione non è solo che la Regione Marche avesse chiesto al Comune di Fermo di salvaguardare la spiaggia di Casabianca a settembre dopo che, ad agosto, meno di 30 giorni prima, la stessa spiaggia era stata devastata da ruspe, camion e 40mila persone partecipanti ad un evento autorizzato dallo stesso Comune, ma, peg-



Figura 13. Casabianca di Lido di Fermo, prima serata del Jova Beach Party 5-08-2022.

Solo il 05 agosto 2022 viene prodotta l'autorizzazione del Comune di Fermo. E' lo stesso giorno del primo Concerto che si svolgerà quella sera sulla spiaggia di Casabianca con oltre 15mila spettatori. Il giorno dopo il secondo Concerto, il 6 agosto 2022 vedrà altetttanti spettatori ammassati sulla spiaggia.

**Enti Locali liberatutti**

Il giusto atto finale del teatro dell'assurdo si è scritto nel settembre di quello stesso 2022.

La Regione Marche in una nota inviata a tutti i Comuni costieri a fine settembre del 2022[36] invitava ad un

gio, che tale raccomandazione regionale, con un perfetto tempismo era mossa solo in settembre sulla base di una circolare che tutte le Regioni avevano ricevuto nel maggio precedente, esattamente il 30 maggio 2022, dal Ministero dell'Ambiente che con lo specifico oggetto riferito al Jova Bech Party 2022 richiamava tutte le regioni, dove tale evento si stesse organizzando, "*alla massima attenzione in merito agli aspetti sopra segnalati* [tra cui eradicazione di vegetazione psammofila e distruzione di siti di nidificazione del Fratino] *con particolare riferimento alle misure poste in essere per garantire i rispetto delle Direttive 92/43/CEE*

35 Ordinanza della Capitaneria di Porto Ufficio Circondariale di Porto San Giorgio n.31 del 3-08-2022.

36 REGIONE MARCHE, circolare avente oggetto: *"Piano GIZC (DACR n.104/2019 e agg. DGR n.1015/2022)- Programma di Azione e Piano di Monitoraggio, in attuazione dell'art.28, comma 2 delle Norme Tecniche di attuazione (Approvato con Deliberazione della Giunta Regionale n.1579 del 22 dicembre 2021). Orientamento per la sostenibilità OS2 – regolamentazione aree dunali e tutela siti di nidificazione del fratino; Orientmaento per la sostenibilità OS6 – pulizia manuale dei rifiuti nelle aree maggiormaente sensibili delle spiagge libere".* AOO: Registro Unico della Giunta Regionale; Numero di protocollo: 1178745; Data protocollazione: 23-09-2022.

37 Bisci C, Cantalamessa G., Spagnoli F. e Tramontana M., "Studi Costieri" n.30, 2021. ISSN 1129-8588



Figura 14. Sito Casabianca area dunale (Regione Marche).

*"Habitat" e 2009/147/CE "Uccelli", anche al fine d evitare il possibile configurarsi di reati"*[38].

Reati che potrebbero essere riconosciuti, come visto nella prima parte di questo lavoro, anche in assenza di siti già designati nella rete Natura 2000 ma per il semplice fatto che il luogo sia un habitat o un sito di riproduzione di specie segnalate nelle direttive.

La verità di fondo dell'increscioso episodio di Lido di Fermo, di fatto ripetutosi anche su tante altre spiagge italiane, è che i sindaci italiani non credevano alle proprie orecchie quando la Trident Music srl ha iniziato a parlare per la prima volta, nel 2018 del *Jova Beach Party,* evento mediatico di risonanza nazionale in base al quale, con il triste avallo della maggiore associazione ambientalista italiana, finalmente, si avviava un percorso che avrebbe consentito di fare sulle spiagge, sui suoli demaniali dello Stato, tutto ciò che da tempo si sarebbe voluto fare ma che le norme sul rispetto della natura, degli ecosistemi, del demanio marittimo, del patrimonio pubblico, non lo avrebbero mai consentito.

Si è trattato di un "decreto speciale di tipo mediatico"[39].

Nessuno avrebbe avuto il coraggio di mettersi contro una macchina organizzativa così potente economicamente e mediaticamente. E così è stato! Da quel giorno ogni sindaco, assessore, operatore balneare, agenzia di comunicazione o organizzatore di eventi, chiunque, si è sentito in diritto di chiedere l'utilizzo delle spiagge italiane ancora libere da antropizzazioni definite, concessioni balneari o destinazioni produttive predeterminate, per qualunque uso assurdo potesse la mente umana concepire.

38 Ministero Ambiente e Transizione Ecologica, circolare avente oggetto: "*Segnalazione possibili impatti ambientali correlati allo svolgimento di eventi sugli arenili – Jova beach party tour 2022*". MiTE.Registro Ufficiale. Uscita- n.0067590 del 30-05-2022.

39 Definizione coniata da Franco Sacchetti, Architetto paesaggista, curatore di un sito: "*A chi jova beach tour*" fondatore e referente oggi del Comitato C.I.T.A.N.G.E. - Coordinamento Italiano Tutela Ambienti Naturali dai Grandi Eventi. https://www.facebook.com/Coordinamento.CI.TANGE/ (agosto 2024).

## BIBLIOGRAFIA


AA.VV. (2002). *Fra terra e mare*, Ed. Marea, Tipografia Villaggio del Fanciullo, Opicina (TS).

Adamoli L., Febbo D., Pirone G. (1997). *Le dune*, Comune di Martinsicuro, Martinsicuro (TE).

Albertazzi B. E Trezzini F. (1999). G*estione e tutela delle acque dall'inquinamento,* EPC libri, Roma.

Annunziata G. (2004). Il *demanio marittimo e le aree protette: profili normativi tra competenze e procedimenti di tutela*, Ufficio per la formazione decentrata del distretto di Corte di Appello di Salerno, 4 novembre 2004. Fonte: Sito Corte d'Appello, http://appinter.csm.it/incontri/relaz/10944 . pdf (10.12.2009).

Battisti C. (2023). *Rock and Plovers—A Drama in Three Acts Involving a Big Musical Event Planned on a Coastal Beach Hosting Threatened Birds of Conservation Concern*, Conservation 2023, *3*(1), 87-95., Published by MDPI. EISSN 2673-7159.

Bisci C, Cantalamessa G., Spagnoli F. E Trampontana M. (2021). *Studi Costieri* n.30, 2021.

Bulgarini, F., Petrella S., Teofili C. (A Cura di) (2006). Biodiversity *Vision dell'Ecoregione Mediterraneo Centrale*, WWF Italia-MIUR, Roma.

Corbetta P. (2003). *La ricerca sociale: metodologia e tecniche*, Il Mulino, Bologna.

De Ascentiis A. (2005). *Le regine delle Dune: Guida alla piante vascolari del litorale di Pineto,* Provincia di Teramo-WWF Italia, Teramo.

Douvere F. (2008). *The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management*. Marine Policy.

Moschini R. (2001). *La gestione integrata delle coste e il ruolo delle aree protette*, Ed. Grafiche Scarponi, Osimo.

Regione Marche, Deliberazione amministrativa n.169 del 2 febbraio 2005 "Piano d gestione integrato delle aree costiere", legge regionale 14 luglio 2004, n.15 (BURM n.21 del 25 febbraio 2005), "PIANO DI GESTIONE INTEGRATA DELLE AREE COSTIERE DEMANIO MARITTIMO RELAZIONE E NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE".

Ungaro D., De Marchi B., Pelizzoni L. (2001). *Il Rischio Ambientale*, Il Mulino Bologna.

Vallarola F. (a cura di) (2009). *Aree Protette Costiere e Marine*, AIDAP-AMP Torre delCerrano- AMP Miramare, EditPress, Teramo. ISBN:88-903740-0-5

Vallarola F. (a cura di) (2011). *Le Aree Marine Protette*, Edizioni ETS, Pisa. ISBN 978-884673092-3.

Vallarola F. (2011). *Le Aree Marine Protette*, in Sargolini M. (a cura di), *Piani per i Parchi*, Edizioni ETS, Pisa. ISBN 978-884673048-0.

Vallarola F., De Ascentiis A., Cargini D. (a cura di) (2015). *Torre del Cerrano e Natura 2000*, AMP Torre del Cerrano, EditPress, Pineto-Silvi.

Zoppi C. (1993). *Aree protette marine e costiere, questioni di pianificazione del territorio*, Gangemi Editore, Roma.

# Ingegneria Naturalistica per la riqualificazione degli habitat costieri - un approccio ecologico

## Naturalistic Engineering for the redevelopment of coastal habitats - an ecological approach

Federico Boccalaro
SIGEA Lazio - ORDING Roma, Commissione Ingegneria Naturalistica (presidente), AIPIN Lazio (presidente)

*E-mail*: federico.boccalaro@libero.it

**Parole chiave**: ingegneria naturalistica, habitat costieri, dune, interventi costieri
**Key words**: naturalistic engineering, coastal habitats, dunes, coastal interventions

## ABSTRACT

L'Ingegneria Naturalistica è un settore delle scienze delle costruzioni che persegue obiettivi tecnici, ecologici, paesaggistici ed economici, attraverso l'aggiunta prevalente di materiale da costruzione vivo (sementi, piante, parti di piante e associazioni vegetali di piante). Questi obbiettivi vengono raggiunti attraverso una tecnica costruttiva ecologica e cioè con l'utilizzo delle molteplici proprietà delle piante.

L'Ingegneria Naturalistica raggiunge così, sempre più diffusamente in ambito Mediterraneo gli obiettivi di:

- proteggere contro i rischi idrogeologici;
- ripristinare gli habitat naturali;
- definire le specie vegetali ottimali per il loro apparato radicale;
- condividere e diffondere gli interventi.

In ambito costiero, i sistemi dune-spiagge-fondali instabili sono soggetti a erosione e forniscono un apporto di sabbia che può essere compromesso dagli eventi meteomarini e dall'impatto antropico.

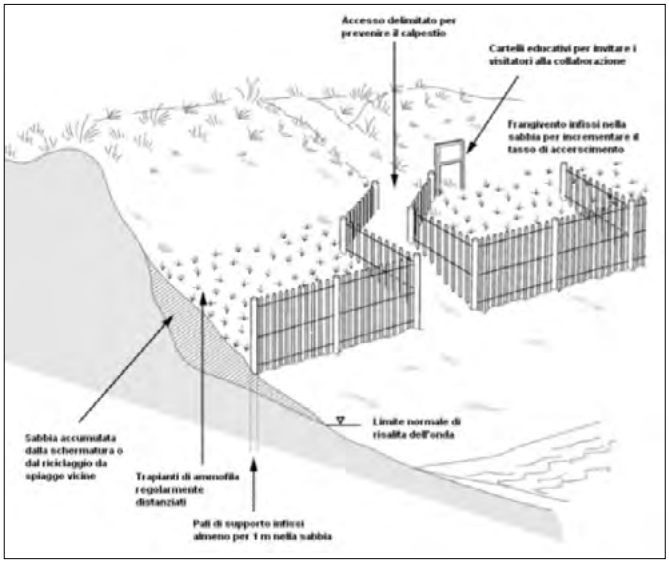
La stabilizzazione del suolo con tecniche di Ingegneria Naturalistica può essere necessaria per:

- prevenire la perdita o il deterioramento di preziosi habitat naturali.
- mantenere le creste dunali, che fungono da protezione costiera per le zone interne.
- proteggere, la vegetazione (a psammofile e fanerogame marine) consolidatrice delle sabbie emerse e sommerse dall'attacco dello sviluppo turistico incontrollato (calpestio, ancoraggio, ecc.) e dal consumo di suolo.
- consentire il rimboschimento del retroduna, la stabilizzazione dei crinali dunali e la riforestazione delle praterie di *Posidonia oceanica*.

## HABITAT DELLE DUNE

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





bia) e, infine, l'innalzamento del livello dei mari (legato al documentato innalzamento della temperatura media annuale).

Gli habitat di interesse comunitario più strettamente legati agli ambienti costieri sono quelli che rientrano nelle macrocategorie:
"Scogliere marittime e spiagge ghiaiose" (cod. 12),
"Paludi e pascoli inondati atlantici e continentali" (cod. 13),
"Paludi e pascoli inondati mediterranei e termo-atlantici" (cod. 14),
"Steppe interne alofile e gipsofile" (cod. 15),
"Dune marittime delle coste atlantiche, Mare del Nord - Baltico" (cod. 21),
"Dune marittime delle coste mediterranee" (cod. 22).

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

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

## RIVEGETAZIONE DELLE DUNE

Le attenzioni agli aspetti ecologici delle dune hanno lo scopo di:

- mantenere pingue la falda di acqua dolce sottostante le dune, evitando il prelievo da pozzi superficiali, e facilitando la percolazione delle acque piovane (non paiono opportune le usuali fognature per acque bianche, che drenando e allontanando rapidamente le acque ne impediscono la percolazione);
- conservare la struttura di barriera naturale, anche e soprattutto nelle sue parti meno appariscenti ma più esposte che fronteggiano il mare, come la zona erbacea che fissa le sabbie (vegetazione colonizzatrice, caratterizzata in genere dalla presenza di *Ammophila arenaria*) e quella arbustiva retrostante (caratterizzata in genere dalla presenza di ginepro e lentisco, vegetazione schermante).

A costituire una prima barriera contro i venti marini è opportuno far precedere le fasce di vegetazione arborea da una prima linea di vegetazione più bassa, arbustiva, molto




FIGURA 1. Il consumo di suolo in fascia costiera (da ISPRA, 2023).

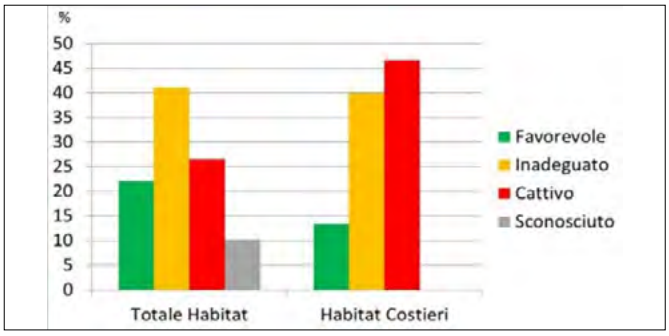



FIGURA 2. Percentuale di diversi valori di Stato di Conservazione attribuiti agli habitat costieri rispetto ai valori attribuiti a tutti gli habitat italiani (da Biondi E., Zivkovic L., Angelini P., 2014).




FIGURA 3. Distribuzione spaziale dei sistemi spiaggia-duna italiani (da Quaderni Habitat MFSN, 2002).

resistente ai venti carichi di salsedine e di sabbia; pertanto è opportuno conservare la vegetazione spontanea e, dove questa è stata eliminata, riprodurre artificialmente quella particolare forma che si trova in natura, ossia il "cuneo", per cui i venti marini, incontrata la prima fascia arbustiva, vengono sollevati in modo da sfiorare e non investire direttamente le chiome delle compagini arboree retrostanti.

Adatte a questa funzione sono le specie della bassa macchia mediterranea, quali Ginepro coccolone e fenicio, Mirto, Lentisco, Tamerici, Ginestra odorosa; anche l'Oleandro resiste bene in queste condizioni difficili.

Ma dove si trovano sabbie nude, mobili sotto la spinta del vento, è opportuno far precedere il rimboschimento da specie consolidatrici, adatte a questo particolare tipo di suolo sabbioso e salso.

Di solito l'imbrigliamento delle sabbie si effettua mediante reticolo di viminate e nei riquadri viene eseguita la semina, o la piantagione, di specie erbacee (*Ammophila arenaria, Agropyrum junceum, Cakile marittima, Eryngium maritimum*, ecc.) o arbustive (*Tamarix sp., Juniperus macrocarpa*).

In ogni caso tutte queste piante, dapprima arbustive poi arboree, delle fasce litoranee esercitano un'azione favorevole sulla vegetazione che le segue verso l'interno, che è quella, a volte d'importanza vitale, di ripararle dai venti marini carichi di salsedine, di sabbia e di inquinanti, i quali determinano forte erosione, esplicano azione disseccante sulla vegetazione e sul terreno e provocano deperimento della vegetazione.

La struttura vegetazionale della duna può essere usata anche come indicatore di erosioni in atto. Infatti, in fase regressiva della spiaggia, vengono a trovarsi esposte sulla riva associazioni che non hanno funzione colonizzatrice o schermante.

L'uso abbinato di biostuoie di contenimento a griglia tridimensionale con pali in legno impregnato e fascine di salice, accanto al trapianto di specie consolidanti, garantisce la possibilità di collocare i materiali provenienti da dragaggio o da cave di prestito e di ricostruire barene e dune senza elementi di disturbo paesaggistico quali scogliere, calcestruzzo, ecc.

Gli ambienti dunali mutano le loro condizioni microclimatiche dal mare verso l'interno, ne consegue una sequenza di specie, organizzate in associazioni vegetali, adattate a vivere alle varie condizioni.

La salinità, il vento, la mobilità del substrato sono massime sulla spiaggia e sulla prima duna (ambiente obiettivo del progetto), e vanno attenuandosi nell'interno. Ne consegue una vegetazione organizzata su più cinture parallele alla battigia: le prime sono quelle relative alle associazioni di psammofite, tipiche della prima duna o duna mobile o duna bianca, poi si passa alla garìga discontinua sulla sommità della seconda duna o duna grigia, quindi alla macchia vera e propria.

La formazione delle dune è direttamente collegata anche alla presenza della vegetazione, in particolare di quella pioniera (Ammophila), che favorisce la formazione di depositi embrionali, a distanze anche molto ridotte rispetto alla linea di riva.

La riforestazione delle dune non è però cosa semplice, dato che il substrato è in continua evoluzione e le radici delle nuove piantine vengono continuamente scoperte dal vento; essa viene quasi sempre accompagnata da interventi di Ingegneria Naturalistica, eventualmente provvisori, idonei a ridurre la mobilità dei sedimenti, oltre che a limitare l'accesso.

La specie più frequentemente utilizzata per favorire la formazione di nuove dune o la stabilizzazione di quelle soggette a deflazione accelerata è l'*Ammophila litoralis*.

La scelta delle specie di psammofite rappresenta la fase iniziale del progetto. I criteri della scelta sono: la rappresentatività nell'ambito delle varie associazioni vegetali presenti sul territorio italiano, la capacità strutturante e contenitiva nell'ambito del processo di costruzione della duna, la rarità e il rischio di scomparsa.

Per evitare, durante lo svolgimento delle attività, qualsiasi forma di depauperamento del patrimonio vegetale naturale attraverso eccessivi prelievi sul campo, si effettuano alcune campagne di espianto volte a costruire un vivaio di piante madri, su cui basare gran parte delle attività.

Il contingente delle specie prescelte può comprendere: Gramigna delle spiagge (*Agropyron junceum*), Sparto pungente (*Ammophila littoralis*), Camomilla marina (*Anthemis marittima*), Ravastrello marittimo (*Cakile marittima*), Soldanella di mare (*Calystegia soldanella*), Crucianella marittima (*Crucianella maritima*), Zigolo delle spiagge (*Cyperus kalli*), Trifoglino irsuto (*Dorycnium hirsutum*), Finocchio litorale spinoso (*Echinophora spinosa*), Calcatreppola marittima (*Eryngium maritimum*), Papavero giallo (*Glaucium flavum*), Giunco pungente (*Juncus acutus*), Coda di Lepre (*Lagurus ovatus*), Violaciocca sinuata (*Matthiola sinuata*), Erba medica marina (*Medicago marina*), Ononide screziata (*Ononis variegata*), Santolina delle spiagge (*Otanthus maritimus*), Giglio di mare (*Pancratium maritimum*), Cannuccia di palude (*Phragmites communis*), Erba stella (*Plantago coronopus*), Sporobolo delle spiagge (*Sporobolus pungens*).

Sono da sperimentare i principali metodi produttivi vivaistici: il taleaggio, la produzione da seme e la separazione dei polloni.

Le migliori risposte in termini di produzione efficiente sono esposti nella tabella che segue.

**Tabella 1. Rivegetazione delle dune: specie da utilizzare (da P. Menegoni, 2004)**

| SPECIE | NOME COMUNE | FAMIGLIA | TECNICA DI RIPRODUZIONE TESTATA | TECNICA RITENUTA COMMERCIALMENTE EFFICACE |
|---|---|---|---|---|
| *Agropyron junceum* | Gramigna delle spiagge | Graminaceae | separazione seme | * |
| *Ammophila littoralis* | Sparto pungente | Graminaceae | separazione seme | * |
| *Anthemis maritima* | Camomilla marina | Compositae | taleaggio separazione seme | * |
| *Cakile maritima* | Ravastrello marittimo | Cruciferae | seme | * |
| *Calystegia soldanella* | Vilucchio marittimo | Campanulaceae | separazione seme | * |
| *Carpobrotus acinaciformis* | Fico degli Ottentotti | Aizoaceae | taleaggio separazione | * |
| *Crucianella maritima* | Crucianella marittima | Rubiaceae | taleaggio separazione | * |
| *Cyperus kalli* | Zigolo delle spiagge | Cyperaceae | separazione seme | * |
| *Dorycnium hirsutum* | Trifoglino irsuto | Leguminosae | taleaggio seme | * |
| *Echinophora spinosa* | Carota di mare | Umbelliferae | separazione seme | * |
| *Eryngium maritimum* | Calcatreppola marina | Umbelliferae | separazione seme | * |
| *Glaucium flavum* | Papavero cornuto | Papaveraceae | seme | * |
| *Juncus acutus* | Giunco pungente | Juncaceae | separazione seme | * |
| *Lagurus ovatus* | Piumino | Graminaceae | seme | * |
| *Matthiola sinuata* | Violaciocca sinuate | Cruciferae | taleaggio separazione seme | * |
| *Medicago maritima* | Erba medica marina | Leguminosae | taleaggio separazione seme | * * |
| *Ononis variegata* | Ononide screziata | Leguminosae | seme | * |
| *Otanthus maritimus* | Santolina delle spiagge | Compositae | taleaggio separazione seme | * |
| *Pancratium maritimum* | Giglio di mare | Amaryllidaceae | seme | * |
| *Plantago coronopus* | Piantaggine barbatella | Plantaginaceae | separazione seme | * |
| *Sporobolus pungens* | Gramigna delle spiagge | Graminaceae | separazione seme | * * |

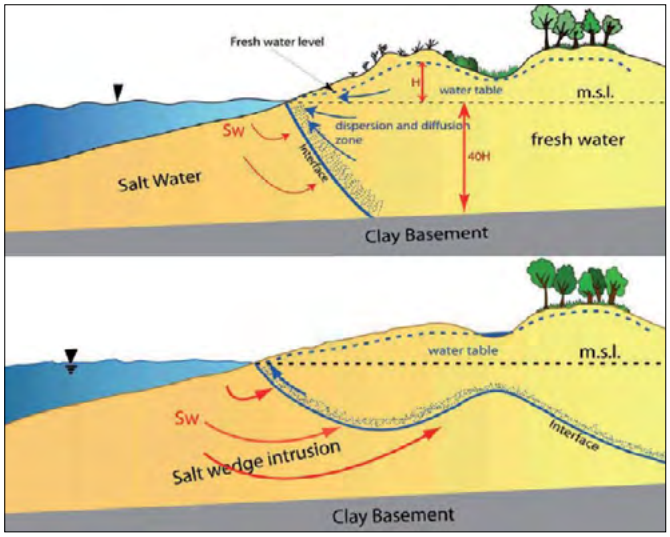



FIGURA 4. Effetto barriera della falda d'acqua dolce in condizioni naturali (sopra) e antropizzate (sotto) (da Beachmed, 2008).

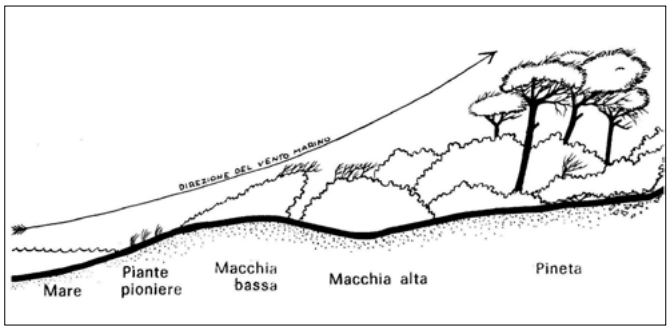



FIGURA 5. Forma a cuneo della vegetazione spontanea (da G. Gisotti, 1991).



FIGURA 6. Effetti dell'erosione delle avandune (da L. Onori, 2002).



FIGURA 7. Erosione di dune nel Circeo (da F. Boccalaro, 2009).



FIGURA 8. Dune protette alla foce del Coghinas (da F. Boccalaro, 2005).



FIGURA 9. Ricopertura con stuoia in juta su dune a Cala Mesquida, Majorca (ES) (da F. Boccalaro, 2010).

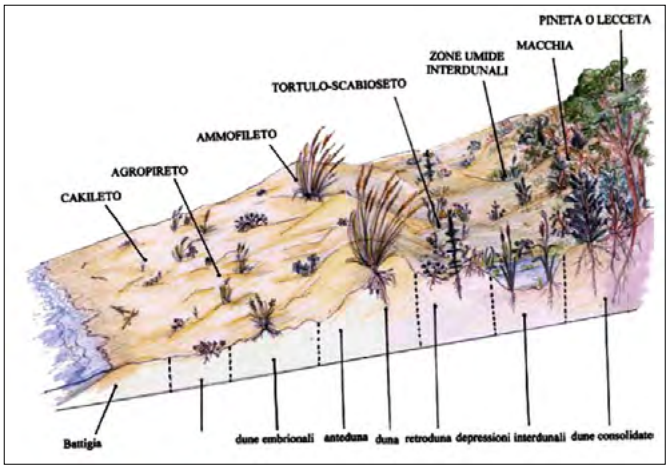



FIGURA 10. Serie della vegetazione in un sistema spiaggia-duna (da ISPRA, 2009).




FIGURA 11. Intensità dei fattori ecologici sulla vegetazione dunale (da Acosta, 2005).



Figura 12. Ammophila arenaria (da F.Boccalaro, 2002).



Figura 13. impianto di 200.000 piantine di specie dunali a Long Island Beach (USA) (da Jack Reynolds, 2015).



Figura 14– Piantumazione di Ammofila a Cala Mesquida (Maiorca) (da F. Boccalaro, 2010).



Figura 15. Piantumazione di Ammophila arenaria su dune di S. Rossore (da F. Boccalaro, 2008).

## PROGETTAZIONE DI INTERVENTI COSTIERI – INTERVENTI SU DUNE

La difesa o la riformazione delle dune litoranee sono tra gli interventi più rappresentativi dell'Ingegneria Naturalistica nell'ambito della protezione costiera.

Le dune possono essere mobili o fisse; le prime sono costituite da sabbia incoerente mossa dal vento, le seconde sono fissate dalla vegetazione che, in parte con le radici in parte con l'humus prodotto, dà coerenza e capacità di trattenere umidità alle sabbie.

Il passaggio da un tipo all'altro è reversibile, avendosi in genere dune mobili in ambienti molto ventosi ed aridi e dune fisse in ambienti più favorevoli.

Tale processo però è difficile da realizzarsi nel senso che ognuno dei due tipi, una volta che si è instaurato, genera delle situazioni che inibiscono l'altro.

Le dune fisse hanno benefici effetti sul retrospiaggia:

- costituiscono un argine alle acque alte;
- costituiscono un accumulo di sabbia che alimenta la spiaggia occasionalmente in erosione;
- costituiscono una barriera frangivento che trattiene le sabbie e il salmastro, proteggendo il retrospiaggia.

Nei nostri climi le dune si mantengono naturalmente, senza oneri se non quelli derivanti dalle limitazioni all'uso del suolo.

La scelta dell'intervento sistematorio più idoneo è definita da:

- Scopo della sistemazione: innanzitutto il consolidamento delle aree in duna, seguito da un aumento delle specie vegetali, un costo di manutenzione più contenuto possibile e la creazione di superfici utili.
- Effetto tecnico: le dune minacciate da erosione vengono protette mediante interventi di copertura, le dune minacciate da franamenti possono essere consolidate e rese stabili con interventi stabilizzanti o di sostegno.
- Ecologia delle stazioni: i fattori stazionali influenzano la scelta delle piante che, dal canto loro, contribuiscono a determinare il metodo costruttivo.

Le tecniche di intervento utilizzate per stabilizzare o ricostituire le dune sono estremamente diversificate, anche se si stanno evolvendo tutte nella direzione dell'Ingegneria

Naturalistica, come avviene ad esempio con la creazione di barriere frangivento in materiali naturali che simulano l'effetto della vegetazione (Fig. 22). Si trovano comunque anche difese costruite con staccionate in legno, barriere di ramaglia e reti in geotessuto o fibra vegetale (Figg. 18-21).

L'accesso alla spiaggia viene spesso realizzato con percorsi sinuosi, così che il vento non possa incanalarvisi, e senza operare tagli artificiali; inoltre, si copre il suolo con passerelle in legno (Fig. 24) o con detriti vegetali di varia natura, in modo da impedire la deflazione laddove il calpestio non consente lo sviluppo della vegetazione.

In molti casi, per impedire ogni interferenza fra le strutture e la morfologia delle dune, si realizzano passerelle sopraelevate fino a costituire veri e propri ponti che collegano la viabilità interna ed i parcheggi direttamente con la spiaggia (Fig. 25).

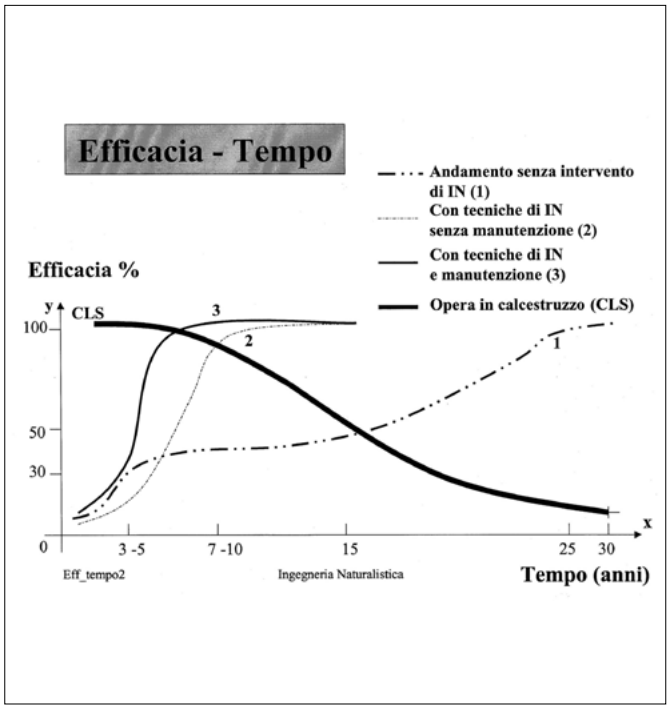



Figura 16. Efficacia nel tempo delle opere di ingegneria naturalistica (da G. Sauli, 2004).



Figura 17. Protezione di dune a Cala s'Amador a Majorca (da F. Boccalaro, 2007).



Figura 18. Dune protette da schermi in cannucciato a Cala Mesquida Majorca (ES) (da F.Boccalaro, 2010).



Figura 19. Viminata viva basale (da Manuale Regione Lazio 2, 2004).



Figura 20. Intervento di stabilizzazione di dune costiere con griglie di siepi morte (Texel, Olanda) (da DEFRA, 1993).



Figura 21. Schermature in paleria di castagno ad Ainsdale (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 22. Schermi frangivento lineari (da F. Boccalaro, 2005).

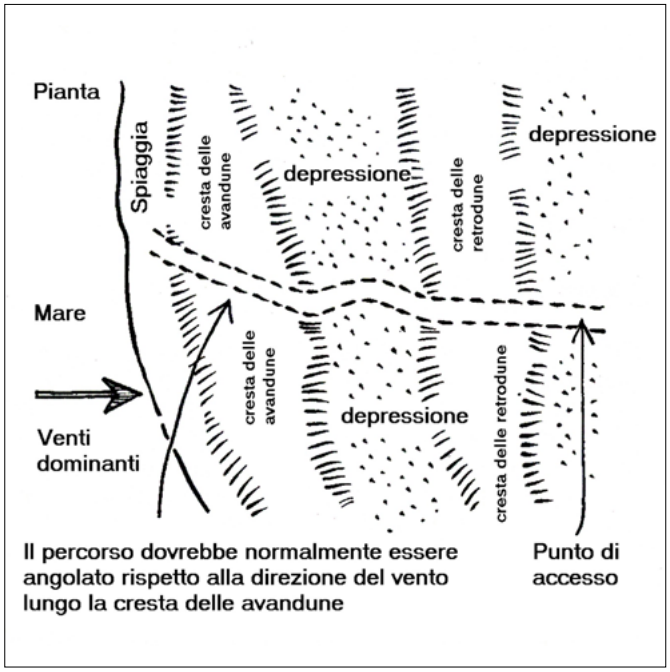



Figura 23. Modello di accesso al mare (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 24. Passerella in legno per l'attraversamento di un campo di dune in Galles (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 25. passerella sopraelevata in legname sulle dune di Cala Mesquida (Maiorca, ES) (da F.Boccalaro, 2010).

## PRATICHE DI SISTEMAZIONE DUNE

### Generalità

Il volontariato ambientale svolge una funzione di primo piano ai fini della tutela e del miglioramento dell'ambiente per le generazioni presenti e future, accrescendo al tempo stesso la sensibilizzazione riguardo alle problematiche ambientali e la probabilità che vengano applicate pratiche ecocompatibili.

Nel Regno Unito, ad esempio, il British Trust for Conservation Volunteers (BTCV) lavora con più di 300 000 volontari ogni anno, mentre in Italia le attività di volontariato ambientale rappresentano il 9% della quota complessiva del volontariato.

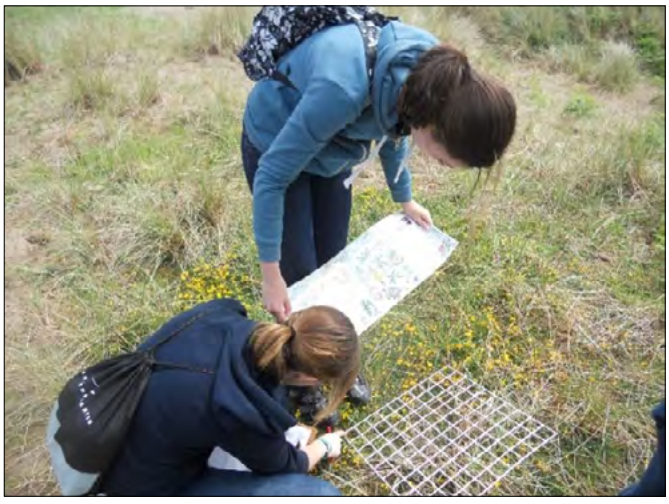


Figura 26– British Trust for Conservation's Volunteers (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).

Come molti habitat costieri, le dune di sabbia sono estremamente fragili, in sintonia con i cambiamenti naturali, ma non con quelli causati dall'uomo. L'inquinamento, lo sviluppo mal pianificato e l'abuso hanno già degradato grandi tratti di costa e minacciano di inghiottirne altri. Le soluzioni, in molti casi, devono essere giuridiche e politiche e richiedono tecniche di pianificazione integrate che sono oltre la portata del volontariato.

Quello che è trattato nel manuale «*Sand Dunes, a practical handbook*» (Fig. 27) sono i problemi che i gruppi di

volontariato per la conservazione possono affrontare con successo, e gli strumenti, i metodi e l'organizzazione che essi possono usare nei loro compiti.

Le difese costiere sono al di fuori della portata di questa presentazione, ma è opportuno menzionare alcuni tipi di barriere frangiflutti che possono essere utili nei programmi di protezione dunale in grande scala e che sono adatti alla costruzione da parte di volontari.

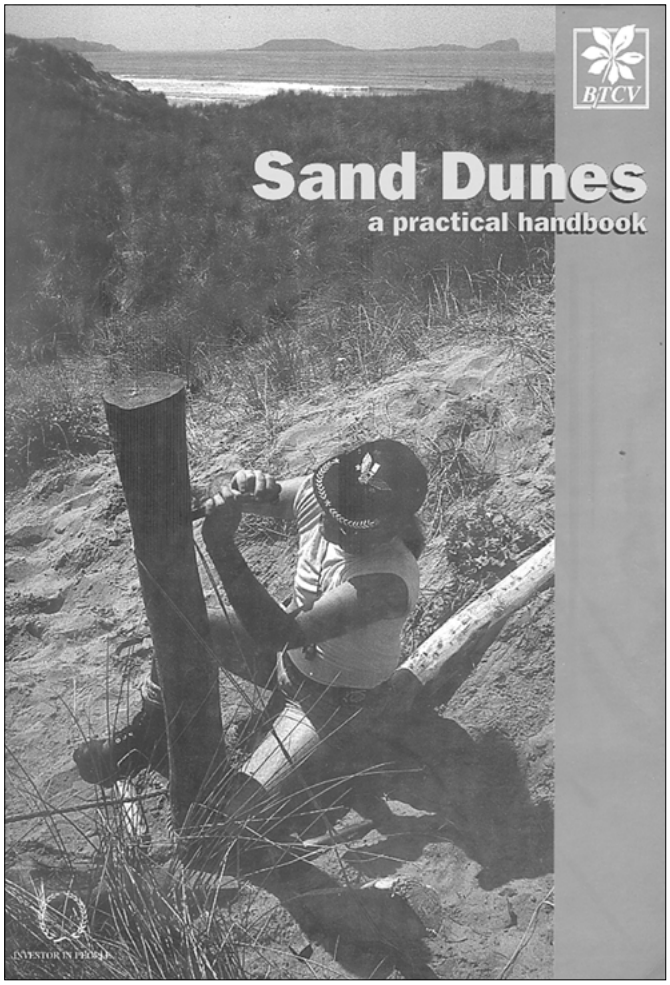



FIGURA 27. Sand Dunes, a practical handbook (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).

**Barriere frangiflutti emerse**

Le barriere frangiflutti costiere, del tipo descritto di seguito, prevedono di:

- Deviare le correnti e le escursioni di marea dai settori in erosione di spiagge e dune.
- Schermare le avandune vulnerabili dalle alte maree e dalle forti mareggiate.
- Bloccare il piede dei blowouts o altre lacune nelle avandune vicino al mare.
- Fornire una base all'accumulo preliminare di sabbia per favorire la formazione di dune embrionali.

La maggior parte degli schermi, anche se utili per intrappolare la sabbia portata dal vento o per controllare gli accessi, sono troppo deboli per resistere all'azione delle onde. Anche i pali di grandi dimensioni (ad esempio le traversine ferroviarie) possono essere danneggiati dal mare, cosicché le opere si deteriorano rapidamente e devono essere rimesse con frequenza.

Il schema di pali e di schermature in paleria di castagno (Fig. 28 e Fig. 29) è stato usato a Ainsdale, nel Merseyside. La schermatura assolve a diversi scopi. Le celle intrappolano la sabbia, da qualunque direzione soffi il vento, e formano una duna bassa, come mostrato. La duna aiuta a fornire un cuscinetto contro l'azione delle onde. Se la duna è erosa dalle tempeste o da alte maree, la schermatura deve restare come un ostacolo, anche se il danno è inevitabile in condizioni eccezionali. La recinzione inoltre scoraggia anche l'accesso dalla spiaggia alle avandune, tranne quando è completamente sepolta dalla sabbia.

I pali sono di legno impregnato, 2 m x 100 mm, infissi per 1m da una macchina per infissione pali montata su camion «Unimog». La palizzata di castagno è su tre file, alte 1 m, con spaziatura delle stecche di 75 mm, sviluppata per 9,2 m di lunghezza (Fig. 35).

Le altre opere illustrate, utilizzate a Formby, nel Merseyside, svolgono funzioni simili, ma sono costruite con materiali meno costosi ed hanno gli speroni più distanziati.

È stata costruita solo una schermatura unica longitudinale, e gli speroni sono aperti sul lato verso il mare. Ciò non fa accumulare sabbia quanto il metodo cellulare di cui

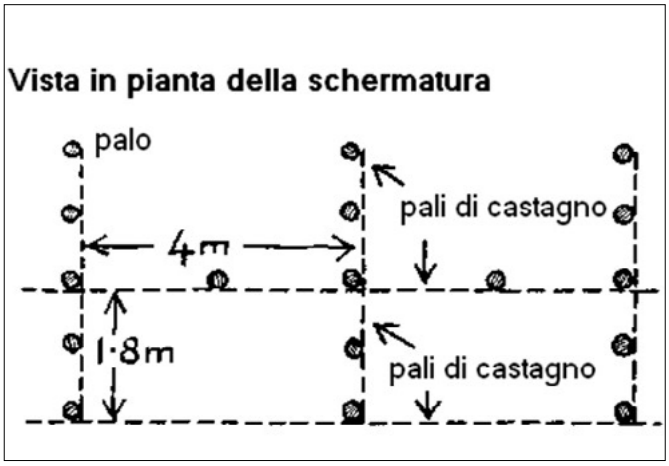



FIGURA 28. Schermature in paleria di castagno a Ainsdale (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).

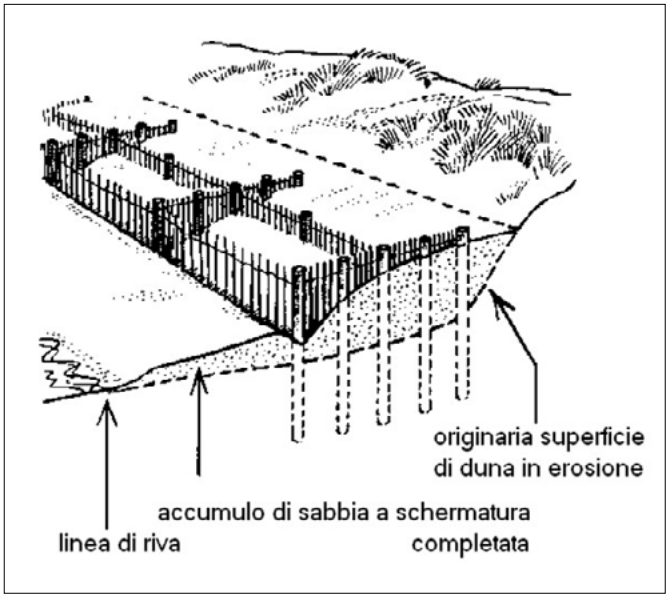



FIGURA 29. Schermature in paleria di castagno a Ainsdale (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).

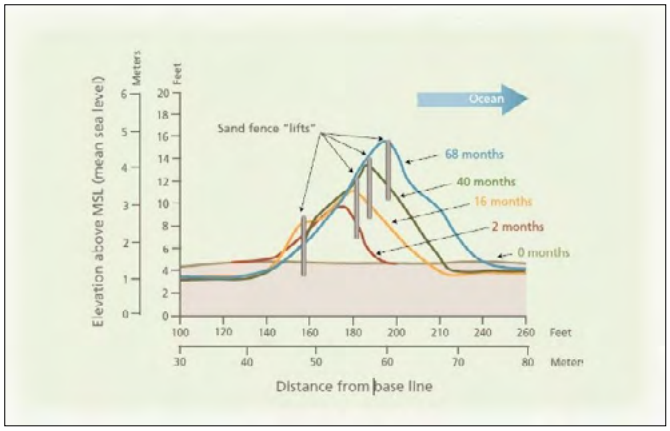



Figura 30. Schermature in paleria di castagno a Duxbury Beach Reservation (Massachusetts) (da Sea Grant, 2008).



Figura 31. Schermi in stecche di castagno a Outer Banks (North Carolina) (da DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs, 1999).



Figura 32. Staccionate paraonde a Sabaudia (da Regione Lazio, 2002).



Figura 33. Staccionate paraonde (da Sea Grant, 2008).

sopra, ed è anche meno robusto. Tuttavia, è molto più conveniente da eseguire.

La lunghezza e la distanza degli speroni varia a seconda del profilo delle dune richiesto, dovendo essere gli speroni più lunghi per fare una duna più ampia e più distanziati per intrappolare più sabbia. Gli speroni possono essere fatti con palizzate di castagno, ramaglia e filo metallico o solo ramaglia.

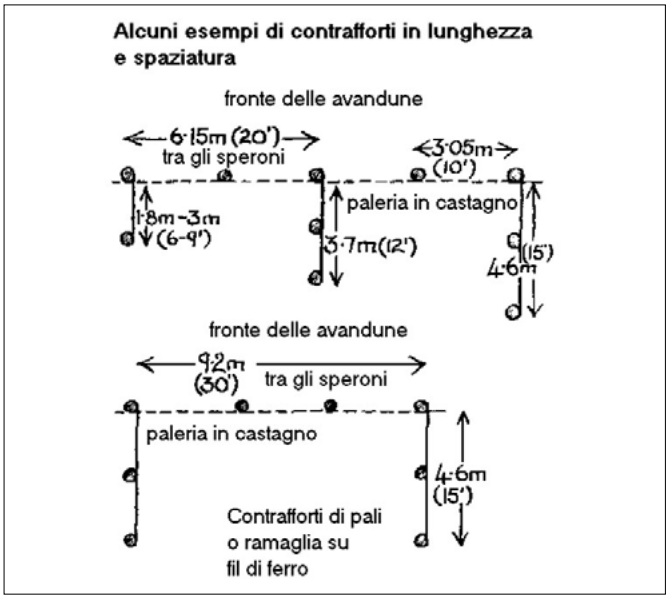



Figura 34. Schermature in paleria di castagno a Formby (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 35. Schermatura e paleria a Formby (da National Trust Land, 2003).



Figura 36. Schermatura e paleria a Meia Praia, Lagos, Algarve (da Ana M. Clemente, 1999).

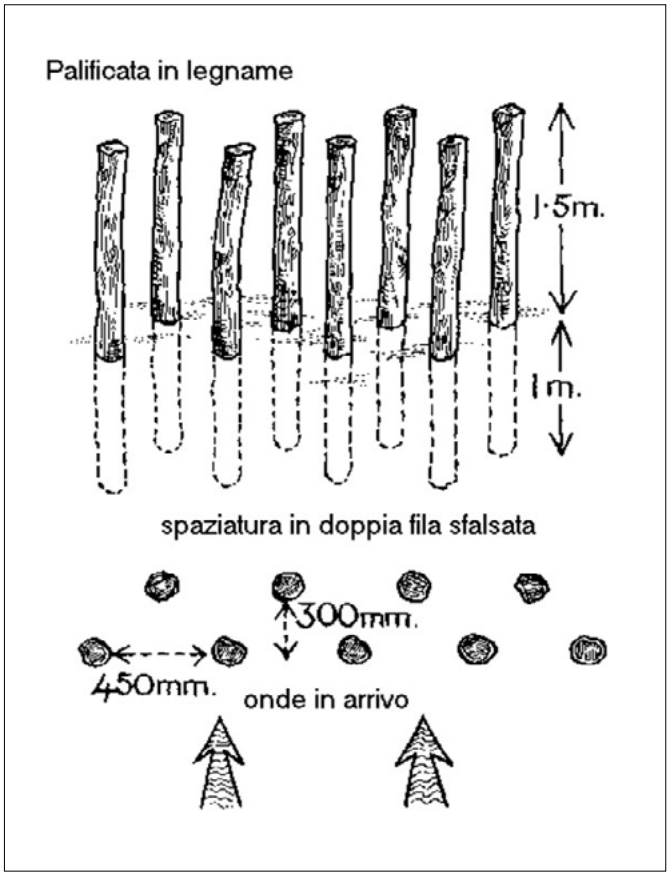






Figura 37. Pennelli in paleria di castagno a Culbin Forest (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 38. Pennelli permeabili a St. Malò (F) (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).

La tecnica della palificata in legname è stata usata dal National Trust a Formby, sulla costa di Sefton, Merseyside, per smorzare la forza delle onde là dove stavano minacciando una piccola pineta sul fronte a mare delle dune.

I "piloti" sono infissi per 1-1,2 m nella sabbia, in doppia fila, sfalsati. In questo caso è stato utilizzato del pino locale scortecciato, di lunghezza pari a 2,4-2,7 m e di diametro pari a 75-125 mm, ma sarebbero adatti anche legnami di grandi dimensioni disponibili sul mercato.

È importante che qualsiasi sistema di questo tipo finisca gradualmente con palificate via via più corte, altrimenti si possono verificare scalzamenti intorno alle estremità.

Le palificate in legname sono al di fuori della portata dei gruppi di lavoro della maggior parte dei volontari, e richiedono particolare cura nella progettazione e nello scavo per essere efficaci.



Figura 39. Paratie di pali in Olanda (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 40. Paratie di pali in Olanda (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).

## Schermature - generalità

### *Utilizzo*

Le schermature possono essere utilizzate per una serie di scopi direttamente o indirettamente correlati con la stabilizzazione delle dune, tra cui:

- Accumulare la sabbia sui lati sopravento in erosione delle dune, per aiutare a mantenere le loro posizioni e per arrestare la sabbia portata dal vento che soffoca la vegetazione trapiantata.
- Creare nuove dune embrionali davanti a creste esistenti di avandune. Nei sistemi in erosione le nuove dune proteggono le avandune esistenti, e nei sistemi in accrescimento le nuove dune sottraggono apporto di sabbia alle avandune. Nei sistemi in erosione il guadagno può essere solo stagionale, con accumulo di sabbia in estate, ed erosione in inverno e all'inizio della primavera. In questo caso è necessario che la schermatura sia un'installazione permanente.
- Ridurre l'effetto di scalzamento del vento nei "blowouts", e al tempo stesso captare la sabbia per contribuire a colmare i vuoti.
- Segnalare le aree di ripristino delle dune, da sole o con altre recinzioni e segnaletiche, al fine di ridurre l'accesso al pubblico.
- Bloccare e saturare le strade di accesso, e convogliare la gente su passerelle o altre superfici non erodibili.
- Fornire aree riparate o "rifugio" per le persone nelle zone meno facilmente erodibili delle dune stesse, per esempio davanti o tra le creste dunali.

Anche le schermature che sono destinate principalmente a intercettare la sabbia pregiudicano l'accesso del pubblico e possono essere posizionate in parte per limitare l'uso delle dune (Fig. 43 e Fig. 44).

### *Porosità*

La porosità ottimale (il rapporto tra vuoto e pieno) per un frangivento "intrappola-sabbia", ad angolo retto rispetto al vento, è tra il 30% e il 50%.

A porosità inferiore vi può essere un flusso inverso di sabbia a basse velocità del vento e una penetrazione del vento per velocità elevate.

A porosità maggiore il vento non è rallentato a sufficienza per depositare la quantità massima di sabbia.

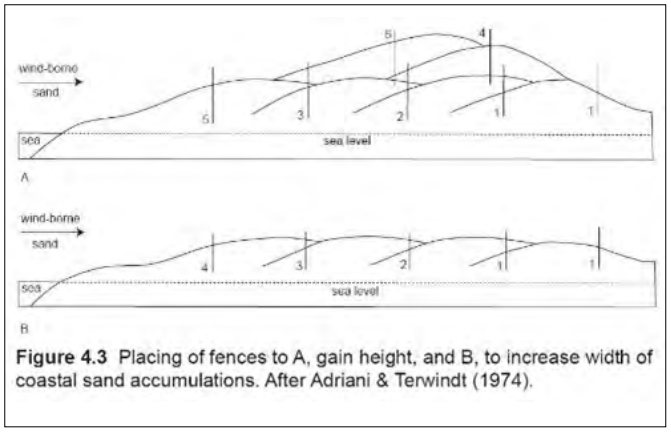



Figura 41. Successioni di schermature (da Adriani & Terwindt, 1974).

La porosità ottimale per schermature-recinzioni è di circa il 35% - 40%; questi, quindi, sono i valori da raggiungere quando si erigono steccati che servono a entrambi gli scopi (Phillips, 1975).

La porosità del materiale utilizzato per la schermatura influenza sia la quantità di sabbia intrappolata che la forma della duna (Fig. 47 e Fig. 48).

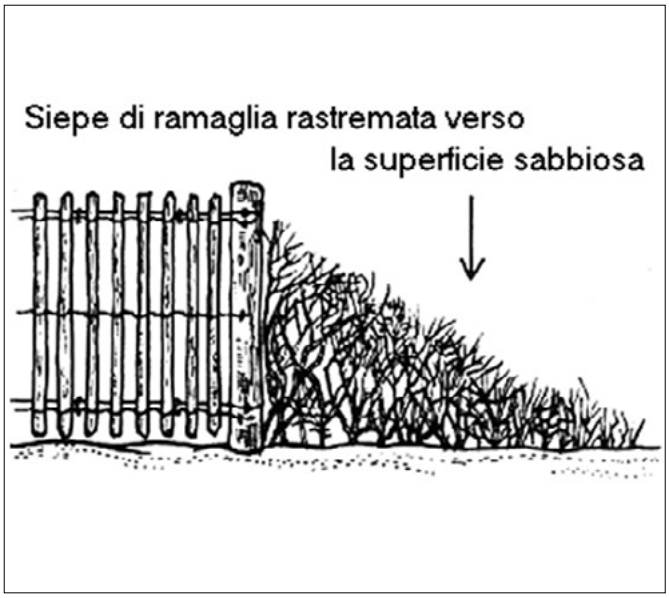



Figura 42. Raccordi per schermature in ramaglia (da A.Brooks & E. Agate, 2004).



Figura 43. Schermature a Capdepera, Majorca (da F. Boccalaro, 2010).



Figura 44. Dune recintate dalle fascine a protezione della semina di specie vegetali autoctone (da M.C. Tullio, 2002).

**Schermature – progettazione e posizionamento**
***Smottamenti, corridoi e svuotamenti***

- Quando si schermano i blowouts ed altre lacune nelle creste dunali, innanzitutto bisogna concentrarsi su come intrappolare la sabbia sul lato sottovento. Se si scherma prima il varco, o il lato sopravento, si interrompe l'alimentazione di sabbia per il resto della zona. Estendere le schermature lungo i pendii più lontano possibile, dal momento che una grande quantità di sabbia si muove lungo i fianchi ripidi dei blowouts.
- Durante il riempimento di un corridoio, distanziare le schermature come illustrato (CCS, 1982). Non c'è bisogno di costruire frangivento trasversali poiché i venti sono canalizzati attraverso la fessura. Assicurarsi che le estremità delle schermature siano estese ai lati delle dune, in modo che non si verifichi lo scavalcamento.
- Negli avvallamenti in erosione, i comportamenti del vento sono complessi, e un sistema di schermatura a reticolo è il più soddisfacente, in modo che la sabbia venga intercettata qualunque sia la direzione del vento.

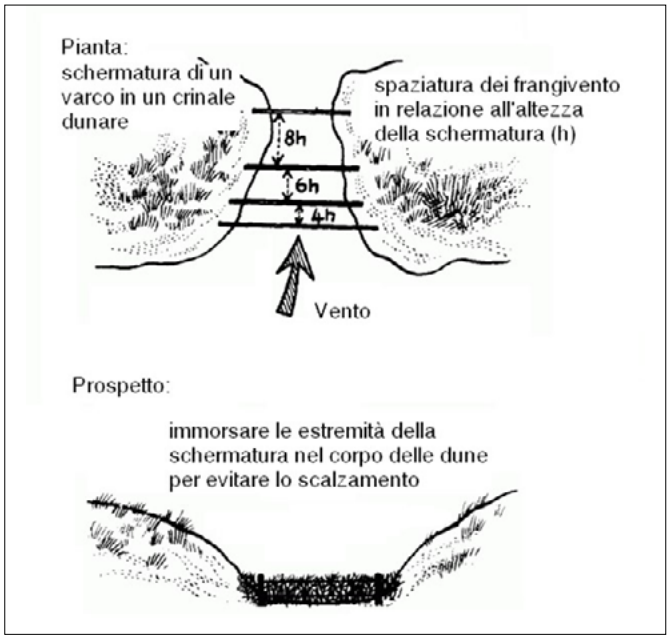



Figura 45. Schermatura di un varco in un crinale dunale (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).

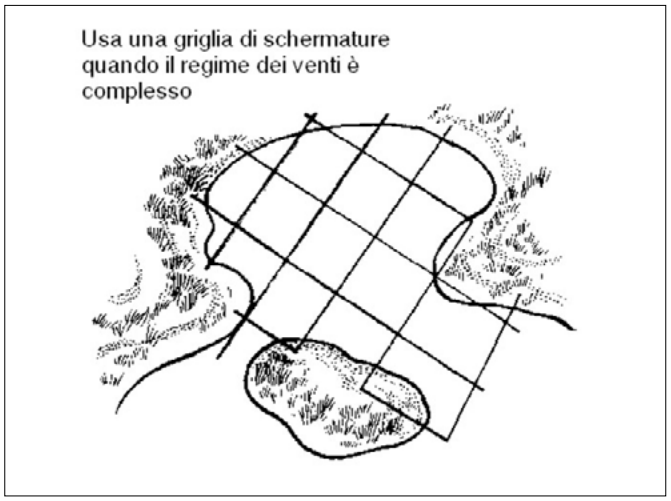



Figura 46. Griglia schermante per regime dei venti complesso (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 47. Griglia schermante per regime dei venti complesso a Vendicari (da Regione Sicilia – GATE, 2004).



Figura 48. Realizzazione di schermatura romboidale a Sabaudia (da F. Boccalaro, 2002).

**Schermature – Materiali e Tecniche**
***Schermatura con ramaglia olandese***

La schermatura originale olandese era costituita da tagli di canne o salici, essendo l'unico materiale vegetale disponibile nelle paludi dell'Olanda, che veniva messo in una trincea scavata nella sabbia. Questa tecnica è ancora usata. In Europa, può essere utilizzato ogni tipo di ramaglia disponibile, come rami di conifere, potature di pioppo, ontano, ecc. Il materiale, robusto e ben ramificato, può essere posizionato singolarmente in buche allineate scavate nella sabbia. Le buche devono essere profonde 0,5-1,0 m, a seconda dell'altezza della ramaglia, e della rapidità con cui ci si attende che la sabbia si accumuli. La ramaglia utilizzata entro l'intervallo di azione del moto ondoso deve essere infissa più profondamente possibile.

Vantaggi:

- Economica
- Biodegradabile
- Può essere utilizzata per intrappolare la sabbia e controllare gli accessi
- Adatta al lavoro di volontariato

Svantaggi:

- La ramaglia può essere danneggiata
- Scomoda da trasportare
- Del materiale vegetale può ricacciare (sebbene ciò potrebbe essere utile)



Figura 49. Ramaglia trincerata a Ainsdale (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 50. Schermatura con ramaglia a Texel, NL (da DEFRA, 1999).

### *Schermatura in pali e fili con ramaglia aggiunta*

Questa tipologia è più durevole della schermatura olandese, poiché il filo trattiene la ramaglia in posto contro l'azione del vento e delle onde, e scoraggia il vandalismo. Può essere utilizzata ogni sorta di ramaglia, compreso quel materiale vegetale che potrebbe essere troppo corto da usare nella schermatura olandese.

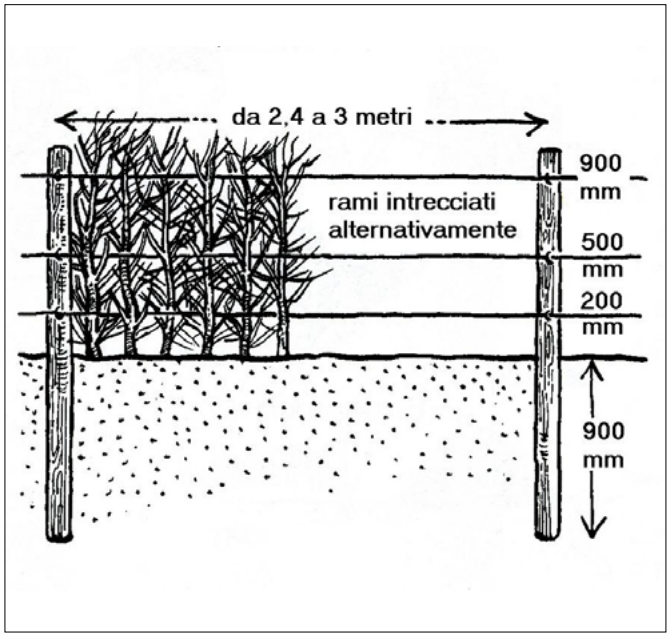



Figura 51. Schermatura con ramaglia e filo (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 52. Schermatura con ramaglia e canne alla foce del Coghinas (da F. Boccalaro, 2008).

I pali e il filo con ramaglia sono raccomandati quando la schermatura deve svolgere la duplice funzione di controllare gli accessi e intrappolare la sabbia, e quando lo schermo deve restare sul posto per molte stagioni. Non sarebbe necessario usare la paleria e il filo quando ci si aspetta di accumulare la sabbia per pochi mesi.

Vantaggi:

- Ragionevolmente durabile
- Scoraggia il vandalismo
- Utilità per il controllo degli accessi

Svantaggi:

- Lenta da costruire
- Costi per la paleria e il filo
- Non biodegradabile

### *Stuoie biodegradabili*

È stata sviluppata un'ampia gamma di tessuti naturali (juta, cocco, sisal, agave, ecc.) per accumulare la sabbia. Si tengano presente le seguenti raccomandazioni:

a) Molti dei materiali richiedono il fissaggio a una schermatura con fili tesi. Questi possono essere di acciaio dolce o di acciaio ad alto limite di snervamento, in funzione della lunghezza della recinzione, e dell'abilità di realizzare pali ben ammorsati.
b) I materiali variano nella loro porosità, e in tal senso a seconda della morfologia della duna che si vuole ottenere. Tuttavia, tutte creano un profilo uniforme lungo la loro lunghezza, a causa dell'uniformità del prodotto.
c) I materiali hanno durabilità diverse nei confronti del moto ondoso, del vento, della radiazione ultravioletta e del vandalismo. La durata prevista per la sabbia di riempimento deve essere messa in conto per la vita stimata del prodotto. La degradabilità è una qualità utile una volta che l'insabbiamento è completo.
d) Tutti i materiali sono leggeri e facili da maneggiare, a paragone della ramaglia o degli schermi in stecche di legname.

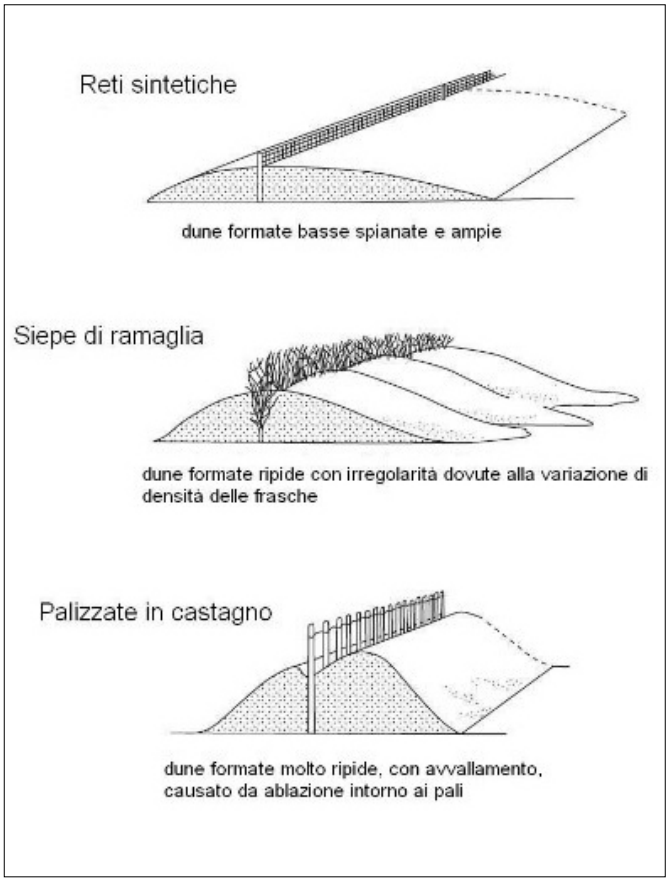



Figura 53. Schermatura con reti e altro (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2005).



Figura 54. Schermatura con rete di cocco a Capdepera, Majorca (da F. Boccalaro, 2010).

### *Palizzata di castagno*

Quando i costi di trasporto della ramaglia crescono, la palizzata di castagno comincia ad essere più competitiva come materiale per intrappolare la sabbia. È più veloce da realizzare della schermatura in ramaglia e filo, così da essere vantaggiosa quando la manodopera è limitata. È più efficace della ramaglia per luoghi che sono soggetti all'azione del moto ondoso.

Il tipo comunemente usato è alto 1,07 m, con stecche larghe 75 mm e spazi vuoti larghi 75 mm, collegati con tre doppie stese di filo metallico. È fornito in rotoli da 9,2 m di lunghezza. Il tutto può essere sostenuto da pali lunghi 2 m del diametro di 100 mm, infissi per la profondità di 1 m nella sabbia. Spaziare i sostegni a intervalli da 1,8 m a 3 m, a seconda del sito e della intensità di utilizzo. La palizzata non dovrebbe essere troppo tesata, in quanto il filo utilizzato per legare i pali non è adatto a sopportare gli sforzi.

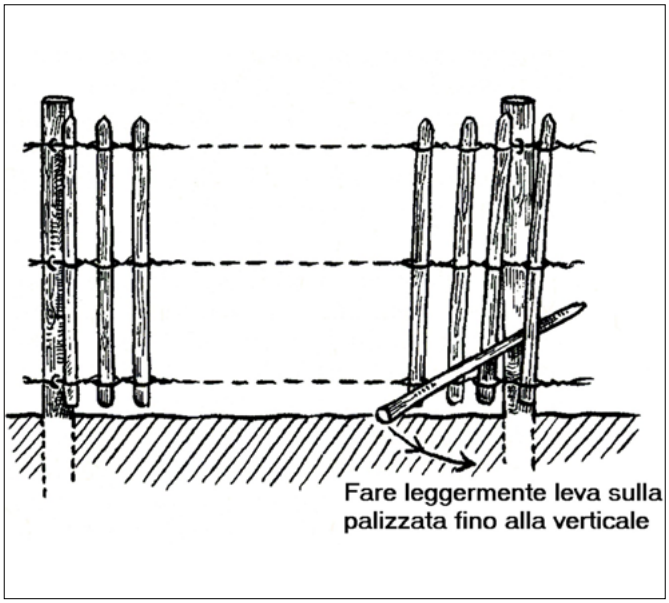



Figura 55. Schermatura con stecche e filo (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 56. Schermatura con stecche e filo in Bretagna (da F. Boccalaro, 2017).

## Impianto di vegetazione

### *Generalità*

Per le aree oggetto di intervento in generale, saranno impiegate le seguenti specie, provenienti da vivai forestali e da aree di prelievo integre.

Arbustive: Lentisco (*Pistacia lentiscus*), Alaterno (*Rhamnus alaternus*), Fillirea (*Phillirea angustifolia*), Mirto (*Mirtus communis*), Ginestra odorosa (*Spartium junceum*), Erica (*Erica arborea*), Ginepro (*Juniper* spp.), Rosmarino (*Rosmarinus officinalis*), Cisto marino (*Cistus monspeliensis*), Tamerice (*Tamerix gallica*).

Erbacee: Ammofila (*Ammophila arenaria*), Erba cali (*Salsola kali* spp.), Calcatrèppola marina (*Eryngium maritimum*), Crucianella marittima (*Crucianella maritima*) e Gramigna delle spiagge (*Agropyrum iunceum*), Giglio di mare (*Pancratium maritimum*).

La messa a dimora del materiale vegetale deve avvenire durante il riposo vegetativo (inverno - estate).

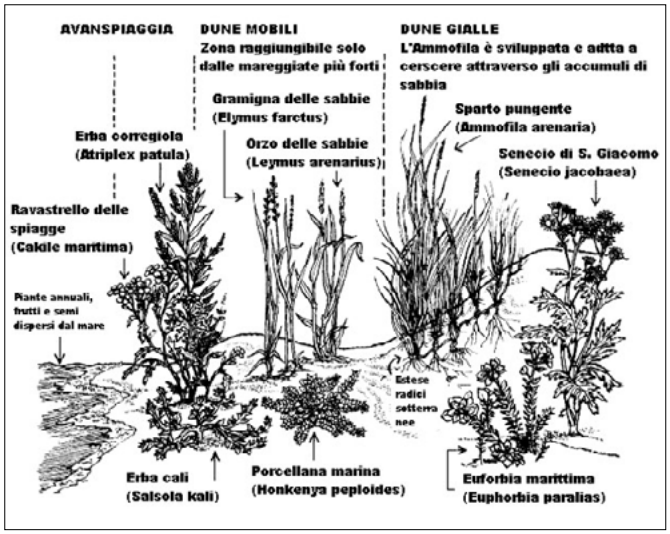



Figura 57. successione di specie su dune mobili (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 58. trapianto di piantine arbustive radicate a Orosei (da Paolo Cornelini, 2008).

### *Specie erbacee*

Le specie erbacee dunali possono essere utilizzate per:

a. Intrappolare la sabbia sui versanti dunali sopravvento in erosione, e così aiutare a mantenere la loro posizione;
b. Ridurre gli effetti di deflazione del vento nei blowout e allo stesso tempo filtrare la sabbia per aiutare a riempirli;
c. Consolidare le aree carenti di sabbia includendo le aree di deposito da blowout, le dune embrionali, i versanti dunali sagomati di recente e le zone di accumulo lungo le linee di schermatura. Le schermature senza la messa a dimora delle piante non possono fare nulla per stabilizzare la superficie sabbiosa.
d. Il trapianto è al momento il modo più economico e più efficace di impiantare le specie erbacee colonizzatrici delle dune.
e. Le specie miscelate delle praterie dunali possono essere trapiantate sotto forma di zolle o tappeti erbosi, ma questi di solito devono essere potenziati con la semina.
f. Il trapianto è di solito più efficace quando è fatto in combinazione con la schermatura o con il rivestimento (in paglia). Il trapianto è spesso agevolato dal mulch o dai leganti, e in alcune situazioni anche la concimazione può aiutare. Normalmente il rivestimento (in paglia) dovrebbe essere fatto prima o durante la piantagione piuttosto che dopo, in quanto questo potrebbe danneggiare le piante.
g. La recinzione di protezione è spesso richiesta intorno alle superfici piantumate per impedire l'accesso del pubblico, quando le piante si stanno stabilizzando. Potrebbe essere possibile limitare la schermatura in sommità o sulle creste e depressioni dunali. Le persone tendono a evitare di salire sulle dune se queste sono vegetate e interdette nella parte superiore, a condizione che ci siano percorsi convenienti nelle aree meno vulnerabili.

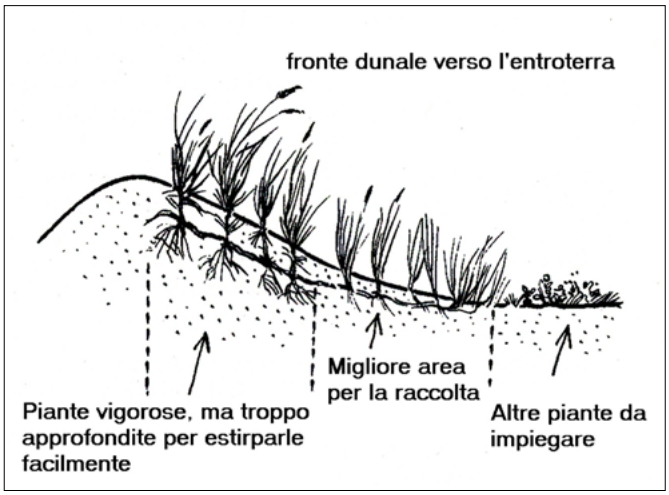



Figura 59. fonti di approvvigionamento (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).

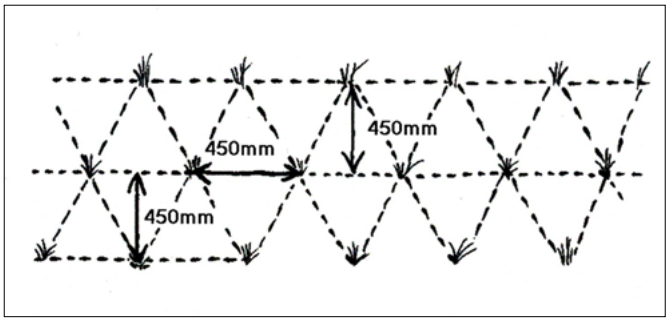



Figura 60. spaziatura dell'impianto (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004).



Figura 61. Piantumazione di Ammofila a Cala Mesquida (Maiorca) (F. Boccalaro, 2010).




Figura 62. Ampliamento e rinaturalizzazione della spiaggia del Cavallino (da Consorzio Venezia Nuova, 1999).

***Specie arbustive***

Gli arbusti possono essere utilizzati sulle dune per:

a) proteggere i versanti sabbiosi sopravento erodibili in aree dove la sabbia è troppo ripida e mobile perché l'erba attecchisca. In queste situazioni gli arbusti tendono ad essere compromessi, ma anche se muoiono e si ribaltano intrappolano comunque un po' di sabbia;
b) controllare il trasporto di sabbia e rallentarne l'accumulo sui pendii sottovento delle dune;
c) rifornire di talee per l'uso nella pacciamatura e nelle schermature con paglia e ramaglia;
d) formare barriere, frangivento, ecc. per uso ricreativo e controllo dell'accesso.

***Gestione della vegetazione***

Fattori da considerare.

a) La gestione della vegetazione in habitat naturali e seminaturali è sempre problematica, e nelle comunità naturalmente instabili e mutevoli dei sistemi dunali sabbiosi è ancora più difficile. Le decisioni circa la necessità di intervenire richiedono un attento studio e analisi della vegetazione esistente, così come la conoscenza dei cambiamenti storici, sia naturali che artificiali.
b) L'obiettivo generale è di solito mantenere la più grande biodiversità delle comunità vegetali naturalmente presenti all'interno delle dune. Tuttavia, i problemi possono sorgere quando le comunità artificiali come le piantagioni di tamerici ed eucalipti sostengono la propria comunità con interessanti specie vegetali e animali.
c) Le tipologie di intervento più comunemente effettuate su aree dunali sono la gestione dei boschi esistenti, la pulizia della macchia e la manutenzione di zone prative con sfalci, pascoli o roghi. Il trapianto di Sparto e altre misure di controllo dell'erosione, descritte in dettaglio nel capitolo dedicato, sono normalmente compiti urgenti la cui necessità è palese.



Figura 63. Tamerice comune (da F. Boccalaro, 2014).



Figura 64. Ginepro fenicio (da F. Boccalaro, 2010).



Figura 65. Monitoraggio sulle dune all'Oasi di Paestum (SA) (da Legambiente, 2012).



Figura 66. Monitoraggio delle dune di sabbia costiere (da CEF, 2016).

## RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per i consigli e i contributi offerti l'ing. Paolo Cornelini (AIPIN – Roma), il dott. Giuliano Sauli (AIPIN – Trieste), l'ing. Aleandro Tinelli (SIGEA - Roma).

## BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (2003). *Manuale di Ingegneria Naturalistica*, vol. 2° (cap. 19), Regione Lazio, Roma.

AA.VV. (1995). *Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica*, Patron, Bologna.

AA.VV. (2009). Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree Protette, Ispra, Roma.

AA.VV. (2007). *Progetto LIFE Natura - Azioni concertate per la salvaguardia del litorale veneto – Gestione di habitat dunali nei siti Natura 2000*, Veneto Agricoltura – Servizio Forestale Regionale per le Province di Treviso e Venezia - Padova e Rovigo, Padova.

AA.VV. (2004). Aree Costiere atti n° 205, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

AA.VV. (2007). *Atlante delle opere di sistemazione costiera*, Apat, Roma.

AA.VV. (2007). *La gestione strategica della difesa dei litorali per uno sviluppo sostenibile delle zone costiere del Mediterraneo*, Beachmed, Roma.

Beech N. W., Brampton A. H., Simm J. D., *et al.* (1996). *Beach management manual*, Ciria, Londra.

Blott S., Pye K., Saye S. (2007). *Sand dune processes and management for flood and coastal defence*, Defra, Londra.

Boccalaro F. (2006). *Difesa del Territorio e Ingegneria Naturalistica*, Dario Flaccovio, Palermo.

Borin M. (2003). *Fitodepurazione*, Edagricole, Bologna.

Bovina G. (2004). *Restauro e conservazione delle dune costiere*, Professione geologo - Rivista dell'Ordine dei Geologi del Lazio, Roma.

Bruschini U., Castello R., Cornelini P. (2005). *Linee guida per la riqualificazione idrogeologica e vegetazionale nelle aree percorse dal fuoco*, Regione Liguria, Genova.

Cornelini P., Federico C., Pirrera G. (2008). *Arbusti autoctoni mediterranei per l'Ingegneria Naturalistica*, Azienda Regionale Foreste Demaniali – Collana Sicilia Foreste n° 40, Palermo.

Gisotti G. (1991). *Principi di Geopedologia*, Calderini, Bologna.

McHarg Ian L. (2007). Progettare con la Natura, Franco Muzzio, Padova.

Schiechtl Hugo Meinhard (1991). Bioingegneria forestale, Castaldi, Feltre.

Wallingford H.R. (2004). *A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems*, Scottish Natural Heritage, Inverness.

# La ricostruzione delle dune costiere: l'intervento a Lido di Volano (Comacchio, Emilia-Romagna)

## Coastal dunes reconstruction: the intervention at Lido di Volano (Comacchio, Emila-Romagna)

Flavia Sistilli*, Nunzio De Nigris, Andrea Maroncelli, Filippo Elia Pizzera
Arpae Emilia-Romagna

* Corresponding author

*E-mail*: fsistilli@arpae.it (F. Sistilli), ndenigris@arpae.it (N. De Nigris), amaroncelli@arpae.it (A. Maroncelli), fpizzera@arpae.it (F. E. Pizzera)

**Parole chiave**: dune costiere, dune artificiali, ricostruzione delle dune, monitoraggio costiero, nature based solutions (NBS), sistema aeromobile a pilotaggio remoto (SAPR), LiDAR
**Key words**: coastal dunes, artificial dunes, dunes reconstruction, coastal monitoring, nature based solutions (NBS), unmanned aerial vehicle (UAV), LiDAR

## INTRODUZIONE

Le coste emiliano-romagnole, come in generale quelle italiane, hanno subito profonde modificazioni a partire già dai primi decenni del '900, in particolare la progressiva scomparsa dei cordoni di dune costiere, formazioni eoliche che si sviluppano nella parte interna della spiaggia, al posto delle quali sono sorti stabilimenti balneari, edifici e infrastrutture. Tale pratica, oltre a porre le basi della fiorente economia turistica regionale, ha sostanzialmente privato l'ecosistema costiero di una delle componenti più efficaci di contrasto all'ingressione marina e di resilienza, essendo i cordoni dunosi l'unico rilievo topografico naturale presente sulle spiagge nonché un'importante riserva di sabbia.

Nonostante l'introduzione di numerose forme di tutela a vari livelli istituzionali, la scomparsa delle ultime dune residue è ancora oggi in atto a causa di un sistema che negli anni è diventato sempre più precario e frammentato. La drastica riduzione dell'input sedimentario da parte dei fiumi e le modificazioni al trasporto solido litoraneo indotte dalle opere di difesa hanno un rilevante impatto negativo sullo sviluppo delle dune che, laddove ancora presenti, subiscono i fisiologici impatti delle mareggiate invernali ma hanno sempre meno sedimento a disposizione sia per il recupero delle morfologie nella stagione estiva che per la formazione di nuove dune embrionali in posizione più avanzata.

Recentemente nello studio "Le dune costiere al 2019. Stato e analisi evolutive periodo 2004-2019" (Regione Emilia-Romagna, 2023) le autrici e gli autori evidenziano che il 43% della costa regionale presenta un sistema di dune costiere, attuali e/o storiche, solo in parte prospicienti la spiaggia. Di queste solo il 4% sono dune attive, le formazioni che maggiormente contribuiscono al bilancio sedimentario della spiaggia. Altro dato molto importante riguarda la quota, circa l'82% delle dune censite al 2019 ha una quota inferiore ai 2 m, quindi sono sormontabili in caso di mareggiata. Il confronto con la mappatura delle dune al 2004 mette in luce che in 15 anni sono andati persi 10 ettari di superficie dunale, quasi esclusivamente di dune attive.

È evidente che i diversi strumenti di tutela non sono sufficienti a limitarne la scomparsa. La Regione Emilia-Romagna fin dal 2005 si è dotata di Linee Guida GIZC (D.G.R. 20 gennaio 2005, n.645) nella quale si affermava che "i danni sempre più elevati causati dalle ingressioni marine, rendono evidente quindi che i rilevati dunosi ancora esistenti vanno assolutamente preservati." mediante una serie di azioni di tutela e ripristino. A partire dai principi della GIZC regionale, della Strategia Regionale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SMACC, di cui alla D.A.L. 187/2018) e sulle indicazioni del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), la Regione ha recentemente pubblicato la Strategia di Gestione Integrata per la Difesa e l'Adattamento della Costa ai cambiamenti climatici (GIDAC) (Regione Emilia-Romagna, 2022a) nella quale si evidenzia "come la fondamentale "linea di difesa" per la costa regionale sia il sistema spiaggia in quanto primo elemento morfologico, e "struttura" pressoché continua del nostro litorale, a difesa del territorio dell'ingressione marina. Ne discende quindi che la quota della spiaggia o del sistema spiaggia-duna, ove la duna è ancora presente, rappresenta un elemento fondamentale per la difesa del territorio costiero". In tal senso risultano fondamentali le azioni per il recupero delle quote del sistema spiaggia-duna, come il ripristino o la ricostruzione dei cordoni dunosi, oltre ad una gestione del sedimento che ne limiti le perdite (come avviene con lo sbancamento dei cordoni residui o con il prelievo di sabbia dalla spiaggia sommersa per la costruzione degli argini invernali) e favorisca gli apporti (ripascimenti da fonti interne ed esterne alla costa).

L'approccio cosiddetto "soft", attraverso l'impiego dell'ingegneria naturalistica per la realizzazione di opere basate sui meccanismi naturali (*nature-based soutions*, NBS) presuppone, oltre all'impiego di tecniche diverse dalle tradizionali, anche un cambio di approccio da difesa della costa in senso stretto ad adattamento dell'ambiente costiero (con tutte le sue componenti compresa quella antropica) al clima che cambia rapidamente. Sono proprio i

grandi interventi di ripascimento costiero che forniscono l'occasione ideale per il rispristino di profili di spiaggia-duna con le quote e le morfologie adeguate.

Con questo approccio è stato ideato, pensato e realizzato l'intervento di Lido di Volano nell'ambito del progetto europeo Operandum. La realizzazione della duna artificiale, a cura dell'Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile – Servizio Area Reno e Po di Volano, è avvenuta nei mesi di marzo-aprile 2022. Considerata l'importanza di questa tipologia di opera sia per la rinaturalizzazione che per la difesa dall'ingressione marina di un territorio antropizzato, basso e sabbioso come quello emiliano-romagnolo, e che per lo sviluppo della duna sono necessari diversi anni, si è deciso di continuare il monitoraggio anche oltre i tempi del progetto europeo grazie alla disponibilità di strumentazione idonea e personale tecnico qualificato di Arpae.

## 1. IL PROGETTO OPERANDUM

Il progetto Operandum (*OPEn-air laboRAtories for Nature baseD solUtions to Manage environmental risks*) è stato un progetto di ricerca finanziato dalla Commissione Europea, guidato dall'Università di Bologna, operativo dal 2018 al 2022.

Il focus del progetto riguardava i rischi ambientali causati da eventi meteorologici estremi quali inondazioni, frane, erosione costiera e siccità e la possibilità di attenuarne gli impatti mediante soluzioni progettuali basate su tecniche di ingegneria naturalistica, le cosiddette *nature based solution* (NBS), al fine quindi aumentare le capacità di resilienza dei territori.

Con questo obiettivo sono stati sviluppati dieci laboratori all'aperto (*Open-Air-Lab*) situati in diversi paesi, di cui ben tre in Italia: piantumazione di argini sul fiume Panaro contro l'erosione, piantumazione di alofite sul Po di Goro contro l'intrusione salina e la realizzazione di una duna artificiale a Lido di Volano contro l'ingressione marina.

Relativamente al sito pilota di Lido di Volano la realizzazione della duna artificiale è avvenuta tramite la co-progettazione di Arpae, Iris ambiente e Rina consulting (con il supporto di Università di Bologna, Centro Italiano Ricerche Aerospaziale (CIRA) ed Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC)).

Per la scelta del sito sono stati considerati una serie di indici che ne attestassero l'esposizione a fenomeni meteo marini potenzialmente impattanti. Inizialmente era stato individuato un sito nella Riserva di Bellocchio a Lido di Spina (Comacchio) che a seguito di un'intensa mareggiata nel dicembre 2020 è stato valutato come troppo compromesso per la prosecuzione dei lavori. Successivamente è stato individuato il nuovo sito, in località Lido di Volano (Comacchio), circa 30 km a nord.

Il sito di Lido di Volano, secondo il Rapporto tecnico "Indicatori di suscettibilità costiera ai fenomeni di erosione e inondazione marina" (Regione Emilia-Romagna, 2019), mostra una minore esposizione ai fenomeni di erosione (Suscettibilità erosione: Classe 3) rispetto al sito iniziale ma è molto esposto ai fenomeni di ingressione marina (Suscettibilità inondazione: Classe 5). Il sito è classificato come area P3-H, ossia un'area a elevata pericolosità da ingressione marina, soggetta ad alluvioni frequenti con Tr (tempo di ritorno) 10 anni, secondo la Carta delle criticità costiere (Regione Emilia-Romagna, 2015).

L'avvio del progetto ha visto una prima fase in cui si è proceduto alla verifica dei vincoli che insistevano sull'area e quindi della documentazione necessaria a procedere. Le modeste dimensioni dell'opera nonché la sostanziale assenza di potenziali impatti negativi ha escluso l'assoggettabili-

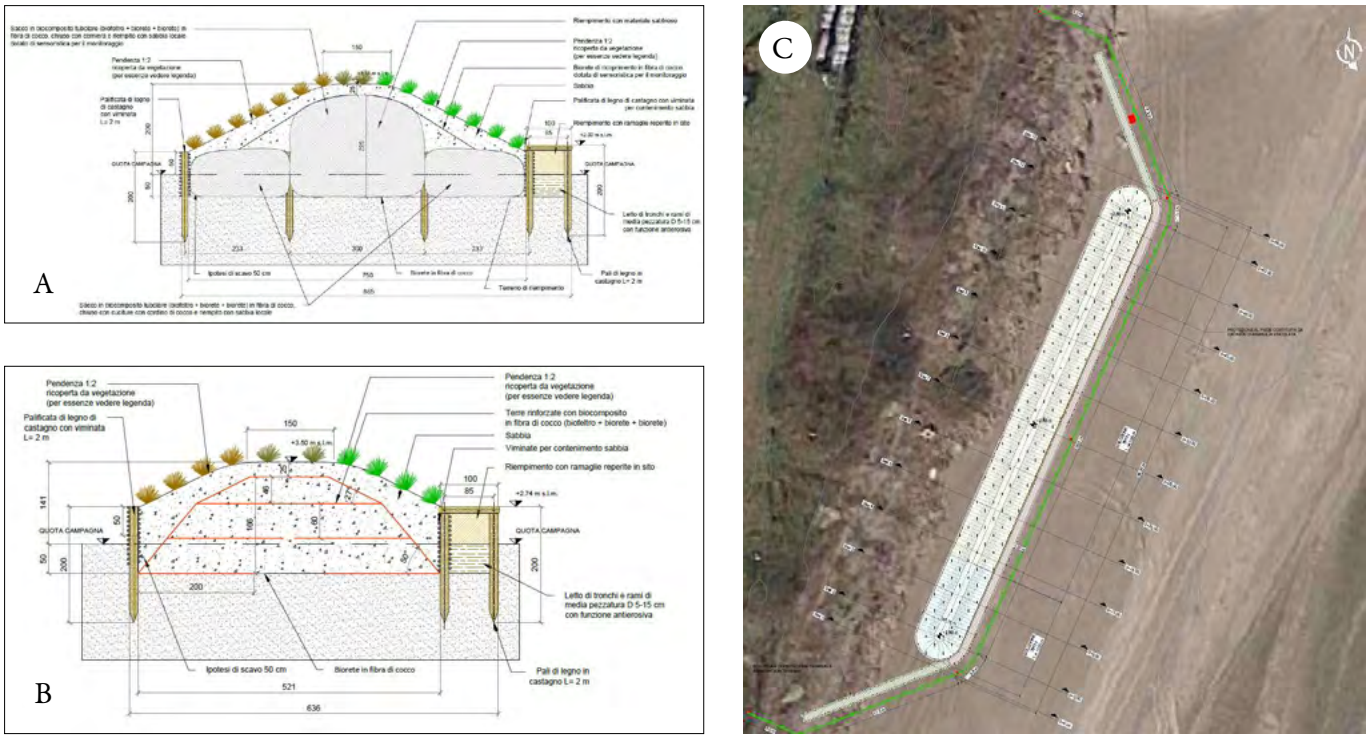



Figura 1 - Elaborati progettuali. (A) Soluzione 1- sacchi in fibra naturale. (B) Soluzione 2: Terre rinforzate. (C) Pianta della duna con le diverse tipologie strutturali (Operandum, 2021).

tà a VIA, pur rimanendo solo la presentazione della VINCA. La continuità morfologica fra i siti di escavo e rilascio della sabbia e le modeste quantità di sedimento coinvolte nell'edificazione della duna, classificavano l'intervento come ripristino degli arenili e non come ripascimento, hanno escluso la necessità di autorizzazione all'escavo e ripascimento ai sensi del DM 15 luglio 2016, n. 173.

La seconda fase è stata quella della caratterizzazione fisica, morfologica, meteo-marina, geologica ed ecologica per le quali si rimanda la paragrafo successivo.

La terza fase è stata quella di co-progettazione dell'opera, per cui si è deciso di utilizzare due soluzioni diverse in due porzioni diverse della duna:

Soluzione 1: di carattere più innovativo, composta da tre sacchi tubolari in fibra naturale di cocco, riempiti di sabbia (Fig. 1a-c).

Soluzione 2: di impostazione più tradizionale, realizzata in bioterre rinforzate e riempimento con strati di sabbia con l'impiego di reti in fibra naturale di cocco come elemento di rinforzo (Fig. 1b-c).

Altri due elementi fanno parte del progetto complessivo:

Una catasta di ramaglia vincolata: due file di palizzate in pali di castagno e riempimento della trincea con tronchi e ramaglia, sul fronte lato mare della duna in funzione antierosiva (Fig. 1c).

Fascinate in trincea di erica disposte agli estremi dell'opera, in posizione inclinata di 45° rispetto alla duna (Fig. 1c).

I lavori hanno preso l'avvio nell'aprile 2022 e sono terminati circa un mese e mezzo dopo in maggio 2022.

La sabbia necessaria al riempimento dei sacchi tubolari e alla realizzazione degli strati, 452 mc di sabbia, sono stati prelevati circa un chilometro più a nord presso lo Scannone di Volano (Fig. 3).

## 2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio è situata nella porzione più a nord del litorale emiliano-romagnolo, nel territorio della Provincia di Ferrara, Comune di Comacchio. Lido di Volano è la località più a nord del litorale comacchiese e prende il suo nome dalla presenza di un ramo del Po, ramo principale in epoca medievale e oggi non più attivo, il Po di Volano.

L'area di studio è inquadrabile nell'area denominata Macrocella 6 in riferimento al Sistema di gestione delle celle Litoranee - SICELL (Regione Emilia-Romagna, 2014), comprensiva delle celle 102-111 (Fig. 2).

Secondo Arpae, 2020, qui la dinamica marino-costiera è governata principalmente dalla presenza dei moli di Porto Garibaldi, circa 14 km a sud, che intercettando gran parte del sedimento proveniente da sud e diretto verso lo Scannone di Volano a nord, determinano una sottoalimentazione importante del tratto in questione. Altro elemento importante è la presenza a nord-est della foce del Po di Goro (ramo attivo del sistema deltizio del Po) che alimenta tutta la complessa area umida della Sacca di Goro fino allo Scannone di Volano.

Per far fronte al ridotto apporto di sedimento e conseguenti fenomeni d'erosione dagli anni '70 tutto il tratto è stato progressivamente dotato di opere di difesa: già nel 1977 il tratto a nord di Porto Garibaldi risultava protetto da una serie di 9 km di scogliere parallele emerse ininterrotte (celle 102-105, Fig. 2); successivamente tutta l'area delle Bocche del Bianco e della Pineta di Volano (celle 106-107, Fig. 2) è stata messa in sicurezza con una scogliera radente e nel 2003 sul tratto più a sud della spiaggia di Lido Volano sono stati realizzati una serie di pennelli in legno e difese radenti di varia tipologia. Tutto il tratto di litorale più a nord (celle 109-110, Fig. 2) risulta invece privo di opere di difesa. La prima cella 109 si caratterizza per la presenza di numerose strutture balneari a ridosso di un arenile ampio mediamente 80 m, in un contesto ancora non pesantemente antropizzato grazie alla presenza della Pineta di Volano alle spalle delle strutture. Questa formazione forestale caratterizza l'area protetta Riserva Statale Po di Volano (sito ZSC-ZPS - Bosco di Volano e Parco regionale del Delta del Po), insieme a zone umide e residui di dune costiere. In questa cella è stato scelto il sito per la ricostruzione della duna artificiale. Infine, nella cella 110 s'innesta lo Scannone di Volano, una freccia litorale in crescita fino agli '90 (Regione Emilia-Romagna, 2024) che delimita la Foce di Po di Volano e l'area umida della Sacca di Goro. Tutta quest'area marina, compreso il tratto di mare posto in corrispondenza della duna artificiale, si caratterizza per un intenso sfruttamento per la molluschicoltura e come zona di prelievo delle sabbie per il ripascimento di altre zone.

Sempre in riferimento all'ultimo studio di Arpae di monitoraggio costiero a scala regionale (Arpae, 2020) il tratto di costa scelto per l'ubicazione delle duna artificiale, riferibile alla cella 109, risulta in erosione a fronte di cospicui interventi di ripascimento artificiale (indici dello stato del litorale ASE-ASPE (Aguzzi *et al.* 2012), sul periodo di studio di riferimento 2012-2018).

Altro elemento da considerare è certamente la subsidenza. Nell'ultimo studio effettuato da Arpae (Arpae, 2023) in relazione alla subsidenza regionale, nel periodo 2016-2021 il territorio d'interesse si caratterizza per tassi di subsidenza tra 5 e 7,5 mm/anno sulla spiaggia e tra 2,5 e 5 mm/anno nell'immediato entroterra.

Per quanto riguarda l'inquadramento meteo marino, Lido di Volano si attesta come la località con maggior numero di impatti da eventi meteo-marini, in relazione al periodo 1946-2023. Oltre a fenomeni di erosione dell'arenile e degli argini invernali, sono spesso segnalati inondazione, danni alle opere di difesa e agli stabilimenti balneari (Regione Emilia-Romagna, 2023).

Dallo studio di caratterizzazione effettuato nell'ambito del progetto Operandum (Operandum, 2021), per quanto riguarda le caratteristiche meteo marine, le simulazioni da modello numerico costiero hanno evidenziato una maggiore esposizione del sito alle mareggiate da Scirocco da sud-est e da qui la particolare esposizione all'ingressione marina durante gli eventi di acqua alta.

Sempre dallo stesso studio si evince che le quote della spiaggia nei pressi della duna si attestano su valori compresi

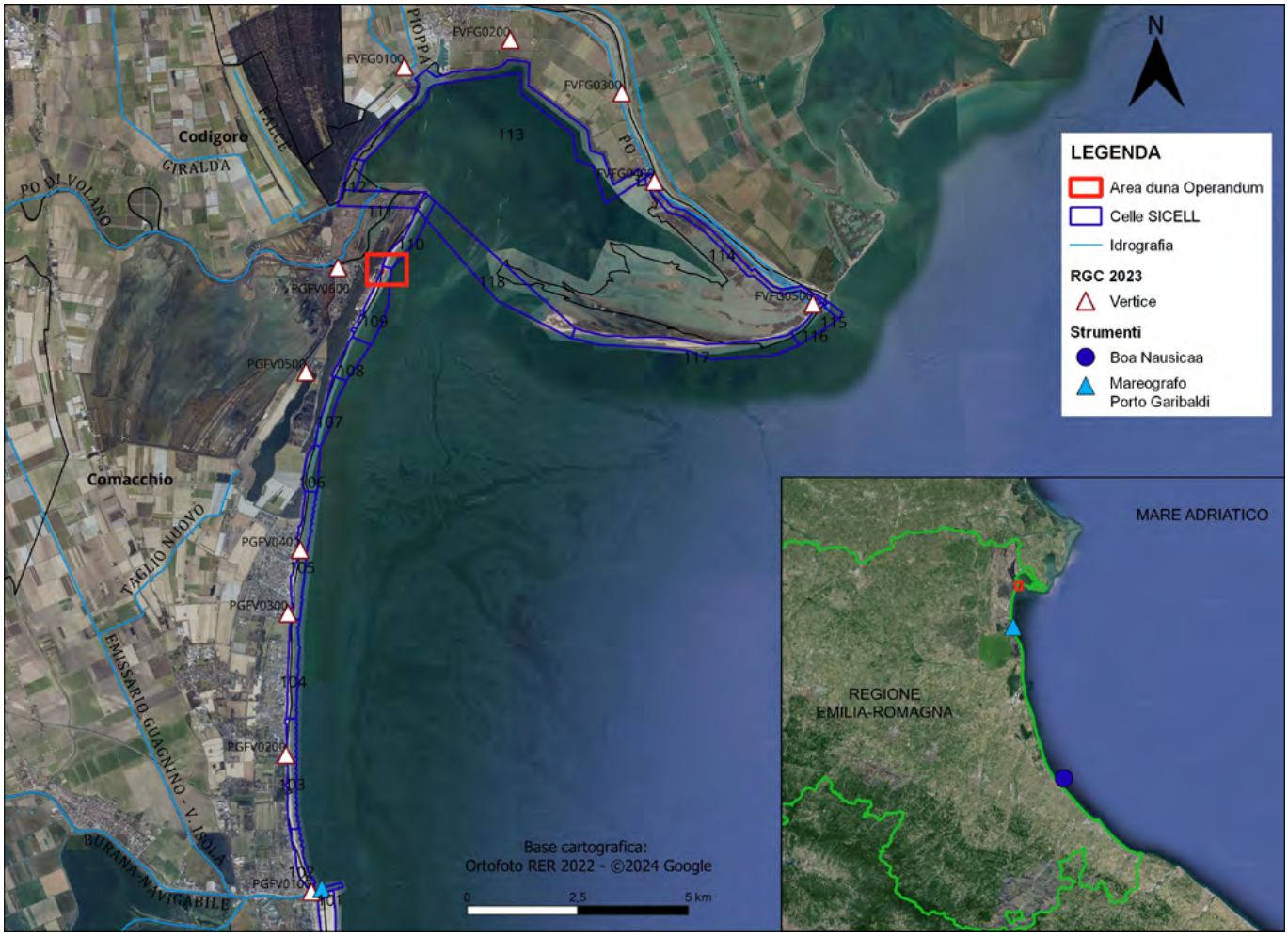



Figura 2. Inquadramento geografico dell'area di studio (rettangolo rosso). Nella mappa principale sono riportate le celle SICELL riferibili alla macrocella 6 (C102-111, idrografia e i vertici della Rete Geodetica Costiera (RGC). Nel riquadro in basso a destra l'inquadramento dell'area rispetto al litorale regionale con le posizioni degli strumenti di monitoraggio meteo-marino gestiti da Arpae utilizzati in questo studio.

tra 1,3 e 1,6 m s.l.m., mentre a monte è ubicato un rilevato, che raggiunge quote massime comprese tra 3,50 m e 3,80 m s.l.m., caratterizzato da un profilo molto dolce lato mare e da un profilo ripido lato monte.

Le indagini stratigrafiche, che hanno evidenziato una alternanza di limi sabbiosi e sabbie limose nell'immediato sottosuolo. In particolare, il primo strato superficiale (fino ad una profondità di 4 m) è composto da sabbie medie e fini, all'aumentare della profondità aumenta localmente la componente limosa. (Operandum, 2021).

Infine, dal punto di vista ecologico, in riferimento alla rete Natura 2000 il sito ricade nella ZSC-ZPS - IT4060007 - Bosco di Volano. Sito composto da una zona di pineta litoranea e dalle relative spiagge e dune costiere, queste ultime rappresentate dagli Habitat 1210 con le piante erbacee annuali delle linee di deposito marino e Habitat 2110 con specie psammofile perenni che danno origine ai primi accumuli sabbiosi in forma più o meno isolata, le dune embrionali (Operandum, 2021).

## 3. IL MONITORAGGIO DELLA DUNA

Il monitoraggio della duna artificiale di Lido di Volano comprende temporalmente due periodi differenti, il primo periodo durante il quale sono state realizzate tre campagne di rilievi programmate nell'ambito del progetto Operandum (gennaio, maggio e ottobre 2022) e una serie di rilievi successivi al termine del progetto (dicembre 2022; giugno, settembre e novembre 2023; febbraio e aprile 2024).

Questa fase successiva, condotta esclusivamente dal personale di Arpae, è stata possibile grazie alla recente acquisizione di strumentazione professionale per il monitoraggio ambientale da parte dell'Agenzia. Nello specifico l'acquisizione di un sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) per il rilievo topografico e relativo servizio NRTK (*Network Real Time Kinematic*) per l'acquisizione di precisione, e di una flotta di droni dotati di fotocamera, sensori LiDAR, termici, multispettrali.

Nella prima parte del monitoraggio (progetto Operandum) sono stati condotte tre campagne di rilievi topografici (su transetti con GNSS e fotogrammetrico via SAPR/ UAS - Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto/ *Unmanned Aircraft System*), batimetrici e sedimentologici, secondo il piano di monitoraggio riportato in Fig. 3.

Nella fase successiva i rilievi topografici (GNSS e fotogrammetrico/LiDAR via SAPR) sono stati condotti su un'area molto più ristretta e in corrispondenza di tre sezioni cross-shore in corrispondenza la duna (Fig. 4).

In questo studio verranno esposti i risultati dei soli rilievi topografici GNSS e parte dei rilievi effettuati via SAPR (Sistema aereo a pilotaggio remoto), con l'obiettivo di va-

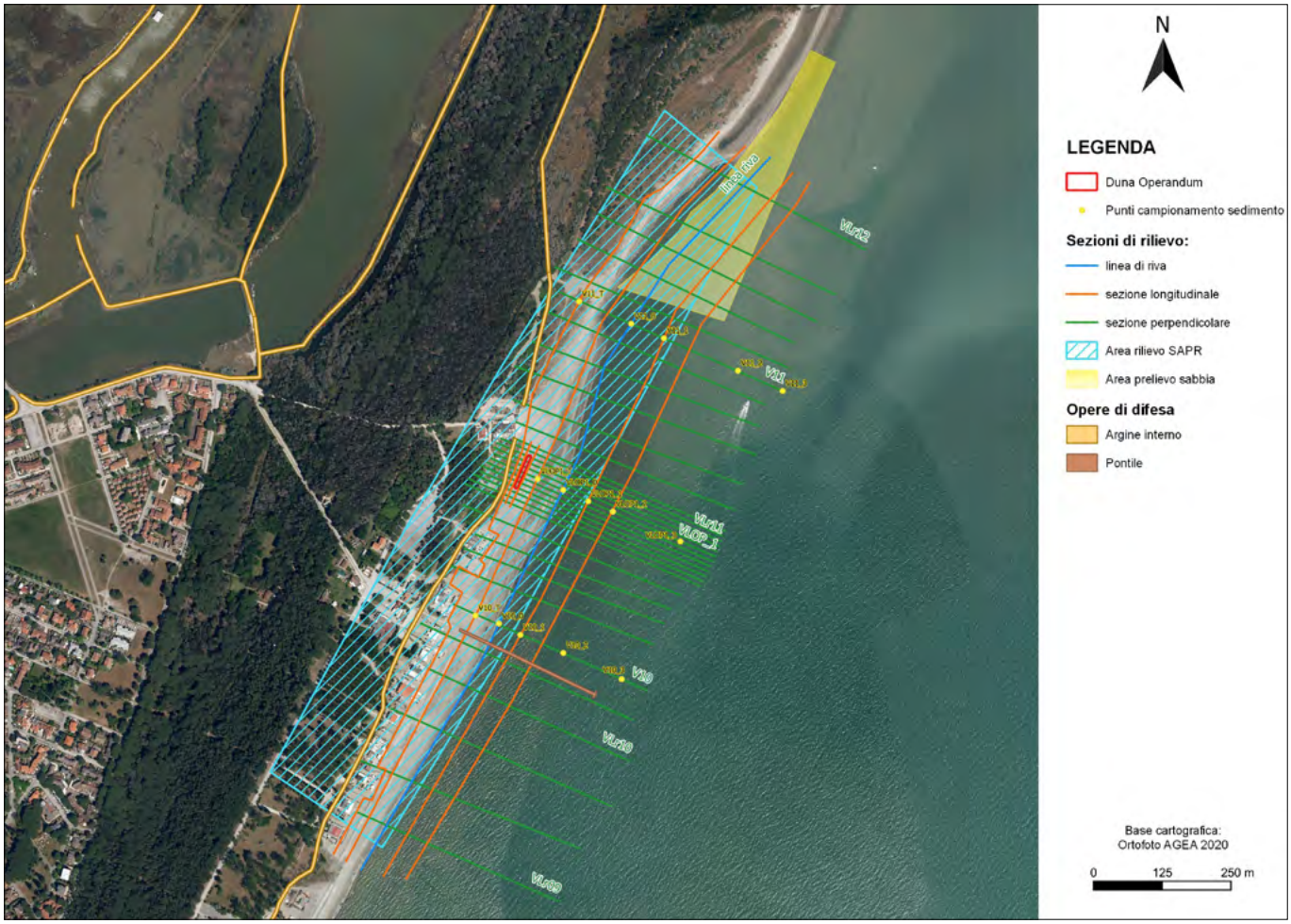



FIGURA 3. Mappa del Piano di monitoraggio del progetto Operandum.

lutare l'evoluzione morfologica della duna e della spiaggia antistante e l'efficacia di contrasto all'ingressione marina.

## 3.1 Dati e metodologie

### *3.1.1 Analisi degli eventi meteo-marini*

L'obiettivo di questa analisi è di individuare eventi meteomarini (mareggiate e/o acqua alta) che possono avere avuto impatti significativi sulla duna.

Il moto ondoso insistente sul litorale ferrarese è stato ricostruito in base ai dati rilevati dalla boa ondametrica Nausicaa e a partire dal mese di dicembre 2022 dalla sua sostituta Nausicaa 2 (Fig. 2). I dati, acquisiti ogni 30 minuti dalla boa, sono accessibili sia dalla pagina della rete di monitoraggio meteo-marina di Arpae, sia tramite il servizio web di estrazione dati Dext3r di Arpae. Il regime ondoso è descritto da quattro grandezze: altezza significativa dell'onda (Hs), direzione di provenienza (Dir), periodo medio (Tm) e periodo di picco delle onde (Tp).

Tali dati sono stati integrati con quelli delle boe ondametriche di Venezia e Ancona nel periodo ottobre – dicembre 2022 (periodo tra la fine dell'operatività della boa Nausicaa e l'entrata in funzione di Nausicaa 2).

Per la determinazione del livello del mare sono stati acquisiti i dati della stazione mareografica di Porto Garibaldi (Fig. 2) nel comune di Comacchio (FE) gestito da Arpae attivo dal 2009. La stazione è dotata di due mareografi distinti, uno a galleggiante (principale) e uno radar (secondario) e di una stazione GNSS permanente che misura continuativamente la quota della piattaforma in modo da poter discriminare il fenomeno della subsidenza (Pellegrinelli *et al.*, 2010). I dati sono registrati ogni 10 minuti e sono disponibili alla consultazione nell'ambito del sistema Dext3r, gestito da Arpae.

Sono state analizzate le condizioni meteomarine tra il 1° gennaio 2022 e il 30 aprile 2024 per individuare le mareggiate occorse in questo periodo e i livelli del mare raggiunti.

Così come definito nell'ambito del progetto MICORE (Arpa Emilia-Romagna, 2011), si considera come mareggiata un evento meteomarino avente valori dell'altezza significativa delle onde pari ad almeno 1,5 m per una durata minima di 6 ore consecutive; l'evento termina nel momento in cui l'altezza d'onda scende sotto la soglia prefissata rimanendoci per almeno 3 ore consecutive.

Per la quantificazione del contenuto energetico della mareggiata e la sua classificazione si è utilizzata la metodologia proposta da Mendoza e Jiménez (2004) per il mare Mediterraneo: il contenuto energetico è stato calcolato con l'integrazione del quadrato dell'altezza d'onda significativa entro l'intervallo di tempo in cui si è sviluppato il fenomeno (durata in ore); i valori ottenuti vengono poi suddivise in 5 classi.

Per l'individuazione degli eventi di acqua sono stati utilizzati i valori di riferimento della soglia di attenzione così come definiti dalla Regione Emilia-Romagna, > 0,8 m s.l.m. per la sola acqua alta e > 0,7 m s.l.m. per gli eventi combinati (Arpa Emilia-Romagna, 2011).

### *3.1.2 Rilievo topografico GNSS-NRTK*

Il rilievo topografico mediante antenna GNSS è stato eseguito lungo tre transetti, trasversali alla linea di riva e sulla sola spiaggia emersa, acquisendo un punto ogni circa 2-3 m e ad ogni cambio evidente di pendenza e/o morfologia.

Oltre ai tre transetti, durante i rilievi con SAPR sono stati acquisiti anche i punti a terra GCP (*Ground control point*) necessari per la georeferenziazione (Fig. 4).

L'acquisizione è stata effettuata in modalità NRTK. Lo strumento è connesso ad una rete di stazioni GNSS permanenti che forniscono una correzione del dato acquisito in tempo reale garantendo precisioni plano-altimetriche inferiori ai 5 cm.

L'accuratezza dell'acquisizione è inoltre garantita dal controllo effettuato sul vertice della RGC (Rete Geodetica Costiera) PGFV0600 situato a circa un kilometro di distanza dall'area rilevata (Fig. 2). Del caposaldo sono note coordinate planimetriche, quota ellissoidica all'epoca 2018 e quota ortometrica rilevata nel 2023 (Arpae, 2024), ciò consente di verificare immediatamente l'accuratezza del dato altimetrico acquisito in campo. Le coordinate planimetriche sono acquisite e fornite nel Sistema di riferimento ufficiale nazionale: ETRF2000 - RDN2008 / UTM zone 32N (EPSG: 7791).

### *3.1.3 Rilievo fotogrammetrico e LiDAR con SAPR*

La porzione di costa nella quale si trova la duna rientra negli spazi aerei regolamentati secondo la normativa tecnica vigente (Regolamento UE 947/2019) per la presenza nelle vicinanze dell'Aviosuperficie autorizzata ENAC di Valle Gaffaro (Codigoro). La quota massima consentita per il volo di APR è di 25 m rispetto al livello del terreno. L'area di volo si trova all'interno del Parco del Delta del Po che necessita di specifico nulla osta.

La strumentazione utilizzata nei due rilievi effettuati l'08 novembre 2023 e il 16 aprile 2024 comprende:

- DJI Matrice 350 RTK, drone professionale di dimensioni contenute (810×670×430 mm), con carico utile di 2,7 kg, resistenza al vento fino a 12 m/s, tempo di volo con un payload standard 40 minuti circa in base a condizioni meteo e tipologia di volo. Sistema RTK per posizionamento di precisione e link radio per la trasmissione dei dati a notevole distanza.
- LiDAR DJI L1, integra un sensore LiDAR Livox, IMU (*Inertial Measurement Unit*) ad alta precisione, una fotocamera RGB CMOS da 20 MP da un pollice con otturatore meccanico e sistema gimbal stabilizzato a 3 assi. Nuvola di punti ad alta densità: 240.000 punti/sec effettivi. Ritorni singoli, doppi tripli. Ripetitivo e non-ripetitivo. Distanza ottimale di rilevamento da 10-100 m.

Per il rilievo della duna mediante SAPR sono state utilizzate due tecnologie: la fotogrammetria e la scansione LiDAR.

La fotogrammetria aerea è una metodologia che permette di elaborare un modello bidimensionale o tridimensionale di aree del terreno mediante lo scatto di numerose




Figura 4. Posizione dei punti acquisiti lungo le tre sezioni e dei GCP nel rilievo del 04/16/2024.

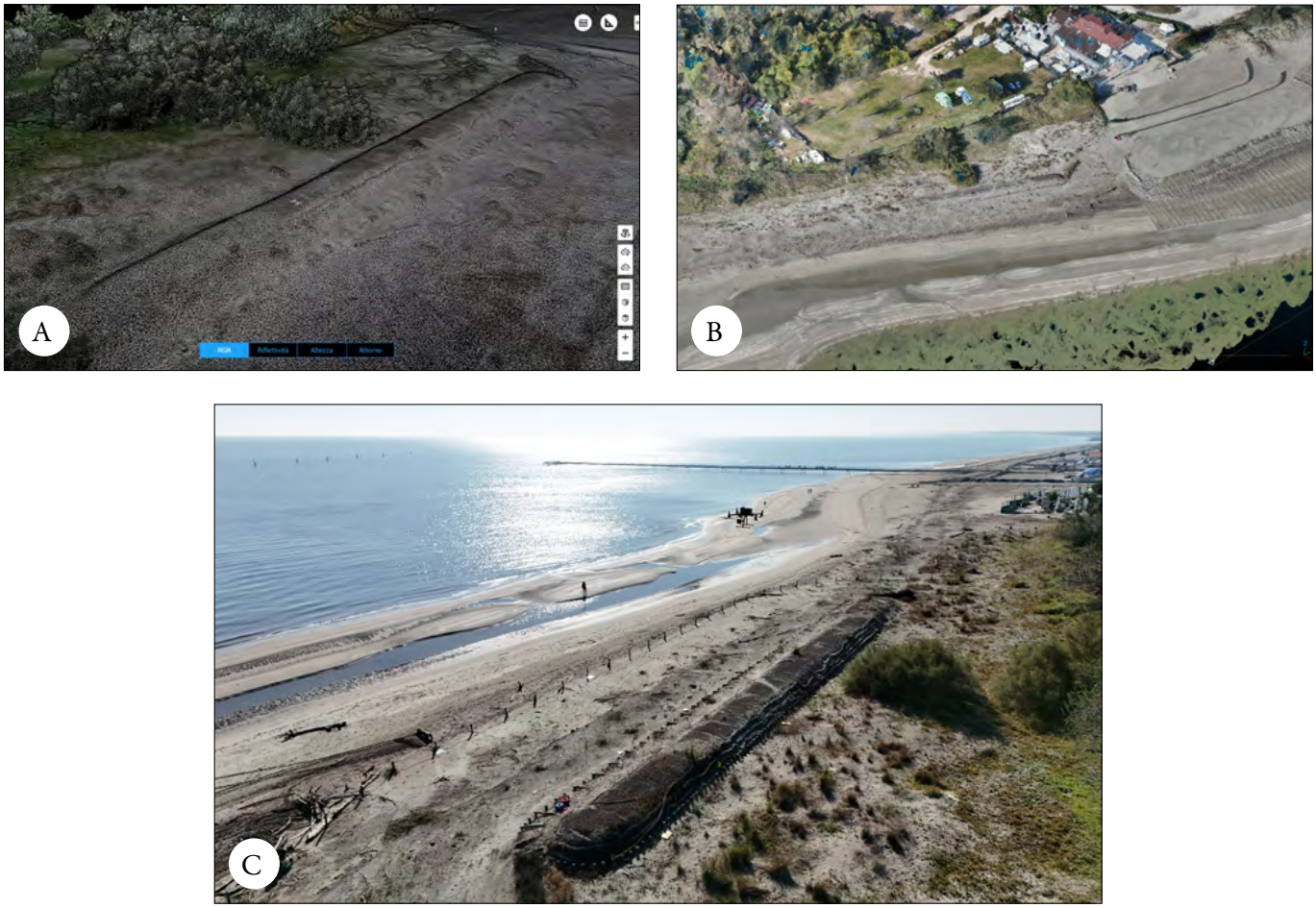



Figura 5. Vista della duna: (A) nuvola di punti da LiDAR; (B) nuvola di punti da fotogrammetria; (C) fotografica con drone Matrice in fase di acquisizione.

fotografie a quota e coordinate note in parte sovrapposte fra di esse. L'elaborazione successiva permette di unire tali foto come tessere di un mosaico ottenendo una nuvola di punti tridimensionale ed una ortofoto georeferenziata del terreno con notevole risoluzione.

La tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*) rappresenta un metodo di rilevamento basato sulla misura della distanza tra il sensore e l'oggetto d'interesse tramite l'emissione di impulsi laser ad alta frequenza da parte di un sensore. Tali impulsi vengono riflessi dagli oggetti e la misurazione del tempo impiegato dagli impulsi per ritornare permette di calcolare con precisione la distanza di ciascun punto dal sensore. Questo processo consente di ottenere informazioni tridimensionali ad alta risoluzione sull'ambiente circostante.

Sono state pianificate due missioni, una fotogrammetrica e una LiDAR alla quota consentita.

Per la missione fotogrammetrica è stata impostata una sovrapposizione degli scatti nadirali pari al 70% laterale ed 80% frontale con un GSD (*Ground Sample Distance*) al suolo pari a 0,8 cm/pixel.

Per quanto riguarda l'acquisizione LiDAR è stato pianificato un volo con una densità di punti al suolo di circa 900 punti/m$^2$.

Il drone utilizza la tecnologia NRTK che permette un posizionamento satellitare con precisione centimetrica degli scatti e della posizione del LiDAR installato sul drone stesso.

Per implementare l'accuratezza del rilievo SAPR sono stati utilizzati otto target a terra, GCP, acquisiti come descritto nel precedente paragrafo (Fig. 4) ed utilizzati come vincoli per la ricostruzione fotogrammetrica.

I file prodotti mediante la prima elaborazione dei dati sono ortofoto georeferenziate (in formato GeoTiff) prodotte dalla mosaicatura di tutti gli scatti effettuati durante la missione di volo (Fig. 5c) e nuvole di punti a diversa risoluzione e in diversi formati a seconda delle necessità (.ply o .las), Fig. 5a-b.

## 3.2 Risultati

### *3.2.1 Principali eventi meteo-marini nel periodo di studio*

Nel periodo compreso tra le due campagne di monitoraggio sono stati registrati 33 eventi di mareggiata che hanno comportato complessivamente quasi 27 giorni di mare mosso (Tabella 1), compreso l'evento del 22/23 novembre 2022 per il quale non si hanno i dati della boa Nausicaa ma che trova riscontro dalle misure provenienti dalle boe di Venezia e Ancona (Tabella 2 e Tabella 3) e risulta essere l'evento più importante occorso nei mesi di novembre e dicembre 2022.

La durata delle mareggiate è stata mediamente appena inferiore al giorno, con una punta massima di durata pari a oltre 3 giorni continuativi durante l'evento del 20-23 gennaio 2023. La direzione media di provenienza è stata circa 60 °N (I Quadrante). L'altezza significativa media delle

**Tabella 1. Caratteristiche delle mareggiate rilevate dalla boa Nausicaa / Nausicaa2 tra il 1° gennaio 2022 e il 16 aprile 2024 (esclusi ottobre e novembre 2022) e corrispondente livello del mare a Porto Garibaldi, anche con riferimento alle segnalazioni di danni (Regione Emilia-Romagna, 2022b e Regione Emilia-Romagna, 2023). Classi: I – debole; II – moderata; III, significativa. Nella tabella non sono state riportate le mareggiate di classe debole e che non hanno prodotto impatti.**

| Data/ora inizio | Stagione | Durata (ore) | $HS_{media}$ (m) | $HS_{max}$ (m) | $DIR_{media}$ (°N) | Quadrante | Classe | Liv. mare max (m) | Impatti segnalati |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 06/01/2022 01:30 | Inverno | 15 | 2,19 | 2,89 | 47,03 | I | II | 0,80 | impatti RA, FE |
| 06/01/2022 23:00 | Inverno | 7 | 1,72 | 1,94 | 61,69 | I | I | 0,46 | impatti RA, FE |
| 10/01/2022 09:30 | Inverno | 51 | 2,05 | 3,06 | 51,85 | I | III | 0,59 | piccoli impatti FC |
| 25/02/2022 22:00 | Inverno | 51 | 2,09 | 3,09 | 51,48 | I | III | 0,57 | |
| 09/04/2022 17:00 | Primavera | 8,5 | 2,73 | 3,55 | 33,58 | I | II | 0,78 | impatti FC |
| 16/04/2022 20:30 | Primavera | 22,5 | 2,07 | 2,69 | 60,91 | I | II | 0,45 | |
| 17/09/2022 07:30 | Autunno | 10 | 2,55 | 3,67 | 37,41 | I | II | - | |
| 20/01/2023 17:00 | Inverno | 76,5 | 2,17 | 3,91 | 58,47 | I | III | 1,01 | tutto il litorale |
| 26/02/2023 05:00 | Inverno | 33 | 2,58 | 3,38 | 58,18 | I | III | 0,47 | |
| 03/04/2023 05:00 | Primavera | 31,5 | 2,09 | 2,7 | 62,49 | I | III | 0,54 | |
| 01/05/2023 21:30 | Primavera | 26 | 1,95 | 2,45 | 59,3 | I | II | 0,56 | |
| 16/05/2023 03:00 | Primavera | 31,5 | 2,34 | 3,23 | 52,13 | I | III | 0,87 | impatti FC, RN |
| 21/11/2023 18:00 | Inverno | 32 | 2,15 | 2,75 | 62,27 | I | III | 0,78 | |
| 07/01/2024 04:30 | Inverno | 34 | 1,88 | 2,60 | 67,27 | I | II | 0,82 | |
| 19/01/2024 15:30 | Inverno | 33,5 | 1,89 | 2,81 | 55,45 | I | II | 0,48 | |

**Tabella 2. Caratteristiche delle mareggiate rilevate dalla boa di Venezia e corrispondente livello del mare a Porto Garibaldi nei mesi di ottobre e novembre 2022. Classi: I – debole; II – moderata; III, significativa. Nella tabella non sono state riportate le mareggiate di classe debole che non hanno prodotto impatti.**

| Data inizio | Stagione | Durata (ore) | $HS_{media}$ (m) | $HS_{max}$ (m) | $DIR_{media}$ (°N) | Quadrante | Classe | Liv. mare medio (m) | Liv. mare max (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22/11/2022 02:30 | Inverno | 24 | 2,81 | 4,17 | 114,33 | II | III | 0,79 | 1,45 |

**Tabella 3. Caratteristiche delle mareggiate rilevate dalla boa di Ancona e corrispondente livello del mare a Porto Garibaldi nei mesi di ottobre e novembre 2022. Classi: I – debole; II – moderata; III, significativa. Nella tabella non sono state riportate le mareggiate di classe debole che non hanno prodotto impatti.**

| Data inizio | Stagione | Durata (ore) | $HS_{media}$ (m) | $HS_{max}$ (m) | $DIR_{media}$ (°N) | Quadrante | Classe | Liv. mare medio (m) | Liv. mare max (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 05/11/2022 08:00 | Inverno | 28 | 2,25 | 2,83 | 18,03 | I | III | 0,35 | 0,85 |
| 19/11/2022 15:30 | Inverno | 32 | 1,79 | 2,32 | 8,67 | I | II | 0,40 | 0,78 |
| 21/11/2022 23:00 | Inverno | 35 | 2,76 | 4,13 | 146,43 | II | III | 0,70 | 1,45 |

onde è stata di 1,9 m, mentre l'altezza massima registrata è risultata pari a 3,91 m e si è verificata durante l'evento del 20-23 gennaio 2023. Dal punto di vista della classificazione in base al contenuto energetico le 33 mareggiate sono risultate 18 volte in classe "debole", 7 in classe "moderata" e 8 in classe "significativa" (Tabella 1).

Al fine di definire se il periodo in esame sia in linea o si discosti dal punto di vista del contenuto energetico sviluppato durante le mareggiate rispetto al clima medio, questo parametro è stato sommato e rapportato a un anno; in questo modo si ottengono i seguenti risultati:

- 1182,9 $m^2$/ore/anno per l'intera serie storica;
- 1173,2 $m^2$/ore/anno per il periodo in esame.

**Tabella 4. Elenco degli eventi di acqua alta occorsi tra il 1° gennaio 2022 e il 16 aprile 2024 (mareografo di Porto Garibaldi).**

| Data | Stagione | Liv. mare max (m) |
|---|---|---|
| 05/01/2022 | Inverno | 0,80 |
| 06/01/2022 | Inverno | 0,80 |
| 05/11/2022 | Inverno | 0,85 |
| 24/11/2022 | Inverno | 0,99 |
| 25/11/2022 | Inverno | 0,86 |
| 04/12/2022 | Inverno | 0,90 |
| 16/12/2022 | Inverno | 0,95 |
| 20/01/2023 | Inverno | 1,01 |
| 16/05/2023 | Primavera | 0,87 |
| 19/10/2023 | Inverno | 0,83 |
| 20/10/2023 | Inverno | 0,88 |
| 24/10/2023 | Inverno | 0,82 |
| 26/10/2023 | Inverno | 0,86 |
| 27/10/2023 | Inverno | 1,14 |
| 28/10/2023 | Inverno | 0,99 |
| 29/10/2023 | Inverno | 0,90 |
| 30-31/10/2023 | Inverno | 0,99 |
| 03/11/2023 | Inverno | 0,88 |
| 05/11/2023 | Inverno | 1,00 |
| 02/12/2023 | Inverno | 0,84 |
| 07/01/2024 | Inverno | 0,82 |

Quindi il periodo in esame è stato caratterizzato da un contenuto energetico comparabile a quello medio annuo.

Per quanto riguarda il livello del mare il valore massimo raggiunto è quello relativo all'evento del 21/23 novembre 2022 (1,45 m s.l.m.). In 2 anni e 4 mesi sono avvenuti otto eventi di mareggiata concomitanti a un livello massimo del mare > 0,7 m s.l.m., valore di riferimento per la soglia di attenzione definito dalla Regione Emilia-Romagna per individuare gli eventi combinati di mareggiata e acqua alta.

È evidente dalla Tabella 1 come gli eventi in cui le due tipologie di fenomeno di verificano contemporaneamente siano quelli che determinato i maggiori impatti sul territorio.

Durante il periodo in esame sono stati individuati 22 eventi di acqua alta (Tabella 4), ovvero con un livello massimo del mare > 0,8 m s.l.m., valore di riferimento per la soglia di attenzione definito dalla Regione Emilia-Romagna per individuare gli eventi di sola acqua alta.

Per quanto riguarda il periodo ottobre e novembre 2022 non ci sono altri eventi meteo-marini da segnalare oltre al già citato evento del 22 novembre, registrato dal mareografo di Porto Garibaldi e dalla boa di Venezia.

### *3.2.2 Confronto dei rilievi topografici via GNSS e via SAPR*

Prima di procedere con la vera e propria analisi geomorfologica sull'evoluzione della duna si è proceduto ad una fase di analisi della qualità dei dati acquisiti via SAPR. In particolare, tale analisi ha riguardato il confronto delle quote acquisite in campo con GNSS-NRTK sulle tre sezioni di riferimento (Fig. 6 e Fig. 7) con le quote estratte sugli stessi punti dai modelli DSM da nuvola di punti.

I DSM analizzati riguardano i due rilievi effettuati in due giornate dai piloti UAS di Arpae sul sito della duna di Volano: l'8 novembre 2023 in occasione dell'esercitazione del Sistema Nazionale Protezione dell'Ambiente e il 16 aprile 2024 con il coordinamento dell'Earth Observation della Direzione Tecnica Arpae. In entrambe le giornate sono stati effettuati il rilievo fotogrammetrico e il rilievo LiDAR, secondo le specifiche descritte al paragrafo 3.1.3, e da questi sono stati elaborati i relativi DSM.

In Fig. 6 e Fig. 7 viene riportata la sintesi tramite rappresentazione in pianta di un'analisi più approfondita.

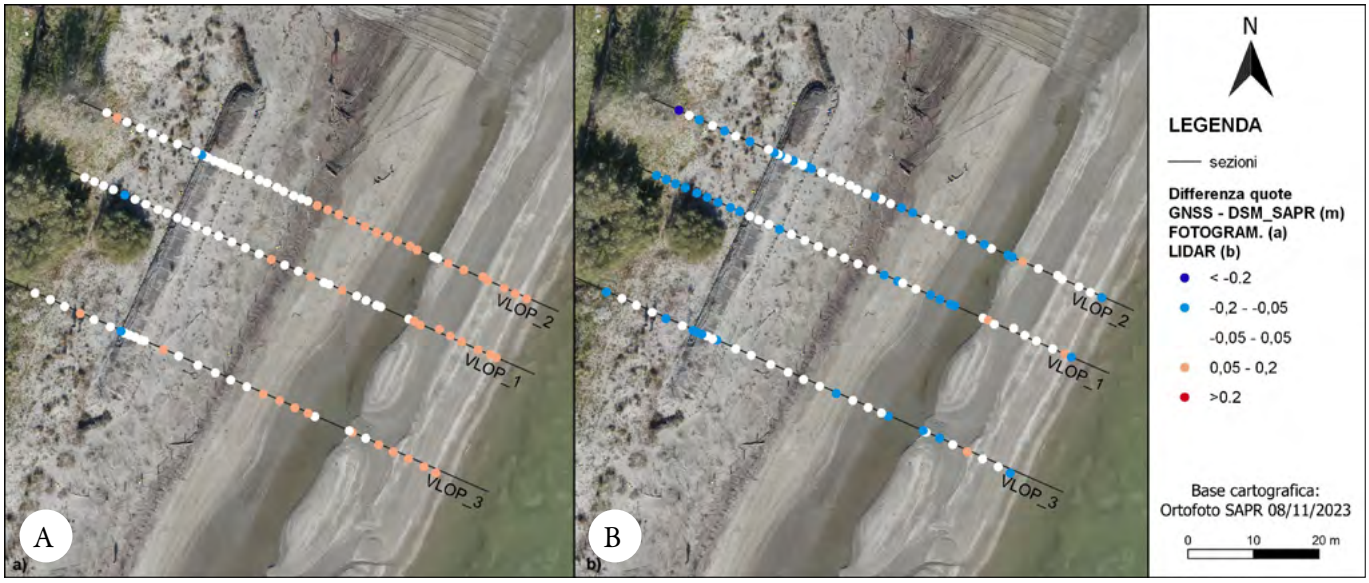



Figura 6. Differenze tra quote in pianta sulle tre sezioni, per classi di valori. Il rilievo dell'08/11/2023: a) Differenza tra quota GNSS e quota DSM fotogrammetrico, b) Differenza tra quota GNSS e quota DSM LiDAR.

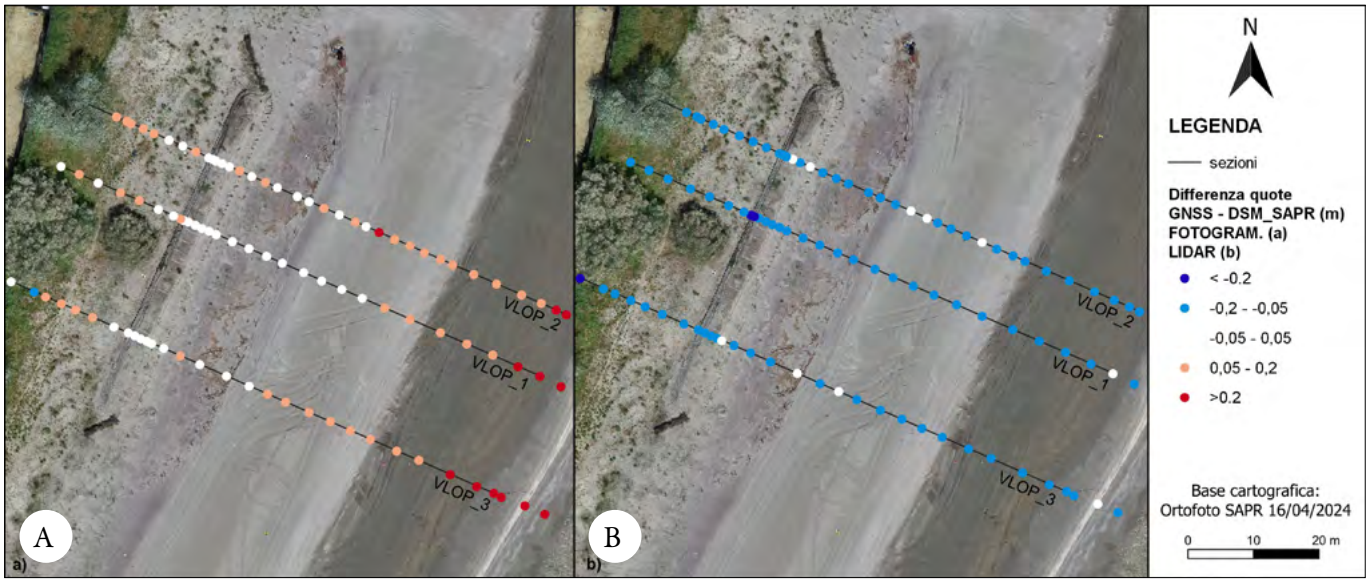



Figura 7. Differenze tra quote in pianta sulle tre sezioni, per classi di valori. Il rilievo del 16/04/2024: a) Differenza tra quota GNSS e quota DSM fotogrammetrico, b) Differenza tra quota GNSS e quota DSM LiDAR.

Sia il rilievo da fotogrammetria che quello da LiDAR effettuati l'8 novembre 2023 (Fig. 6b) mostrano un'ottima corrispondenza dei modelli con le quote acquisite in campo. Le differenze tra le quote sono sempre minori di ± 20 cm in entrambi i casi, unica ma importante differenza è la distribuzione dei questi errori poiché nel rilievo fotogrammetrico (Fig. 6a) questi perlopiù positivi e localizzati nei pressi della battigia, nel rilievo LiDAR (Fig. 6b) questi sono perlopiù negativi e sembrano localizzarsi nella fascia retrodunale vegetata ma non solo. A tal riguardo va ancora una volta specificato che i modelli sono dei DSM per cui non risultano filtrati dagli elementi estranei al suolo.

Anche i rilievi effettuati il 16/04/2024 (Fig. 7b) mostrano in generale una buona corrispondenza dei modelli con le quote acquisite in campo ma in questo caso il rilievo fotogrammetrico mostra errori maggiori rispetto al rilievo LiDAR, tra 32 e 39 cm il primo (Fig. 7a) e tra -18 e -21 cm il secondo (Fig. 7b). Anche in questo caso il LiDAR produce una sottostima della quota reale e l'errore è distribuito su tutta l'area mentre la fotogrammetria sovrastima la quota e l'errore diventa maggiore verso la battigia.

Sulla base di quanto appurato con questo confronto tra dati e modelli si è valutato di proseguire l'analisi della geomorfologia della duna utilizzando i DSM da modello fotogrammetrico che sulla porzione d'interesse (duna e spiaggia antistante) mostrano errori nell'ordine di ± 5 cm, ed escludendo la porzione di spiaggia nei pressi della battigia dove gli errori sono troppo alti. L'utilizzo dei dati da rilievo LiDAR sarà oggetto di ulteriori approfondimenti.

### *3.2.3 Monitoraggio geomorfologico*

#### *3.2.3.1 Analisi dei profili da rilievo GNSS*

L'analisi dei profili estrapolati dai punti acquisiti in campo con rilievo GNSS-RTK permette di ottenere una serie di dati abbastanza frequenti sul periodo complessivo di monitoraggio (gennaio 2022 – aprile 2024) e perfettamente confrontabili. I rilievi topografici effettuati con GNSS in modalità RTK e NRTK sono stati tutti acquisiti

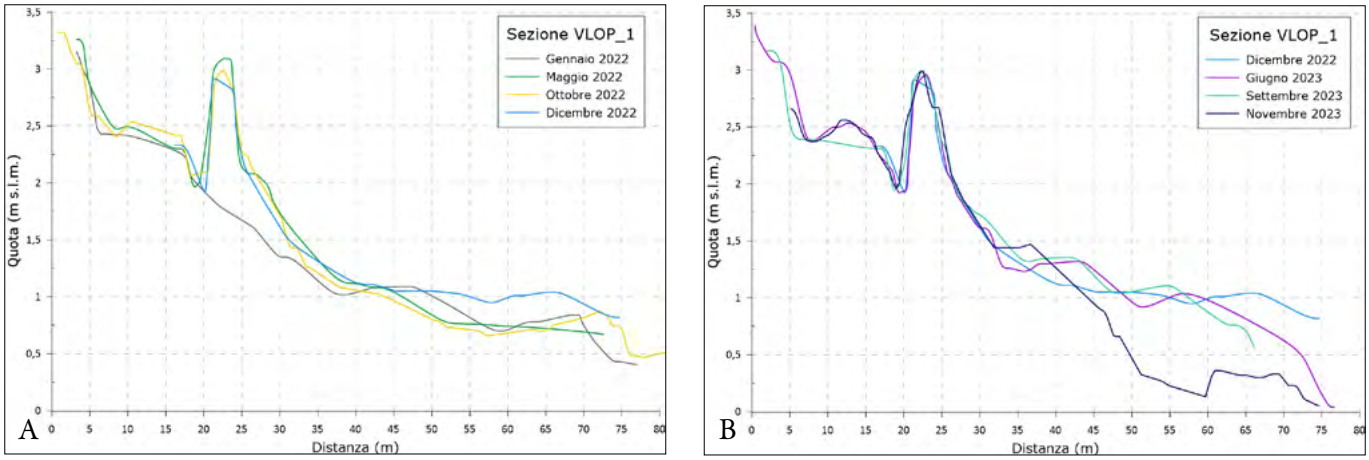



FIGURA 8. Profili spiaggia-duna in corrispondenza della sezione VLOP_1 (Figura 4). (A) Rilievi del 2022; (B) Rilievi del 2023.

nel sistema di riferimento ERTF2000 – RDN2008 – UTM 32 e il passaggio da quota ellissoidica e quota ortometrica è stato effettuando applicando il valore di ondulazione geoidica in corrispondenza del caposaldo di riferimento per il rilievo, il PGFV0600 posto a circa un chilometro di distanza dalla zona di studio (Fig. 2). Il vertice fa parte della Rete Geodetica Costiera (RGC) gestita da Arpae e recentemente aggiornata con livellazione di precisione (Arpae, 2024). Ad ogni rilievo inoltre sono state effettuate delle misure in corrispondenza del vertice stesso per validare le misure effettuate in campo.

Complessivamente sono stati condotti nove rilievi topografici, secondo le modalità descritte al paragrafo 3.1.2, di cui cinque contestualmente all'utilizzo di altre tecnologie tramite SAPR (fotogrammetria e LiDAR).

Di seguito la descrizione delle principali variazioni morfologiche individuate, descritte per semplicità solo sulla sezione VLOP_1 (nelle altre due sezioni, VLOP_2 e VLOP_3, le valutazioni sono sostanzialmente coincidenti). In Fig. 8a i profili dei rilievi del 2022 mostrano la realizzazione della duna nel maggio 2022 (profilo verde) a partire dalla condizione originale priva di duna (profilo grigio), in seguito in ottobre 2022 (profilo giallo) è possibile notare una lieve abbassamento della quota della cresta. Tale abbassamento nell'ordine dei 10 cm verosimilmente potrebbe essere dovuto alla compattazione dei sedimenti e quindi all'assestamento dell'opera. Sempre nel profilo di ottobre 2022 è evidente anche l'accumulo formatosi nella zona del piede dunale (quota 2-2,30 m s.l.m.), dovuto al naturale intrappolamento della sabbia nella porzione della catasta di ramaglia vincolata (Fig. 9), e nella parte di spiaggia antistante compresa nella recinzione (quota 1,4-1,5 m s.l.m.), dovuto all'apporto di sabbia in fase di cantiere.

Il rilievo del dicembre 2022 (profilo azzurro, Fig. 8a) mostra i segni evidenti dell'erosione indotta dalla grossa mareggiata del 22/11/2022 (Tabella 2), in particolare l'erosione degli accumuli precedentemente formatisi al piede dunale e sulla spiaggia antistante. Durante il sopralluogo del 30/11/2022 (Fig. 9) è stato possibile identificare i segni della mareggiata (residui organici e non, trasportati dal mare) dietro la duna e lungo i versanti ma non sulla sommità, a testimoniare che l'acqua ha circondato l'opera ma non c'è stato un completo sormonto.

Passando al 2023 in Fig. 8b, è possibile individuare la nuova formazione delle morfologie sulla spiaggia (nella figura è riportato anche il profilo del dicembre 2022 per il confronto), mentre sulla duna, sempre in corrispondenza del piede dunale, è possibile notare un lieve e nuovo accumulo, progressivamente maggiore da giugno (profilo viola) a settembre (profilo verde chiaro), sebbene di minore entità rispetto all'anno precedente. Il versante sopravento tende a riprendere la pendenza più dolce tipica delle morfologie naturali. Un secondo accumulo di maggiore consistenza è evidente sulla spiaggia antistante la duna, a ridosso della staccionata.



FIGURA 9. Foto dei sopralluoghi del 06 ottobre 2022 (a sinistra) e del 30 novembre 2022 (al centro e a destra).

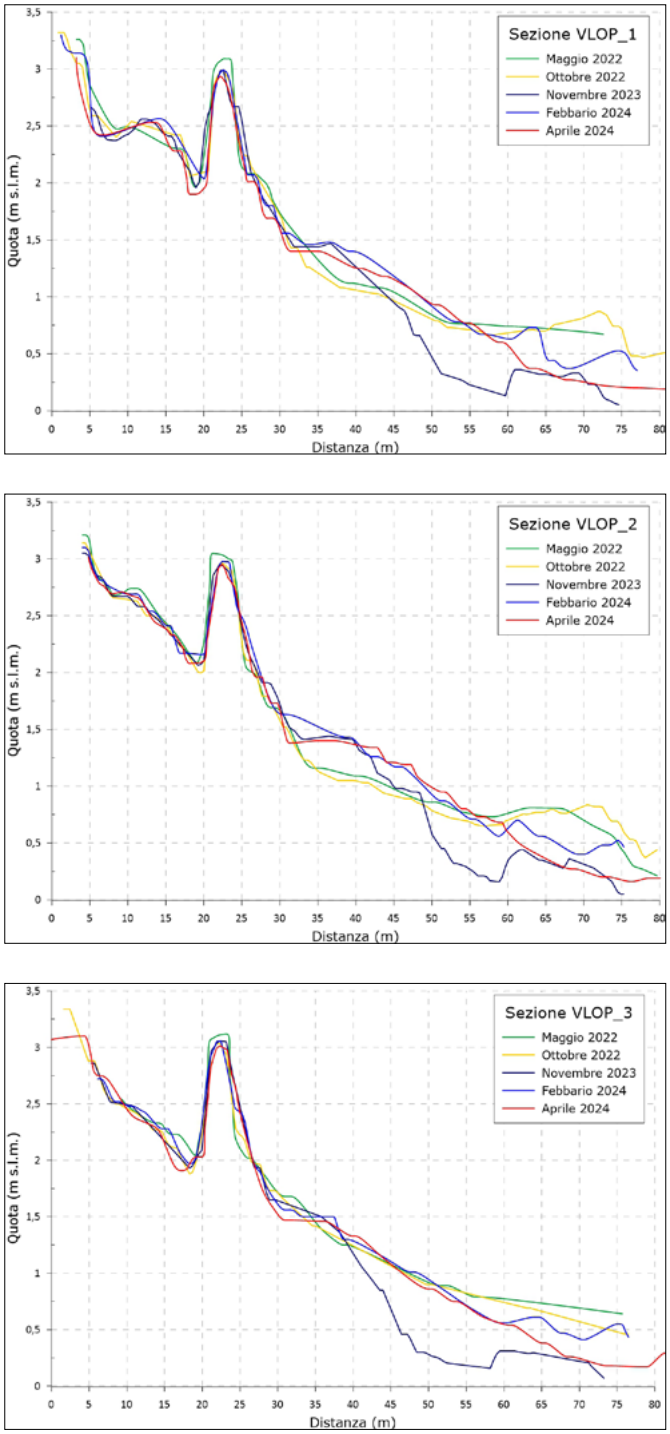



Figura 10.- Profili spiaggia-duna in corrispondenza delle sezioni (da nord) VLOP_2, VLOP_1 e VLOP_3 (in pianta in Figura 4).

Anche in questo caso il mese di novembre (profilo blu scuro) porta l'erosione degli accumuli appena formatisi, anche se in questo caso sembra risentirne più la spiaggia che la duna che sostanzialmente conserva il suo profilo. Nel mese di ottobre 2023 non sono stati registrati particolari eventi di mareggiata ma un susseguirsi di acque alte che probabilmente hanno prodotto la morfologia erosiva presente nella parte bassa della spiaggia.

In generale sulla variazione delle morfologie sulla spiaggia è difficile dare delle valutazioni essendo il tratto di spiaggia in questione soggetto con elevata frequenza al passaggio di mezzi meccanici per la sistemazione delle spiagge adiacenti. Anche nel retroduna la variazione dei profili non è indice di variazioni reali ma piuttosto effetto della diversa risoluzione dei punti acquisiti, essendo quest'area particolarmente stabile e vegetata.

Infine, in ultima analisi, vengono riportati i profili delle tre sezioni (Fig. 10), dei rilievi del 2024 (febbraio e aprile), insieme al profilo immediatamente precedente del novembre 2023, di ottobre 2022 che finora rappresentava la condizione di migliore sviluppo della duna e di maggio 2022 che descrive la duna appena costruita.

Per quanto riguarda la spiaggia, è evidente nel 2024 la ripresa di un profilo standard a bassa pendenza, rispetto alla situazione del novembre 2023. Sulla duna, con modalità lievemente diverse tra le tre sezioni, è possibile notare, in particolare rispetto all'ottobre 2022, un avanzamento del versante sopravento (nell'ordine di 1 m) e una omogeneizzazione maggiore, in particolare sulle sezioni VLOP_2 e VLOP_3 non c'è più lo "scalino" dell'accumulo localizzato al piede dunale.

### *3.2.3.2 Analisi dei DSM da rilievo fotogrammetrico SAPR*

Durante il periodo di monitoraggio del progetto Operandum sono stati realizzati tre rilievi fotogrammetrici via SAPR. In sintesi, dal confronto tra i rilievi (eseguiti in gennaio, maggio e ottobre 2022) emergeva un lieve accumulo di sedimento nella zona del piede dunale, protetta con ramaglia, dell'ordine dei 30 cm di spessore e di ampiezza. Il resto dell'area mostrava una sostanziale stabilità o lievi abbassamenti molto localizzati.

In seguito, sono stati effettuati i rilievi fotogrammetrici condotti da Arpae l'8 novembre 2023 e il 16 aprile 2024.

Il primo confronto è stato effettuato tra il rilievo di ottobre 2022 e quello di novembre 2023, quindi a circa un anno di distanza (Fig. 11a). La spiaggia mostra un esteso approfondimento probabilmente causato dai numerosi eventi di acqua alta susseguitisi tra ottobre e i primi di novembre 2023 (Tabella 4). Nella sottostante ortofoto (Fig. 12a) non sono evidenti segni di prelievi diretti di sedimenti che invece lo sono nel tratto di spiaggia subito a nord antistante lo stabilimento balneare. L'area della duna mostra una sostanziale stabilità della sommità, lievi accumuli attorno al piede dunale e lungo le fascinate oblique laterali. Un lieve abbassamento dell'area è evidente tra il piede dunale e i paletti di recinzione.

Il secondo confronto è stato effettuato tra il rilievo di novembre 2023 e quello di aprile 2024 (Fig. 11b), quindi a circa sei mesi di distanza. In questo caso oltre all'evidente recupero sulla spiaggia della morfologia erosiva presente nel novembre 2023, l'area della duna appare sostanzialmente stabile. Dall'ortofoto (Fig. 12.b) sono visibili anche tracce di mezzi sulla spiaggia antistante.

In ultima analisi è stato effettuato il confronto tra i rilievi fotogrammetrici di maggio 2022 e di aprile 2024, a circa due anni di distanza dalla costruzione della duna artificiale (Fig. 13).

In generale è evidente una condizione di approfondimento, in particolare nei pressi della battigia. In figura vengono riportate le isolinee dei 0,5 m s.l.m., in mancanza di quelle dello zero topografico assunto normalmente come indicatore della linea di riva (MATTM-Regioni, 2018). È

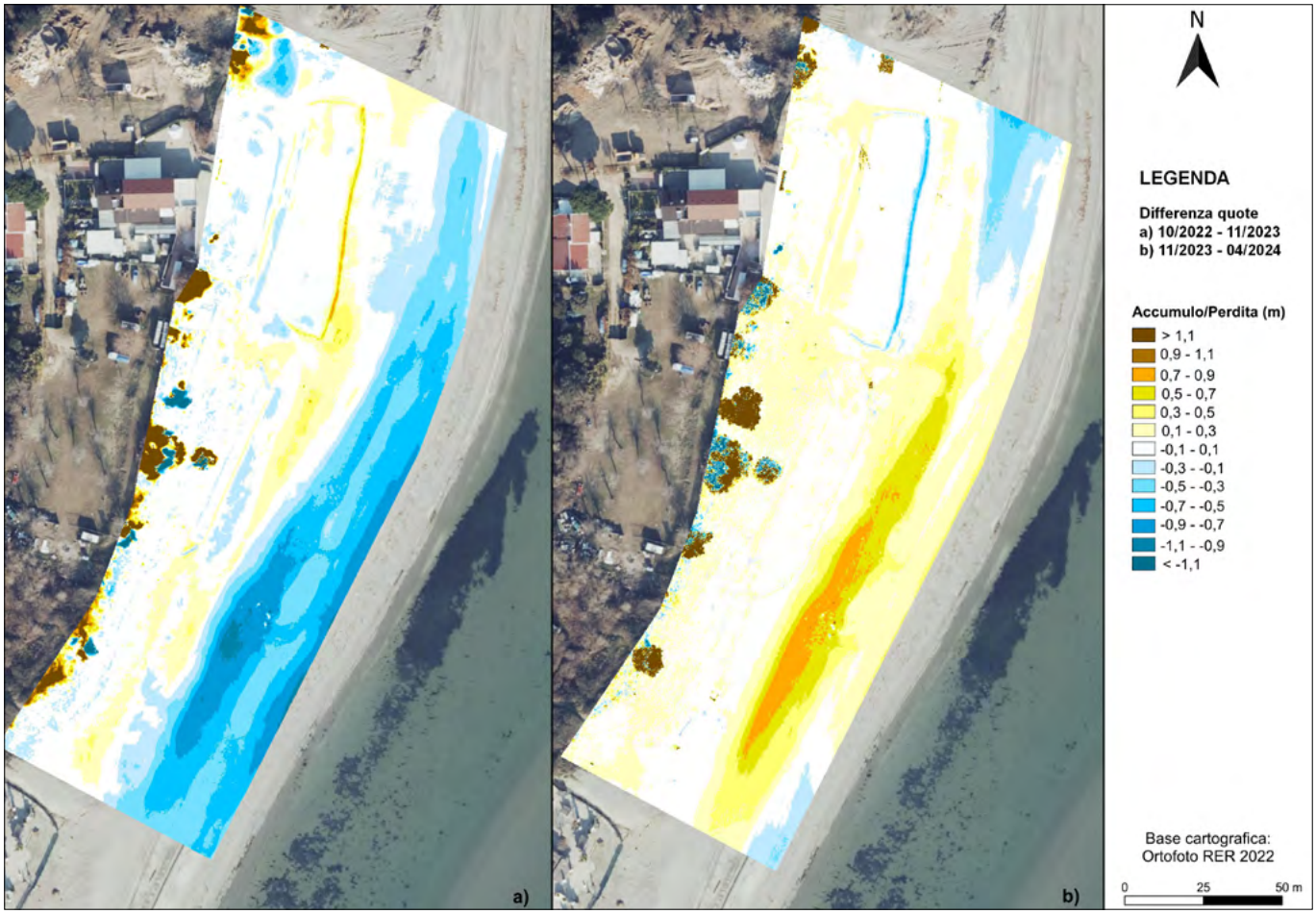



FIGURA 11.- Mappe di accumulo/perdita di sedimento nell'area della duna: a) confronto tra i rilievi del 10/2022 e 11/2023; b) confronto tra i rilievi del 11/2023 e 04/2024.




FIGURA 12. Ortofoto da rilievo fotografico via SAPR nell'area della duna: a) rilievo del 11/2023; b) rilievo del 04/2024.

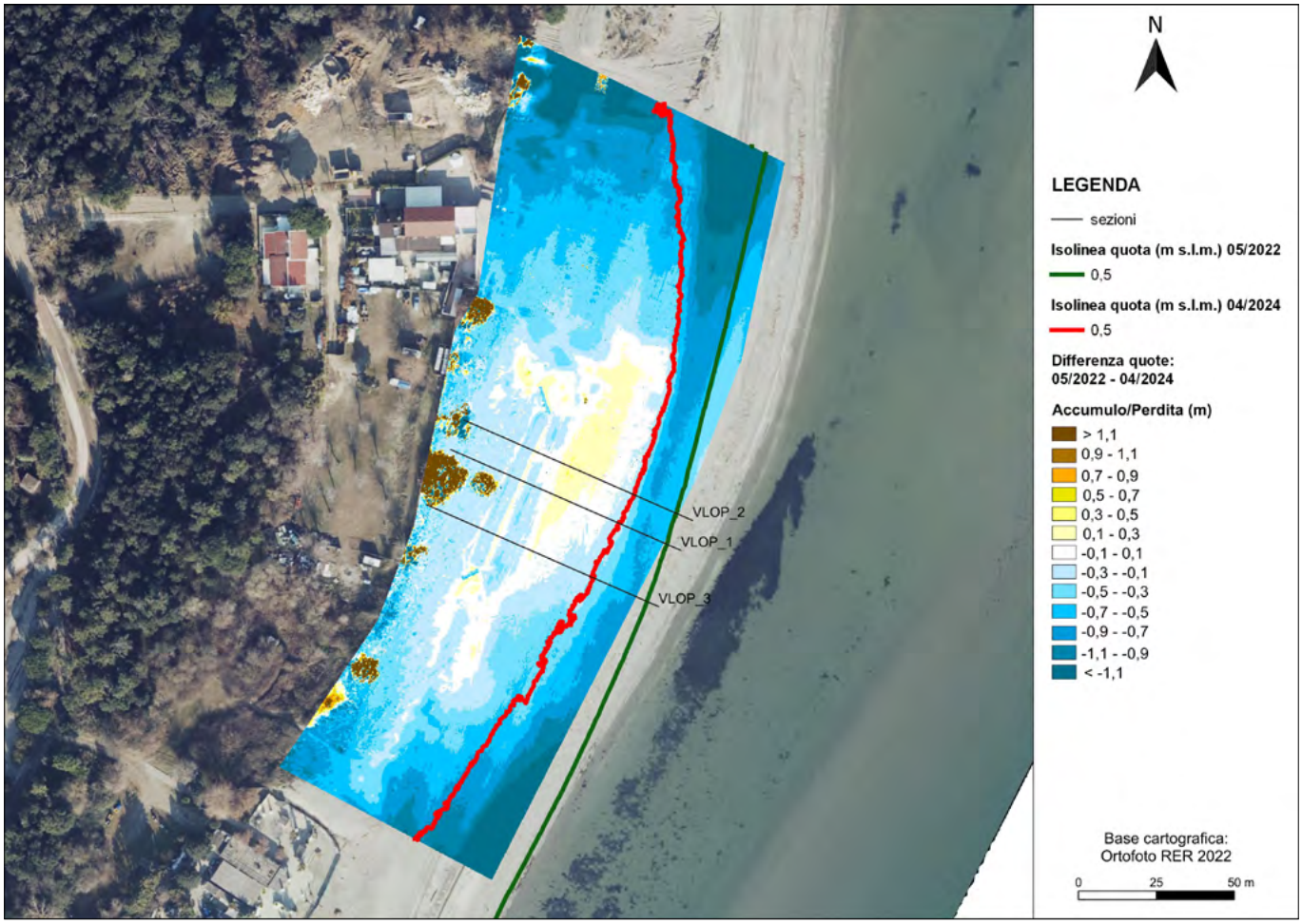



Figura 13. Mappa di accumulo/perdita di sedimento nell'area della duna. Confronto tra i rilievi di maggio 2022 e di aprile 2024.

evidente un arretramento della linea di riva, come anche nei profili (Fig. 10), nell'ordine dei 15-20 m in corrispondenza della duna. La spiaggia antistante la duna mostra stabilità e una zona di accumulo abbastanza estesa dello spessore tra 20 e 50 cm.

Sulla sommità della duna è rilevabile un abbassamento diffuso dell'ordine di 10-20 cm. Anche l'area di spiaggia recintata tra il piede dunale e la staccionata mostra un abbassamento delle quote esteso e quindi perdita di sedimento con spessori dell'ordine di 20-40 cm. Il piede dunale e le aree laterali di fronte alle fascinate oblique mostrano invece accumuli di sedimento attorno ai 10-20 cm.

### *3.2.4 Monitoraggio sedimentologico*

Il campionamento dei sedimenti è stato effettuato esclusivamente durante il progetto Operandum, nella prima campagna di rilievi del gennaio 2022 e durante la terza campagna di rilievi dell'ottobre 2022.

Successivamente alla chiusura del progetto il monitoraggio, portato avanti con i soli mezzi di Arpae non ha potuto prevedere ulteriori campagne di campionamento di sedimenti.

La ditta incaricata ha proceduto alla raccolta dei campioni secondo il disegno di campionamento esteso a tutta l'area indagata Operandum (1,5 km di litorale), Fig. 3, se-

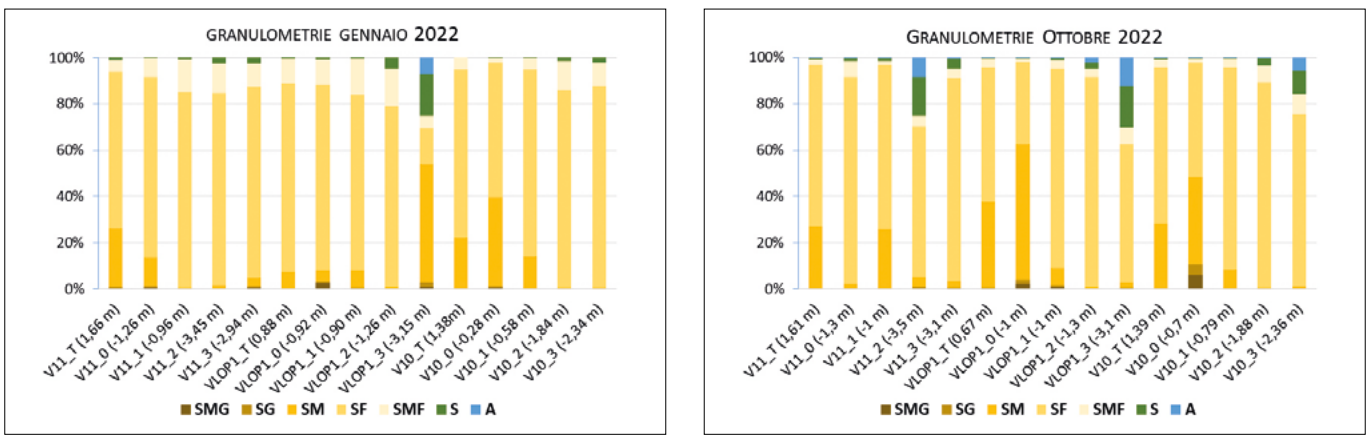



Figura 14. Classificazione granulometrica dei 15 campioni prelevati a Lido di Volano il 15/01/2022 e il 10/10/2022. I campioni appartenenti alla sezione centrale che intercetta la duna sono quelli della sezione VLOP_1 (SMG: sabbia molto grossolana; SG: sabbia grossolana; SM: sabbia media; SF: sabbia fine; SMF: sabbia molto fine; S: silt; A: argilla).

condo tre sezioni trasversali a costa. Di queste solo la sezione VLOP_1 intercetta la duna.

I campioni raccolti sono stati analizzati da un laboratorio accreditato secondo le metodologie di riferimento: ICRAM Sedimenti - scheda 3 2001/2003 e seguendo la classificazione granulometrica di Udden-Wentworth (1922) modificata da Blott, S.J. and Pye, K. (2001). I principali parametri sedimentologici per la caratterizzazione dei campioni sono stati calcolati e classificati secondo Folk e Ward (1957) attraverso il software GRADISTAT v9.1 (© Simon Blott (2020)). La maggior parte dei campioni raccolti nelle due campagne sono risultati composti da sabbie fini con frazioni pelitiche inferiori al 5%, eccetto i campioni alle profondità maggiori.

In riferimento all'unico punto di campionamento che ha una diretta relazione con la duna, trovandosi a circa 25 m dal piede dunale procedendo verso la battigia, è interessante notare come da gennaio 2022 a ottobre 2022 vi sia stato un aumento del Diametro medio pur rimanendo nelle classe delle sabbie fini e un considerevole aumento delle frazione di sabbia media, dal 7% al 37%.

## 4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il monitoraggio costiero necessita in primo luogo di ripetuti e programmati rilievi topo-batimetrici e sedimentologici che documentino nel tempo le variazioni morfologiche e tessiturali in relazione alle forzanti meteo-marine e alle pressioni antropiche potenzialmente impattanti. Spesso questa fase è sottovalutata o secondaria, risentendo anche dei ritardi delle fasi precedenti. Ciò determina la mancanza di informazioni sul medio-lungo periodo e di conseguenza la mancanza di indicazioni sull'efficacia di quell'opera e quindi di possibili miglioramenti nei progetti futuri.

Dalla costruzione della duna nel maggio 2022 sono state realizzate nove giornate di rilievo, tre nel contesto del progetto europeo Operandum, nel quale è stata realizzata l'opera stessa, e sei successive a opera di Arpae nell'ambito di tesi di studio e progetti più ampi. Nello specifico i rilievi condotti dal personale di Arpae hanno riguardato la topografia (rilievi GNSS e via SAPR) nell'area della duna e della spiaggia antistante. L'analisi di questi rilievi nell'arco di tempo di due anni, come descritto nel paragrafo 3.2.3, ha permesso l'individuazione di una dinamica del profilo duna-spiaggia con ciclicità stagionale: a partire dalla tarda primavera e per tutta l'estate l'assenza quasi completa di eventi meteo-marini (paragrafo 3.2.1), la maggiore disponibilità di sedimento (in termini di condizioni favorevoli alla deflazione eolica, spiaggia più ampia e asciutta) e la presenza di vegetazione favoriscono la formazione di accumuli di sedimento (nell'ordine di 20-30 cm di spessore) nella fascia di spiaggia antistante la duna entro la staccionata e soprattutto nella fascia del piede dunale, dinamica favorita in maniera significativa dalla presenza della ramaglia vincolata dalle palizzate al fronte e dalle fascinate di erica lateralmente (Fig. 9a). Questa scelta progettuale si è dimostrata quindi indubbiamente positiva. In autunno, a partire da novembre, il susseguirsi di eventi meteo-marini di varia natura e intensità determina l'erosione di queste morfologie, come avviene fisiologicamente nelle spiagge naturali.

Viene a determinarsi quindi l'alternanza di un profilo estivo, più dolce e dalle morfologie più articolate, con un profilo invernale, più acclive e uniforme.

Per quanto riguarda la spiaggia antistante a libero accesso è difficile valutarne la dinamica e l'influenza della presenza della duna, a causa soprattutto delle attività antropiche. La Fig. 13 sembrerebbe indicare una certa forma di resilienza della spiaggia antistante la duna (zona stabile e in accumulo), in un contesto che complessivamente mostra un'erosione diffusa.

In generale poi è utile evidenziare alcuni aspetti positivi della realizzazione dell'opera. La tenuta, la duna artificiale infatti ha dimostrato un'ottima resistenza alle mareggiate anche di classe III in concomitanza con acqua alta (evento del 22 novembre 2022). Inoltre, è stata realizzata un'area protetta dall'impatto della balneazione, a valenza conservazionistica e divulgativa (Fig. 15a).

Alcuni sono anche gli aspetti critici che devono essere evidenziati al fine di miglioramento nelle future esperienze. Per ciò che riguarda la vegetazione, componente fondamentale al pari delle sabbia nello sviluppo delle dune naturali, la mancanza della fase di piantumazione ha reso l'opera parzialmente incompleta rendendo più lento e precario il ricoprimento in sabbia dell'opera e quindi la sua naturalizzazione. La presenza delle piante autoctone psammofile nei pressi dell'area (*Agropyron junceum*) non è risultato sufficiente per la colonizzazione della duna dove, allo stato attuale, risultano insediate quasi esclusivamente piante ruderali o cosmopolite (*Ambrosia marittima, Oeno-*

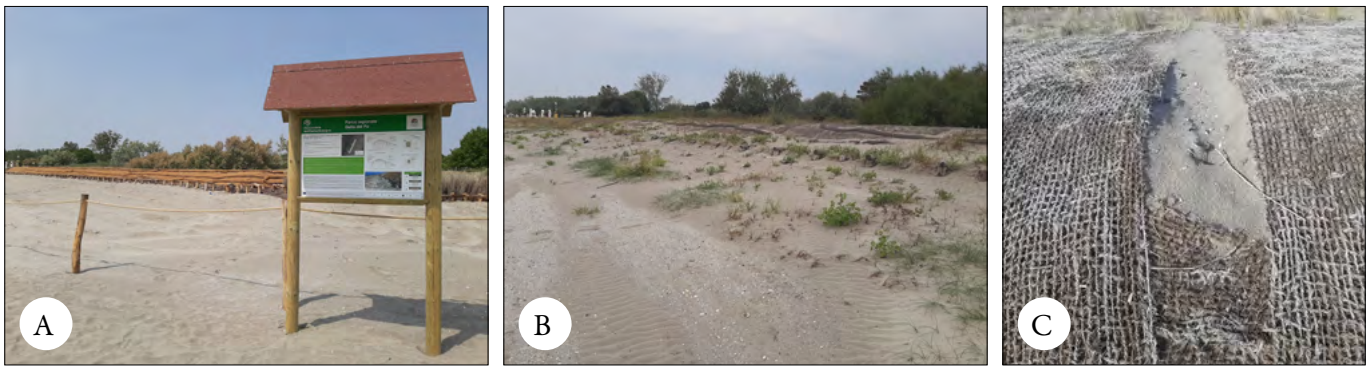



Figura 15. (A) Foto dell'area della duna con cartellonistica info-divulgative e staccionata a delimitazione dell'area con divieto di accesso (23/05/2022); (B) Depositi di sabbia recenti e vegetazione del cakileto (13/09/2023); (C) separazione degli strati di fibra di cocco (30/11/2022).



Figura 16. Foto da SAPR. In alto, rilievo di maggio 2022. In basso, rilievo di novembre 2023.

*thera biennis, Cynodon dactylon e Cenchrus spinifex,* ecc.). Nella fascia del piede dunale e nella spiaggia antistante interna alla staccionata, dove è maggiore la presenza di sabbia sciolta e la protezione da mezzi meccanici e calpestio, hanno fatto la loro comparsa alcune delle tipiche specie psammofile del cakileto *(Cakile maritima, Xanthium italicum, Chamaesyce peplis*), quindi delle prime fasce vegetate della spiaggia (Fig. 15b). Una zona che, come visto in precedenza nell'analisi geomorfologica, è fortemente precaria poiché soggetta frequentemente all'impatto delle mareggiate.

Altro aspetto certamente da migliorare riguarda la manutenzione, infatti sono diversi i tratti della copertura in fibra di cocco che mostrano segni di degrado e separazione degli strati (Fig. 15c). Se questo aspetto è di per sé positivo e appositamente ricercato in fase progettuale (completo disgregamento delle biorete in parallelo al radicamento delle piante), sempre a causa della mancanza della fase di piantumazione e quindi di un repentino accumulo naturale di sabbia, allo stato attuale ha comportato l'instaurarsi di processi erosivi e perdita di sabbia. Di conseguenza, parallelamente alla scelta di non piantumare poteva essere opportuno prevedere delle periodiche manutenzioni.

Infine, altro aspetto è il monitoraggio dell'opera, che per ragioni legate al termine del progetto Operandum non è andato oltre i sei mesi. Si è rivelata quindi fondamentale la disponibilità di mezzi, strumentazione e personale tecnico qualificato di Arpae per la continuazione del monitoraggio e per la valutazione dell'evoluzione della duna e della sua efficacia.

Riguardo l'efficacia, ricordando che la duna è stata progettata e realizzata per il contrasto all'ingressione marina, è questo probabilmente l'aspetto più critico, che riguarda la scala del progetto. Una criticità non del progetto specifico ma intrinseca a tutti i progetti di sperimentazione, che si caratterizzano a ragione per dimensioni dell'opera ridotte, quindi, anche non adeguate al territorio e soprattutto alla minaccia che si vuole contrastare. La duna artificiale è lunga

50 m e nonostante abbia dimostrato un'ottima capacità di resilienza all'impatto di numerose mareggiate, è evidente che difficilmente avrebbe potuto svolgere la funzione per la quale è stata realizzata proprio a causa delle sue modeste dimensioni (Fig. 9c). È noto che per essere efficace un'opera a protezione dall'ingressione marina dev'essere adeguata sia come quota che come lunghezza. La continuità laterale è anch'essa fondamentale, ogni varco può rendere vana l'azione di protezione, come peraltro avviene con gli argini di difesa invernali.

Concludendo, il monitoraggio effettuato nell'arco di due anni (maggio 2022 – aprile 2024) ha messo in luce l'innesco di processi simili a quelli che si hanno sulle spiagge naturali con dune costiere, ossia l'intrappolamento del sedimento nella stagione estiva che funge da riserva di sabbia disponibile all'erosione delle mareggiate invernali. Tale dinamica sembra abbia permesso, la parziale naturalizzazione dell'opera nella fascia della duna e della spiaggia antistante e il mantenimento di una relativa stabilità, a fronte di una situazione generale del paraggio costiero di diffusa erosione (Fig. 16). Sarà fondamentale il proseguimento del monitoraggio per valutare l'evoluzione di tale dinamica e una sua più approfondita interpretazione.

## BIBLIOGRAFIA


Aguzzi, M., De Nigris N., Preti M., Mallegni R. (2012). *Nuovi indicatori per lo studio e la gestione della costa emiliano-romagnola*. Studi Costieri N. 20, pp. 95-109. http://www.gnrac.it/rivista/Numero20/Articolo8.pdf

Arpa Emilia-Romagna (2011). *Le mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna 1946-2010*. A cura di Perini L., Calabrese L., Deserti M., Valentini A., Ciavola P., Armaroli C., *I quaderni di Arpa*. ISBN 88-87854-27-5. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/pdf/atlantemareggiatecompletoweb.pdf

Arpae (2020). *Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2018. Erosione e interventi di difesa*. A cura di Aguzzi M., Costantino C., De Nigris N., Morelli M., Romagnoli C., Unguendoli S., Vecchi E., *I quaderni di Arpae*. ISBN 978-88-87854-48-0. https://www.arpae.it/it/documenti/pubblicazioni/slem-arpae-2020-webleggera.pdf

Arpae (2023). *Monitoraggio dei movimenti verticali del suolo e aggiornamento della cartografia di subsidenza nella pianura dell'Emilia-Romagna*. Periodo 2016-2021. A cura di Marcaccio M. e Mazzei M. https://www.arpae.it/it/notizie/la-nuova-cartografia-della-subsidenza-in-emilia-romagna

Arpae (2024). *Rete geodetica costiera e mareografica. Livellazione di alta precisione e inquadramento geodetico*. Relazione finale Aprile 2024. A cura di De Nigris N., Pellegrinelli A., Sistilli F.

Ciavola P., Armaroli C., Chiggiato J., Valentini A., Deserti M. Perini L., Luciani P. (2007). *Impact of storms along the coastline of Emilia-Romagna: the morphological signature on the Ravenna coastline (Italy)*. (1.83 MB) Journal of Coastal Research, SI 50, pp. 540-544.

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.

Mendoza, E.T., Jiménez, José. A. (2004). *Factors controlling vulnerability to storm impacts along the catalonian coast*. In: *Coastal Engineering 2004. Presented at the Proceedings of the 29th International Conference*, World Scientific Publishing Company, National Civil Engineering Laboratory, Lisbon, Portugal, pp. 3087–3099. https://doi.org/10.1142/9789812701916_0249

Pellegrinelli A., Lovo S. (2010). *La stazione mareografica integrata di Porto Garibaldi*. Provincia di Ferrara.

Operandum (2021). *Operandum. Relazione generale. Progetto definitivo*. A cura di Rina consulting, Arpae, Unibo, Naturalea, Iris.

Regione Emilia-Romagna (1996). *Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna*. Relazione Generale.

Regione Emilia-Romagna (2014). *SICELL. Il sistema gestionale delle celle litoranee. Aggiornamento 2006-2012*. A cura di Montanari R. e Marasmi C. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/argomenti/progetti-interventi/difesa-della-costa/sicell

Regione Emilia-Romagna (2015). Carta delle criticità costiere. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/in_risk

Regione Emilia-Romagna (2019). *Indicatori di suscettibilità costiera ai fenomeni di erosione e inondazione marina*. A cura di Perini L., Luciani P., Calabrese L. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/pdf/report_indicatori_2019_.pdf

Regione Emilia-Romagna (2022a). *Strategia di gestione integrata per la difesa e l'adattamento della costa ai cambiamenti climatici (GIDAC)*. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa/gidac

Regione Emilia-Romagna (2022b). *Mareggiate e impatti sulla costa anno 2022*. Rapporti tecnici dell'area geologia, suoli e sismica. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/pdf/mareggiate_impatti_analisi_anno2022.pdf/view

Regione Emilia-Romagna (2023). Rapporti tecnici dell'area geologia, suoli e sismica. Mareggiate e impatti sulla costa. A cura di Perini L., Calabrese L., Lelli J. Dicembre 2023. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/pdf/mareggiate_2023.pdf/view


## SITOGRAFIA


I geositi dell'Emilia-Romagna https://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/geositi/scheda.jsp?id=2106

Rete di monitoraggio meteo-marina: https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/mare/dati-e-indicatori/rete-di-monitoraggio-meteo-marina

Dext3r: https://simc.arpae.it/dext3r/

# Sistema Modulare Antierosione: un innovativo strumento di contrasto all'erosione ed alla salvaguardia delle fasce dunali costiere

## Anti-erosion Modular System: an innovative tool to combat erosion and safeguard coastal dune strips

Giuseppe Tamburrano

*E-mail*: info@tetisrl.org

**Parole chiave**: spiagge, erosione costiera, innovazione tecnica, trappola sedimentaria
**Key words**: beaches, coastal erosion, technical innovation, sedimentary trap

La Teti S.r.l. è una start-up innovativa nata per sviluppare e commercializzare un innovativo strumento di lotta all'erosione costiera degli arenili, messo a punto e sperimentato efficacemente in una prima sperimentazione sul litorale di Paestum (Caserta), nel settembre 2019, e quindi lungo un tratto dell'arenile della "Riserva di Torre Guaceto" di Carovigno (BR), nel 2022 (Fig. 1) e lungo lo storico "Lido San Giovanni" di Gallipoli (LE) nel 2024 (Fig. 2)



Figura 1. Sperimentazione del Sistema Modulare Antierosione lungo un tratto dell'arenile della "Riserva di Torre Guaceto" di Carovigno (BR).



Figura 2. Sperimentazione del Sistema Modulare Antierosione lungo un tratto costiero dello storico "Lido San Giovanni" di Gallipoli (LE).

Le installazioni degli impianti pilota, predisposti con le necessarie autorizzazioni, sono state effettuate dopo un attento rilievo geo-morfologico dello stato dei luoghi, monitorato durante e dopo l'installazione dell'impianto (https://www.facebook.com/tetisrl/).

Il Sistema Modulare Antierosione brevettato consiste in una serie di moduli agganciati fra di loro attraverso due cavi paralleli, che corrono lungo la base di ogni modulo, e di un peculiare sistema di ancoraggio a terra e in mare che, pur nella sua stabilità, non ne sacrifica la flessibilità. Ogni modulo è composto da una base, un'ala con un'inclinazione di circa 20 gradi e due profilati (Fig. 3), per un peso complessivo pari a 10 kg. Ciascun modulo viene realizzato in materiale plastico riciclato al 65%, permettendo al Sistema di inserirsi nell'ambito dell'Economia Circolare.



Figura 3. Sistema Modulare Antierosione: aspetto della serie di moduli agganciati fra di loro e composti da una base, un'ala con un'inclinazione di circa 20 gradi e due profilati.

Queste serie di moduli vengono collocati paralleli alla costa (Fig. 4), lato aperto verso la spiaggia, facendo emergere per circa 5 cm il bordo superiore dell'ala dal livello massimo di marea locale.

Il sistema parte dal presupposto che l'erosione delle spiagge è dovuta alla dispersione per dilavamento in mare della sabbia e che il flusso d'acqua incidente sulla riva, ricco di sospensioni, abbia una prima azione di impoverimento e una seconda di arricchimento di sedimenti, e che dove la prima prevale sulla seconda si determina la consunzione della spiaggia.

Per invertire il processo di impoverimento si rende necessario agevolare il flusso incidente che porta sabbia in sospensione, depotenziando il relativo deflusso; in questo



FIGURA 4. Fase di istallazione dei moduli del Sistema Modulare Antierosione parallelamente alla costa, con il lato aperto verso la spiaggia.



FIGURA 5. La trappola sedimentaria costituita dai moduli del sistema opportunamente posizionati lungo al linea di costa.

modo l'energia cinetica del flusso viene depotenziata e la sabbia in sospensione, portata sulla spiaggia, decanta all'interno del sistema e in sua prossimità, attraverso una sorta di trappola sedimentaria. (Fig. 5)

L'installazione del sistema proposto da Teti S.r.l. attiva un'azione primaria protettiva della spiaggia e un'azione secondaria di ripristino naturale dell'arenile (Fig. 6), che viene descritto nei video disponibili alla piattaforma web https://www.tetisrl.org, che documenta le fasi di installazione in loc.Torre Guaceto e visualizza le fasi di controllo e l'esito dell'istallazione dopo 30 gg dalla sistemazione.

Il sistema, oltre alla funzionalità nella sua forma, risponde a requisiti specifici in ordine ai materiali utilizzati, ai costi, alla flessibilità e alla robustezza, all'amovibilità stagionale, alla praticità nel montaggio, smontaggio e stoccaggio per il riutilizzo nelle stagioni a venire e, non ultimo, a soddisfare al meglio le diverse esigenze degli attori interessati al fenomeno dell'erosione.

L'impiego di tale Sistema Modulare Antierosione cambia le modalità di approccio alla lotta all'erosione, pensato sino ad oggi mediante l'impiego di barriere rigide, di varie forme e dimensioni, ritenendo che un intervento di questa natura fosse precondizione per superare definitivamente il problema, come se utilizzando la "pietra" assicurasse il successo e la sua durata.

Tuttavia, non ci si può più occupare della spiaggia al sopraggiungere della stagione balneare, lamentando gli effetti dell'erosione o la scomparsa dell'arenile; l'utilizzo del sistema Teti S.r.l. prevede che la spiaggia debba essere



FIGURA 6. Evidenza del ripristino dell'arenile in un tratto della zona di sperimentazione lungo il litorale di Torre Guaceto (BR).



Figura 7. Operazioni di recupero e stoccaggio della sabbia confluita all'interno del sistema e riveniente, per trasporto naturale, dalla spiaggia sommersa.

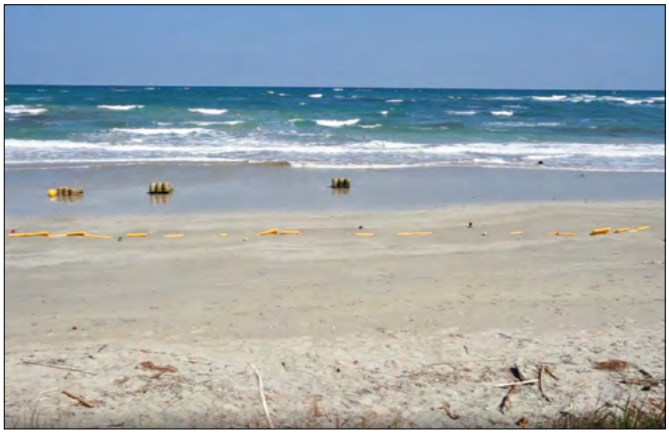


Figura 8. Gli effetti della sperimentazione nel tratto di costa del campo pilota di Torre Guaceto (BR), caratterizzato da poca sabbia, fondali argillosi, una esposizione ai venti da Nord ed alle mareggiate.

monitorata durante il periodo invernale, quando viene installato il sistema stesso, per mettere in atto le operazioni di recupero e stoccaggio della sabbia confluita all'interno del sistema e riveniente, per trasporto naturale, dalla spiaggia sommersa (Fig. 7). La costante traslazione della sabbia permette al sistema, quando saturo all'orlo, di riattivarsi nella dinamica di raccolta.

La metodologia di ancoraggio è sempre in costante revisione e perfezionamento, al fine di migliorare la stabilità dell'impianto e renderlo sempre più pratico in fase di montaggio.: ideare l'ancoraggio di un impianto non rigido, particolarmente resiliente alle mareggiate, amovibile manualmente, montato su una superfice instabile, ha comportato un grande impegno e costanti aggiustamenti derivati dall'esperienza sul campo, che ha permesso anche di giungere ad una oculata scelta dei materiali e delle procedure.

I positivi riscontri nelle aree di sperimentazione e nei campi pilota dimostrano la efficacia del sistema per la lotta all'erosione degli arenili, anche nelle aree, come quella di Torre Guaceto (Fig. 8), caratterizzate da poca sabbia, fondali argillosi e una forte esposizione ai venti da Nord e alle mareggiate, e nei lidi già fortemente compromessi dagli effetti dell'erosione, dove hanno permesso anche il recupero di alcuni metri di arenile (Fig. 9).



LA GAZZETTA DEL MEZZOGIORNO
Mercoledì 19 giugno 2024

LECCE 31

GALLIPOLI

«MIRACOLO» A LIDO SAN GIOVANNI

IL SISTEMA
La società dello storico stabilimento ha sperimentato le barriere amovibili che aiutano a trattenere la sabbia

Funzionano le «cure» contro l'erosione costiera

Avanza la linea di riva: recuperati 350 metri quadrati di arenile

MINACCE E SPERANZA
Lo storico Lido San Giovanni di Gallipoli minacciato dall'erosione della spiaggia come dimostra l'immagine del crollo del parapetto della sua famosa rotonda Sopra e in basso i «cunei» che stanno arginando il fenomeno

Figura 9. Gazzetta del Mezzogiorno del 19 giugno 2024 che richiama gli effetti positivi del Sistema Modulare Antierosione sul tratto costiero del Lido San Giovanni di Gallipoli (LE).

# Difesa e riqualificazione dunale con tecniche di ingegneria naturalistica: i progetti di difesa e riqualificazione del sistema dunale della Sterpaia in Comune di Piombino (LI)

## Dune defense and redevelopment with naturalistic engineering techniques: defense and redevelopment projects of the Sterpaia dune system in the Municipality of Piombino (LI)

Maurizio Bacci
Ingegnere ambientale

*E-mail*: bacci@irisambiente.it

**Parole chiave**: area protetta, riqualificazione dunale, ingegneria naturalistica
**Key words**: protected area, dune redevelopment, naturalistic engineering

### PREMESSA

Tratterò di seguito le esperienze applicative delle tecniche di ingegneria naturalistica applicate alla difesa e riqualificazione del sistema dunale della Sterpaia, all'interno di un contesto naturalistico e paesaggistico di pregio. Il tratto di costa interessata si sviluppa per circa 8 km in comune di Piombino nel Golfo di Follonica, in provincia di Livorno (Fig. 1).

Negli ultimi vent'anni sono stati realizzati svariati interventi via via più affinati, in funzione delle valutazioni seguenti a monitoraggi dell'osservazione dei dissesti dovuti a eventi climatici significativi e dell'impatto da parte dei fruitori della spiaggia. Al contempo sono state attuate iniziative di comunicazione e coinvolgimento di stackeolders e operatori del settore.

Di recente è stato avviato un progetto sperimentale, nell'ambito del programma UE Horizon, che permetterà di mettere a punto tecniche più evolute e dimensionate su basi scientifiche.

Verranno evidenziate le criticità che determinano l'esigenza di intervenire, poi verranno illustrati sinteticamente i progetti realizzati e l'ultimo in itinere.

I progetti e la direzione dei lavori sono stati curati dalle società IRIS sas di Bacci Maurizio e Nemo srl, per conto di Provincia di Livorno, Regione Toscana, Comune di Piombino.

### LE CRITICITÀ CHE INTERESSANO LE AREE COSTIERE

Anche a causa dei cambiamenti dei regimi climatici, si verificano più frequentemente e intensamente fenomeni caratterizzati da venti meridionali, che investono direttamente l'area in questione.

Gli effetti risultano evidenti: erosione delle dune e tracimazione delle mareggiate verso le aree interne (Fig. 2), con conseguenti riduzione dell'habitat, asportazione di sabbia, degrado della vegetazione, salinizzazione del suolo e delle acque superficiali interne.

Al contempo, a causa degli usi antropici impropri e della vulnerabilità dovuta ai fenomeni anzidetti, in molte aree si erano insediate svariate specie vegetali alloctone, in particolare il Carbobrotus, che tendono ad espandersi a dismisura e a inibire la crescita delle specie autoctone.




Figura 1. Tratto di costa interessato dagli interventi dei progetti 2009-10/2018-19 e 2023-24: Golfo di Follonica - Area Naturale protetta di Interesse Locale – Serpaia.



Figura 2. Erosione delle dune e tracimazione delle mareggiate verso le aree interne.

L'altra azione degradante è legata al carico turistico, in particolare al passaggio, diffuso e incontrollato, sulle aree dunali e antedunali (Fig. 3). I continuo calpestio provoca erosione concentrata e asportazione di sabbia e ostacola la crescita della vegetazione.

Anche la pulizia delle spiagge, se non effettuata in modo "dolce" e oculato, determina impatti importanti, soprattutto lungo la fascia antedunale la quale, subendo la sommersione frequente di materiali derivanti dalla pulizia, viene sconvolta a livello morfologico e vegetazionale.

## INTERVENTI DI DIFESA

In gran parte delle casistiche, in Italia e all'estero, quando si interviene lo si fa perlopiù con opere di difesa più o meno strutturali e conseguenti piantagioni diffuse (Fig. 4), specie nel caso di fasce dunali molto ampie ed elevate dinamiche di trasporto eolico della sabbia. Buona parte delle dune costiere presenti nelle coste italiane risultano invece strette, più a ridosso della linea di costa e soggette ad elevata pressione antropica (Fig. 5). Occorre quindi concepire interventi concentrati e con risposta non rigida all'azione marina



Figura 3. Effetti del degrado per effetto turistico con sentieramento sulle aree dunali e antedunali.



Figura 4. Soluzione di difesa ordinarie su ampie fasce dunali.



Figura 5. Soluzioni di difesa ordinarie, di scarsa efficienza, su dune costiere strette a ridosso della linea di costa.

## GLI INTERVENTI DEL PROGETTO 2009-2010

Le tecniche adottate si basano quindi prioritariamente sul principio dell'assorbimento delle onde e dell'intrappolamento e deposito delle sabbie da esse trasportate. Sono state concepite diverse tipologie, a seconda delle esigenze di resistenza meccanica e di integrazione morfologica, paesaggistica ed ecologica.

Nel Progetto 2009-10 sono state predisposte opere di difesa per oltre 3900 m di costa, adottando n.11 tipologie costruttive di ingegneria naturalistica.




FIGURA 6. Sintesi degli interventi di protezione promossi con il Progetto 2009-2010.

Oltre alle opere di difesa idrogeologica, è stata chiusa la maggior parte degli accessi incontrollati, tramite sbarramenti costituiti anch'essi con materiali naturali reperiti in loco, realizzate passerelle in quelli ufficiali (Fig. 7), realizzati interventi di eradicazione delle specie vegetali aliene e di inserimento di esemplari autoctoni e, infine, collocati numerosi cartelli didattici, informativi e di regolamentazione.




FIGURA 7. Barriere di protezione con accessi regolamentati.

L'intervento illustrato nella foto seguente è costruttivamente molto semplice ed economico, ma efficacie e utile agli operatori balneari per consentire di collocare il materiale legnoso spiaggiato lungo la fascia pre-antedunale, che funziona quindi come semplice difesa attiva dalle mareggiate.

Malgrado la semplicità della tecnica, si notano gli evidenti benefici (Fig. 8), che, a distanza di tre anni, mantengono la loro efficienza e funzionalità.




FIGURA 8. Difesa attiva dalle mareggiate che consente la collocazione del materiale legnoso spiaggiato.

Le difese con viminate e palizzate, che fanno parte delle tradizionali tecniche di ingegneria naturalistica, nelle aree di studio offrono una risposta scarsamente assorbente; pertanto il loro utilizzo è stato limitato a pochi tratti che necessitano di sostegno al piede di terrapieni o scarpate ripide con usi o manufatti antropici soprastanti.

Più ampia e strutturata è la tecnica che adotta cataste di legname fissate con corde, impiegando tronchi e ramaglia da riqualificazione della pineta, che si può adottare in zone a media criticità, dove le ramaglie vengono compattate e fissate al terreno (Fig. 9). Si realizza così una difesa di medio livello e di medio termine, ma facile da costruire, particolarmente economica, efficacie anche come ostacolo all'accesso da parte dei fruitori delle spiaggia, ad alto grado di sostenibilità (la ramaglia viene reperita in loco da alberi morti o soggetti a diradamento - "economia circolare").



FIGURA 9. Difesa con cataste di legname fissate con corde appena realizzata.

Le mareggiate tendono tuttavia a sollevare i rami che, di conseguenza, spingono la corda che, dopo alcuni eventi, tende a strapparsi o a venire scollegata. Per questo è stata poi adottata una nuova tecnica di fissaggio molto più tenace, serrando la catasta con paletti in legno disposti trasversalmente.

Un'altra opera destinata al ripristino e difesa della fascia antedunale, sempre adottando tecniche di ingegneria naturalistica, votato per aree a forte criticità (Fig. 10) è formata da un rullo contenuto da un doppio strato di rete in fibra di cocco ad alta grammatura con all'interno un feltro in fibra di cocco, al fine di offrire un comportamento assorbente e un adattamento morfologico flessibile al variare dell'azione marina.

La creazione di un dosso favorisce altresì, nella fascia antedunale, il deposito della sabbia trasportata dall'onda di

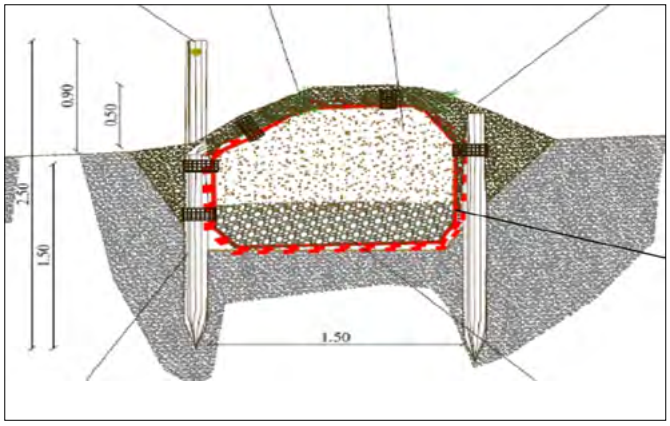






Figura 10. Schema di realizzazione del cordone antenunale, per il ripristino e la difesa della fascia antendunale con tecniche di ingegneria naturalistica, ed esempio della sua realizzazione.

ritorno. Il biocomposito è cucito a mano in situ. Ove occorra al tempo stesso il consolidamento e la difesa di scarpate dunali molto ripide e con arenili stretti, ovvero in assenza di spazio sufficiente a collocare opere frontali, sono state studiate strutture modulari e semplici da assemblare in situ. Le legature del biocomposito sono sempre effettuate manualmente in situ con cordino in fibra di cocco.

Tale tecnica è anche concepita in termini di ricostruzione dunale, come elemento per evitare l'allagamento frequente e la conseguente salinizzazione delle aree interne. E' costituita da un rilevato (Fig. 11), formato da strati di sabbia rinforzata con reti in fibra di cocco ad alta grammatura e assemblate sul posto; la sabbia necessaria alla realizzazione della nuova duna è stata ricavata interamente dai depositi trasportati dal mare all'interno.



Figura 11. Ricostruzione in corso di una duna con sabbia rinforzata a protezione dell'allagamento e salinizzazione delle aree interne.



Figura 12. Duna con sabbia rinforzata rinaturalizzata dopo un anno dalla sua realizzazione.



Figura 13. Duna con sabbia rinforzata rinaturalizzata dopo tre anni dalla sua realizzazione.

Negli strati di sabbia rinforzata sono state anche inserite talee di tamerice (tipo gradonata viva) e una difesa antedunale con biogabbione e palizzata.

Il successo dell'intervento (anch'esso realizzato con reti e biofeltri in fibra di cocco ad alta grammatura) è stato monitorato per alcuni anni, verificando l'efficienza dell'opera di ricostruzione e del processo di rinaturalizzazione con lo sviluppo autonomo di specie vegetali insediatisi per via naturale

Il progetto ha anche previsto di inibire l'accesso dei percorsi incontrollati, ponendo in opera fascine e ramaglie fissate al suolo come barriere, per accelerare il processo di sedimentazione eolica e la ricrescita vegetale.

Inoltre è stata attuata una operazione molto estesa di eradicazione delle numerose specie alloctone ed infestanti, con notevole efficacia riscontrata dopo alcuni anni, e successiva rinaturalizzazione con specie pioniere erbacee e arbustive autoctone. L'attecchimento della vegetazione impiantata si è rivelato in un primo tempo eccellente; successivamente, come è logico, si sono spontaneamente selezionate alcune specie e insediate altre provenienti dal trasporto naturale di semi e rizomi.

Per il controllo della fruizione, oltre a elementi di dissuasione all'accesso, sono stati comunque attrezzati gli accessi idonei con passerelle in legno (Fig. 14), scalette e frangivento.

Interventi fondamentali, a corredo delle opere attuate col Progetto, sono i pannelli didattico-informativi (Fig. 15), che descrivono il sistema dunale e le opere di difesa e riqualificazione realizzate, nonché cartelli di sensibilizzazione e regolamentazione, che indicano le modalità di fruizione del tratto costiero, i divieti e le sanzioni per i trasgressori.



Figura 14. Passerelle per il controllo degli accessi integrate con le opere di difesa e protezione.




Figura 15. Pannello didattico-informativo del sistema dunale e delle opere di difesa e riqualificazione presenti.

## IL MONITORAGGIO DELLE OPERE

Tutti gli interventi eseguiti con il Progetto sono stati soggetti a monitoraggio prestazionale per la durata di circa 3 anni, sia mediante controllo in situ dello stato delle opere realizzate che dell'assetto topografico ante e post interventi, svolto attraverso rilievi, condotti in parte con drone e in parte con misure a terra.

Il monitoraggio ha accertato che buona parte delle opere hanno svolto la funzione attesa di favorire la sedimentazione della sabbia sulla fascia antedunale, operando l'azione di intrappolamento e stabilizzazione della stessa e di materiale organico, con un bilancio favorevole al deposito, soprattutto nelle aree ove era carente e risulta preziosa per il ripristino ecologico. Nei tratti dove sono state inserite talee di tamerice a scopo sperimentale, esse si sono in parte sviluppate coadiuvando quindi la resistenza e il consolidamento dell'opera, oltre ad ottenere un effetto di inserimento paesaggistico.

Il monitoraggio ha interessato anche l'esame della resistenza e degradabilità delle bioreti utilizzate, anche se è mancato un controllo automatico del moto ondoso, che sarebbe risultato utile per valutare il comportamento delle opere durante le mareggiate. Si è potuto verificare che le bioreti in fibra di cocco, pur essendo le più resistenti e durevoli fra le fibre naturali disponibili, presentano un decadimento a fronte di agenti atmosferici e biodegradazione. Sono stati quindi prelevati campioni rappresentativi in aree caratterizzate da condizioni diverse (esposizione al sole, esposizione al salmastro, contatto col terreno organico ecc.) e testati in laboratorio (prove a trazione) e si è dedotto che la durata efficace si attesta su un range di 4-8 anni, dopodiché, comunque, questi materiali tendono a favorire la compattazione del terreno e la crescita della vegetazione.

I pali di fissaggio delle opere, in legame di castagno, sono stati verificati, con la collaborazione di ricercatori UNIFI Scienze Forestali, in termini di struttura e integrità. Anche dopo alcuni anni la quasi totalità ha mantenuto ampiamente la qualità prestazionale richiesta; nel caso di pali già rovinati (per difetti intrinsechi o spaccature durante l'infissione) le prestazioni sono evidentemente inferiori e il degrado nel tempo risulta più rapido. Sono stati effettuati, a cura della società Nemo srl, rilievi vegetazionali su tutte le aree soggette a eradicazione e piantagione, oltre a rilievi fitosociologici dettagliati in aree campione.

Infine, sono stati coinvolti gli operatori addetti alla pulizia e i concessionari balneari, attraverso un processo partecipato (Fig. 16), per stabilire regole condivise affinché le operazioni di pulizia non danneggino il sistema dunale bensì possano coadiuvarne la difesa, anche con la collocazione di materiale legnoso al piede dell'anteduna, apportare sostanza organica e costituire nicchie ecologiche per fauna e flora.

A fronte della notevole dinamica morfologica, in buona parte imprevedibile, e della scarsa esperienza applicativa delle tecniche di ingegneria naturalistica realizzate (in gran parte inedite), è stato più che mai opportuno monitorare nel tempo le prestazioni delle opere e l'evoluzione morfologica ed ecologica del sistema coinvolto. In base al piano di manutenzione del progetto, sono stati quindi valutati gli interventi di manutenzione, integrazione ed, eventualmente, sostituzione di alcune opere, laddove insufficienti a contrastare i fenomeni meteomarini.




Figura 16. Temi di condivisione nei programmi di gestione e conservazione dell'area di intervento per regolare e razionalizzare il carico turistico.



Figura 17. Arretramento del piede dunale e dissesto di alcune opere, che sono state in parte svuotate dei materiali costituenti; malgrado l'intensità del fenomeno e dei relativi danni, si è constatato che i dissesti dei tratti di duna protetti sono risultati di minore entità rispetto a quelli privi di opere di difesa.

## IL PROGETTO 2018-2019

Il Progetto 2018-2019 è stato finanziato a seguito degli eventi eccezionali del 29 ottobre del 2018, quando, a fronte di fortissime mareggiate provocate da venti di scirocco perpendicolari alla linea di riva, che hanno investito per diverse ore l'area della Sterpaia, si sono verificati dissesti diffusi, sia delle morfologie dunali, con arretramenti di alcuni metri, sia di parte delle opere di difesa realizzate col progetto 2009-2010.

In alcuni tratti il mare ha sormontato le dune e ha riversato acqua salata e sabbia nelle zone umide retrostanti, con evidenti danni alla vegetazione e all'ecosistema. A fronte della dichiarazione di calamità naturale da parte della Regione Toscana, si è proceduto alla progettazione e realizzazione di nuovi interventi di ripristino e difesa.

Questo evento critico si è trasformato in una opportunità per studiare nuove strategie di difesa e migliorare le tecnologie costruttive. In particolare sono state ideate tecniche basate sul consolidamento del piede antedunale con fondazioni più profonde (Fig. 18) e utilizzo di materiali compatti ma assorbenti e saldamente incastonati in gabbie costituite da paleria di castagno.

In questo Progetto è stata ideata e sperimentata un'altra tecnica di stabilizzazione delle aree dunali denominata biorullo, costituito da fascinate legate con rete di cocco, il tutto poi fissato al terreno con paleria, con funzione di rincalzo interno delle prime opere di difesa, che consente




Figura 18. Fase di recupero e consolidamento delle opere interessate dai danneggiamento dell'evento critico.

di ridurre i fenomeni erosivi derivanti dal ritorno dell'onda e mitigare gli effetti di danneggiamento delle opere attigue in occasione di mareggiate di particolare gravità.

Tali opere, integrate da biogabbioni con ramaglia, con funzioni di smorzamento dell'onda e dell'areosol marino nonché di intrappolamento sabbia, e da nuove cataste in legname, più strette delle precedenti e vincolate più saldamente con paletti trasversali anziché con corde, hanno consentito di migliorare le prestazioni di difesa ad integrazione delle opere già realizzate.

I pannelli informativi e i cartellini di regolamentazione sono stati coadiuvati da pannellini più sintetici e contenenti slogan di immediata lettura, collocati presso gli accessi e i parcheggi, in modo da sensibilizzare i fruitori già prima che raggiungano le spiagge.

## IL NUOVO PROGETTO SPERIMENTALE R4C - 2013-2026

Nel gennaio 2023 è stato avviato il Progetto "Regions 4 Climate (R4C)", nell'ambito della misura finanziaria UE "Horizon Miss 2021 Clima, della durata prevista di 60 mesi, che coinvolge ben 46 partners di svariate nazioni ed è finalizzato a implementare operazioni e strategie, per la difesa e tutela delle coste aumentandone la resilienza ai cambiamenti climatici. Le iniziative previste serviranno come esempi da replicare in altri territori con caratteristiche ed esigenze simili.

Il Progetto R4C toscano prevede interventi di riduzione del rischio legato ai cambiamenti climatici, all'innalzamento del livello del mare, all'aumento delle tempeste e all'erosione costiera, attraverso azioni di protezione e salvaguardia dell'integrità dell'ecosistema costiero, da attuare lungo un tratto di 800 m di costa presso l'area protetta della Sterpaia (Fig. 20), tratto che era stato solo parzialmente oggetto degli interventi attuati con il Progetto 2009-2010 e 2018-2019, ove realizzare opere di difesa con ingegneria naturalistica concepite in modo da poterne verificare sistematicamente l'efficacia in funzione di diverse tipologie costruttive.

Nell'area interessata dal Progetto sono state condotti, in collaborazione con gli altri partner, rilievi e indagini per individuarne le condizioni di criticità, interpretando il modello del terreno con drone, rilevandone la topografia, i caratteri



Figura 19. Opera di ingegneria naturalistica "biorullo", costituita da fascinate legate con rete di cocco fissate al terreno con paleria.

geologici, le caratteristiche dell'idrologia marittima ed individuandone gli indicatori ecologici e meteomarini significativi.

Inoltre, per la prima volta su queste tipologie di interventi, vengono introdotti metodi di dimensionamento basati su dati appositamente raccolti e su sperimentazione preventiva di modelli in laboratorio (UNIFI, Ingegneria Marittima).

Parallelamente alle fasi di progettazione, realizzazione e monitoraggio degli interventi, si ritiene di fondamentale importanza coinvolgere gli stackeolders del territorio e diffondere principi e metodi a vario livello (scuole, tecnici, operatori).

In questo modo, oltre alla diffusione culturale, si sensibilizzano soggetti che hanno un ruolo significativo (operativo e culturale) nella futura gestione del territorio.

## CONCLUSIONI

I progetti realizzati e in fase di esecuzione presso la costa della Sterpaia rappresentano un caso originale, sia per innovazione concettuale e tecnologica, sia per le implicazioni socio-economiche, sia per la quantità e il contenuto dei dati monitorati. Con il progetto R4C, in corso, e le future fasi di monitoraggio e gestione, si ritiene che il sito rappresenti un laboratorio su larga scala e un esempio che potrà essere proficuamente disseminato in molti altri contesti delle fasce costiere e dunali nel Mediterraneo e anche altrove.

Al fine di diffondere tale esperienza e i suoi principi ispiratori, le società IRIS e NEMO sono impegnate per la progettazione di interventi simili in altri siti (perlopiù in Toscana, Romagna, Sardegna, Puglia) e nel supportare iniziative didattiche e formative.




Figura 20. Tratto di costa interessato dalle attività del Progetto R4C – 2013-2016.

# "We're Changing Day to Day". Habemus dune project: Coastal Habitat Restoration in Torvaianica (Lazio Region, Central Italy)

## "Stiamo cambiando giorno dopo giorno". Progetto Habemus Dune: Ripristino dell'habitat costiero a Torvaianica (Regione Lazio, Italia Centrale)

Amici I.[1,6], Amodio M.[2], Antinori T.[3], Battista L.[3], Bovina G.[2], Braccia V.[1], Carli E.[4], Casafina C.[5]
[1]Biologist, [2]Geologist, [3]Naturalist, [4]Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, [5]Architect Projet and and construction site inspector, [6]Architect

*E-mail*: cristianocasafina@gmail.com

**Parole chiave**: Vegetazione invasiva, Monitoraggio degli habitat, Fico degli Ottentotti, Carpobrotus sp.pl., Ecosistemi delle dune
**Key words**: Plant invasion, Habitat monitoring, Ice plant, Carpobrotus sp.pl., Dunes ecosystems

## SOMMARIO

Gli ecosistemi delle dune sono tra gli habitat più minacciati a livello globale (Janssen *et al*. 2016), affrontando un grave degrado dovuto ad attività umane come l'urbanizzazione, il turismo e l'inquinamento (Marignani *et al*. 2017). La diffusione di specie invasive, in particolare *Carpobrotus*, aggrava queste minacce. Questa specie forma densi tappeti che competono con la vegetazione autoctona, portando a una ridotta diversità vegetale ed all'alterazione dell'intero ecosistema dunale, colpendo animali che dipendono dalle piante autoctone per cibo e riparo (Blasi *et al*. 2022; Buisson *et al*. 2020; Celesti-Grapow *et al*. 2017).

A Torvaianica, un'indagine floristica completa condotta nel 2015 e rivista all'inizio del 2023 ha identificato specie autoctone e invasive, includendo un'analisi sulla espansione di *Carpobrotus*, specie che ha alterato significativamente la composizione di questi habitat costieri. Tra la fine di gennaio e aprile sono stati rimossi manualmente quasi 2.300 metri quadrati di *Carpobrotus*, ripristinando più di 3.800 metri quadrati di habitat dunale costiero.

Questa azione di rimozione è stata abbinata alla reintroduzione di specie dunali autoctone specifiche di Torvaianica, che ha accelerato il recupero di questi habitat e rafforzato la biodiversità locale. Questo progetto costituisce un notevole esempio di ripristino ecologico che anticipa la Legge comunitaria sul ripristino, affermandola come modello "ante litteram" nella Regione. Rimuovendo le specie invasive e ripristinando gli ecosistemi naturali, questa iniziativa sottolinea l'importanza degli sforzi di conservazione collaborativi che coinvolgono scienziati, politici e comunità locali per proteggere e preservare questi ambienti unici per le generazioni future.

## ABSTRACT

Dune ecosystems are among the most threatened habitats globally (Janssen *et al*. 2016), facing severe degradation due to human activities like urbanization, tourism, and pollution (Marignani *et al*. 2017). The spread of invasive species, particularly *Carpobrotus*, compounds these threats. This species forms dense mats that outcompete native vegetation, leading to reduced plant diversity and altering the entire dune ecosystem, affecting animals that depend on native plants for food and shelter (Blasi *et al*. 2022; Buisson *et al*. 2020; Celesti-Grapow *et al*. 2017; Braschi *et al*. 2016).

In Torvaianica, a comprehensive floristic survey conducted in 2015 and revisited in early 2023 identified native and invasive species, including a focus on the expansion of Carpobrotus, which significantly altered the species composition of these coastal habitats. Between late January and April, nearly 1,988 square meters of Carpobrotus were manually removed, restoring more than 3,800 square meters of coastal dune habitat.

This removal effort was paired with the reintroduction of native dune species specific to Torvaianica, which has accelerated the recovery of these habitats and bolstered local biodiversity. This project is a notable example of ecological restoration that anticipates the EU Restoration Law, establishing it as an "ante litteram" model in the Region. By addressing invasive species and rehabilitating natural ecosystems, this initiative underscores the importance of collaborative conservation efforts involving scientists, policymakers, and local communities to protect and preserve these unique environments for future generations.

## INTRODUCTION

Biodiversity, the variety of life in all its forms, is crucial for the stability and health of ecosystems around the world. However, this biodiversity is increasingly under threat from various human activities (IPBES 2019). One of the most significant threats comes from alien invasive species, organisms introduced by humans out of their natural range and that spread rapidly from the introduction sites (Celesti-Grapow *et al*. 2009, https://www.lifeasap.eu/index.php/it/progetto/documenti, Brunel & Brundu 2013), where they can outcompete, prey upon, or otherwise disrupt native species and ecosystems. These invasive species can alter habitats, reduce native biodiversity, and even drive some species to extinction (Genovesi & Carnevali, 2011).

Among the many invasive species causing concern globally, *Carpobrotus sp.pl*, commonly known as ice plant or Hottentot-fig, are particularly notorious for its aggressive

spread and ecological impact. The two commonest species among the genus are *Carpobrotus acinaciformis* e *C. edulis*, which are often treated as a single group, since they are similar and their ecology are equivalent (Akeroyd & Preston 1990, 1993; Suehs *et al.* 2004a,b; La Mantia *et al.*, 2013). Originating from South Africa, *Carpobrotus* has been introduced to many regions around the world, including the Mediterranean, where it spread on sandy soils and coastal environments. For this reason it has been removed from a lot of Mediterranean islands (Celesti *et al.* 2017; Carta *et al.* 2004; La Mantia *et al.* 2013, Giunti & Lazzaro 2020).

Dune ecosystems are some of the most threatened habitats on the planet (Jannsen *et al.* 2016). Human activities such as urbanization, tourism, and pollution have led to significant degradation of these areas (Marignani *et al.* 2017). The introduction of invasive species, such as *Carpobrotus,* further exacerbates these threats. Once established, *Carpobrotus* forms dense mats that can outcompete native vegetation, leading to a decline in plant diversity . This, in turn, affects the entire dune ecosystem, including the animals that depend on native plants for food and shelter (Blasi *et al.* 2022; Buisson *et al.* 2020; Celesti-Grapow *et al.* 2017; Braschi *et al.* 2016).

In the Dunes of Torvaianica, *Carpobrotus* poses a significant threat to the delicate dune ecosystems, which colonize a very narrow area between the coastline and the inhabited area of Torvaianica. Even though threatened by urbanization, these dunes show great naturalistic potential, with high floristic richness and the presence of nearly all the species that colonize coastal areas in Italy. Therefore, the dunes of Torvaianica represent vulnerable environments that play a critical role in coastal protection, acting as natural barriers against storms and erosion. They also provide habitat for a wide range of plant and animal species, many of which are specially adapted to survive in these harsh conditions. Moreover, the area is not under protection, but it is contiguous with Natura 2000 sites and Natural Reserves (Lido dei Gigli, IT6030045, Tenuta Presidenziale di Castelporziano, IT6030084, Antica Lavinium IT6030016), highlighting their important role for nature connectivity.

The ongoing Habemus Dune project started 10 years ago, from a volunteer and scientific approach with the field survey on geomorphology and plant communities carried out by Geosphera and the laboratory of prof. Alicia Acosta of the University of Roma Tre. This project has the peculiarity to be addressed to a non-protected area. In this contest, the effects due to the high erosion action from the sea and from the wind, which threaten the whole Tyrrheian coast, are augmented from the touristic exploitation of the sand dunes without access regulations. For this reason a great amount of communication actions have taken place since 2014.

The main purposes of the project are yìthe following:

- Habitat restoration through invasive plants removal and plantations;
- Improvement of the grade of conservation of coastal plant species and communities;
- Habitat monitoring
- Dissemination and communication on the crucial importance of coastal habitats.

## MATERIALS AND METHODS

Torvaianica is a Central Italy coastal area located South of Rome, in the Municipality of Pomezia. Dunes of Torvaianica, from the President Tenuta of Castelporziano to the "Foce of Rio Torto", spread out for 9 km of length, and 18 hectares, with a highest altitude of 6 m a.s.l. It is mainly threatened by the spread of urbanization from the 60s.



Fig. 1. Study area.

A floristic survey has been conducted during 2015 to identify native and exotic species. The survey focused on the invasive species expansion, which strongly altered species composition of coastal habitats. The coast was observed, with strict reference to the types of actions to be implemented and was divided into sequential territorial areas defined by various homogeneous indicators relating to geomorphological parameters, surfaces of vegetation types, invasive alien species, etc. The study of plant cover was started on three levels: floristic, vegetation and landscape. The investigations have been and will be divided into inspections, specific surveys and analysis of photographic material of the places acquired with cameras and drones. Floristic analysis allows us to evaluate the richness and diversity of species; through vegetation analysis, the associative aspects of plant species were investigated, identifying their different physiognomies and phytocoenosis (Angelini *et al.* 2016).

The census is carried out through field survey in the first phase in the month of February and then concentrated in the spring-summer and repeated in the other seasons of the year before the interventions, during the construction phases and after the interventions. The mapping concerns the vegetation cover from the aphytic area of the coastline to the buildings and the road surface of the coast of the municipality of Pomezia. In the first phase with floristic survey methods via transect, phytosociological survey and the related vegetation associations and related with images from a drone height 60 meters above sea level. The data were returned to cartography indicating the areal distribution of the different vegetation formations with the related indicator species and exotic species for the 20 territorial areas along the 9 km of coast. The project activities include monitoring with environmental observation of changes in the areas identified in the project and recording at time T0 (identified in February 2022) up to a time necessary for the interventions planned and implemented, in differ-

ent ways, to guarantee functionality ecosystem, improving coastal conservation objectives.

In order to ascertain the environmental state and therefore of the components that define the project area, the mapping, at the appropriate scale, of the naturalistic system in its biotic and abiotic components closely related to the intervention areas and their vast area was defined. The basic mapping of the project and its updating before construction represent the "zero point", therefore a representation of the natural status of habitat and species before the restoration/conservation interventions envisaged by the project. The Torvaianica dunes are characterized by the following habitat type as defined by Biondi *et al*. (2009):

- aphytic zone
- Habitat 1210
- Habitat 2110
- Habitat 2120
- Habitat 2210, 2230
- Habitat 2250*, 2260, 9340

After the preparatory actions focused on the knowledge on the study area, the project started the conservation actions: mechanical (M) or manual (m) removal of invasive plants (*Agave americana* (M), *Carpobrotus sp.* (m,M), *Yucca gloriosa* (M), *Opuntia ficus-indica* (M)), and the plantation of *Ammophila arenaria, Thinopyrum junceum, Anthemis maritima, Pancratium maritimum, Eryngium maritimum*.

Since the importance of *Carpobrotus* as invasive plant in coastal habitats, in this paper, we focused on its removal. Along the coastal ecosystems of Torvaianica, *Carpobrotus* were removed using a combination of manual and mechanical eradication techniques. When possible, manual operations were chosen (particularly in areas without multi-layered *Carpobrotus* mats that were difficult or nearly impossible to address by hand) to intervene in such a fragile coastal environment.

The manual removal by expert botanists allows for the precise elimination of invasive alien species, while protecting the naturally occurring native species. We treated larger and harder-to-reach areas with mechanical eradication using specialized equipment.

Before the intervention, we measured on the field the area of the invaded areas and took notes on the percentage of *Carpobrotus* in respect to natural vegetation.

Moreover, ante-operam surveys were conducted to document the initial state of the ecosystem and assess the presence of native species. These surveys followed the national protocols for habitat monitoring (Angelini *et al*. 2016), when the local conditions allowed it, by using transects, which are preferable in coastal dunes, due to the coastal vegetation zonation that refers to the distinct of plant communities that form parallel to the shoreline, influenced by factors such as salt spray, wind, soil composition, and tidal action.

These ecological factors determine different zones along a gradient, from highly salt-tolerant species near the shore, to more diverse and less salt-tolerant communities



Fig. 2. Field measures about habitat surface invaded by *Carpobrotus*.



Fig. 3. Once established, *Carpobrotus* forms dense mats that prevent native plants from germinating and spreading. On the left the *Carpobrotus* invasion, on the right the area after Carpobrotus removal.

further inland. Since in many localities there was not well preserved the whole zonation of dunes ecosystems, we prefer to use single plots in invaded and non-invaded areas.

To monitor the effectiveness of the intervention and the ecosystem's recovery, post-operam surveys will be conducted next year. By revisiting the 2024 plots, the survey will follow the same methodologies as the pre-operam surveys, allowing for a direct comparison and an accurate assessment of changes in biodiversity and habitat structure. The goal is to determine the success of the eradication operations and the potential need for additional interventions to ensure the long-term conservation of native species.

The comparison will be done also with a past survey, which took place during 2015. Vegetation comparison allows us to evaluate species richness and diversity. Through vegetational analysis, we investigated plant communities, by identifying their different physiognomies and phytocoenoses.

The census was carried out through field sampling from the beginning of February to spring and early summer. This survey resulted in a vegetation map (citazione), from the aphotic zone of the coastline to the urban areas along the 9 km of Pomezia coastline, with the distribution of different plant communities, and localisation of alien plants population, across the 20 areas named in table 1. The nomenclature follows https://dryades.units.it/floritaly/.

## RESULTS

We removed, by manual eradication, 1988 mq of *Carpobrotus* from late January to April, restoring more than 3855 mq of coastal habitats, as shown in table 1. In table 2, we listed the species recorded during the 2015, 2022 and 2024 surveys, with reference to the preferential Habitat Type.

In the areas where we removed *Carpobrotus*, restoration activities have taken place. Indeed, the project also included the planting of native dune species cultivated from local seed collected on the Torvaianica coast during the last 10 years (*Ammophila arenaria , Elymus farctus, Anthemis maritima, Pancratium maritimum, Eryngium maritimum*), accelerating habitat recovery and enhancing local biodiversity.

This intervention not only revitalized the landscape, but also anticipated global conservation efforts, setting a proactive precedent for sustainable coastal management. Through these actions, Torvaianica stands as an early

**Table 1. Areas interested by Carpobrotus removal and habitat restoration.**

| Area | Surfaces of *Carpobrotus* populations (2016) | Surfaces of *Carpobrotus* populations (2024) | Area of *Carpobrotus* manual removal (mq) | Surfaces of restoring coastal dunes (mq) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 165 | 440 | **440** | **540** |
| **2** | 460,9 | 460,9 | **194** | **350** |
| **3** | 400 | 400 | | **430** |
| **3a** | 500 | 572 | **564** | **570** |
| **4-4a** | 226 | 226 | **32** | **35** |
| **5** | 223 | 223 | | |
| **6** | 807,3 | 807,3 | | |
| **7** | 429,8 | 429,8 | | |
| **8** | 168 | 168 | | |
| **9** | 762,7 | 762,7 | | |
| **10** | 91,8 | 1619,7 | | |
| **11** | 303 | 944,4 | **255** | **730** |
| **12** | 376,5 | 3413,6 | | |
| **13** | 213 | 3118,4 | | |
| **14** | 48 | 173,1 | **94** | **150** |
| **15** | 135 | 633,3 | **199** | **250** |
| **16** | 211 | 950,4 | **207** | **800** |
| **17** | 685 | 2464,2 | | |
| **18** | 70 | 670,5 | | |
| **18-19** | 539,4 | 539,4 | | |
| **20** | 463,2 | 5167 | | |
| **TOT** | **7278,6** | 24183,7 | **1988** | **3855** |

**Table 2. Species recorded in the Habitat Types in the three surveys.**

| Species | Habitat type | 2015 | 2022 | 2024 |
|---|---|---|---|---|
| *Salsola kali* | 1210: Annual vegetation of drift lines | x | x | x |
| *Cakile maritima* | 1210: Annual vegetation of drift lines | | | x |
| *Euphorbia peplis* | 1210: Annual vegetation of drift lines | | | x |
| *Anthemis maritima* | 2110: Embryonic shifting dunes | x | x | x |
| *Elymus farctus* | 2110: Embryonic shifting dunes | x | x | x |
| *Eryngium maritimum* | 2110: Embryonic shifting dunes | x | x | x |
| *Medicago littoralis* | 2110: Embryonic shifting dunes | x | x | x |
| *Ononis variegata* | 2110: Embryonic shifting dunes | x | x | x |
| *Plantago macrorhiza* | 2110: Embryonic shifting dunes | x | x | x |
| *Sporobolus virginicus* | 2110: Embryonic shifting dunes | x | x | x |
| *Ammophila arenaria* | 2120: Shifting dunes along the shoreline with *Ammophila arenaria* (white dunes) | x | x | x |
| *Cyperus capitatus* | 2120: Shifting dunes along the shoreline with *Ammophila arenaria* (white dunes) | x | x | x |
| *Medicago marina* | 2120: Shifting dunes along the shoreline with *Ammophila arenaria* (white dunes) | x | x | x |
| *Calystegia soldanella* | 2210: Crucianellion maritimae fixed beach dunes | x | x | x |
| *Crucianella maritima* | 2210: Crucianellion maritimae fixed beach dunes | x | x | x |
| *Echinophora spinosa* | 2210: Crucianellion maritimae fixed beach dunes | x | x | x |
| *Pancratium maritimum* | 2210: Crucianellion maritimae fixed beach dunes | x | x | x |
| *Lagurus ovatus* | 2240: Brachypodietalia dune grasslands with annuals | x | x | x |
| *Lotus cytisoides* | 2240: Brachypodietalia dune grasslands with annuals | x | x | x |
| *Reichardia picroides* | 2240: Brachypodietalia dune grasslands with annuals | x | x | x |
| *Silene canescens* | 2240: Brachypodietalia dune grasslands with annuals | x | x | x |
| *Sixalis atropurpurea* | 2240: Brachypodietalia dune grasslands with annuals | x | x | x |
| *Rostraria litorea* | 2240: Brachypodietalia dune grasslands with annuals | x | x | x |
| *Juniperus oxycedrus* | 5210: Arborescent matorral with *Juniperus* spp. | x | x | x |
| *Smilax aspera* | 5210: Arborescent matorral with *Juniperus* spp. | x | x | x |
| *Phyllirea angustifolia* | | x | x | x |
| *Rubus ulmifolius* | | x | x | x |



Fig. 4. Native species plantations.

adopter of practices now encouraged under broader European environmental policies (https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law_en).

Next steps will be represented by monitoring activities, focusing on the assessment of long term restoration results.

## CONCLUSION

The invasion of *Carpobrotus* in the dunes of Torvaianica highlights the broader issue of alien invasive species and their impact on biodiversity. Protecting these fragile dune ecosystems requires concerted effort and collaboration between scientists, policymakers, and local communities. By addressing the threat of invasive species and promoting conservation measures, we can help preserve these unique environments for future generations. In Torvaianica, nearly 2,000 square meters of *Carpobrotus* were removed from the dunes, restoring over 3,800 square meters of coastal dune habitats. Alongside this restoration effort, native plant species specific to the Torvaianica dunes were introduced, further accelerating the recovery of these vital coastal habitats. The project marks a significant step toward revitalizing the area's natural landscape and promoting biodiversity in the Latium region. This initiative aligns with principles formalized under the EU Restoration Law, making it a pioneering "ante litteram" example of ecological restoration in the area.

## LITERATURE


Acosta A., Carranza M.L., Ciaschetti G., De Marco G., D'Orazio G., Frattaroli A.R., Izzi C.F., Pirone G., Stanisci A. (2005). *Banca dati della flora costiera psammofila dell'Italia centrale*. Informatore Botanico Italiano, 37: 110-111.

Acosta A., Carranza M.L., Ciaschetti G., Conti F., Di Martino L., D'Orazio G., Frattaroli A., Izzi C.F., Pirone G., Stanisci A. (2007). *Specie vegetali esotiche negli ambienti costieri sabbiosi di alcune regioni dell'Italia centrale*. Webbia, 62: 77-84.

Acosta, A. & Ercole, S. (2015). *Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione*. Serie Rapporti ISPRA.

Akeroyd, J.R. & Preston, C.D. (1993). Carpobrotus N.E. Br. Cambridge Univ. Flora Europaea" Vol. 1: Psilotaceae to Platanaceae (ed. by T.G. Tutin), N.A. Burges), A.O. Chater), J.R. Edmonson), V.H. Heywood), D.M. Moore), D.H. Valentine), S.M. Walters), and D.A. Webb), p. 135. Cambridge University Press, Cambridge.

Akeroyd, J.R. & Preston, C.D. (1990). *Notes on some Aizoaceae naturalised in Europe*. Botanical Journal of Linnean Society, 103, 197–200.

Angelini P., Casella L., Grignetti A., Genovesi P. (ed.), (2016). *Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: habitat*. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 142/2016.

Ansaldi M. (2002). *Vegetazione, i metodi di rilevamento*. Myristica, n. 16. Giugno 2002 (http://Myristica -mensile di botanica e natura on line - Giugno 2002.htm).

Ansaldi M. (2002). *Il metodo di rilevamento della vegetazione secondo Braun-Blanquet*. Myristica, n. 17. Luglio 2002 (http://Myristica - mensile di botanica e natura on line - Luglio 2002.htm).

Ballesteros D., Meloni F., Bacchetta G. (2015). *Manual for the propagation of selected Mediterranean native plant species*. Ecoplantmed, ENPI CBC-MED. http://www.ecoplantmed.eu/en/publications/propagation_manual.

Blasi C., Celesti-Grapow L., Copiz R., Frondoni R., Iberite M., Tilia A., Carli E. (2022). *Monitoraggio floristico e degli habitat – rapporto finale (D1.4b)*. LIFE14 NAT/IT/000544 PonDerat. Restoring the Pontine Archipelago ecosystem through management of rats and other invasive alien species.

Braschi J., Ponel P., Krebs E., Jourdan H., Passetti A., Barcelo A., Laurence B., Le Quilliec P., Lorvelec O., Matocq A., Meunier J-Y., Oger P., Séchet E., Vidal E. (2016). Eradications simultanées du rat noir (*Rattus rattus*) et des griffes de sorcière (*Carpobrotus* spp.) sur l'île de Bagaud (Parc National de Port- Cros, Provence, France): résultats preliminaires des conséqueces sur les communités d'arthropodes. Revue d'Ecologie (Terre et VIe) 70: 91–98.

Buisson E., Braschi J., Chenot-Lescure J., Hess MCM, Vidaller C., Pavon D., Ramone H., Amy-Krebs E., Cottaz C., Passetti A., Aboucaya A., Affre L. (2020). Native plant community recovery after *Carpobrotus* (ice plant) removal on an island — results of a 10-year project. Applied Vegetation Science: 1–14. https://doi.org/10.1111/avsc.12524.

Giancarlo Bovina, Massimo Amodio, Carlo Callori di Vignale Cap. 9 L'APPROCCIO NATURALISTICO NELLA CONSERVAZIONE E RESTAURO DEGLI AMBIENTI DUNALI, Ispra il ripristino degli ecosistemi costieri. 2009. Studio Associato Geosphera Individuazione e valutazione di formazioni dunali e ambienti litorali caratterizzati da dinamiche eoliche, nel tratto costiero del comune di Pomezia, ai fini della loro conservazione e valorizzazione", approvato con Del. Giunta Comunale N. 230/2020.

Brunel, S., Brundu, G. & Fried, G. (2013). *Eradication and control of invasive alien plants in the Mediterranean Basin: Towards better coordination to enhance existing initiatives*. EPPO Bulletin, 43, 290–308.

Celesti-Grapow, L., Abbate, G., Baccetti, N., Capizzi, D., Carli, E., Copiz, R., Frondoni, R., Giunti, M., Gotti, C., Iberite, M., Monaco, A., Petrassi, F., Raganella Pelliccioni, E., Romano, A., Sozio, G., Sposimo, P., Tilia, A., & Blasi, C. (2017). *Control of invasive species for the conservation of biodiversity in Mediterranean islands. The LIFE PonDerat project in the Pontine Archipelago, Italy*. Plant Biosystems, 151(5), 795–799. https://doi.org/10.1080/11263504.2017.1353553.

Celesti-Grapow L., Alessandrini A., Arrigoni P.V., Banfi E., Bernardo L., Bovio M., Brundu G., Cagiotti M.R., Camarda I., Carli E., Conti F., Fascetti S., Galasso G., Gubellini L., La Valva V., Lucchese F., Marchiori S., Mazzola P., Peccenini S., Poldini L., Pretto F., Prosser F., Siniscalco C., Villani M.C., Viegi L., Wilhalm T., Blasi C. (2009). *Inventory of the non-native flora of Italy*. Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology 143: 386–430. https://doi.org/10.1080/11263500902722824.

Celesti-Grapow, L., Bassi, L., Brundu, G., Camarda, I., Carli, E., D'Auria, G., Del Guacchio, E., Domina, G., Ferretti, G., Foggi, B., Lazzaro, L., Mazzola, P., Peccenini, S., Pretto, F., Stinca, A. & Blasi, C. (2016). *Plant invasions on small Mediterranean islands: An overview*. Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 150, 1119–1133.

Carta, L., Manca, M., & Brundu, G. (2004). *Removal of Carpobrotus acinaciformis (L.) L. Bolus from environmental sensitive areas in Sardinia , Italy*. In M. Arianotsou & V. Papanastasis (Eds.), 10th MEDECOS Conference (pp. 1–4). Milllpress.

Celesti-Grapow L., Pretto F., Carli E., Blasi C. (eds.), (2010). *Flora vascolare alloctona e invasiva delle regioni d'Italia*. Casa Editrice Università La Sapienza, Roma. 208 pp.

Ercole S., Giacanelli V., Bacchetta G., Fenu G., Genovesi P. (ed.), (2016). *Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: specie vegetali*. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 140/2016.

Genovesi, P. & Carnevali, L. (2011) *Invasive alien species on European islands: eradications and priorities for future work P. Island invasives: Eradication and ...* (ed. by C.R. Veitch), M.N. Clout), and D.R. Towns), pp. 56–62. IUCN, Gland (Switzerland).

Giunti, M., & Lazzaro, L. (2020). *A3 Prepartory action for intervention on the Pinwood and habitats: Intervento di forte contenimento del Fico degli Ottentotti (Carpobtrotus sp.pl.) nell'isola del Giglio*. https://www.lifegogiglio.eu/wp-content/uploads/WEB_Relazione-illustrativa-generale_Carpobrotus-1.pdf

IPBES (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673.

Janssen, J.A.M., Rodwell, J.S., Garcia Criado, M., Gubbay, S., Haynes, T., Nieto, A., Sanders, N., Landucci, F., Loidi, J., Ssymank, A., Tahvanainen, T., Valderrabano, M., Acosta, A., Aronsson, M., Arts, G., Altorre, F., Bergmeier, E., Bijlsma, R.-J., Bioret, F., Bită-Nicolae, C., Biurrun, I., Calix, M., Capelo, J., Čarni, A., Chytry, M., Dengler, J., Dimopoulos, P., Essi, F., Gardfjeil, H., Gigante, D., Giusso del Gaido, G., Hajek, M., Jansen, F., Jansen, J., Kapfer, J., Mickolajczak, A., Molina, J. A., Molnar, Z., Paternoster, D., Piernik, A., Poulin, B., Renaux, B., Schaminee, J.H.J., Šumberova, K., Toivonen, H., Tonteri, T., Tsiripidis, I., Tzonev, R. and Valachovič, M. (2016). *European Red List of Habitats. Part 2. Terrestrial and freshwater habitats*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2779/091372.

La Mantia, T., Pasta, S., Livreri Console, S., & Badalamenti, E. (Eds.). (2013). *Studio sulla distribuzione e sull' eradicazione di Carpobrotus edulis e Nicotiana glauca nell'isola di Linosa*. Progetto LIFE11 NAT/IT/000093 "Pelagic Birds - Conservation of the main European population of Calonectris d. diomedea and other pelagic birds on Pelagic Islands. http://www.pelagicbirds.eu/wp-content/uploads/2013/02/Azione-A2-Studio-distribuzione-specie-vegetali-aliene.pdf

Marignani M., Bruschi D., Astiaso Garcia D., Frondoni R., Carli E., Pinna M.S., Cumo F., Gugliermetti F., Saatkamp A., Doxa A., Queller E.M., Chaieb M., Bou Dagher-Kharrat M., El Zein R., El Jeitani S., Khater C., Mansour S., Al-Shami A., Harik G., Alameddine I., El-Fadel M., Blasi C. (2017). *Identification and prioritization of areas with high environmental risk in Mediterranean coastal areas: A flexible approach*. Science of The Total Environment 590–591: 566–578. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.221.

Podda, L., Santo, A., Meloni, F. & Bacchetta, G. (2016) *Different approaches for eradication of Carpobrotus spp. (Aizoaceae) from coastal dune ecosystems,*.

Ruffino, L., Krebs, E., Passetti, A., Aboucaya, A., Affre, L., Fourcy, D., Lorvelec, O., Barcelo, A., Berville, L., Bigeard, N., Brousset, L., Méringo, H. De, Gillet, P., Quilliec, P. Le, Limouzin, Y., Médail, F., Meunier, J.Y., Pascal, M.M., Pascal, M.M., Ponel, P., Rifflet, F., Santelli, C., Buisson, E. & Vidal, E. (2015). Eradications as scientific experiments: Progress in simultaneous eradications of two major invasive taxa from a Mediterranean island. *Pest Management Science*, 71, 189–198.

Suehs, C.M., Affre, L. & Médail, F. (2004a). *Invasion dynamics of two alien Carpobrotus (Aizoaceae) taxa on a Mediterranean island: I. Genetic diversity and introgression*. Heredity, 92, 31–40.

Suehs, C.M., Affre, L. & Médail, F. (2004b). *Invasion dynamics of two alien Carpobrotus (Aizoaceae) taxa on a Mediterranean island: II. Reproductive strategies.* Heredity, 92, 550–556.

Zanichelli, F., Giannini, F., De Pietro, F. & Puppo, F. eds. (2014). *I Quaderni del Parco, documenti tecnici volume 2 PROGETTO LIFE+ MONTECRISTO 2010, Eradicazione di componenti florofaunistiche aliene invasive e tutela di specie e habitat nell'Arcipelago Toscano"*, Parco Nazionale Arcipelago Toscano, Portoferraio, Portoferraio, Isola d'Elba (LI).

# Ripristino e rinaturalizzazione dei cordoni dunali lungo la litoranea di Ponente del Comune di Barletta: sinergia tra Istituzioni e Enti del Terzo Settore per il bene comune

## Recovery and renaturalization of the dune cordons along the Ponente coast line in the Municipality of Barletta: synergy between Institutions and Third Sector Organisation for the good of the community

Raffaele Corvasce[1], Giuseppe D'Alba[2], Angela Dinuzzi[3], Antonello Fiore[4], Raffaele Lopez*[4], Anna Maria Riefolo[5]

[1]Circolo Legambiente Barletta
[2]Ingegnere
[3]Agronomo, Comune di Barletta
[4]SIGEA-APS
[5]Assessore all'Ambiente del Comune di Barletta

*E-mail*: lopez.sigea@gmail.com

**Parole chiave**: cordoni dunali, interventi di ripristino, Barletta
**Key words**: dune cordons, recovery interventions, Barletta

Nel 2022 la Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA) - APS, in occasione della ricorrenza dei 30 anni della sua fondazione, propose una giornata di escursione e di approfondimento geologico ambientale dal titolo "Geological Day Coste" (Fig. 1). Nel mese di maggio soci della SIGEA e volontari non iscritti organizzarono diversi sopralluoghi con lo scopo di effettuare un rilievo di carattere geologico ambientale di tratti spiaggia o costa bassa frequentate prevalentemente nei mesi estivi.

Per i rilievi fu predisposta e messa a disposizione dei partecipanti una apposita scheda contenente i dati essenziali da monitorare:

- le caratteristiche geologiche;
- il contesto ambientale e naturalistico;
- le componenti vegetazionali;
- gli equilibri esistenti;
- i fenomeni di erosione o deposizione;
- le componenti antropiche.




Figura 1. Banner della manifestazione Geological Day Coste 2022.

L'iniziativa si poneva come obiettivo quello di stimolare un confronto sulla salvaguardia degli ambienti costieri partendo proprio dalla conoscenza dello stato delle coste; inoltre, ripetendo le rilevazioni nelle diverse stagioni e nei diversi anni, si sarebbe potuto avere la possibilità di realizzare una banca dati di monitoraggio sullo stato delle nostre coste da aggiornare periodicamente.

Una delle spiagge interessate da monitoraggio del Geological Day Coste 2022 fu la spiaggia lungo la Litoranea di Ponente di Barletta dove sono presenti cordoni dunali embrionali (Foto 1 e 2) in una fase di progressivo accrescimento.



Foto 1. Barletta, attività di monitoraggio nell'ambito del Geological Day Coste 2022.

Alle dune costiere, ambienti molto dinamici e vitali collocati tra i domini marino e continentale, è riconosciuto dalla comunità scientifica internazionale un notevole valore sia da un punto di vista geomorfologico che ecologico e paesaggistico. Inoltre è indubbio il ruolo svolto dal sistema spiaggia-duna al contrasto agli impatti delle forti mareggiate, quali inondazioni e salinizzazione delle colture, la cui



Foto 2. Barletta, duna embrionale con Ammophila (foto di Gigi Cappabianca).

frequenza e intensità è in aumento a seguito dei cambiamenti climatici in atto.

Come è noto fra i fattori che determinano l'alterazione del sistema spiaggia-duna - sistema geomorfologico precario di interfaccia tra entroterra e mare – ci sono i fenomeni di frequentazione di massa, quali attività concertistiche che possono compromettere la stabilità e l'evoluzione della spiaggia.

Nel tratto di spiaggia individuato dal monitoraggio del Geological Day 2022 sono stati avviati, già a partire dal 2019 (Foto 3), processi di ricolonizzazione di specie vegetali alofite favorevoli al ripristino delle dune, ambienti che si ritenevano ormai scomparsi dal litorale barlettano. Grazie a questa rinaturalizzazione il sistema geomorfologico della spiaggia, per anni snaturato e aggredito dalle sistemazioni meccanizzate, oltre ad attività ricreative, come il Jova Beach Party 2019 e 2022 (foto 4), sta acquisendo nuovamente e lentamente il suo aspetto naturale con varie specie erbacee (Cakile maritima, Ammophila arenaria e altre) e forme dunali che vedono anche la riproduzione su numerosi tratti del litorale di Barletta del Fratino eurasiatico (Charadrius alexandrinus) (foto 5).




Foto 3. Barletta, gruppo di lavoro impegnato 2019 in attività di tutela Litoranea di Ponente.



Foto 4. Barletta, la duna embrionale della Foto 2 dopo i lavori di preparazione del Jova Beach Party 2022.









Foto 5. Barletta, Fratino (foto di Primula Carloni).

Da non trascurare che la presenza di alcuni degli habitat e associazioni floristiche che si stanno insediando rappresentano habitat particolari attenzionati dalla Comunità europea: 1210: Vegetazione annua delle linee di deposito marine con specie pioniere tipo *Cakile maritima*, *Salsola soda*, *Eryngium maritimum*, *Medicago marina*, *Elymus farctus*, etc.; - 1310: Vegetazione annua pioniera a Salicornia e altre specie delle zone fangose e sabbiose; - 1510: Steppe salate mediterranee (*Limonietalia*); - 2120: Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria* (dune bianche).

La consapevolezza del patrimonio di geodiversità e biodiversità che offre questo tratto di litorale, accompagnata dalla certezza che l'eliminazione della vegetazione alofita pioniera dal sistema spiaggia, conseguente alle pratiche usuali di pulizia meccanizzate con mezzi pesanti, riduce notevolmente l'azione di intrappolamento della sabbia da parte della vegetazione, hanno spinto l'Amministrazione

comunale di Barletta a dedicare particolare attenzione a quanto proposto dalle associazioni impegnate da anni sul territorio.

Da non trascurare anche l'aspetto economico, considerato che il mancato intrappolamento della sabbia da parte della vegetazione determina il trasferimento della stessa sulle strade comunali, circostanza questa che, difatti, la rende un rifiuto stradale, determinando sia un fattore di perdita definitiva della sabbia dal sistema spiaggia/duna sia un aggravio per le casse comunali.

Per queste ragioni sono state avviate numerose interlocuzioni con l'Amministrazione comunale di Barletta e la cittadinanza attiva che ha portato nel maggio del 2024 alla firma di un Protocollo d'intesa tra il Comune di Barletta, Legambiente Circolo di Barletta e la SIGEA-APS: **PROTOCOLLO D'INTESA *"Ripristino e Rinaturalizzazione dei Cordoni Dunali lungo la Litoranea di Ponente – Barletta"***.

Nel protocollo si individuano diversi l'obiettivo quali:

- promuovere una corretta gestione degli arenili, degli habitat naturali e delle specie della flora e della fauna presenti lungo la linea di costa, dalla spiaggia ai cordoni dunali caratterizzanti la litoranea di Ponente di Barletta a proseguire lungo la Strada detta delle Salinelle;
- favorire procedure di gestione delle biomasse spiaggiate in ottemperanza alle Linee guida della Regione Puglia;
- fornire elementi di conoscenza, per gli operatori addetti alle operazioni di pulizia delle spiagge e per i fruitori della costa in generale (bagnanti, orticoltori, gestori lidi balneari), affinché acquisiscano consapevolezza sul reale impatto che le risorse naturali e l'ambiente costiero subiscono a causa della intensa fruizione estiva, delle operazioni meccanizzate di pulizia delle spiagge (arature profonde);
- promuovere attività di tutela, recupero, restauro e valorizzazione delle aree di pregio naturalistico presenti lungo la costa, con attenzione particolare agli arenili.

Le aree prevalenti di collaborazione tra l'amministrazione comunale e le associazioni sono:

1. diffusione di conoscenza sul ruolo delle dune e della vegetazione ammofila per una migliore gestione ambientale dei territori costieri;
2. collaborazione in attività di studio e ricerca nel settore ambientale, anche mediante il coinvolgimento di Amministrazioni scolastiche, Università ed Enti di Ricerca, Capitaneria di Porto, con specifico riferimento agli aspetti di tutela delle risorse naturali collegate agli ambienti di spiaggia e sistemi dunali;
3. sviluppo di iniziative condivise per la diffusione della cultura della difesa del patrimonio ambientale (floristico e faunistico), paesaggistico e naturale, delle spiagge e sistemi dunali anche attraverso l'organizzazione di eventi divulgativi e di approfondimento;
4. promozione di iniziative di sensibilizzazione, formazione e comunicazione per la conoscenza delle tematiche legate ai valori costituzionali, al rispetto della legalità e alla conoscenza del patrimonio naturale e della geodiversità;
5. promozione e incentivazione di attività, buone pratiche ed iniziative di conoscenza e consapevolezza, lungo tutto l'arco dell'anno, finalizzate al ripristino e la rinaturalizzazione dei cordoni dunali lungo la Litoranea di Ponente di Barletta;
6. promozione ed incentivazione di protocolli e procedure operative fra il Comune di Barletta e l'azienda municipalizzata (Bar.S.A., o altre che l'amministrazione comunale vorrà individuare) per la gestione, lungo tutto l'arco dell'anno, degli arenili con particolare attenzione al recupero delle sabbie allontanate ad opera del vento dalle spiagge verso le infrastrutture stradali in occasione di eventi meteorici di particolare intensità e delle biomasse spiaggiate nel rispetto delle Linee guida regionali in Premessa citate;
7. promozione di accordi di collaborazione fra l'amministrazione comunale, nello specifico Polizia Ambientale del Comune, e Capitaneria di Porto per garantire il controllo degli arenili interessati dalle opere di ripristino ambientale, meglio dettagliate nel seguito, e per scongiurare eventuali illeciti ambientali.

Nell'ambito del protocollo diventa rilevante la disponibilità delle due associazioni a:

a) svolgere congiuntamente attività di educazione ambientale e divulgazione scientifica sulle aree di specifica competenza;
b) attività di ricerca e monitoraggio, in collaborazione con altre associazione ed Enti di ricerca, sugli aspetti geomorfologici, paesaggistici e naturali, floristici e faunistici, delle spiagge di Barletta e dei sistemi dunali;
c) realizzare pubblicazioni esplicative delle attività svolte congiuntamente.

Nell'ambito del protocollo il Comune si è impegnato tra l'altro a:

d) individuare le aree della spiaggia emersa da destinare alla rinaturalizzazione e alla crescita della vegetazione pioniera per un'ampiezza approssimativa di circa il 30% rispetto all'ampiezza del tratto di spiaggia attuale;
e) chiudere dei varchi di accesso alla spiaggia presenti lungo la siepe di tamerici (Tamarix spp.) della Strada Salinelle (Litoranea di Ponente- Barletta), secondo le soluzioni della proposta del Progetto Dune realizzato dalle associazioni, utilizzando sia piante di tamerici che di Ammophila arenaria, ma anche legname e tronchi provenienti dal mare in occasione delle mareggiate e biomasse spiaggiate marine;
f) garantire la disponibilità a far affiggere dalle associazioni sottoscrittrici del presente protocollo materiale divulgativo del Progetto (pannelli didattici) in collaborazione con le istituzioni scolastiche ed altre associazioni che vorranno contribuire alla realizzazione delle iniziative progettuali di carattere prettamente educativo.

Questo esempio di collaborazione tra l'Ente Locale e i due Enti del Terzo Settore oltre a rappresentare una sinergia nell'interesse del bene comune come il litorale, apre nuove esperienze di partecipazione attiva della cittadinanza che potranno essere avviate anche nell'ambito di attività di Citizen science.

# Il delta del Tevere e le dune, una chiave storica per la valorizzazione

## The Tiber delta and the dunes, a historical key to valorisation

Tiberio Bellotti
Archeologo e direttore Museo Digitale Diffuso del Delta del Tevere

*E-mail*: direzione@deltadeltevere.it

**Parole chiave**: delta, dune, antropizzazione, valorizzazione, territorio, storia
**Key words**: delta, dunes, anthropization, valorization, territory, history

Il delta del Tevere è un vero laboratorio di antropizzazione, le sue caratteristiche geomorfologiche e ambientali hanno favorito il passaggio e l'insediamento di innumerevoli comunità umane; nei millenni sono state sperimentate innumerevoli configurazioni antropico-ambientali (Fig. 1). Analizzare in maniera multidisciplinare l'evoluzione di questi rapporti, oltre ad essere il focus del Museo Digitale Diffuso del Delta del Tevere, è anche un esercizio utile per comprendere più profondamente la nostra impronta sul mondo e per sviluppare strategie migliori per il futuro. Andremo ad analizzare sinteticamente alcuni dei momenti storici più esemplificativi, prima di concentrarci sullo stato attuale delle dune e sulla loro possibile valorizzazione.

La prima comunità stabile ad oggi nota in quest'area è quella che si insediò sulla riva nord orientale del lago di Maccarese circa 5000 anni fa durante l'Età del Rame, da allora fino ad oggi abbiamo vissuto quest'area in un rapporto di vera coevoluzione, marcando profondamente il territorio e al contempo adattandoci alle sue peculiarità. Di questo ampio spaccato storico andremo a prendere quattro fasi: l'Età del Bronzo Finale, l'epoca Romana, il Rinascimento e l'epoca Contemporanea.

### ETÀ DEL BRONZO FINALE

Siamo a cavallo tra secondo e primo millennio a.C., un frangente piuttosto particolare sia sul piano demografico sia su quello ambientale. È, infatti, l'epoca in cui penetrano in Italia quelle popolazioni indoeuropee che definiamo latine e osco-umbre. Dal punto di vista ambientale, invece, notiamo un graduale aumento delle precipitazioni, visibile tanto nelle specie vegetali rappresentate nei record pollinici (Di Rita *et alii*, 2010), tanto nel graduale ampliamento della superficie del lago, caratterizzato da dei picchi stagionali. Nella porzione costiera di sud-est del lago di Maccarese, non molto lontano dall'odierno aeroporto Leonardo Da Vinci (Fig. 2), furono impiantati dei dossi (De Castro *et alii*, 2015) utilizzati periodicamente dalla comunità che frequentava l'area. Si tratta di rialzi artificiali del terreno costituiti da una base di rami intrecciati e vari apporti di sabbia e materiali di scarto, il loro scopo era quello di drenare una porzione di terreno permettendo di portare le attività umane presso la sponda del lago. Da una parte, quindi, la popolazione aveva facile accesso all'acqua ma anche a vari tipi di legname, argilla e alimenti. Dall'altra la frequentazione dell'area, che era stagionale - infatti siamo di fronte ad un sito produttivo in uso solo per alcuni mesi all'anno e non ad un vero villaggio -, ha comportato una variazione territoriale localmente piuttosto sensibile. I dossi sono stati posizionati in un'area stagionalmente allagata mentre nelle fasi più secche manteneva comunque un fondo umido, l'acqua continuava ad emergere nelle aree tra i dossi, dove arrivavano anche tutti gli scarti organici, carboni e ceneri con apporto azotato al terreno. Abbiamo, quindi, un'area produttiva peculiare inserita in una più ampia visione gestionale, che consegue l'individuazione, la valorizzazione e lo sfruttamento delle risorse naturali del complesso territoriale di riferimento.




figura 1. Antropizzazione del litorale. Ostia 1922-2023.

### EPOCA ROMANA

Di tutta l'epoca romana affronteremo soprattutto il periodo classico tra I a.C. e III d.C., questo infatti è il momento migliore per analizzare l'impatto antropico della comunità di quel periodo.

A partire dall'età del ferro presso la laguna di Maccarese si sviluppano le saline, prima sotto il controllo etrusco, poi romano. Intanto il Tevere continua l'apporto di sedimenti, che comportano la formazione di vari cordoni dunari su cui a partire dal IV a.C. si va ad impiantare la popolazione; viene fondata Ostia (D'Orefice *et alii*, 2022).

Ostia è posizionata presso la foce del Tevere e si caratterizza sin dalla sua nascita come riferimento logistico ed economico di Roma, questo apporta notevole afflusso de-



FIGURA 2. Scavo dei dossi del sito Le Vignole di Maccarese, Età del Bronzo finale. (De Castro *et al.*, 2015).



FIGURA 3. Terme di una delle ville del suburbio di Ostia. Area di Pianabella – Procoio.



FIGURA 4. Via Severiana, area di Castel Fusano presso Castello Chigi.

mografico e di ricchezze, che vengono reinvestite in attività edilizie, imprenditoriali ed agricole sul territorio. Da Fregene a Castel Porziano tutta l'area risulta variamente antropizzata. La porzione meridionale (Pannuzi, 2015), tutt'oggi caratterizzata da cordoni dunari ben visibili, è sfruttata sia come zona rustica – la vegetazione è caratterizzata dall'inserimento di piante da orto, alberi da frutta e da essenze naturali autoctone utilizzate in cucina –, sia come area di *otium* (Fig. 3) – sono costruite molteplici ville patrizie (Heinzelmann, 1998) lungo l'asse segnato dalla via Severiana (Fig. 4) (Marcelli, Carta, 2022) e dalla linea di costa –. Proprio questa via ricopre un ruolo molto importante, si tratta di un percorso che traversa il suburbio meridionale, supera il canale di fuoriuscita della laguna e prosegue a sud fino a Terracina; sicuramente già presente al termine dell'era repubblicana, assume la sua conformazione definitiva con la pavimentazione predisposta in epoca severiana. Si tratta di una strada costiera che connetteva le estremità marittime della Laurentina e dell'Appia con il polo di Ostia e Portus, a cui facevano capo anche le vie Ostiense e Portuense. Si configura, così, un quadrante funzionale per tutta la costa laziale e campana. Da Ostia verso nord, invece, si sviluppa un vasto centro logistico caratterizzato dai bacini portuali di Claudio e Traiano, che vanno a soppiantare gli obsoleti moli ostiensi, gli uffici ed i magazzini di Portus e anche la rete di canali e vie che connettono i due poli urbani. È l'epoca in cui vengono costruite la seconda foce del Tevere, quella di Fiumicino, e la via Flavia. Osservando il delta nel suo complesso si può chiaramente notare l'impronta umana nell'obliterazione di vaste aree naturali tramite l'attività edilizia, tuttavia va sottolineato anche che la creazione di nuovi canali e bacini idrici amplifica la varietà morfologica ed ambientale.



FIGURA 5. Castello di Giulio II presso Gregoriopoli (Ostia Antica). Ricostruzione digitale del tratto di fiume presente fino al 1557. (Ricostruzione del Museo Digitale Diffuso del Delta del Tevere).

## IL RINASCIMENTO

Dopo la fine dell'Impero Romano d'Occidente il delta del Tevere ha subito un ampio inselvatichimento dovuto alla diminuzione demografica ed alla contrazione economica; uniche eccezioni sono Gregoriopoli (D'Orefice *et alii*, 2022) e l'Episcopio di Porto (Gallico, 2003), entrambi centri importantissimi nella gerarchia ecclesiastica. Tra le due la prima ha, però, anche un ruolo di controllo militare e doganale della foce principale del fiume. Papa Martino V



figura 6. Carta di Eufrosino della Volpaia, 1547.

costruisce una torre di difesa e successivamente Papa Giulio II (Fig. 5) completa la fortificazione dell'area portuale con la rocca.

L'importanza di questo presidio è evidente nei due anni di guerra (1556-1557) tra regno di Spagna, Papato e regno di Francia, durante i quali il viceré spagnolo di tutto il fronte sceglie proprio il delta del Tevere come fulcro del comando. Questo episodio ci fornisce due spunti importanti per il rapporto tra uomo e ambiente.

Prima del conflitto le carte geografiche, come quella del 1547 di Eufrosino della Volpaia (Fig. 6), rappresentano un tomboleto presso la costa ostiense e un'area interdunale paludosa presso Isola Sacra, dopo i due anni di guerra, in cui vengono diffusamente costruiti fortilizi e terrapieni (Fig. 7), non sono più rappresentati questi due habitat, presumibilmente obliterati e drenati dalle strutture antropiche (Fig. 8). Nel settembre 1557 una alluvione rompe gli argini del Tevere facendo saltare l'ultimo meandro del fiume; il molo di Ostia dal 1562 si affaccia sul fiume morto, area stagnante e malarica fino alla bonifica dei ravennati.

## EPOCA CONTEMPORANEA

1916: l'anno del primo piano regolatore, quello disegnato da Paolo Orlando, che immaginava una città marittima fatta per il relax e la villeggiatura. Ostia cambierà spesso pelle nei decenni (Severa, 2018) ma questo è l'inizio della nuova ed invasiva urbanizzazione del litorale romano. I cordoni dunari più vicini alla costa vengono spianati, l'unica duna superstite in area urbana è quella su cui viene costruito il complesso afferente alla chiesa di Regina Pacis (Fig. 9). Villeggiatura, borgata, quartiere dormitorio, vero centro urbano e spiaggia per il turismo giornaliero di massa. Tutti questi aspetti convivono e hanno comportato lo




figura 7. Carta di H. Cock con il primo assedio spagnolo, 1556.




FIGURA 8. Carta della "Spiaggia Romana" 1666.



FIGURA 9. La duna e la chiesa di Regina Pacis. Centro storico di Ostia.



FIGURA 10. Veduta della spiaggia di Ostia.

stravolgimento ambientale di ampie aree. L'ampliamento edilizio e le spiagge ricoperte di strutture e regolarmente spianate (Fig. 10), sono una cifra della condizione attuale di gran parte del litorale romano, che contestualmente è colpito, dopo più secoli di avanzamento, da erosione. Gli sbarramenti costruiti lungo il Tevere fermano parte dei sedimenti altrimenti destinati alla costa, mentre il riscaldamento climatico incide sul livello del mare.

Sussistono, tuttavia, molteplici aree con caratteristiche naturali importanti. Oltre alle aree protette di Castel Fusano e Castel Porziano, derivate dalle antiche proprietà nobiliari dello Stato Pontificio, l'area urbanizzata presenta più appezzamenti di pineta con la flora autoctona (Fig. 11), i pini domestici e le dune, ma anche un quadrante scampato all'edificazione di un condominio in cui affiora l'acqua della falda (Fig. 12), residuo dei tipici ambienti umidi interdunali presenti sul delta del Tevere.

## PROSPETTIVE STORICHE PER IL TURISMO

Il contesto descritto in questa ottica diacronica ed interdisciplinare mostra molteplici aspetti che permettono una valorizzazione culturale e turistica del territorio del delta del Tevere. L'essere umano è necessariamente in continua relazione con l'ecosistema, ne è parte integrante, qualsiasi scelta prenda lascia un'impronta nel contesto. Studiare e divulgare la storia secondo questa ottica porta anche alla valorizzazione dei fattori naturali. Ciò permette di uscire dalla consuetudine del turismo di sfruttamento, che trova il suo compenso economico nell'utilizzo del territorio piuttosto che nella sua valorizzazione. Un esempio è il progetto che si sta sviluppando sull'asse viario della Via Severiana, la strada romana che univa Ostia e Terracina e che proseguiva verso nord fino ai porti di Claudio e Traiano con il nome di Via Flavia. Si tratta di un percorso che tra Ostia e Castel Porziano si snoda parallelamente ai cordoni dunari, all'antica laguna ed alla linea di costa. La continua evoluzione geomorfologica è connessa all'andamento delle variazioni climatiche ed ambientali, in questo contesto mutevole troviamo ville rustiche, campi coltivati e frutteti, ma anche ville patrizie con terme e giardini, piccoli centri abitati e basiliche cristiane. Lungo questo asse viario sono passati anche l'esercito spagnolo nel 1556 e quelli alleati durante la campagna d'Italia della seconda guerra mondiale. Il margine di guadagno delle attività turistiche può essere trovato nello stesso patrimonio naturalistico e storico percepito dal turista che svolge attività nell'area, quindi maggiori sono la cura e la fruibilità maggiore è il valore economico.



figura 11. Area di pineta con duna nell'area urbana di Ostia.



figura 12. Area interdunale umida con affioramento stagionale dell'acqua. Area urbana di Ostia.

## BIBLIOGRAFIA


D'Orefice M., Bellotti P., Bellotti T., Davoli L., Di Bella L. (2022). *Natural and Cultural Lost Landscape during the Holocene along the Central Tyrrhenian Coast (Italy)*. Land, 11, 344.

De Angelis d'Ossat, G. (1938). *Geo-pedogenesi delle terre sul delta del Tevere*. Récherche sur le Sol 6, 138–168.

Di Rita F., Celant A., Magri D. (2010). *Holocene environmental instability in the wetland north of the Tiber delta (Rome, Italy): Sea-lake-man interactions*. Journal of Paleolimnology, 44, 51-67.

De Castro F. R., Facciolo A., Gala M., Grossi M. C., Morelli C., Rinaldi M. L., Ruggeri D. e Sivilli S. (2015). *La sponda destra del Tevere, presso la foce, prima dei Romani : gli insediamenti*". In: *Ricerche Su Ostia E Il Suo Territorio*. Atti Del Terzo Seminario Ostiense (Roma, École Française De Rome, 21-22 Ottobre 2015).

Gallico S. (2003). *L'episcopio di Porto. Trasformazioni dal tardo-antico al XXI secolo*. Gangemi editore.

Heinzelmann M. (1998). *Beobachtungen zur suburbanen Topographie Ostias. Ein orthogonales Strassensystem im Bericht der Pianabella*, in RM, 105, 1998, p. 175-225.

Marcelli M., Carta C. (2022). *Lungo la via severiana: archeologia e storia a Castel Fusano. Arti visive, architettura e urbanistic*a. Gangemi editore.

Pannuzi S. (2015). *Viabilità e utilizzo del territorio. Il suburbio sud-orientale di Ostia alla luce dei recenti rinvenimenti archeologici*. In: *Ricerche Su Ostia E Il Suo Territorio*. Atti Del Terzo Seminario Ostiense (Roma, École Française De Rome, 21-22 Ottobre 2015).

Severa M. (2018). *Ostia dalla bonifica alla ricostruzione*. Aporema Edizioni.

Parco Naturale Regionale
# Dune Costiere
da Torre Canne a Torre San Leonardo

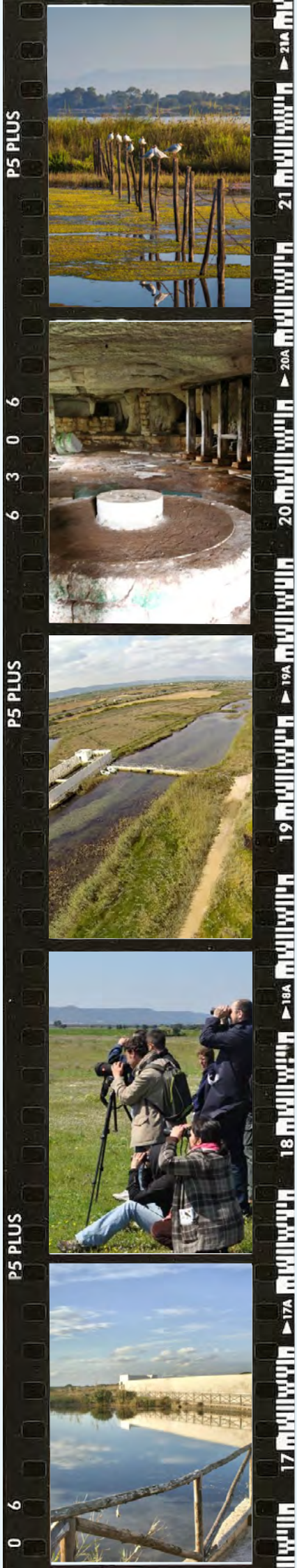
**"Una passeggiata tra dune, ulivi e memorie antiche."**

Il Parco naturale regionale Dune Costiere è un mosaico di paesaggi e tradizioni: dalle zone umide che accolgono fenicotteri, aironi e altre specie migratorie, agli ulivi millenari e alle masserie che raccontano la storia agricola del territorio, dove si produce ancora olio extravergine di qualità. È un luogo di turismo lento e sostenibile, con percorsi ciclabili, trekking, laboratori e incontri con le comunità locali. Ogni stagione regala un'esperienza diversa, tra natura incontaminata, cultura, sapori e ospitalità autentica.

**Fatti catturare dall'atmosfera che si vive camminando tra dune costiere, zone umide, oliveti monumentali e testimonianze archeologiche**








**Parco Naturale Regionale Dune Costiere**
S.O.: Ex Macello in C.da Li Cuti (ex SS 16) 72017 - Ostuni (BR)
Casa del Parco - Ex Stazione di Fontevecchia
C.G: N 40°46´52.9" - E 17°30´57.3"

**Tel. 0831 152 6854**
**www.parcodunecostiere.it**

**PRENOTA LA TUA ESPERIENZA NEL PARCO!**

In questa raccolta monografica di contributi sulle dune e sui sistemi dunali costieri, ci si propone di illustrare i meccanismi che ne determinano la formazione, l'accrescimento e l'erosione, di descrivere le caratteristiche fisiche e geometriche e le peculiarità biologiche che qualificano questi mutevoli tratti di costa, gli effetti dell'antropizzazione e le azioni di protezione e tutela degli ambienti più fragili. Attraverso la descrizione della biodiversità e geodiversità di questi ambienti, si cerca di evidenziare la loro complessità e gli equilibri che governano questi tratti di costa e che li rendono unici ed insostituibili, sia per valore ambientale che come risorsa turistica locale, proponendo contributi sulla genesi, distribuzione geografica e gestione, sulla flora e fauna delle dune, sugli aspetti gestionali e di tutela e sulle azioni di conservazione, protezione, recupero e valorizzazione.

Francesco Stragapede nasce a Bari il 1964. Si laurea in Scienze Geologiche presso l'Università di Bari ed intraprende la libera professione, operando nel campo della Geologia Applicata, della Idrogeologia e della Geofisica, sull'intero territorio nazionale. Nell'ambito delle attività professionali, opera nei diversi settori della geologia applicata e della idrogeologia, nell'ambito delle attività edilizie, dell'attività estrattiva e della ricerca e della gestione delle risorse idriche; si specializza in geofisica applicata alla caratterizzazione progettuale di sito, alla pianificazione e alla microzonazione sismica, e in pedologia per le applicazioni nella pratica geologica.



ISBN 979-12-80811-05-9
90000>
9 791280 811059
€ 39,90