

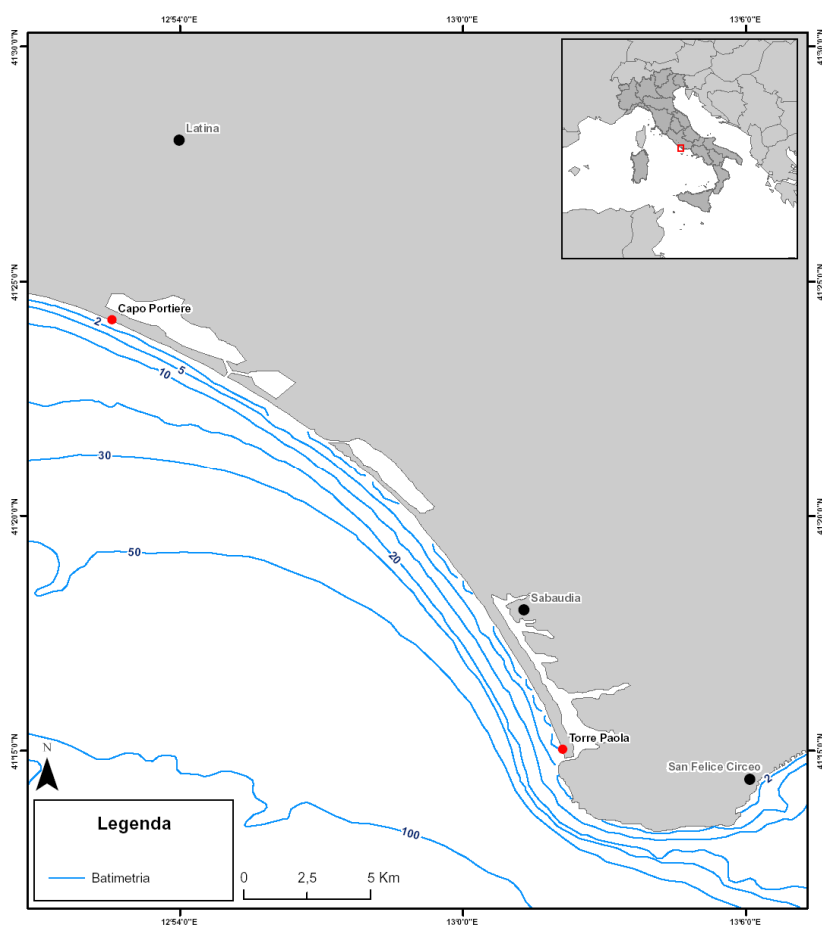


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

PREDISPOSIZIONE DI UNO STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE RELATIVO AGLI INTERVENTI DI DIFESA DELLA COSTA IN AREE PROTETTE, PER LA RICOSTRUZIONE E LA DIFESA DEL LITORALE COSTIERO TRA CAPO PORTIERE E TORRE PAOLA NELLA PROVINCIA DI LATINA

Attività B: Caratterizzazione dell'apparato dunale



Novembre 2008

Responsabile del Programma:

Dr. Luisa Nicoletti

Coordinamento dell'attività:

- Dott. Elena Pallottini

Hanno collaborato per l'ISPRA:

- Dr. Matteo Conti
- Dott. Raffaele Proietti

Contributi:

Dr. Sergio Cappucci (ENEA) per la supervisione ed il supporto.

Dott. Geol. Giancarlo Bovina (Studio Associato Geosphera) per le informazioni relative agli interventi pregressi di difesa della duna e per il prezioso contributo nel corso delle attività sul campo.

INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. INTRODUZIONE	5
3. LE DUNE COSTIERE	6
3.1. Processi di trasporto e genesi delle dune.....	7
3.2. Struttura delle dune	10
3.3. Stato evolutivo delle dune.....	12
4. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	15
4.1. Inquadramento geografico	15
4.2. Vincoli paesaggistici e ambientali	23
5. MATERIALI E METODI.....	24
5.1. Dati utilizzati	24
5.2. Metodologia	25
5.3. Parametri analizzati.....	28
6. RISULTATI.....	31
6.1. Morfologia e dinamica	32
6.2. Copertura e tipologia della vegetazione dunale	36
6.3. Discontinuità morfologiche	38
6.4. Antropizzazione e uso della spiaggia	41
7. DISCUSSIONE.....	43
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	51
9. BIBLIOGRAFIA.....	53
APPENDICE I - INTERVENTI PREGRESSI DI DIFESA DELLA DUNA.....	58
Opere ad effetto frangivento	61
<i>Recinzione frangivento realizzata mediante stuoia di canna.....</i>	<i>61</i>
<i>Frangivento a scacchiera.....</i>	<i>62</i>
<i>Viminata associata a bioreti in fibra di cocco.....</i>	<i>63</i>
<i>Cannucciata frangivento orizzontale.....</i>	<i>64</i>
<i>Nuclei dunali armati integrati da sistemi frangivento</i>	<i>64</i>
Consolidazione e restauro di dune costiere attraverso la vegetazione	65
<i>Tecniche di rivegetazione.....</i>	<i>65</i>
Gestione degli accessi	65
<i>Passerelle per l'accesso alla spiaggia.....</i>	<i>65</i>
<i>Barriera basale in viminata</i>	<i>66</i>
APPENDICE II – SOPRALLUOGHI IN SITU	68
ALLEGATO I – ELENCO ELABORATI CARTOGRAFICI.....	92
TAVOLA I - Capo Portiere – Emissario del Lago di Caprolace.....	92
TAVOLA II - Emissario del Lago di Caprolace - Torre Paola.....	92

1. PREMESSA

L'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), già ICRAM, nell'ambito della Convenzione di Ricerca per la salvaguardia del tratto di costa della Provincia di Latina compreso tra Capo Portiere Torre Paola (lettera del 20 giugno 2008, prot. ICRAM n. 6413/08), è stato incaricato di predisporre uno "Studio Preliminare Ambientale relativo agli interventi di difesa della costa in aree protette, per la ricostruzione e la difesa del litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola nella Provincia di Latina".

Tale convenzione prevede l'esecuzione di diverse attività che hanno per oggetto l'individuazione delle criticità ambientali e la valutazione della fattibilità di diversi scenari di intervento di difesa costiera. Queste attività sono articolate in diversi studi di seguito descritti:

- ❖ Caratterizzazione ambientale (analisi critica dei dati bibliografici relativamente ai principali parametri ambientali (ATTIVITÀ A1);
- ❖ Campagne operative in mare per la verifica dei molluschi bivalvi di interesse commerciale presenti sulla fascia costiera (ATTIVITÀ A2);
- ❖ Caratterizzazione dell'apparato dunale (ATTIVITÀ B);
- ❖ Climatologia, morfologia e dinamica litoranea, completa di simulazione degli scenari evolutivi con diverse tipologie di intervento e valutazione economica comparativa (ATTIVITÀ C1 e C2);
- ❖ Predisposizione di documentazione per lo Studio Preliminare Ambientale (ATTIVITÀ C3).

Nella presente relazione vengono presentati i risultati dell'Attività B – "Caratterizzazione dell'apparato dunale". In particolare, nell'ambito di questa attività, sono state considerate le seguenti caratteristiche:

- Estensione dei cordoni dunali olocenici prossimali;
- Stato di attività della duna;
- Delimitazione delle aree con copertura vegetale e descrizione della tipologia di vegetazione;
- Presenza di elementi di discontinuità (varchi) sia naturali che antropici;
- Eventuali opere che influiscono sulla dinamica sedimentaria del sistema spiaggia/duna.

2. INTRODUZIONE

La comprensione dello stato di conservazione e delle modalità di evoluzione delle dune costiere all'interno della dinamica del sistema spiaggia-duna è essenziale non solo per la loro protezione ma anche per una corretta gestione della fascia costiera ([Saye et al., 2005](#)).

La presente relazione, relativa all'ubicazione e alle caratteristiche delle dune costiere comprese tra Capo Portiere e Torre Paola (Parco Nazionale del Circeo, Lazio Meridionale), si pone come obiettivo quello di definire l'attuale stato di conservazione delle dune oggetto di studio, con particolare riferimento al settore compreso tra la strada litoranea e la spiaggia, recentemente investigato anche nell'ambito dei sottoprogetti POSIDuNE ([Campo et al., in stampa](#)) e Medplan ([Parlagreco et al., 2008](#)) dell'INTERREG IIIC Beachmed-e.

Tenuto conto del fatto che un metodo rapido e conveniente per la caratterizzazione di ampi tratti di costa è costituito dall'acquisizione e dall'analisi di dati da remoto ([Williams et al., 2001](#)), l'approccio utilizzato nel presente studio è stato quello di valutare l'entità degli impatti naturali ed antropici che hanno interessato il litorale utilizzando dati disponibili acquisiti mediante l'interpretazione di foto aeree ed immagini satellitari e relativi alla classificazione e uso del territorio e all'attuale stato di conservazione del sistema spiaggia – duna.

3. LE DUNE COSTIERE

Le dune costiere sono ambienti estremamente pregiati e fragili, nonché uno degli ecosistemi naturali più vulnerabili e minacciati al giorno d'oggi. Oltre a possedere un elevato valore ecologico e paesaggistico ([Audisio et al., 2002](#)), esse svolgono anche un ruolo essenziale nella difesa della fascia costiera ([Coates et al., 2000](#)) aumentandone la resilienza ([Konings, 1990](#)). In particolare, sono in grado di abbattere il rischio d'erosione, poiché costituiscono una riserva di sedimenti in grado di alimentare la spiaggia antistante ([Carter et al., 1990](#)), e, grazie alla loro morfologia rilevata, contrastano il rischio di sommersione dell'entroterra così come l'intrusione del cuneo salino ([Kumar, 2000](#); [Oude Essink, 2001](#)).

Secondo i dati forniti dall'EUCC, effettuando un confronto fra gli inizi del secolo scorso e i primi anni Novanta, in Italia la superficie di territorio costituita da apparati dunali si è ridotta dell'80% passando da 35000 ÷ 40000 ha a 7000 ÷ 9000 ha.

Dei circa 7500 km di costa italiani, oltre 3000 sono rappresentati da tratti sabbiosi e di questi circa 700 km sono caratterizzati dalla presenza di dune, vale a dire meno del 10% dello sviluppo costiero nazionale e circa il 20% di quello interessato da litorali sabbiosi ([Bovina, 2004](#)).

In questo contesto, in Italia è stato condotto uno studio volto all'analisi della presenza e dello stato delle dune costiere nazionali anche in relazione alle caratteristiche dei litorali antistanti nell'ambito del Progetto di Rilevanza Nazionale (PRIN) "I depositi eolici ed il flusso di sedimenti spiaggia - duna" ([AA.VV., 2005](#)). Secondo quanto emerso da questa ricerca, nel Lazio, a causa dell'elevato impatto antropico e del generale arretramento della linea di costa, nessuno dei sistemi dunali regionali, che occupano una superficie superiore ai 20 km² e circa 200 km di costa, presenta un sufficiente stato di naturalità ([Campo e La Monica, 2006](#)).

E' dunque auspicabile che si intensifichino gli sforzi per la difesa e il ripristino delle dune costiere in quanto tali interventi hanno carattere strategico nella difesa dei litorali al fine di conseguire, nel lungo periodo, l'obiettivo di salvaguardia della fascia costiera e la conservazione degli habitat naturali ([Beachmed-e, 2007](#); [AA.VV., 2008](#)).

3.1. Processi di trasporto e genesi delle dune

Le dune costiere si sviluppano nel retrospiaggia per effetto dei venti dominanti e possono essere mobili o fisse: le prime sono costituite da sabbia incoerente; le seconde sono stabilizzate da vegetazione specializzata che, oltre a trattenere il sedimento tramite l'apparato radicale, lo fertilizza producendo sia humus che aumentando il tasso di umidità. Alla formazione e sviluppo di una duna costiera concorrono numerosi fattori. Tra i principali vi sono: 1) l'energia del vento; 2) la disponibilità di sabbia; 3) la presenza di vegetazione specializzata. Questi fattori devono raggiungere un equilibrio dinamico che consenta al sedimento di accumularsi e di consolidarsi fino a costituire un deposito permanente più o meno stabile. Il vento ha un ruolo essenziale perché in grado di prendere in carico la sabbia e trasportarla; la disponibilità di sedimento è direttamente proporzionale all'ampiezza dell'arenile e la vegetazione costituisce l'ostacolo naturale per l'accumulo del sedimento che viene preso in carico (Gatto, 2002).

La vegetazione pioniera in particolare, costituisce un primo ostacolo, che genera una scissione del flusso d'aria con perdita di intensità e di capacità di trasporto e conseguente rilascio del carico di sedimenti, secondo lo schema riportato in [figura 3.1.1](#).

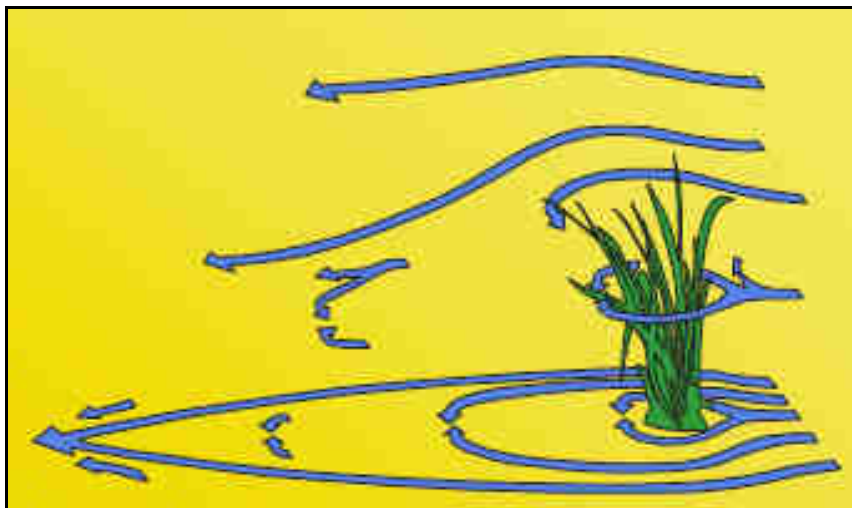


Figura 3.1.1 – Meccanismo di formazione delle dune per interazione tra vento e vegetazione. Le linee in blu indicano le ipotetiche linee di flusso d'aria che nella parte sottovento convergono e diminuiscono di intensità, facilitando la deposizione delle particelle trasportate.

E' intuitivo che il fattore più importante per la crescita di queste strutture morfologiche è costituito, oltre che dalla disponibilità del sedimento, dal vento.

Il trasporto eolico del sedimento avviene secondo processi di trazione, saltazione e sospensione delle particelle (Bagnold, 1941). Raudkivi (1976) ha proposto la seguente schematizzazione dei processi di trasporto, indicando la soglia dimensionale delle particelle associate a ciascuno di essi, come segue:

- Sospensione per particelle con diametro inferiore a 0,08 mm.
- Saltazione per particelle con diametro compreso fra 0,08 mm e 1 mm.
- Trazione per particelle con diametro maggiore di 1 mm.

La sospensione interessa principalmente le particelle di piccole dimensioni, per le quali la forza peso può essere trascurata in rapporto alle fluttuazioni turbolente del vento, rivolte verso l'alto. Tale dinamica è tipica nel trasporto di materiali quali ceneri vulcaniche, loess e polveri eoliche. Nella genesi di dune costiere non costituisce il meccanismo prevalente perchè il sedimento presente lungo i litorali sabbiosi solitamente ha dimensioni maggiori.

La saltazione è la modalità di trasporto più importante, cui è soggetto circa l'80% dei granuli sabbiosi. Avviene attraverso salti di traiettoria parabolica secondo lo schema indicato in figura 3.1.2.

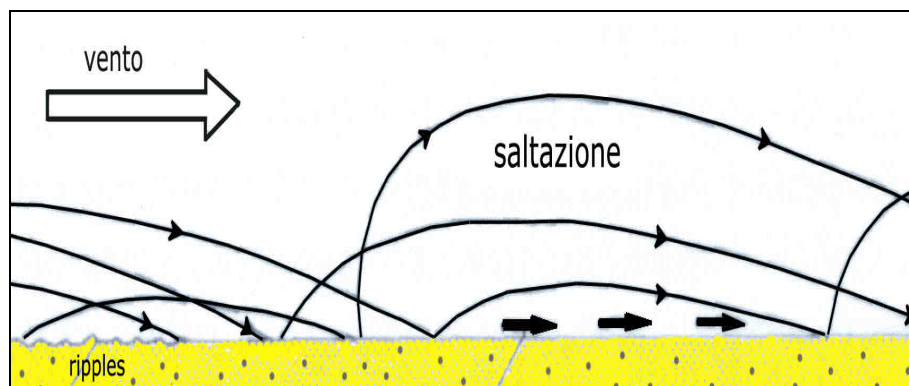


Figura 3.1.2 – Meccanismo della saltazione; i singoli granuli vengono presi in carico dal vento e descrivono traiettorie paraboliche.

Lunghezza ed altezza della traiettoria sono proporzionali alla velocità del vento e alle caratteristiche delle particelle. Quando le traiettorie dei granuli sono molto brevi e confinate in pochissimi cm dal suolo, si parla di reptazione. Sostanzialmente si tratta di una dinamica con caratteristiche intermedie fra la saltazione e la trazione.

La trazione è la dinamica che riguarda i granuli di sedimento di maggiori dimensioni il cui moto è caratterizzato dalla sola componente orizzontale (tangenziale) del vento che si manifesta quando il peso del singolo granulo bilancia la componente di sollevamento.

La modalità di trasporto più importante per la creazione delle dune è, dunque, quella che avviene per saltazione. Il fattore di maggiore importanza è l'effetto di destabilizzazione che ciascun granulo esercita quando colpisce il suolo per effetto del momento balistico. Le collisioni fra granuli costituiscono, infatti, il principale agente di spostamento ed il fattore che maggiormente influenza il tasso di trasporto.

[Bagnold, \(1941\)](#), per calcolare il tasso di trasporto sedimentario (q) in funzione della velocità del vento (u^*), ha proposto la seguente relazione:

$$q = B_{Bagnold} \frac{\rho_a}{g} \sqrt{\frac{D}{d}} U_*^3 \quad (\text{g/cm-sec})$$

dove q è il tasso di trasporto di massa definita come la quantità in peso di sedimento che può essere trasportata da un vento di intensità u^* , $B_{Bagnold}$ è un coefficiente adimensionale specifico, ρ_a è la densità dell'aria, pari a 0.001226 g/cm³, g è la costante di gravitazione universale pari a 9,81 m/s², d è il diametro standard delle particelle di sabbia pari a 0.25 mm, D è il diametro della sabbia considerata ed infine u^* è la velocità di taglio in cm/sec.

La potenzialità di “crescita” di una duna è controllata sia alla quantità di sedimento trasportato, che alla capacità intrinseca del sistema di trattenerlo prima che venga perso nell'entroterra e questa è principalmente legata all'assetto topografico e vegetazionale del sistema.

Quanto trasportato dalla spiaggia verso la duna, costituisce dunque un elemento di output per il bilancio sedimentario della spiaggia ed allo stesso tempo di input per quello del sistema dunare ([Psuty, 1988](#)). Infatti, se l'intrappolamento della sabbia, da parte di “ostacoli” naturali od antropici non è completo, parte di esso può essere trasferito nel territorio retrodunale e può uscire dal sistema litoraneo, rappresentando una perdita nel bilancio sedimentario complessivo.

3.2. Struttura delle dune

I depositi eolici sono strutture sedimentarie con un lato sopravvento (di norma quello sul versante marino) con pendenza inferiore rispetto al lato sottovento (di norma quello sul versante terrestre). I due lati si raccordano nella cresta della duna, che unisce i punti di maggior quota del deposito.

E' possibile distinguere diverse tipologie di dune, in funzione del loro orientamento e della loro disposizione rispetto alla direzione dei venti dominanti ([Audisio, 2002](#)). Generalmente le dune litoranee sono trasversali, disposte ortogonalmente rispetto ai venti dominanti ([figura 3.2.3](#)).



[Figura 3.2.3](#) – Dune litoranee sulla spiaggia di Sabaudia (LT).

E' possibile caratterizzare un deposito eolico anche in funzione delle associazioni vegetali che lo colonizzano. Procedendo dal versante marino verso l'entroterra, è solitamente possibile riconoscere, attraverso la sezione della duna, diverse zone caratterizzate da associazioni vegetali specifiche, che seguono generalmente una zonazione ricorrente. La presenza ed il grado di sviluppo della vegetazione sono state oggetto di numerosi studi e,

nel 2002, Gatto ha proposto per l'area mediterranea, le seguenti associazioni vegetali, che sono riportate anche in [figura 3.2.4](#) ([Gatto, 2002](#)):

- Spiaggia con *Cakile maritima* (1);
- Anteduna con *Agropyron junceum* (2) e *Pancratium maritimum* (3);
- Duna mobile con *Anthemis maritima* (4) e *Ammophila arenaria* (5);
- Retroduna con *Calystegia soldanella* (6), *Eryngium maritimum*, (7) *Medicago marina*, (8) e *Cyperus Kalli* (9);
- Interduna con *Echinophora spinosa* (10) e *Silene colorata* (11);
- Duna fissa con macchia mediterranea (*Phyllirea spp.*, *Cistus incanus*, *Juniperus communis*, *Pistacia lentiscus*, *Smilax aspera*, *Rosmarinus officinalis*, *Pinus pinaster*, *Quercus ilex*, *Rhamnus alaternus*, *Arbutus unedo*) (12) e pineta (*Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Quercus ilex*) (13).

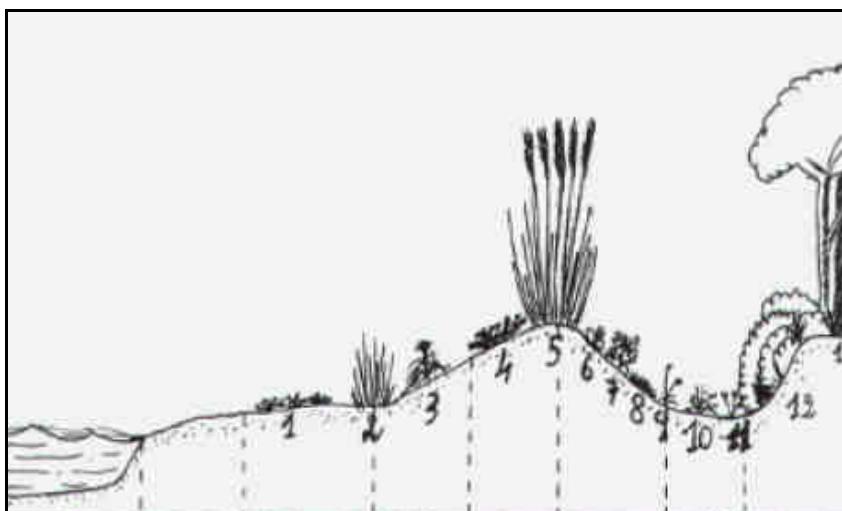


Figura 3.2.4 – Zonazione della duna in funzione delle associazioni vegetazionali specifiche (immagine tratta da [Gatto, 2002](#)).

3.3. Stato evolutivo delle dune

Le dune costiere, come altri depositi eolici, dal momento in cui iniziano a costituirsi fino al momento del loro massimo sviluppo in termini volumetrici e strutturali, raggiungono diversi stati evolutivi, cui corrispondono livelli di consolidamento e stabilità crescenti, fortemente influenzati dall'evoluzione e diversificazione delle associazioni vegetali che caratterizzano il deposito.

Il primo stadio evolutivo di un accumulo è una forma estremamente fragile costituita da sedimento del tutto incoerente; si genera per la perdita del carico di sedimento trasportato dal vento nell'area sottovento ad un ostacolo, generalmente rappresentato dalla vegetazione. Queste forme vengono indicate col termine di *dune shadow* (figura 3.3.1).

Nel momento in cui le singole forme di accumulo *shadow* tendono a divenire coalescenti, si costituisce una vera e propria fascia di dune, definite dune primarie o *avandune* (con termine inglese *foredune*), sono solitamente parallele alla linea di costa ed occupano la posizione più avanzata verso mare. Morfologicamente sono costituite da un complesso di creste discrete ed avvallamenti variabili nella forma e nelle dimensioni. Si tratta di forme relativamente stabili che tendono via via a consolidarsi grazie alla costituzione di associazioni vegetali più complesse.



Figura 3.3.1 – Stadio evolutivo iniziale di un deposito eolico (*duna shadow*; foto Università di Siena).

Inizialmente si osservano *avandune* primarie od embrionali con una vegetazione piuttosto rada e di tipo pioniero (erbaceo); successivamente il deposito raggiunge continuità

morfologica e la vegetazione, più complessa, copre integralmente la struttura stabilizzandola. Si tratta delle avandune secondarie generalmente collocate alle spalle di depositi primari di nuova formazione (figura 3.3.2).

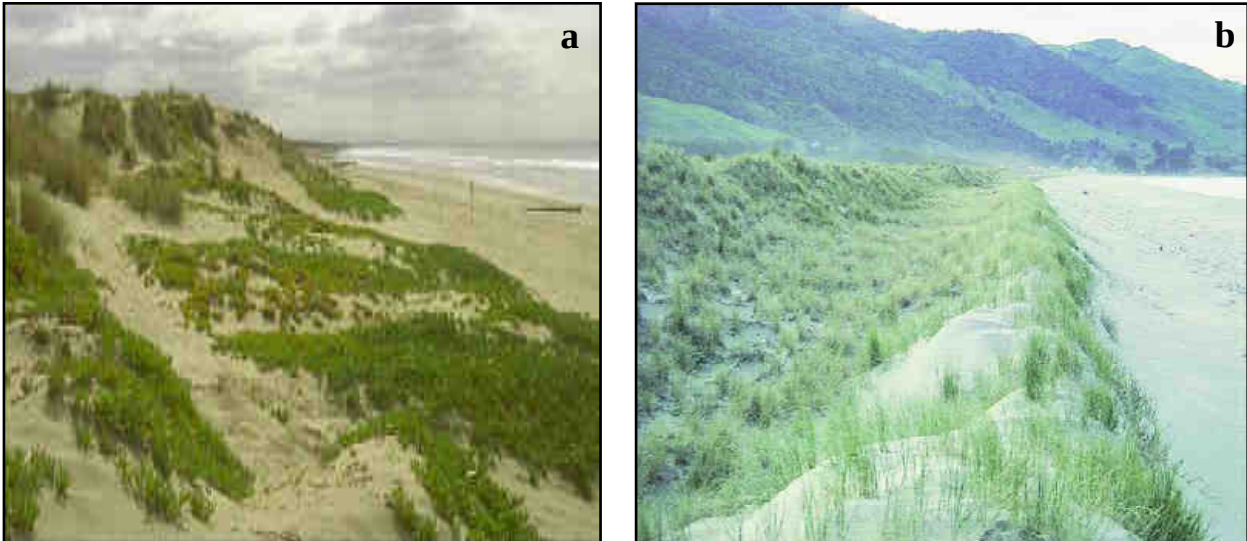


Figura 3.3.2 – Avandune primarie (a, foto Università di Siena) e avandune secondarie (b, foto P.Hesp©).

L'ulteriore fase evolutiva delle dune è il passaggio da dune primarie a dune secondarie. Queste si differenziano in paleodune e dune trasgressive; le paleodune sono vecchi cordoni di avandune, relegati in una posizione passiva, a seguito della formazione di nuovi cordoni frontali. Tali forme sono completamente stabilizzate da una vegetazione caratterizzata da una struttura particolarmente comprendente forme erbacee, arbustive ed arboree (figura 3.3.3). Data la loro estensione areale, esse contribuiscono in maniera significativa ad alimentare le falde freatiche superficiali che ostacolano l'intrusione del cuneo salino nell'entroterra.

Le dune trasgressive sono forme instabili che possono comprendere diverse morfologie (barcane, dune paraboliche, trasversali e longitudinali).



Figura 3.3.3 – Dune secondarie stabilizzate (paleodune) (foto INGS e L.Homer©).

4. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

4.1. Inquadramento geografico

Oggetto di studio è il tratto di litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola (Lazio meridionale), che rientra all'interno della più estesa unità fisiografica che dal Promontorio del Monte Circeo si estende fino a Torre Astura (figura. 4.1.1).

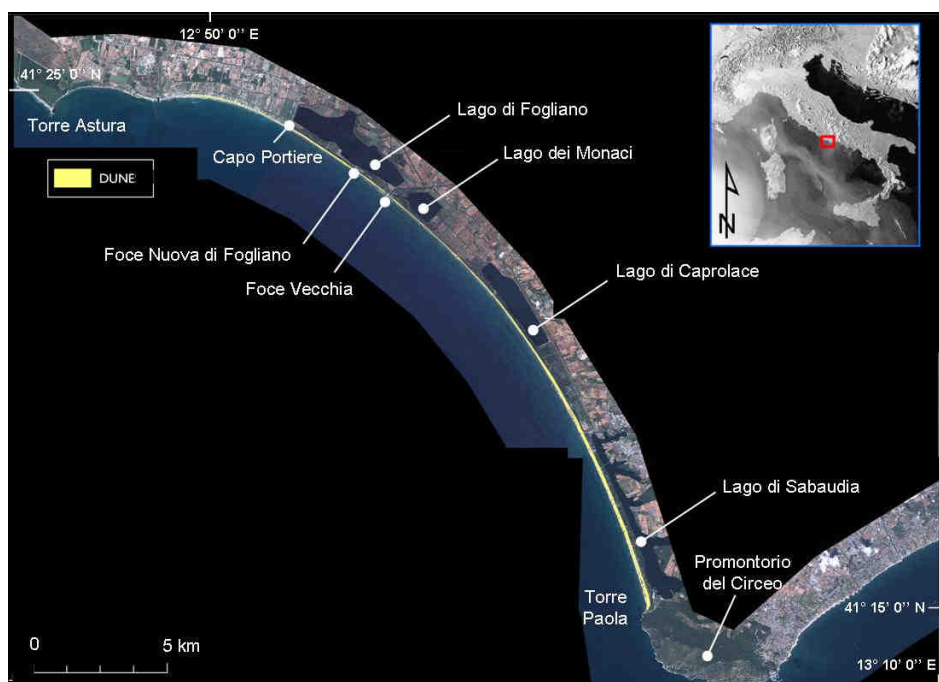


Figura 4.1.1 – Ubicazione del tratto di costa oggetto di studio, compreso tra Capo Portiere e Torre Paola.

La fascia costiera è caratterizzata da un'ampia piana costiera debolmente ondulata nella quale si distinguono i cordoni dunari recenti, la lunga e stretta depressione che accoglie i quattro laghi costieri di Fogliano, dei Monaci, di Caprolace e di Sabaudia, una fascia collinare e la Pianura Pontina. La Pianura Pontina è delimitata a NE del Fiume Sisto e si estende per circa 700 km² fino ai piedi dei Monti Lepini. Essa presenta una morfologia piatta, con quote che raggiungono i 35 m al di sopra del livello del mare in prossimità del promontorio del Monte Circeo e che vanno diminuendo verso NW, raggiungendo localmente un'elevazione negativa (Bono, 1985).

Dal punto di vista **morfologico**, la Pianura Pontina si può suddividere in tre unità (figura 4.1.2): ai piedi dei massicci calcarei (Monti Lepini e Ausoni) e vulcanici (Vulcano Laziale) si

trova un'area pianeggiante e intensamente coltivata costituita da depositi quaternari recenti ([Boni et al., 1980](#)) che, prima delle ultime opere di bonifica avvenute tra il 1926 e il 1935, presentava una idrografia particolare dovuta alla modesta pendenza e allo sbarramento costituito dalle dune e dai cordoni litoranei che impedivano il defluire delle acque verso mare. Proseguendo verso la costa, la seconda unità è rappresentata dalla “Duna Antica” o “Duna Rossa”.

Si estende per circa 50 km da Nettuno al promontorio del Monte Circeo su una fascia di circa 250 km². E' costituita da una serie di cordoni sabbiosi di origine eolica ([Carrara, 1995](#)) di lunghezza media variabile dai 6 ai 7 km i cui assi corrono paralleli alla linea di riva e presentano quote maggiori rispetto a quelle della duna recente, raggiungendo i 20-40 metri circa di altitudine ([Caraci, 1968](#)).

La serie di cordoni dunali recenti è separata dalla Duna Antica dai quattro **laghi costieri** di Fogliano, dei Monaci, di Caprolace e di Sabaudia che, con la loro estensione longitudinale, coprono un tratto di litorale di circa 22 km ([La Monica e Raffi, 1996](#)). I loro bacini presentano un andamento parallelo alla costa ed hanno una profondità media che aumenta da NW verso SE, passando da circa 1 m (Laghi di Fogliano e dei Monaci) a circa 4,5 m (Lago di Sabaudia). Fatta eccezione per il Lago dei Monaci, essi sono collegati al mare tramite canali che consentono uno scambio continuo fra le acque marine e quelle lacustri, che sono salmastre con salinità variabile da punto a punto e in relazione alle stagioni ([Bono, 1985](#)).

Sebbene siano stati profondamente modificati nell'originaria conformazione dall'opera di bonifica degli anni trenta, questi laghi sono caratterizzati da una morfologia che risente dei processi evolutivi che li hanno originati: la loro genesi è dovuta all'azione di sbarramento ad opera dei cordoni dunari, ancora oggi presenti, che li separano dal mare.

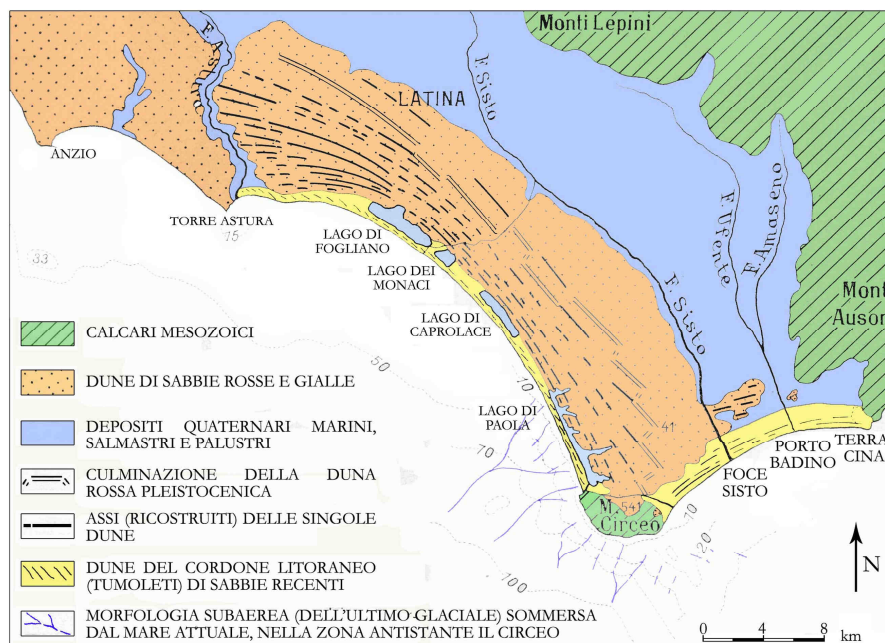


Figura 4.1.2 - Caratteristiche morfologiche dell'area di studio (Modificato da [Almagni, 1975](#)).

Da Torre Astura fino al Promontorio del Circeo il litorale sabbioso risulta infatti caratterizzato da un sistema dunale molto esteso che un tempo si estendeva senza interruzioni ([Campo e La Monica, 2006](#)), costituito da sabbie di origine alluvionale marina ed eolica ad elevata permeabilità che forniscono un certo contributo idrico ai bacini lacustri retrostanti ([Bono, 1985](#)). La loro origine sembra essere legata alla formazione di una barra sabbiosa in seguito all'innalzamento del livello del mare in età Versiliana ([Blanc et al., 1953](#); [Giovagnotti et al., 1980](#)), accresciutasi nel tempo ad opera dell'azione eolica.

Nel tratto di litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola, le dune costiere si sviluppano parallelamente alla linea di costa per circa 25 km, coprendo poco più dell'80% dell'unità fisiografica ([La Monica e Raffi, 1996](#)).

Sia la quota che l'ampiezza di questi "tumoleti" aumentano da nord verso sud raggiungendo al massimo i 28 m di elevazione sul livello del mare e i 250 m di larghezza nei pressi di Torre Paola ([Campo e La Monica, 2006](#)). Immediatamente a ridosso del Promontorio del Monte Circeo, a causa della diversa esposizione della falcatura ai venti dominanti e all'effetto protettivo del promontorio stesso, sia la larghezza che l'elevazione delle dune costiere diminuiscono nuovamente raggiungendo circa i 230 m di ampiezza e i 24 m di altezza ([Giovagnotti et al., 1980](#)).

Dal punto di vista vegetazionale, le dune sono per la maggior parte consolidate da vegetazione costiera specializzata, tipica dell'ambiente mediterraneo ([Giovagnotti et al., 1980](#)). In ragione

della differente esposizione ai venti e all'insolazione, è possibile distinguere due diversi settori: il versante rivolto verso i laghi costieri e quello rivolto verso il mare.

Nel primo caso, caratterizzato da condizioni climatiche più favorevoli, si rinviene una vegetazione arbustiva ed arborea densa, strutturata e rigogliosa. Differente è la situazione lungo il versante opposto, dove l'esposizione a condizioni climatiche più limitanti (elevato grado di aridità e salinità dovuto all'esposizione all'aerosol proveniente dal mare) permette lo sviluppo di una vegetazione prevalentemente cespugliosa xerofita ed alofita, in grado di stabilizzare le sabbie eoliche tramite apparati radicali specializzati, innescando così meccanismi di *feedback* positivo tra la componente biologica e quella sedimentologica, che conferiscono al sistema stabilità dinamica e resilienza (Beachmed-e, 2007).

Negli anni '30 la dinamica del sistema è stata bloccata dalla costruzione della strada costiera in corrispondenza del suo asse longitudinale (figura 4.1.3) che, oltre ad impedirne la libera evoluzione morfologica (ossia il libero avanzamento ed arretramento che gli consentirebbe di limitare i danni prodotti dall'azione erosiva delle mareggiate), ha anche incrementato l'erosione dovuta a fenomeni di ruscellamento e contribuito a rendere l'intera area costiera più accessibile nella stagione estiva (Bovina *et al.*, 2003).



Figura 4.1.3 – Il litorale antistante i laghi costieri è bordato da un cordone dunale lungo il cui asse si sviluppa la strada costiera.

La **spiaggia** antistante le dune costiere, presenta una graduale variazione di orientamento da NW-SE a NNW-SSE. Il litorale risulta quindi esposto ai mari di Mezzogiorno (S), Libeccio (SW) e Ponente (W). Inoltre, il settore più settentrionale, non protetto dal Promontorio del

Monte Circeo, è esposto anche ai mari provenienti da SE mentre quello più meridionale, non protetto dal promontorio di Capo d'Anzio e da Torre Astura, risulta esposto anche ai mari provenienti da NW (Giovagnotti *et al.*, 1980). Per un inquadramento di dettaglio relativo al clima ondoso della zona si rimanda alla relazione relativa all'attività C1 – “Climatologia e morfologia costiera”. Il litorale è caratterizzato dalla presenza di una spiaggia sabbiosa i cui sedimenti hanno dimensioni medie che rientrano prevalentemente nella classe delle sabbie fini (La Monica e Raffi, 1996). L'andamento della linea di riva non è rettilineo ma presenta, per la maggior parte del suo sviluppo, un andamento cuspidato, documentato anche in letteratura (Giovagnotti *et al.*, 1980; Pallottini, 2005), ascrivibile alla presenza di *sand waves*. Le *sand waves* sono ondulazioni ritmiche della linea di riva caratterizzate da visibili *horns* ed *embayments* (figura 4.1.4a). Esse possono presentare un'ampia variabilità di scala e, a differenza delle cuspidi, normalmente associate alla presenza di *edge waves* e *rip currents* (ad es. Guza e Inman, 1975; Komar, 1971; Komar, 1998; Thornton *et al.*, 2007), sono per lo più legate alle correnti lungo riva e sono caratterizzate da una certa mobilità (Pruszek *et al.*, 2008). Le *sand waves* presenti in questo tratto di litorale, documentate almeno a partire dalla fine degli anni 70 (Giovagnotti *et al.*, 1980; Pallottini, 2005), sono caratterizzate da un'ampiezza molto variabile, che va da pochi metri a diverse decine di metri, e mostrano una migrazione nel tempo testimoniando una vivace dinamica litoranea (figura 4.1.4b).



Figura 4.1.4 – (a) Schema relativo alla morfologia delle cuspidi (modificato da www.seafriends.org).
 (b) Cuspidi rilevate nell'area antistante il lago di Fogliano, sulle immagini relative all'anno 2005.

Questo tratto di litorale è interrotto nella sua continuità da alcuni canali di bonifica e dagli emissari dei laghi costieri presenti lungo questo tratto di litorale. Dal punto di vista

idrografico, analogamente al resto della costa del Lazio meridionale, i corsi d'acqua che contribuiscono al ripascimento delle spiagge tramite l'apporto di materiali grossolani sono limitati e modesti, sia a causa della litologia dei rilievi drenati, costituita in prevalenza da carbonati a elevata permeabilità secondaria, sia dalla presenza, tra i rilievi e il litorale, di pianure soggette a estese opere di bonifica.

L'unico fiume di una certa entità che sfocia in questo tratto di litorale è il Fiume Astura, che ha origine nei pressi di Carroceto, si sviluppa per 51 km, ha un bacino imbrifero di 269 km² e una portata media, calcolata per il 1990, di 1,44 m³/s ([Paolocci e Siniscalchi, 1996](#)).

Per quanto riguarda la **piattaforma continentale interna**, quella che si estende tra Capo d'Anzio e Monte Circeo è caratterizzata da un crescente aumento di pendenza procedendo da N-O a S-E e in alcuni tratti da un andamento delle isobate molto articolato. In particolare, al traverso del tratto costiero tra Torre Astura e Torre di Foce Verde, tra 10 e 40 m di profondità, i fondali perdono la loro omogeneità divenendo fortemente articolati e presentando delle forme positive. Alcune di tali forme corrispondono a culminazioni del substrato, che hanno costituito la base di appoggio per la crescita di posidonieti e biocostruzioni.

Per ciò che concerne l'**assetto sismostratigrafico e morfologico**, nel settore oggetto di studio, la sequenza deposizionale post-glaciale sembra essere per gran parte costituita dall'attuale sedimentazione pelitica di piattaforma. Tuttavia, in alcune aree ristrette, tra la superficie di erosione würmiana e la coltre pelitica superficiale, sono presenti dei corpi sedimentari probabilmente sabbiosi depositi durante la trasgressione versiliana ([Chiocci, 1996](#)). Nella fascia batimetrica compresa tra 60 e 110 m di profondità, sono stati rilevati due corpi sedimentari con facies acustica caratteristica. Entrambi sono subaffioranti sul fondo del mare o ricoperti da un'esile copertura pelitica, presentano spessori sino a circa 16 m e sono localizzati in prossimità di alti morfologici dovuti alla risalita dell'unità tettonizzata. La loro facies acustica (poco trasparente), la loro posizione stratigrafica (tra la superficie d'erosione würmiana e la coltre pelitica attuale), la loro localizzazione (in prossimità di probabili paleopromontori) li fanno interpretare come cunei sedimentari, probabilmente di natura sabbiosa, depositi durante le prime fasi della risalita del livello del mare in zone protette per la sedimentazione. Tra Foce Verde e Sabaudia, è stato rilevato un altro deposito posizionato tra 20 m e 80 m di profondità, con caratteristiche acustiche e geometriche che lo fanno attribuire a paleocordoni litorali sottoposti ad una forte erosione post-deposizionale oppure a depositi di probabile origine fluviale con litologie anche molto eterogenee.

Infine, questo settore di piattaforma è caratterizzato da estese aree con spessori esigui o nulli di pelite, coincidenti con le zone in cui sono affioranti (o subaffioranti) sul fondo del mare l'unità tettonizzata e le testate di strato della serie clinostratificata (Chiocci, 1996; Università La Sapienza, 1999). Altri minimi sono invece dovuti alle ondulazioni delle superfici di base, connesse a corpi sabbiosi relitti. La mancanza di grossi spessori è da attribuire a una forte sottoalimentazione della piattaforma anche nell'attuale fase di alto stazionamento dovuta a mancanza di grossi corsi d'acqua in grado di rifornire notevoli quantità di sedimenti ed alla presenza della Pianura Pontina, che ha rappresentato una trappola.

Nelle figure 4.1.5a e 4.1.5b vengono infine riportati due stralci delle tavole n. 158 (LATINA) e n. 159-170 (TERRACINA – FROSINONE) dell'Atlante delle Spiagge Italiane (CNR, 1985), in cui sono riassunte informazioni relative alla pendenza dei fondali, al trasporto sedimentario lungo costa, alle categorie granulometriche dei sedimenti, all'ubicazione delle opere e alla tendenza evolutiva del litorale aggiornata al 1977.

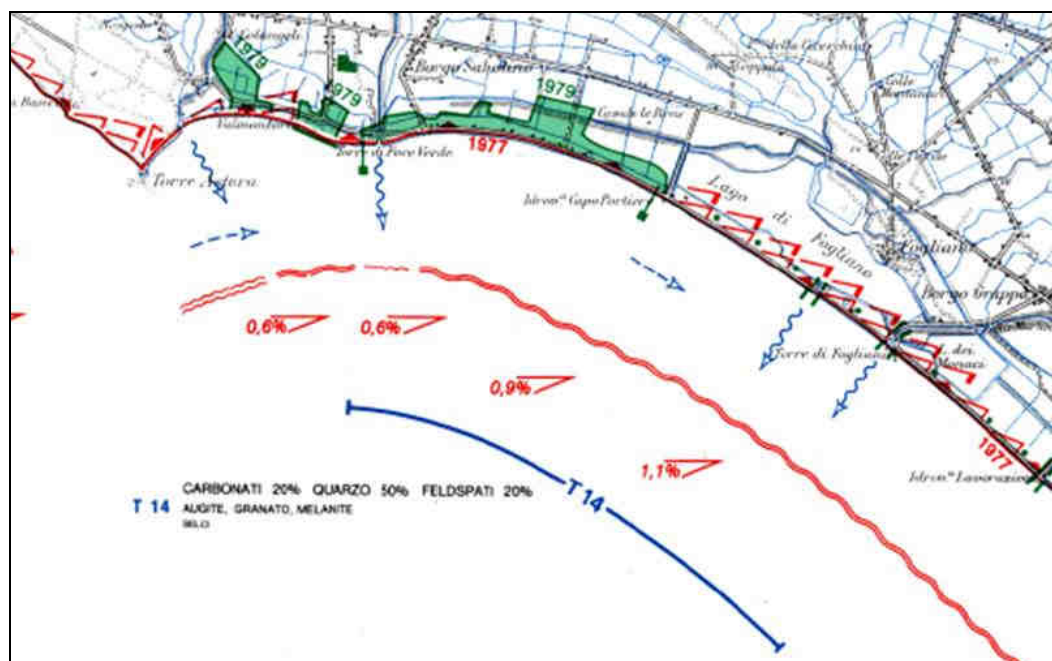


Figura 4.1.5a – Stralcio della tavola 158 (LATINA) tratta dall'Atlante delle Spiagge Italiane (CNR, 1981). Vengono riportate la pendenza dei fondali, il trasporto sedimentario lungo costa, le categorie granulometriche dei sedimenti, l'ubicazione delle opere e la tendenza evolutiva del litorale al 1977.

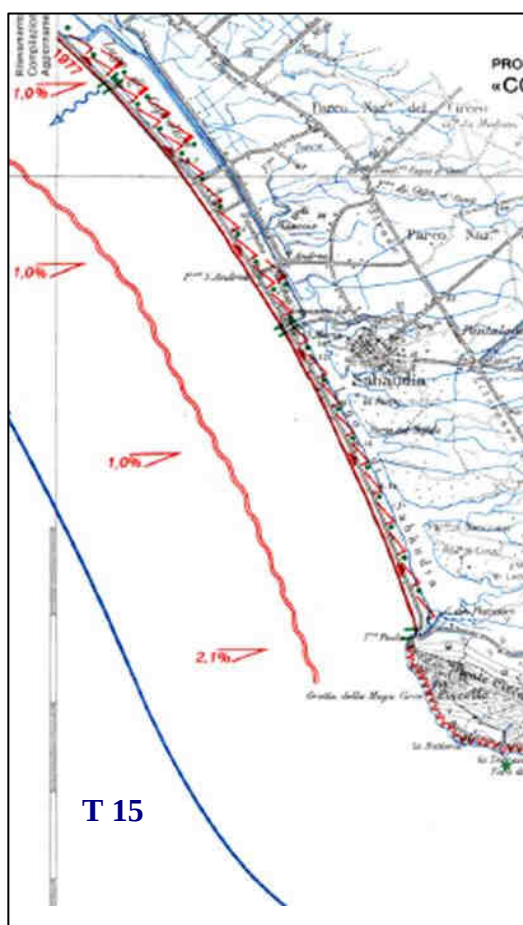


Figura 4.1.5b - Stralcio della tavola 159-170 (TERRACINA – FROSINONE) tratta dall'Atlante delle Spiagge Italiane (CNR, 1981). Vengono riportate la pendenza dei fondali, il trasporto sedimentario lungo costa, le categorie granulometriche dei sedimenti, l'ubicazione delle opere e la tendenza evolutiva del litorale al 1977.

4.2. Vincoli paesaggistici e ambientali

Per quanto riguarda una rassegna e descrizione dei vincoli paesaggistici e ambientali presenti all'interno dell'area di studio ([figura 4.2.1](#)), si rimanda al paragrafo 9 della relazione relativa all'Attività A1 – “Analisi critica dei dati bibliografici”.

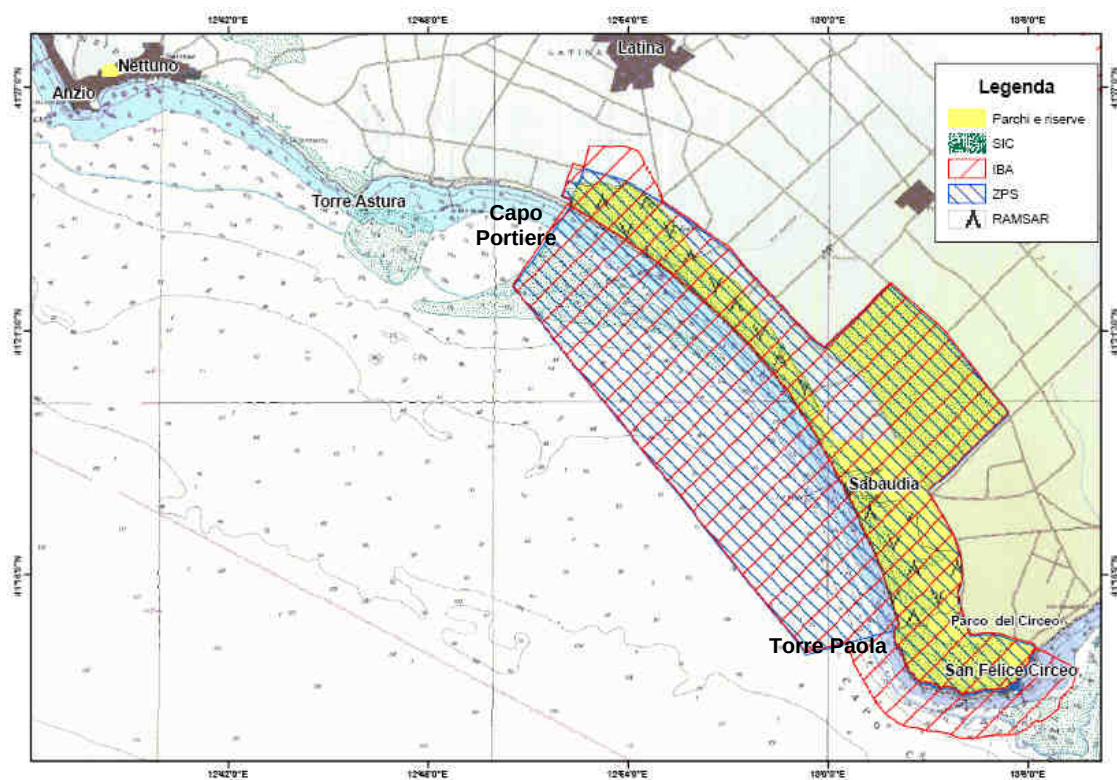


Figura 4.2.1 – Aree protette presenti nel territorio del litorale pontino.

5. MATERIALI E METODI

Per la caratterizzazione delle dune presenti lungo il tratto di litorale che si estende da Capo Portiere a Torre Paola, è stato adottato come riferimento il protocollo internazionale del Report Tecnico di Fase B del sottoprogetto POSIDuNE - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles (AA.VV., 2007), dell'OCR Beachmed-e (<http://www.beachmed.it/Beachmede/SousProjets/POSIDUNE/tabid/99/Default.aspx>).

Più in particolare, ai fini di una caratterizzazione delle dune costiere a scala regionale, l'esame della fascia costiera ha riguardato alcuni degli elementi principali che permettono di definire i caratteri dei sistemi dunali, al fine di rilevare e valutare le modificazioni degli originari equilibri dinamici geologici e vegetazionali e dell'eventuale stato di crisi dell'intero ecosistema. Tali elementi sono di seguito elencati:

- Estensione dei cordoni dunali.
- Stato di attività della duna.
- Copertura e tipologia delle aree vegetate.
- Presenza di elementi di discontinuità morfologiche (varchi) sia naturali che antropici.
- Eventuali opere che influiscono sulla dinamica sedimentaria del sistema spiaggia/duna.

5.1. Dati utilizzati

Per il presente studio sono stati utilizzati i dati rilevati mediante fotointerpretazione di tre serie di immagini relative agli anni 1977, 1999 e 2005, al fine di eseguire un'analisi diacrona del sistema spiaggia-duna.

Si tratta di foto aeree in bianco e nero (1977), di foto a colori (1999) e di immagini satellitari (2005) proiettate nel sistema di riferimento UTM WGS 84 - fuso 33 N, le cui caratteristiche sono riassunte di seguito:

- Le foto aeree stereoscopiche acquisite il 16 ottobre 1977 dalla ditta Ferretti, hanno una scala nominale di 1:13.000 e sono state messe a disposizione dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "Sapienza".
- Le immagini utilizzate per l'anno 1998-99 sono costituite da fotografie aeree da alta (Volo Italia 1998-1999, in scala nominale 1:40.000, disponibili *on line* sul Portale Cartografico Nazionale) e da bassa quota (circa 300 fotogrammi riferiti al

1998, in scala nominale 1:13.000, appartenenti a coperture aerofotografiche stereoscopiche pancromatiche b/n realizzate dalle ditte: Rossi, Brescia, Alisud e Portici).

- Le immagini satellitari relative all'intera costa laziale, messe a disposizione dal Centro di Monitoraggio della Regione Lazio, sono state acquisite nel giugno 2005 dal satellite Quickbird 2 della DigitalGlobe®. Lanciato il 18 ottobre 2001, esso ha un'orbita eliosincrona, acquisisce le immagini da un'altezza di 450 km e attualmente è il satellite civile con la definizione spaziale più elevata. La risoluzione geometrica al nadir delle immagini è di 0.61 m nel pancromatico, di 2.44 m nel multispettrale ed una risoluzione radiometrica di 11 bit.

Il tratto di litorale in esame è stato analizzato tramite l'acquisizione di diverse tipologie di variabili relative alla morfologia, alla pressione d'uso, alla vegetazione e alla dinamica dunale.

Tali variabili sono descritte nel paragrafo 5.3.

5.2. Metodologia

Fotointerpretazione

- I dati relativi al 1977 ([Pallottini, 2005](#)) sono stati acquisiti mediante l'interpretazione delle immagini riprese nel 1977 applicando la metodologia descritta all'interno del Report Tecnico di Fase B del sottoprogetto POSIDuNE ([AA.VV., 2007b](#)) tramite l'utilizzo della seguente strumentazione:
 - Stereoscopio Aviopret Wild APT 2, che permette ingrandimenti da 3 a 15.5 volte.
 - Stereoscopio a specchi Wild ST 4, che consente sia una visione alla scala del fotogramma sia ingrandimenti 3x e 8x.
 - Stereoscopio tascabile con oculari 2x.
- I dati relativi al 1999, messi a disposizione dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "Sapienza", sono stati acquisiti nell'ambito del PRIN "I depositi eolici ed il flusso di sedimenti spiaggia - duna" ([Campo e La Monica,](#)

2006) mediante la stessa metodologia (AA.VV., 2007b) e strumentazione sopra descritta.

- I dati relativi al 2005 sono stati acquisiti mediante interpretazione a video utilizzando il *software* ESRI ArcGIS© v. 8.1.

L'analisi è stata circoscritta al tratto di litorale in cui è presente il cordone dunale (da Capo Portiere a Torre Paola), nella fascia di territorio compresa tra la battigia e la strada litoranea, che corre in corrispondenza della cresta dunale. La strada litoranea rappresenta, infatti, un elemento che interrompe la continuità del sistema limitando quasi completamente al solo versante verso mare la porzione di duna che scambia attivamente i sedimenti con la spiaggia antistante. Tale scelta è stata dettata anche dall'incerto posizionamento del limite interno della duna a causa della presenza in quasi tutta l'area di una fitta vegetazione arborea e arbustiva (Campo *et al.*, 2008).

La mancanza di visione stereoscopica nelle immagini satellitari del 2005, ha reso inoltre **incerto il posizionamento del piede della duna.**

Per questo motivo, **i dati relativi al 2005, sono da considerarsi puramente indicativi e funzionali ad una identificazione qualitativa del trend evolutivo del sistema spiaggia – duna a partire dal 1999**, ultimo anno per cui sono disponibili dati relativi al piede dunale rilevato mediante fotointerpretazione.

Al contempo però, l'elevata definizione e il notevole dettaglio tematico delle immagini satellitari utilizzate, hanno consentito di compiere ingrandimenti mirati fino alla scala di 1:1.000 permettendo, in alcuni casi, di superare questa limitazione. Allo stesso scopo, è stato operato un confronto con quanto rilevato nel 1999, confronto reso possibile grazie al breve intervallo di tempo intercorso tra le due prese.

La migliore risoluzione delle immagini satellitari del 2005, ha inoltre consentito: (a) una delimitazione più accurata delle aree urbanizzate ed una conseguente riduzione delle aree non edificate incluse nei poligoni classificati come “urbanizzato sparso”; (b) una individuazione più chiara di tipologia e copertura della vegetazione dunale che ha influenzato, di fatto, i criteri di assegnazione di queste variabili.

Analisi morfologica

Al fine di investigare le interazioni tra il trend evolutivo della spiaggia e quello della duna, sono stati presi in considerazione i dati ottenuti mediante un'analisi morfologica del sistema spiaggia – duna eseguita utilizzando il *software* Digital Shoreline Analysis System (DSAS) 3.2 (Thieler *et al.*, 2005; Pallottini *et al.*, 2008; Pallottini e Cappucci, 2008).

DSAS è un'estensione di ESRI ArcGIS® v.9.x che permette di calcolare la variazione di serie storiche di *shapefiles* lineari tramite la generazione di transetti perpendicolari ad una linea di riferimento (*baseline*) appositamente creata dall'operatore.

In questo caso, la *baseline* è stata posizionata in corrispondenza della strada costiera, che corre parallelamente alla linea di costa e la cui posizione è rimasta invariata nell'arco temporale considerato. Successivamente, il *software* DSAS è stato utilizzato per calcolare sia la variazione della linea di riva che del piede della duna negli anni 1977, 1999 e 2005 (figura 5.2.2) lungo 464 transetti creati con un interasse di 50 m tra Capo Portiere e Torre Paola.

I dati di input, di output e le variabili da essi ricavate, sono schematicamente elencati nella tabella 5.2.2.

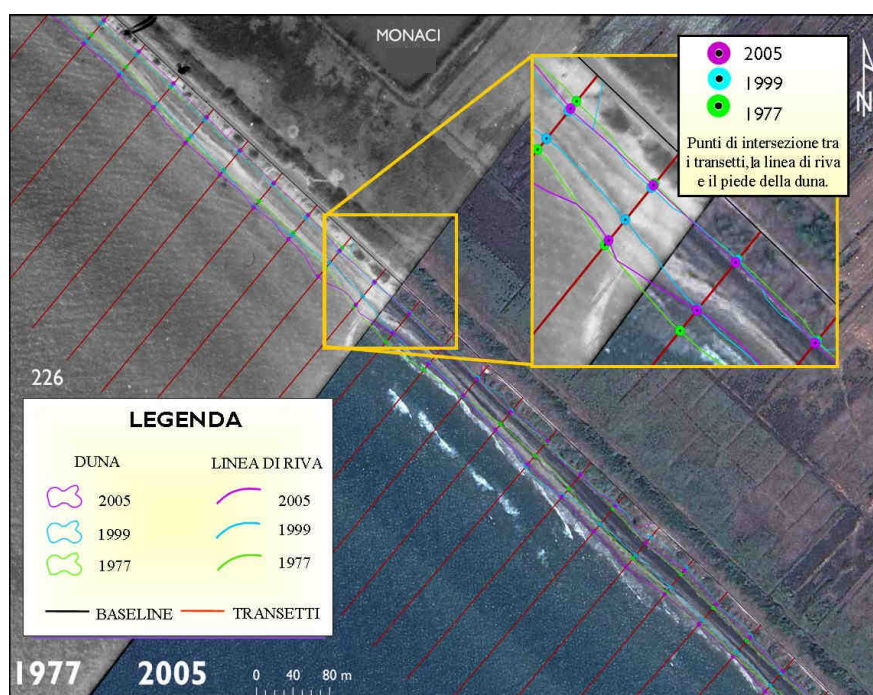


Figura 5.2.2 – Layout che illustra gli output del *software* DSAS, utilizzato per calcolare sia la variazione della linea di riva che del piede della duna negli anni 1977, 1999 e 2005.

Dati di input	▪ Serie temporali di <i>shapefiles</i> lineari (1977, 1999, 2005): - Piede della duna - Linea di riva ▪ <i>Vaseline</i>
Principali dati di output	▪ Transetti ▪ Azimuth ▪ <i>Distance (File *.dbf)</i> ▪ Distanza tra la <i>baseline</i> e i punti di intersezione tra ciascun transetto e gli <i>shapefiles</i> ▪ <i>Net Shoreline Movement (NSM) (File *.dbf)</i> ▪ Variazione lineare tra lo <i>shapefile</i> meno recente e quello più recente
Variabili calcolate a partire dai dati di output	▪ Ampiezza del sistema spiaggia – duna (distanza tra la <i>baseline</i> e la linea di riva) nel 1977, nel 1999 e nel 2005 ▪ Ampiezza della duna (distanza tra la <i>baseline</i> e il piede della duna) al 1977, nel 1999 e nel 2005 ▪ Ampiezza della spiaggia (distanza tra la linea di riva e il piede della duna) nel 1977, nel 1999 e nel 2005 ▪ Variazione lineare della linea di riva negli intervalli di tempo 1977-1999 e 1999-2005 ▪ Variazione lineare del piede della duna negli intervalli di tempo 1977-1999 e 1999-2005

Tabella 5.2.2 – Dati di input, di output e parametri ricavati dall'analisi morfologica mediante DSAS®.

5.3. Parametri analizzati

Estensione dei cordoni dunali

La superficie delle dune presenti sull'arenile presa in considerazione in questo studio è relativa al solo versante marino (sopravento). **Il poligono relativo all'estensione del cordone dunale è quindi delimitato verso l'entroterra dalla strada costiera e verso mare dal piede della duna.**

Stato di attività delle dune (dinamica)

Lo stato di attività di una duna dipende dall'esistenza o meno di uno scambio di sedimento con la spiaggia antistante. In base allo stato di attività si può effettuare una distinzione tra dune inattive e dune attive o riattivate (AA.VV., 2007b).

Nei dati utilizzati nel presente lavoro, la dinamicità delle dune è stata considerata in funzione alla loro proprietà di variare nel tempo la loro posizione assoluta e relativa (cioè rispetto all'arenile antistante).

Per una valutazione corretta dello stato delle dune costiere oggetto del presente studio, l'analisi è stata estesa anche alla morfologia e all'evoluzione della **spiaggia emersa**, dal momento che esiste una **stretta interconnessione** tra questo sistema e quello della **prima duna litoranea**:

➤ *Ampiezza della spiaggia emersa*

Per permettere un sufficiente apporto di sedimenti in grado di garantire la buona sopravvivenza per la duna, che a sua volta costituisce un'importante risorsa di sedimenti per l'equilibrio della spiaggia, è necessario che il litorale sia caratterizzato da un'ampiezza minima, funzione del tasso di trasporto eolico.

L'ampiezza dell'arenile è dunque un fattore che può permettere di stabilire con buona approssimazione le condizioni di un cordone dunale poiché, se modesta ($A < 20$ m), è probabile che la duna retrostante presenti segni di erosione al piede e si trovi in condizioni di degrado; nel caso in cui la spiaggia sia ampia ($20 < A < 60$ m) o molto ampia ($A > 60$ m), è ipotizzabile che le condizioni della duna non siano critiche.

➤ *Tendenza evolutiva della spiaggia emersa*

Spiaggia e duna costituiscono due distinte componenti dello stesso sistema, strettamente dipendenti l'una dall'altra (Psuty, 1986). Per questo motivo, è verosimile aspettarsi che i cambiamenti che interessano la morfologia della spiaggia emersa abbiano un'influenza diretta sulle variazioni relative al primo cordone litoraneo, tenendo presente che le tendenze evolutive di queste due componenti possono essere sia concordi che discordi (Psuty, 1988).

Nello studio delle dune costiere è quindi indispensabile conoscere anche la tendenza evolutiva della spiaggia antistante, rilevando i tratti costieri in avanzamento, quelli in arretramento e quelli stabili.

Elementi di discontinuità morfologica (varchi naturali ed antropici)

Data l'importanza rivestita dalla presenza, all'interno della duna, di elementi di discontinuità, sono stati individuati e localizzati i varchi presenti sui cordoni dunali.

Tali elementi sono un importante indice di fragilità strutturale in quanto, dove la morfologia dei depositi è interrotta, l'azione erosiva del vento o di altre forzanti è più

incisiva e può generare una intensa erosione del deposito. Tenendo conto delle differenti cause all'origine di tali elementi di discontinuità, è stata operata una distinzione tra varchi antropici (strade e camminamenti) e varchi naturali (ad es. *blowout*, solchi determinati da erosione per ruscellamento, ecc.).

Copertura e tipologia della vegetazione dunale

Trattandosi di un'analisi delle dune costiere tesa anche a valutarne lo stato di conservazione, non può essere tralasciato l'importante ruolo di protezione che la vegetazione riveste nei confronti dei cordoni dunari. Per questo motivo, un ulteriore elemento preso in considerazione è quello relativo alla copertura vegetale, distinta sia in relazione alla tipologia di portamento predominante (arboreo, arbustivo, erbaceo) che alla densità (vegetazione rada o assente) (AA.VV., 2007b).

L'analisi ha tenuto conto anche conto del grado di antropizzazione della fascia costiera, uno dei fattori più incisivi per quanto riguarda lo stato di conservazione delle dune costiere:

Antropizzazione e uso della spiaggia

Il grado di antropizzazione/urbanizzazione della fascia costiera contribuisce in maniera preponderante a determinare l'elevato stato di degrado e di erosione mostrato dalla maggior parte delle dune. Ai fini di una valutazione dell'attuale stato di conservazione delle dune costiere, è quindi indispensabile individuare l'estensione delle diverse tipologie di copertura del suolo nelle adiacenze dei cordoni dunali, quali ad esempio aree intensamente urbanizzate o con urbanizzato sparso così come strutture adibite alla balneazione.

Opere che influiscono sulla dinamica sedimentaria del sistema spiaggia-duna

Nella presente relazione (Appendice I) verranno riportate le informazioni relative ad interventi pregressi di ripristino e restauro eseguiti sulle dune oggetto di studio. Per quanto riguarda le informazioni relative ad opere e strutture presenti lungo il litorale in esame (quali ad esempio ripascimenti, ripascimenti protetti, strutture aderenti, pennelli, barriere, ecc.), si rimanda alla relazione relativa all'attività C1 – "Climatologia e morfologia costiera".

6. RISULTATI

Per semplicità e organicità, nella presente sezione i risultati verranno discussi in quattro paragrafi distinti:

- **Morfologia e dinamica**

Considerato il fatto che spiaggia e duna, sebbene costituiscano due componenti distinte dello stesso sistema, sono strettamente dipendenti l'una dall'altra (Psuty, 1986), è verosimile aspettarsi che i cambiamenti che interessano la spiaggia emersa abbiano un'influenza diretta sul primo cordone litoraneo (Psuty, 1988). Di conseguenza, in questo paragrafo vengono riportati i risultati relativi ai **parametri morfologici del sistema spiaggia-duna** (estensione, ampiezza del sistema dunale e della spiaggia antistante) e alla loro **evoluzione** nel periodo di tempo considerato (**aspetti dinamici**). A questo proposito, come già sottolineato nel paragrafo relativo alla metodologia, **si ricorda che i dati relativi alla posizione del piede della duna al 2005 (e quindi tutte le informazioni derivate direttamente da esso, quali l'ampiezza e l'estensione di spiaggia e duna) sono da considerarsi puramente indicativi poiché frutto di un'interpretazione a video priva di stereoscopia e dunque funzionali ad una identificazione qualitativa del trend evolutivo del sistema spiaggia – duna relativo al periodo successivo al 1999**, ultimo anno per cui sono disponibili dati relativi al piede dunale rilevato mediante fotointerpretazione.

- **Copertura e tipologia della vegetazione dunale**

In questo paragrafo verranno riportati i risultati relativi alla copertura e alla tipologia della vegetazione presente sul versante marino della duna litoranea.

- **Discontinuità morfologiche**

In questo paragrafo verranno riportati i risultati relativi alle discontinuità morfologiche presenti sulla superficie dunale, sia di origine naturale che antropica.

- **Antropizzazione e uso della spiaggia**

In questo paragrafo verranno discussi i risultati relativi all'impatto umano sulla fascia costiera, con particolare riferimento alle aree antropizzate sul versante marino della duna litoranea e alle strutture turistiche presenti sulla spiaggia antistante.

6.1. Morfologia e dinamica

Come si evince dalla **figura 6.1.1**, che mostra i risultati relativi alla variazione areale del cordone dunale nei tre anni considerati, nell'intervallo di tempo compreso tra il 1977 e il 1999 si verifica una riduzione della superficie dunale pari a 11,72 ettari. Nel 2005, al contrario, la duna occupa una superficie pari a 121,26 ettari, maggiore di 3,19 ettari rispetto a quella occupata nel 1999.

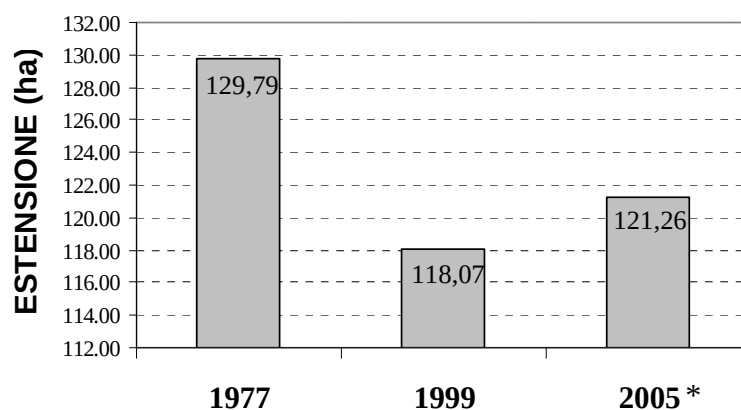


Figura 6.1.1 – Estensione del cordone dunale da Capo Portiere a Torre Paola (espressa in ettari) nel 1977, 1999 e 2005. * Dato derivato da interpretazione a video priva di stereoscopia.

Estendendo l'analisi della **variazione areale** al sistema spiaggia-duna (quindi alla superficie compresa tra la strada costiera e la battigia) e alla sola spiaggia emersa (superficie compresa tra il piede della duna e la battigia) dell'intera unità fisiografica, emerge una condizione di generale equilibrio. I risultati sono riportati in **tabella 6.1.1**.

	SISTEMA SPIAGGIA-DUNA	SPIAGGIA EMERSA
1977	235.64 ha	107.32 ha
1999	255.51 ha	137.45 ha
2005*	250.97 ha*	128.46 ha

Tabella 6.1.1 - Dati relativi all'estensione areale del sistema e della spiaggia emersa per l'unità fisiografica nel 1977, 1999 e 2005. *Dato derivato da interpretazione a video priva di stereoscopia.

A scala più dettagliata, tuttavia, è generalmente possibile suddividere il litorale in settori stabili, settori in avanzamento e settori in arretramento in cui le tendenze evolutive di spiaggia e duna riscontrate sono alternativamente concordi e discordi. Nelle figure 6.1.2a e 6.1.2b, viene illustrato un grafico che mostra la presenza dei settori sopra citati nel tratto di litorale antistante il Lago di Fogliano, esemplificativo dell'intera fascia costiera analizzata.

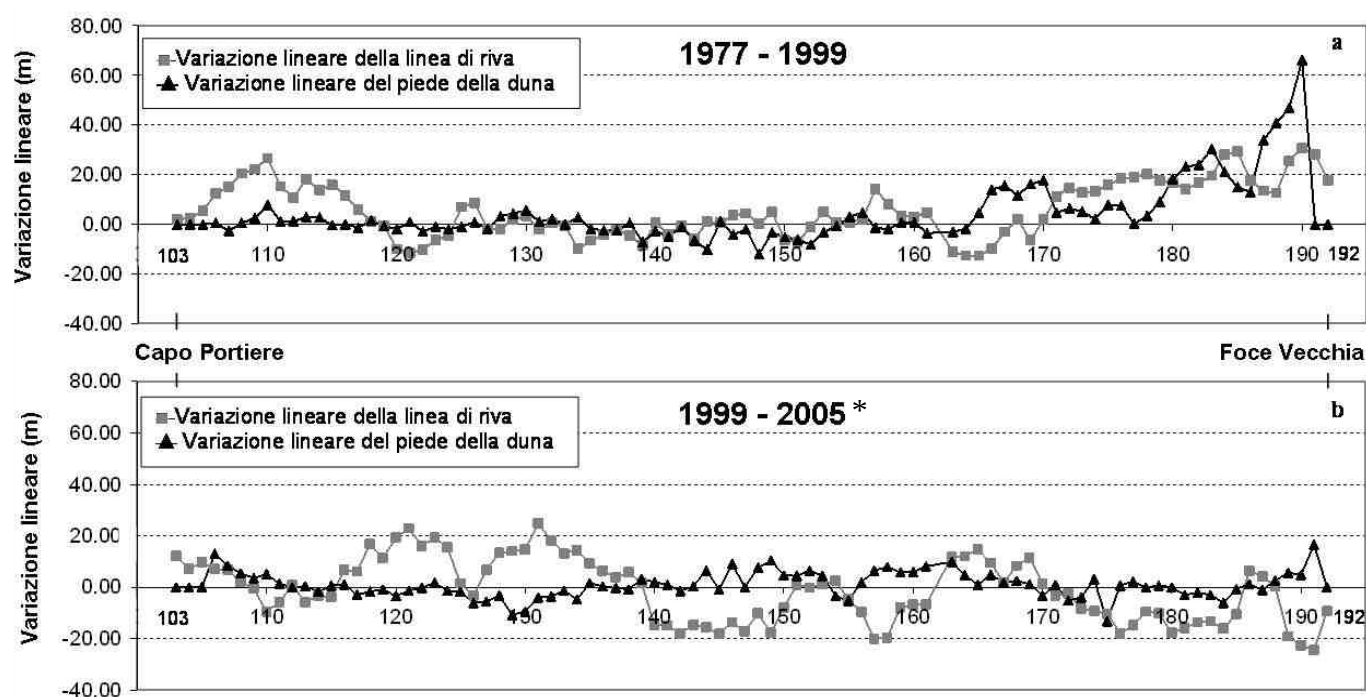


Figura 6.1.2 - Variazione lineare (espressa in m) della linea di riva e del piede della duna negli intervalli di tempo 1977 – 1999 (a) e 1999 – 2005* (b) in corrispondenza del litorale antistante il Lago di Fogliano. Tale tratto, esemplificativo dell'intero litorale analizzato, è contraddistinto dalla presenza di settori in avanzamento ed arretramento in cui le tendenze evolutive della linea di riva e del piede della duna sono alternativamente concordi e discordi. In ascissa sono riportati i numeri identificativi dei transetti creati per l'analisi morfologica. * Dato derivato da interpretazione a video priva di stereoscopia.

Nella tabella 6.1.2 sono invece riepilogati i dati relativi all'ampiezza della duna e della spiaggia antistante.

La duna presenta un'ampiezza media costante nel tempo pari a circa $43 \div 45$ m, passando da un minimo di $7 \div 9$ m, nel tratto antistante i Laghi di Fogliano e Monaci, ad un massimo di $113 \div 108$ m, nei pressi di Torre Paola. Analogamente, la spiaggia antistante mostra un'ampiezza media compresa tra ~ 34 m e 39 m ed un'elevata variabilità tra i valori di ampiezza minima (~ 10 m) e massima (110 m).

	SPIAGGIA EMERSA			DUNA		
	1977	1999	2005*	1977	1999	2005*
A min	09,91	14,61	10,76	7,67	1,93	9,19
A media	34,00	39,87	36,14	45,42	43,90	45,12
A max	98,34	108,65	114,71	113,97	108,11	108,11

Tabella 6.1.2 - Ampiezza (A) della spiaggia emersa e della duna nel 1977, 1999 e 2005, espresse in metri. * Dato derivato da interpretazione a video priva di stereoscopia.

Va sottolineato che le ampiezze minime della spiaggia emersa riscontrate nei tre anni (1977, 1999 e 2005) corrispondono sempre all'*embayment* di una *sand wave*, definito come il punto in cui la linea di riva assume la posizione più vicina al limite interno della spiaggia emersa (figura 6.1.3). Questo sembra suggerire che le condizioni del sistema sono stabili e i tratti più critici siano sia spazialmente che temporalmente transitori e legati alla dinamica litoranea. Infatti, le *sand waves* non mantengono la stessa posizione nel tempo ma migrano lungo la costa suggerendo che la quantità di sedimento presente all'interno del sistema sia più o meno costante.

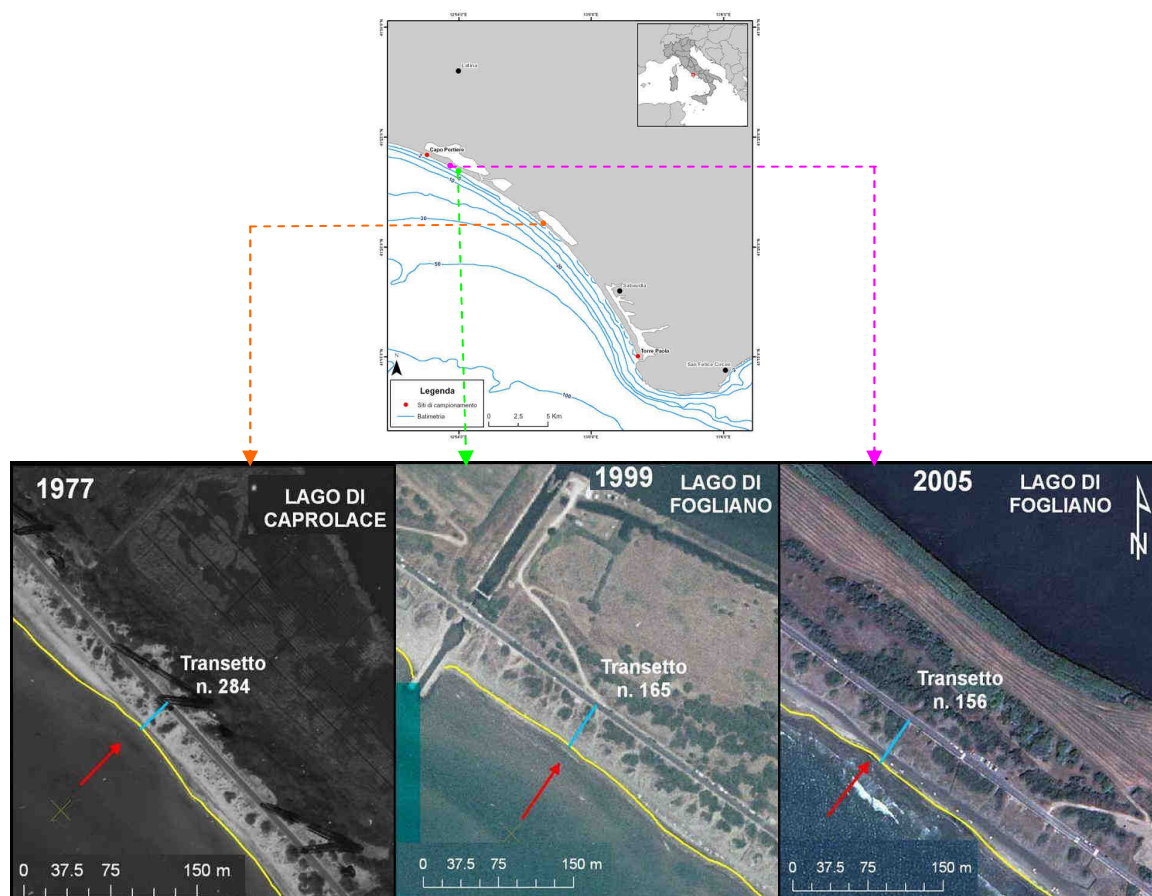


Figura 6.1.3 - Ampiezze minime della spiaggia emersa nel 1977, 1999 e 2005 in corrispondenza dell'*embayment* di una *sand wave*, indicato con la freccia rossa. La linea gialla indica la linea di riva. Aggiungere i termini sulle figure.

Questa ipotesi sembra trovare conferma nella [figura 6.1.4](#), riferita al litorale antistante il lago di Fogliano, che mostra un esempio di trasporto di sedimenti lungo riva tra il 1977 e il 2005. Dall'osservazione dell'accumulo dei sedimenti in corrispondenza delle foci armate che interrompono la continuità del litorale ([figura 6.1.5](#)) si può ipotizzare che le *sand waves* siano migrate da NW verso SE (secondo la direzione prevalente delle correnti di deriva presenti in quest'area).

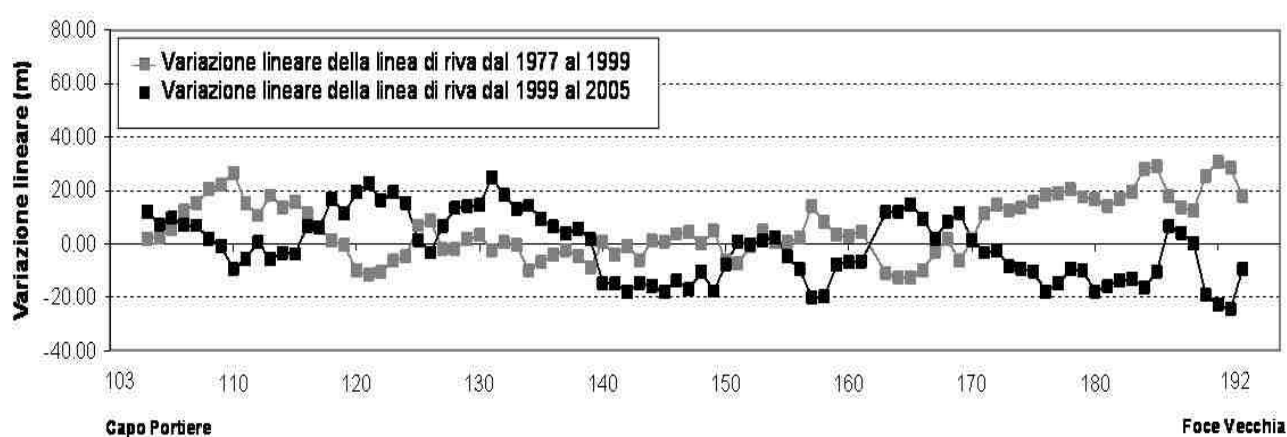


Figura 6.1.4 - Variazione lineare (espressa in m) della linea di riva negli intervalli di tempo 1977 – 1999 e 1999 – 2005 relativi al litorale antistante il Lago di Fogliano. In ascissa sono riportati i numeri identificativi dei transetti creati per l'analisi morfologica.



Figura 6.1.5 - Accumulo dei sedimenti in corrispondenza delle foci armate che interrompono la continuità del litorale, relativo all'anno 2005. Dall'andamento della linea di riva, si può dedurre che le correnti di deriva presenti in quest'area hanno una direzione prevalente che va da NW verso SE.

6.2. Copertura e tipologia della vegetazione dunale

A livello generale, si può affermare che dal 1977 al 1999 la copertura vegetale è andata progressivamente riducendosi, degradata verso mare anche dall'erosione al piede della duna, di cui si hanno evidenze date dalla diminuzione dell'estensione della duna litoranea registrata per lo stesso periodo (§ 5.1).

Dal 1999 al 2005 si registra invece un aumento della copertura vegetale che, analogamente, potrebbe essere associato all'aumento della superficie dunale riscontrato per lo stesso periodo (§ 5.1).

I dati relativi al grado di copertura, all'estensione e alla percentuale di frequenza delle diverse comunità vegetali presenti sulla duna litoranea da Capo Portiere a Torre Paola sono riportati rispettivamente nella [figura 6.2.1](#), nella [tabella 6.2.1](#) e nella [figura 6.2.3](#).

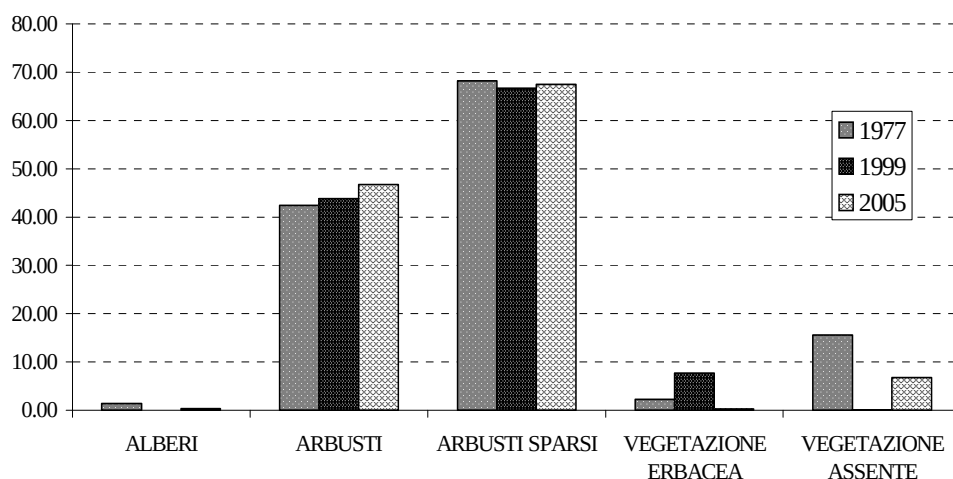


Figura 6.2.1 – Tipologia della vegetazione dunale nel 1977, 1999 e 2005. In ordinata sono riportati i valori in ettari.

	ALBERI	ARBUSTI	ARBUSTI SPARSI	VEGETAZIONE ERBACEA	VEGETAZIONE ASSENTE
1977	140,85	42,41	68,18	2,24	15,54
1999	-	43,79	66,65	7,60	0,02
2005	0,28	46,68	67,39	0,19	6,70

Tabella 6.2.1 – Estensione (espressa in ettari) delle aree vegetate nel 1977, 1999 e 2005 in relazione alla tipologia e al grado di copertura della vegetazione dunale.

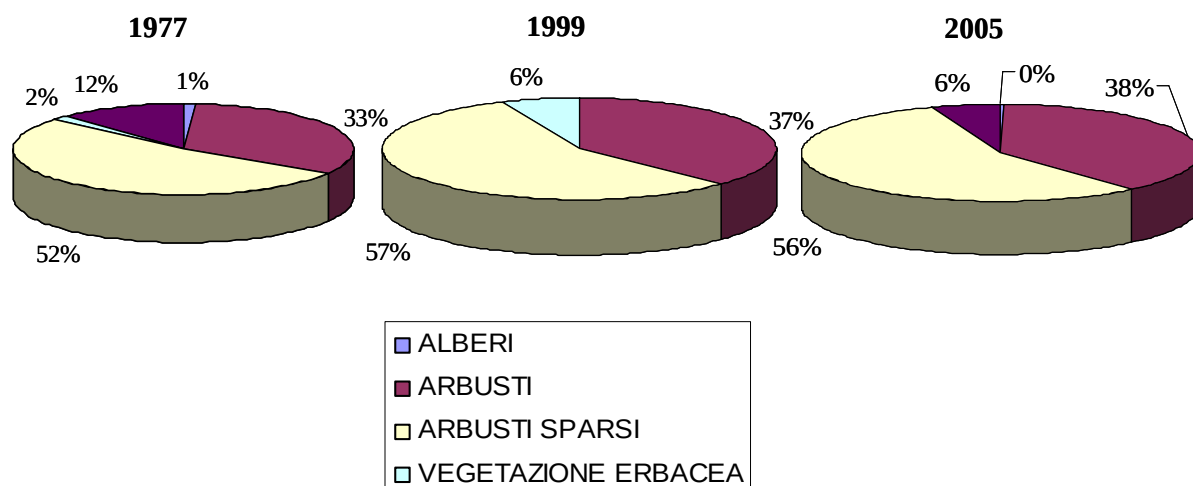


Figura 6.2.3 - Tipologia e percentuale di frequenza delle categorie individuate per la vegetazione dunale all'interno dell'area in esame.

Va sottolineato, tuttavia, che l'attribuzione della **tipologia della vegetazione** è risultata piuttosto difficoltosa, mostrando come la mappatura e la classificazione delle aree dunali vegetate sono strettamente legate all'interpretazione soggettiva dell'operatore che esegue le operazioni oltre che dalla risoluzione delle immagini utilizzate. Ad esempio, sia nel 1977 che nel 2005 sono state rilevate aree coperte da vegetazione arborea che, invece, risultano assenti nel 1999, i cui fotogrammi sono stati interpretati da un altro operatore. Un discorso analogo può essere fatto per quanto riguarda le aree non vegetate o coperte da vegetazione erbacea.

6.3. Discontinuità morfologiche

Le **forme di erosione** sia naturale che antropica (tabella 6.3.1; figura 6.3.1), mostrano un aumento tra il 1977 (61,6 km) ed il 1999 (63,0 km) ed una diminuzione dal 1999 al 2005 (62,6 km). In particolare, quelle di origine naturale appaiono in riduzione, passando da 22,7 km nel 1977 a 19,3 km nel 2005, mentre sentieri e tracce di calpestio sono in aumento, passando da 12,0 km nel 1977 a 16,4 km nel 2005. Un'ipotesi plausibile appare quella secondo cui, nei tratti non protetti o sottoposti ad una maggiore pressione turistica, una parte delle forme di erosione di origine naturale potrebbe essere stata utilizzata dai bagnanti come via preferenziale di accesso alla spiaggia trasformandole, nel tempo, in sentieri (figura 6.3.2).

	Erosione naturale	Sentieri e Camminamenti	Strade	Estensione complessiva dei varchi
1977	22,7 km	12,0 km	26,9 km	61,63 km
1999	22,2 km	13,9 km	26,9 km	63,00 km
2005	19,3 km	16,4 km	26,9 km	62,63 km

Tabella 6.3.1 - Tipologia ed estensione lineare dei varchi presenti da Torre Astura a Torre Paola nel 1977, 1999 e 2005.

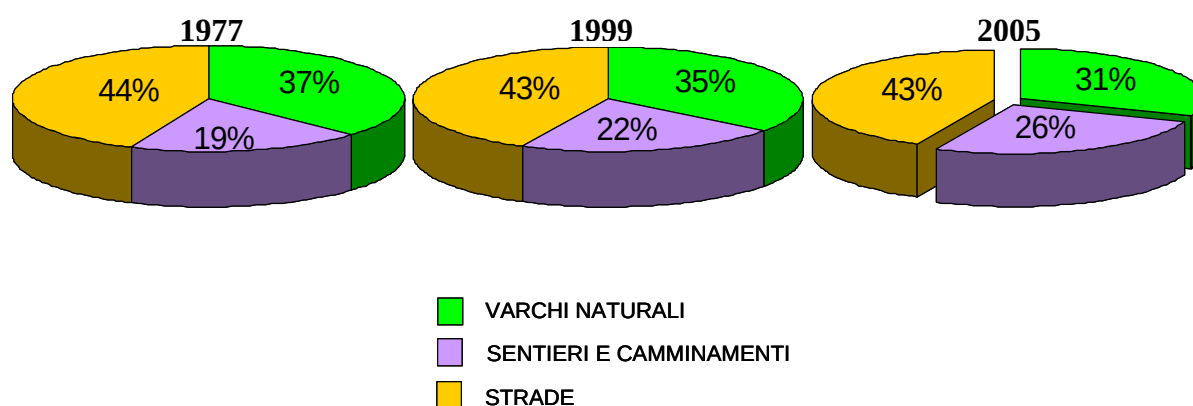


Figura 6.3.1 – Tipologia e percentuale di frequenza delle categorie individuate per le discontinuità morfologiche all'interno dell'area in esame.



Figura 6.3.2 – Esempio, nella zona antistante il Lago di Fogliano, di un’area in cui un varco di origine naturale rilevato nel 1977 è stato successivamente utilizzato per la costruzione di una passerella per l’accesso alla spiaggia.

Inoltre, è interessante notare come nel 1977 il settore più settentrionale del litorale, che si estende da Capo Portiere all’estremità settentrionale del Lago di Sabaudia, risulta interessato solo da forme di erosione naturali, poiché le prime tracce di camminamenti si rilevano solo a partire dal 1999, denotando il minore sfruttamento turistico di quest’area rispetto al litorale più meridionale, dall’estremità settentrionale del Lago di Sabaudia a Torre Paola, molto più compromesso già negli anni ’70.

Per meglio evidenziare queste differenze, nella **figura 6.3.3** è stata visualizzata l’estensione lineare dei varchi naturali ed antropici nei due settori sopra citati, denominati **settore a** e **settore b**.

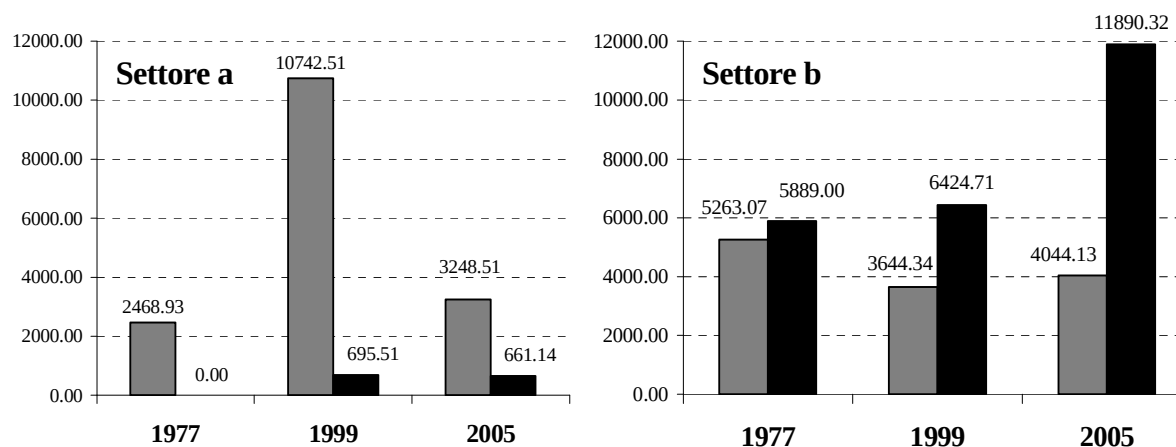


Figura 6.3.3 – Evoluzione dell'estensione lineare (espressa in m) dei varchi naturali (■) e dei varchi antropici (■) nel settore dunale che si estende da Capo Portiere all'estremità settentrionale del Lago di Sabaudia (a) e dall'estremità settentrionale del Lago di Sabaudia a Torre Paola (b).

6.4. Antropizzazione e uso della spiaggia

Per quanto riguarda l'**impatto antropico**, a partire dal 1977, buona parte della spiaggia è stata gradualmente occupata da strutture turistiche, sia permanenti che temporanee, passando da 2,96 ha nel 1977 a 16,62 ha nel 2005 ([tabella 6.4.1](#); [figura 6.4.1](#)).

Si osserva invece una diminuzione delle aree caratterizzate dalla presenza di edifici sparsi, che passano da 35,43 ha nel 1977 a 30,40 ha nel 2005 ([tabella 6.4.1](#); [figura 6.4.1](#)).

Tale dato può essere attribuito alla delimitazione più accurata delle aree urbanizzate effettuata sulle immagini satellitari del 2005 con una conseguente riduzione delle aree non edificate incluse nei poligoni classificati come “urbanizzato sparso” ([figura 6.4.2](#)).

Oltre agli effetti diretti causati dalla costruzione di nuovi edifici e strutture balneari, l'aumento delle presenze turistiche durante la stagione estiva ha causato un accesso incontrollato alla spiaggia e lo sviluppo di sentieri attraverso la duna con un conseguente danneggiamento della continuità della copertura vegetazionale per effetto del calpestio ([Curr et al., 2000](#); [Laranjeira et al., 2007](#)).

	Edifici sparsi	Stabilimenti balneari	Superficie antropizzata complessiva
1977	35,43	2,96	38,39
1999	34,87	6,90	41,78
2005	30,40	16,62	47,02

Tabella 6.4.1 - Tipologia ed estensione delle aree antropizzate (esprese in ettari) presenti nell'area di studio nel 1977, 1999 e 2005.

Analogamente a quanto osservato per lo sviluppo di sentieri e camminamenti, anche per quanto riguarda l'estensione delle superfici antropizzate il litorale può essere suddiviso negli stessi due settori individuati nell'analisi relativa agli elementi di discontinuità morfologica.

I risultati relativi a questi parametri mostrano, infatti, una netta differenza tra la zona che si estende da Capo Portiere fino all'estremità settentrionale del Lago di Sabaudia, e quella che dal Lago di Sabaudia si estende fino a Torre Paola. Quest'ultima, che ha subito i danni più rilevanti a causa del massiccio impatto antropico, attualmente risulta in erosione a differenza di quanto si rileva nella restante porzione di litorale, in

accrescimento, dove le condizioni meno compromesse hanno probabilmente garantito al sistema una maggiore capacità di auto protezione/resilienza.

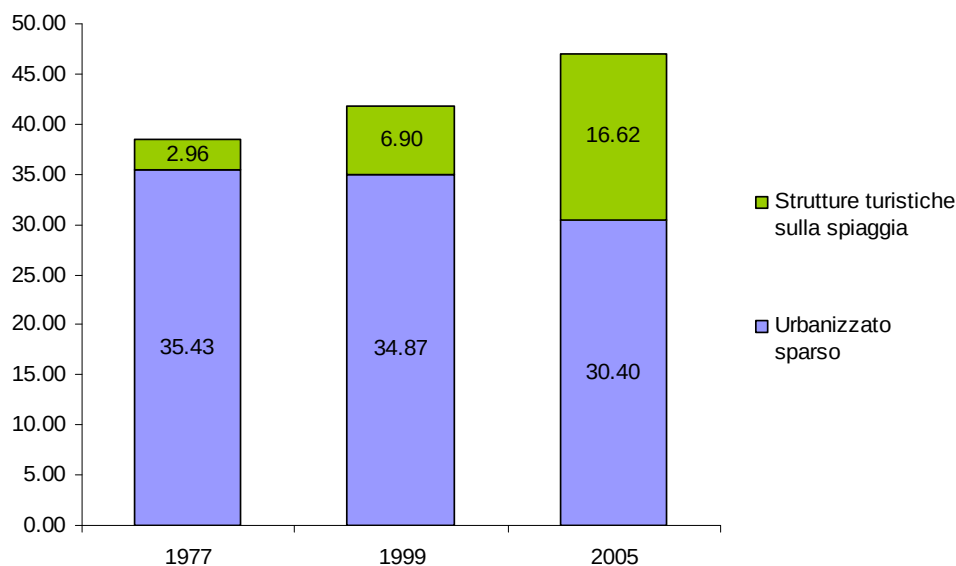


Figura 6.4.1 – Istogramma che illustra la tipologia ed estensione (in ettari) delle categorie individuate per le aree antropizzate all'interno dell'area in esame.

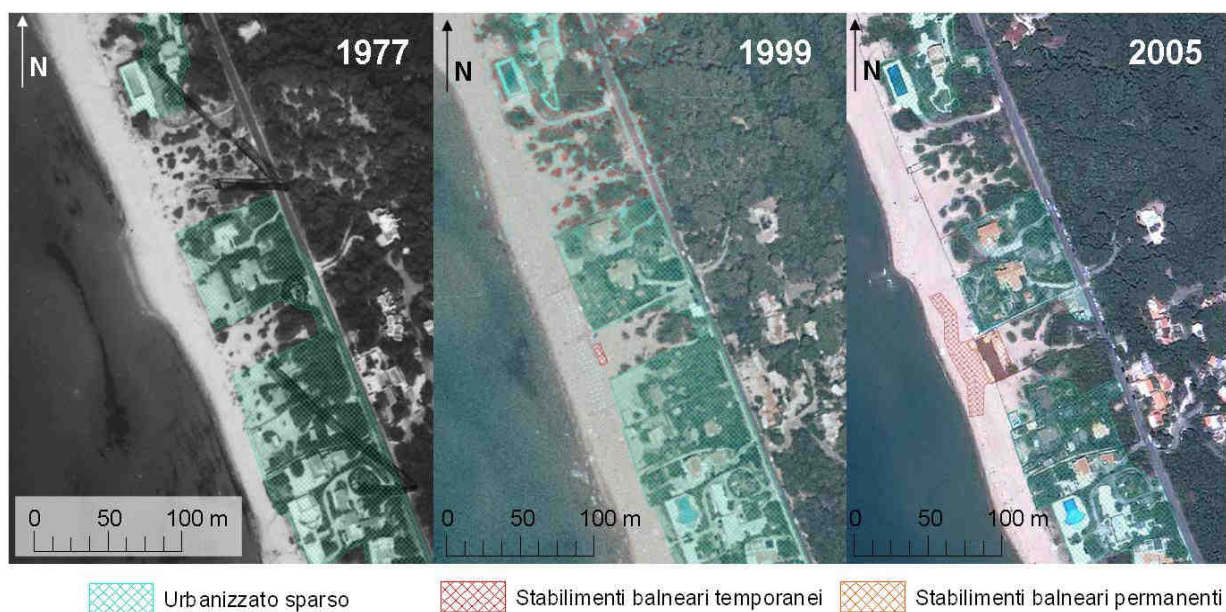


Figura 6.4.2 – Esempio di delimitazione delle aree urbanizzate nel 1977, nel 1999 e nel 2005 nei pressi di Sabaudia. E' possibile notare come nel 2005, grazie alla migliore risoluzione delle immagini satellitari, le superfici edificate sono state perimetrate con maggiore accuratezza.

7. DISCUSSIONE

Dal punto di vista **morfologico**, il dato più significativo riguarda l'estensione del versante marino delle dune costiere, che tra il 1977 e il 1999 si riduce mentre, tra il 1999 e il 2005, mostra una tendenza inversa. La maggior parte di esse, allo stato attuale ancora tutte attive, si trovano alle spalle di spiagge con valori per lo più compresi tra i 20 e i 60 metri.

A questo proposito, interessante è il dato che riguarda la variazione di ampiezza della spiaggia emersa, sia a livello spaziale che temporale. Tale variabilità può essere ricollegata alle *sand waves* dovute alle correnti di deriva litoranea (§ 5.1) e riveste una certa importanza per quanto riguarda l'evoluzione del sistema dunale poiché è stata rilevata, in **alcuni** settori, una corrispondenza tra l'ampiezza della spiaggia ed il *trend* della duna retrostante, mostrando che spiagge caratterizzate da un'ampiezza superiore ai 40 m, presentano una duna in accrescimento (**figura 7.1**).

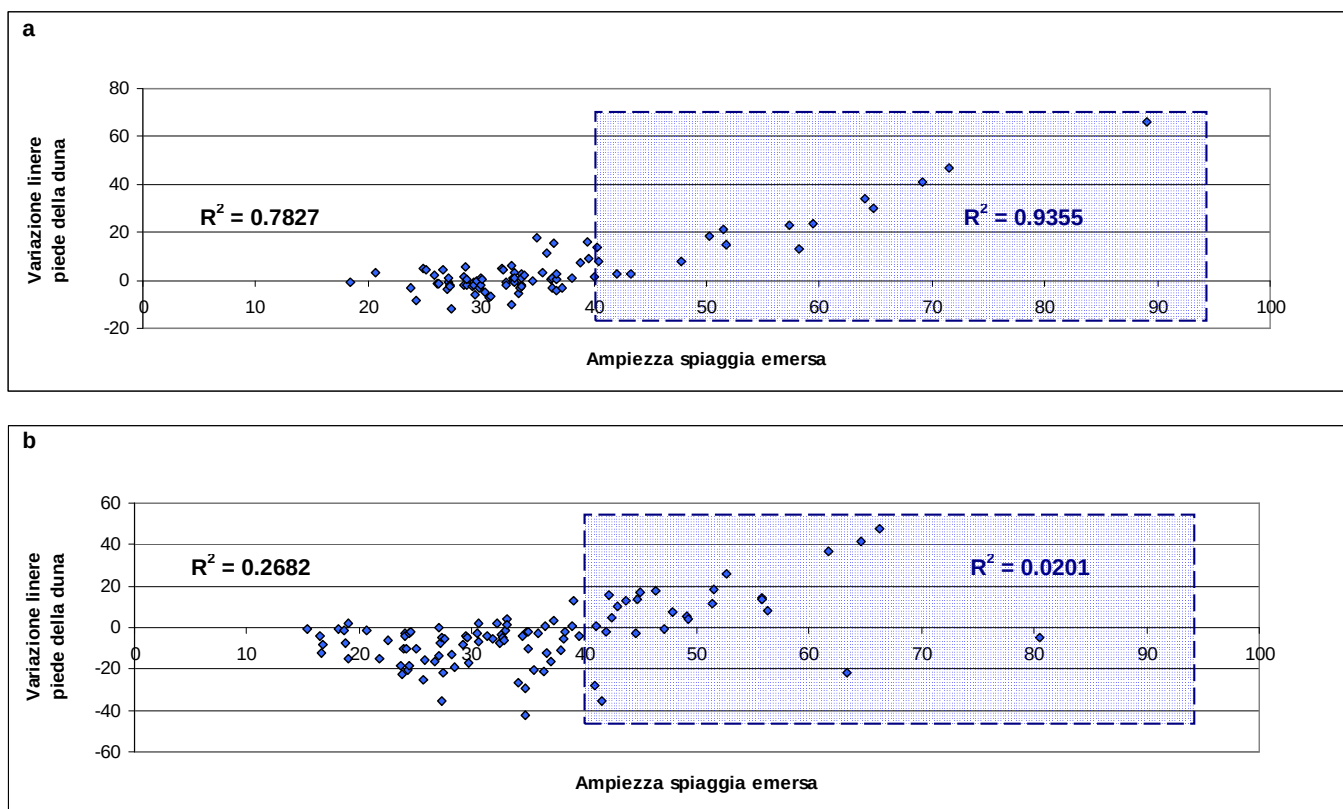


Figura 7.1 – Relazione tra l'ampiezza della spiaggia emersa nel 1977 (in ascissa, espressa in m) e la variazione del piede della duna retrostante tra il 1977 e il 1999 (in ordinata, espressa in m) in due diversi tratti di litorale rappresentativi di situazioni differenti: (a) litorale antistante il Lago di Fogliano e (b) litorale antistante il Lago di Caprolace. A seconda del settore considerato, si nota come spiagge caratterizzate da un'ampiezza superiore ai 40 m, presentano sempre o spesso, una duna in accrescimento.

Dal punto di vista **vegetazionale e delle discontinuità morfologiche**, la situazione appare differente a seconda del settore considerato.

La duna antistante il **Lago di Fogliano** presenta una situazione stabile nell'arco di tempo analizzato. In particolare, nel 1977, uno dei punti maggiormente compromessi dal punto di vista della copertura vegetale si trova in prossimità di Foce Nuova, dove la gran parte della superficie del versante marino della duna litoranea appare non vegetato o coperto da una rada vegetazione di tipo arbustivo. Sono inoltre evidenti varchi di origine naturale, probabilmente ricollegabili a fenomeni di ruscellamento localizzato e deflazione eolica. Nel 1999 le condizioni della duna in questo tratto sembrano ulteriormente peggiorate, poiché alcuni depositi sabbiosi con vegetazione erbacea/pioniera, visibili nell'immagine del 1977 non sono più identificabili nel 1999 (**figura 7.2**). Superata Foce Nuova, le condizioni della duna appaiono peggiori. Nel 1977, la copertura vegetale, sempre arbustiva, è più discontinua e va frammentandosi sempre più fino a giungere presso Foce Vecchia di Fogliano dove, nel 2005, si nota la demolizione di possibili accumuli embrionali di sedimento dovuto all'arretramento del piede della duna (**figura 7.3**).

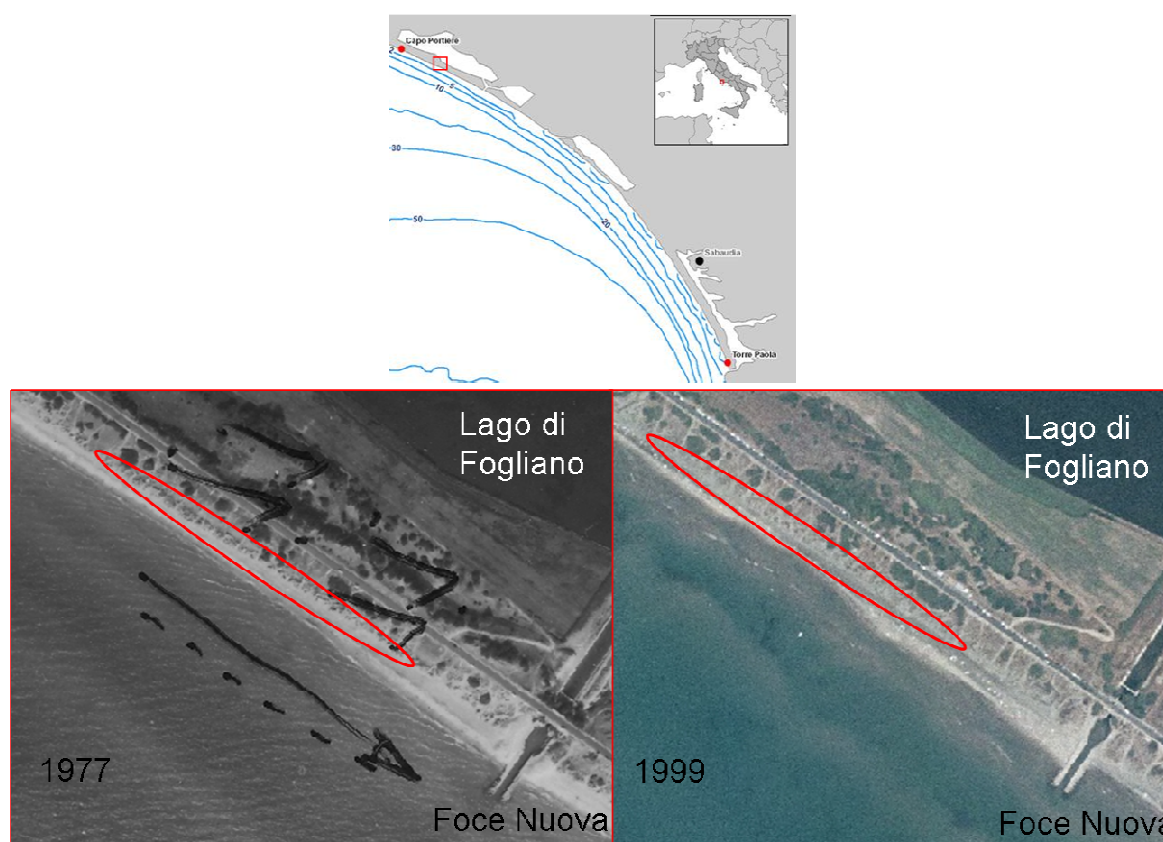


Figura 7.2 - In prossimità di Foce Nuova, la gran parte della superficie del versante marino della duna litoranea appare non vegetato o coperto da una rada vegetazione di tipo arbustivo e presenta varchi di origine naturale. Alcuni depositi sabbiosi con vegetazione erbacea/pioniera, visibili nell'immagine del 1977, non sono più identificabili nel 1999 (evidenziati in rosso).

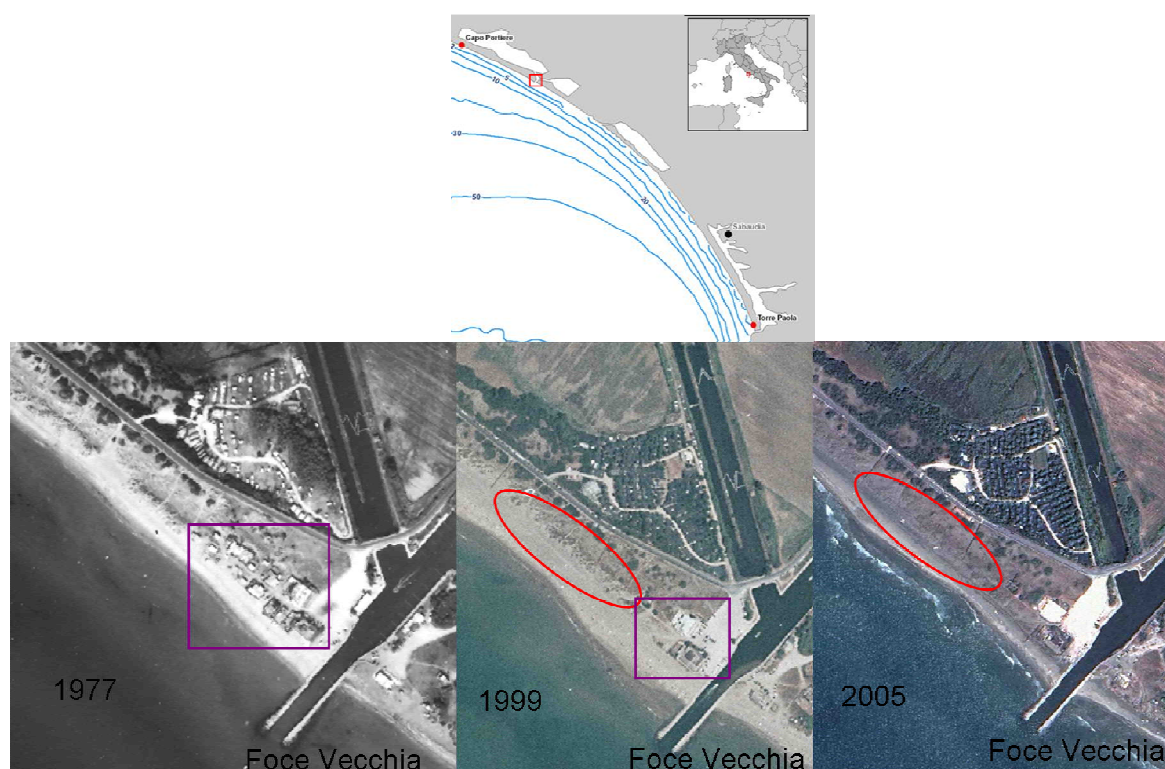


Figura 7.3 - Foce Vecchia di Fogliano. Nel 1999 si nota la riduzione di un'area antropizzata, mentre nel 2005 alcuni accumuli embrionali di sedimento dovuto all'arretramento del piede della duna non sono più identificabili.

Dal 1999 al 2005, nell'intero tratto antistante il Lago di Fogliano, non si osservano particolari variazioni, sia per quanto riguarda la tipologia che la copertura vegetale.

Va comunque evidenziato che, rispetto al 1999, la superficie dunale appare meno solcata da camminamenti: è dunque ipotizzabile che la regolazione dell'affluenza degli accessi pedonali alla spiaggia tramite passerelle abbia dato risultati positivi¹.

Nel tratto che va **dalla foce di Rio Martino (Foce Vecchia) all'Idrovora Lavorazione**, il versante marino della duna litoranea va restringendosi. Il cordone dunale appare estremamente frammentato e con vegetazione rada che, quando presente, è di tipo arbustivo.

In questo settore è possibile fare una valutazione degli effetti della mareggiata dei primi anni ottanta che ha distrutto la strada litoranea, ancora intatta nelle immagini del 1977.

Infatti, nel 2005, è evidente l'effetto positivo dovuto all'interdizione dell'accesso ai veicoli a motore in questo tratto, poiché il varco dovuto alla presenza della strada costiera appare

¹ A questo proposito, si ricorda che, date le differenti caratteristiche delle foto del 1999 e delle immagini del 2005, non è possibile affermare con certezza che queste lievi differenze riscontrate siano rispondenti a realtà.

notevolmente ridotto e, localmente, non identificabile. Il sistema ha quindi ristabilito almeno in parte la sua integrità (figura 7.4).

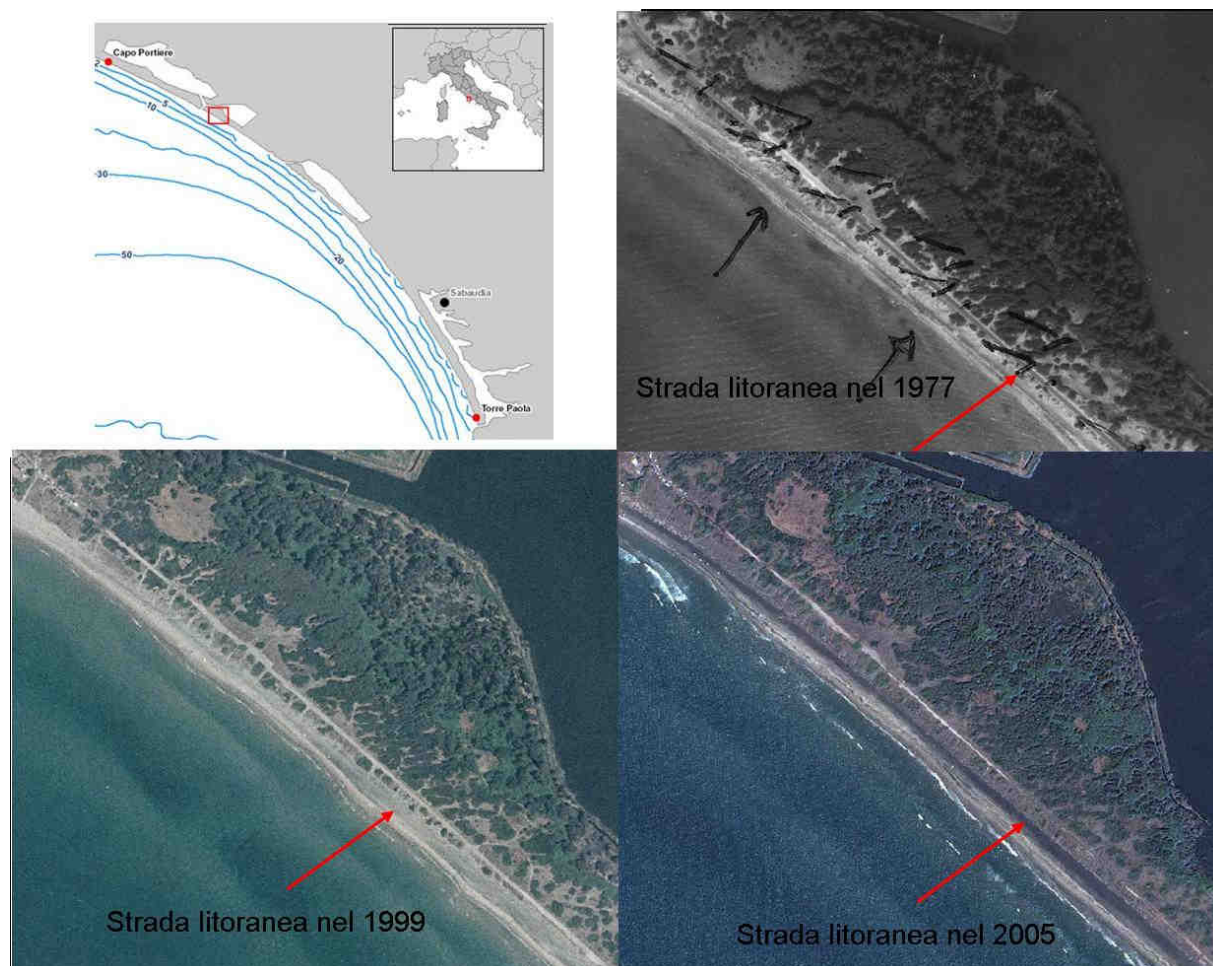


Figura 7.4 – Dune antistanti il Lago dei Monaci in corrispondenza della strada litoranea distrutta da una mareggiata nei primi anni ottanta. La strada appare integra nell'immagine del 1977 e, in quella del 2005, il varco visibile nel 1999 appare notevolmente ridotto e, localmente, non identificabile.

Procedendo verso l'Idrovora Lavorazione, la duna appare più ristretta e coperta da una vegetazione arbustiva più continua. Dove nel 1977 era individuabile una vegetazione pioniera caratteristica dei primi stadi di formazione dei depositi eolici, nel 1999 essa non è più identificabile poiché probabilmente è andata distrutta.

Il confronto tra le immagini del 1999 e quelle del 2005, mette in evidenza una diminuzione della copertura vegetale, in associazione con l'arretramento della spiaggia emersa verificatosi in alcuni tratti.

Nel tratto che si estende **dall'Idrovora Lavorazione all'emissario del Lago di Caprolace**, il versante dunale marino, poco ampio, è caratterizzato da vegetazione sparsa prevalentemente di tipo arbustivo e erbaceo.

Per i primi 4 km circa di litorale, la duna presenta un'estensione costante dal 1977 al 2005. In questo tratto, già nel 1977 sono state segnalate evidenze di scalzamento al piede della duna; in effetti, la vegetazione, prevalentemente arbustiva, è segnata da numerose discontinuità morfologiche dovute a fenomeni erosivi associati a diverse cause naturali (ruscellamento, erosione eolica).

Procedendo verso sud, nel 1999 si registra un arretramento del piede della duna con conseguente danneggiamento della copertura vegetale che si traduce nella scomparsa di tutta la fascia presente nella zona di transizione tra il retrospiaggia e l'avanduna dove la copertura vegetale risulta danneggiata e, localmente, completamente distrutta.

Laddove nel 1999 si era verificato un significativo arretramento del piede della duna con conseguente perdita di copertura vegetale, nel 2005 si registra un nuovo avanzamento con notevole ripresa della vegetazione, che ricolonizza localmente le aree “perse” nel corso del ventennio 1977-1999. Tale tendenza positiva risulta sempre più evidente procedendo verso sud (**figura 7.5**).

A partire dal **Lago di Sabaudia**, procedendo verso **Torre Paola**, la duna litoranea e più in generale l'intera fascia costiera, già nel 1977 è interessata da un massiccio **impatto antropico**, sia per quanto riguarda le superfici edificate o adibite a stabilimenti balneari temporanei, sia per quanto riguarda lo sviluppo di varchi di origine antropica quali sentieri e camminamenti (**figura 7.6**).

Tutta la duna risulta irrigidita dalle costruzioni o dai recinti dei giardini di case private che spesso coincidono con il piede della duna stessa oppure si spingono addirittura nella prima fascia di retro spiaggia.

Per quanto riguarda l'uso della spiaggia, a partire dal 1977, buona parte del litorale è stato gradualmente occupato da strutture turistiche, sia permanenti che temporanee, passando da 2,96 ha nel 1977 a 16,62 ha nel 2005 (**tabella 6.4.1**).

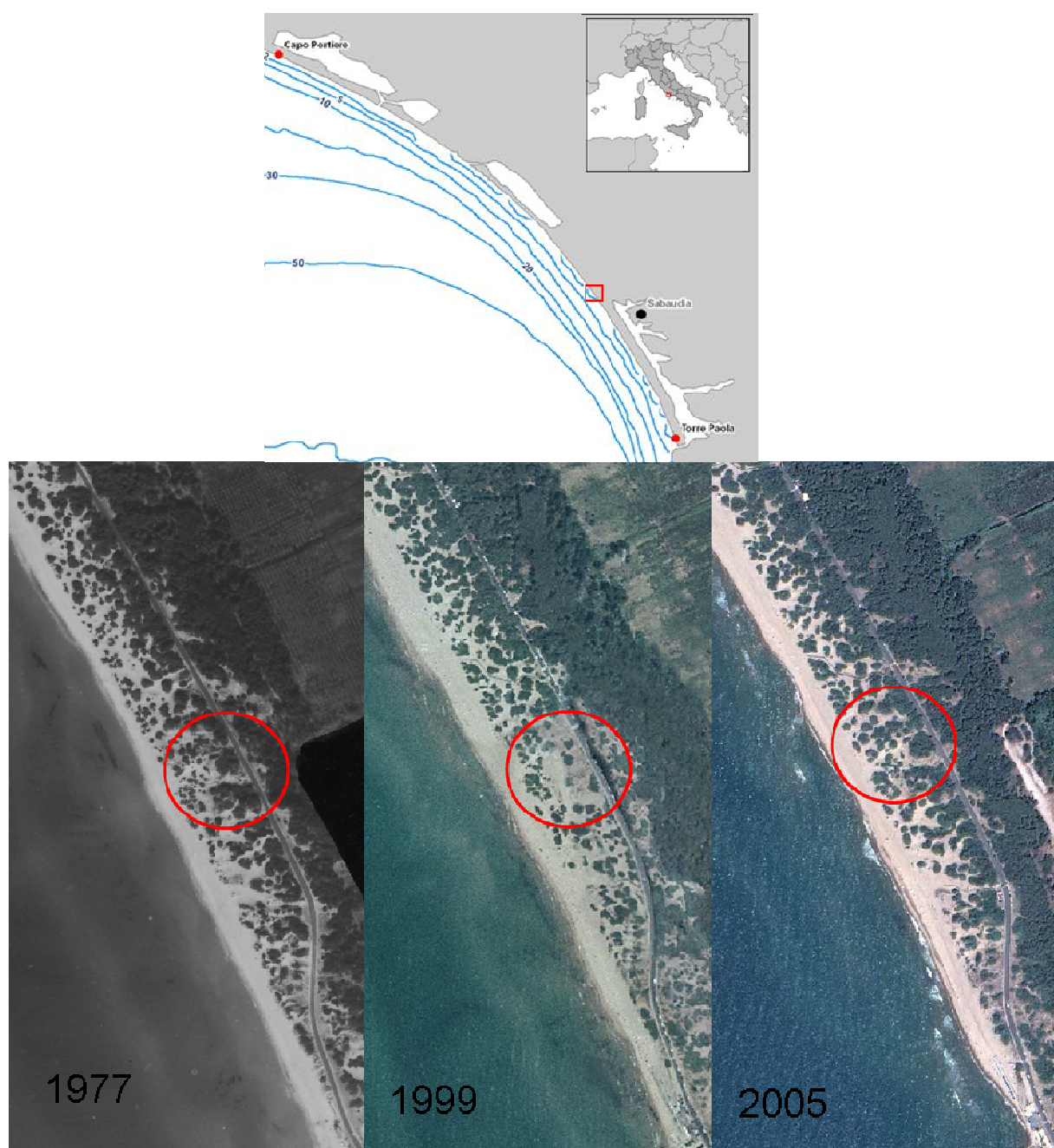


Figura 7.5 - Dune in prossimità dell'Idrovora Lavorazione. Evoluzione della copertura vegetale.

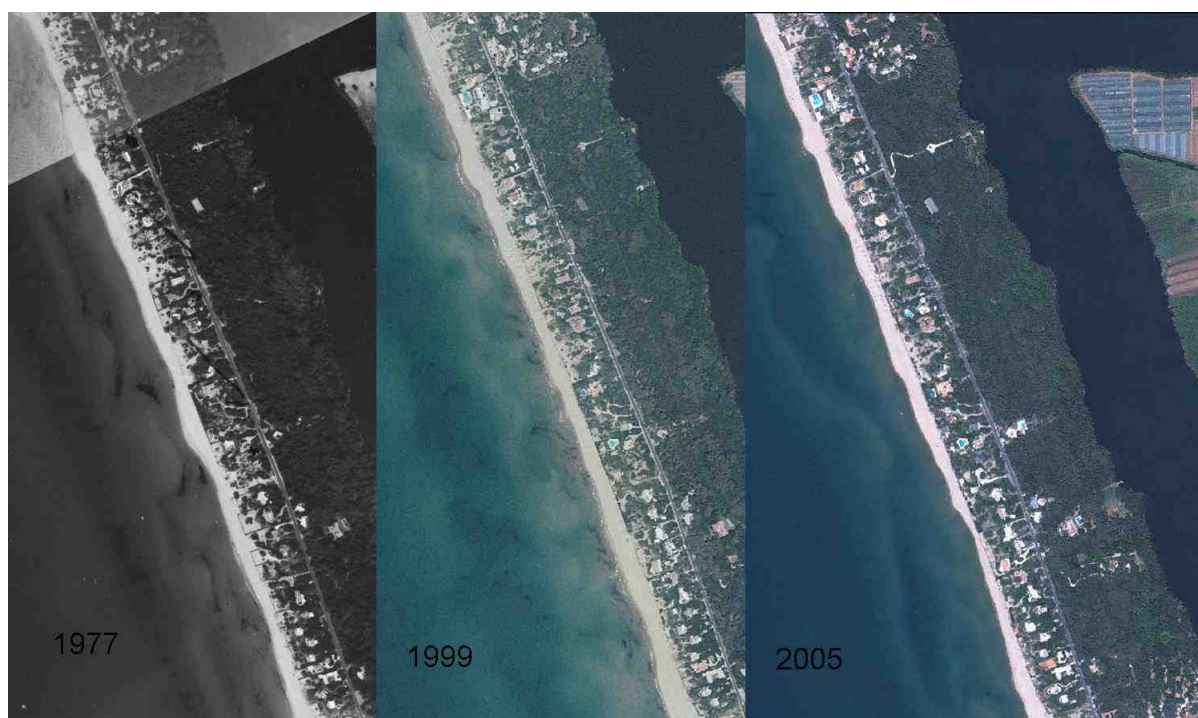


Figura 7.6 - Duna litoranea antistante il Lago di Sabaudia. Il massiccio impatto antropico interessa tutto il cordone, fino ad arrivare a Torre Paola.

In questo settore si trovano dunque cordoni molto discontinui e frammentati, interrotti da un elevato numero di varchi, in larga parte consolidati da vegetazione specializzata, prevalentemente arbustiva a macchia mediterranea. Essi, oltre a presentare le stesse criticità delle presenti anche nel settore più settentrionale (strada litoranea lungo l'asse longitudinale, erosione da ruscellamento, erosione eolica) sono state oggetto nel tempo di una sempre maggiore pressione antropica. Infatti, in una zona dove il turismo rappresenta un'attività molto sviluppata, i solchi naturali vengono frequentemente utilizzati per l'accesso incontrollato alla spiaggia e costituiscono una via da cui si dipartono altre zone di calpestio diffuso da parte di una popolazione di bagnanti che, in occasione della stagione estiva, raggiunge in questo tratto di costa punte molto alte, insostenibili per un ambiente estremamente vulnerabile.

L'**urbanizzazione**, caratterizzata principalmente da abitazioni secondarie di villeggiatura, nel tempo si è diffusa al punto che, attualmente, il cordone dunare, non è più regolare e continuo, ma appare spesso notevolmente "spianato"; ciò che resta è dato da sporadici lembi di quello che una volta era costituito uno o più sistemi di dune cui seguono, verso l'interno, depositi interdunari, molto spesso ricoperti da vegetazione cespugliosa e

arbustiva. In alcuni casi, al posto del cordone dunale si osservano degli ammassi di sabbia sulla cui cima si osservano pochi ciuffi di ammofila.

Tutto ciò ha dunque comportato una profonda alterazione delle dune: gli ambienti naturali e gli originari equilibri dinamici geologici e vegetazionali di questo tratto costiero risultano pertanto modificati e l'intero sistema è in evidente stato di crisi.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sebbene l'analisi di foto aeree possa fornire importanti informazioni sia sulle tendenze evolutive della linea di riva sia sull'entità degli impatti antropici, è bene ricordare che generalmente è possibile ottenere solo informazioni bidimensionali limitando, di fatto, l'attendibilità dei risultati (Saye *et al.*, 2005; Woolard e Colby, 2002) soprattutto per quanto riguarda le considerazioni circa il bilancio sedimentario dei litorali.

Tuttavia, pur tenendo presente questa limitazione, va comunque sottolineato come la caratterizzazione e l'analisi morfologica condotta nel presente studio abbiano fornito importanti informazioni relative allo stato di conservazione e alla dinamica del sistema dunale analizzato.

I risultati mostrano chiaramente che i cambiamenti avvenuti negli ultimi 30 anni sono ascrivibili soprattutto all'**impatto antropico**, i cui effetti, diretti (aree urbanizzate, presenza di strutture turistiche sul litorale, ecc.) e indiretti (calpestio, pulizia degli arenili, ecc.), hanno modificato profondamente il sistema dunale, in maniera sempre più intensa procedendo da NW a SE.

Dal punto di vista **morfologico**, l'analisi condotta ha permesso di fornire alcune utili informazioni. In particolare, le dune ubicate lungo il tratto costiero compreso tra il Capo Portiere e Torre Paola mostrano una variazione areale complessiva che si traduce in un decremento dal 1977 al 1999 ed in un lieve incremento dal 1999 al 2005.

Le dune di questa parte di litorale presentano uno sviluppo lineare subparallelo alla linea di riva, hanno ampiezze variabili da 7 ÷ 9 metri (nel tratto antistante i Laghi di Fogliano e Monaci) fino a 113 ÷ 108 metri (nei pressi di Torre Paola), mediamente comprese tra 43 e 45 metri circa. Per quanto riguarda le quote, ricavate dalle CTR del 2005, esse si aggirano mediamente sui 5-6 metri e, spostandosi verso sud, raggiungono anche gli 8-10 metri, altezze che continuano ad aumentare sempre più procedendo in direzione del Promontorio del Circeo, fino a superare i 20-25 metri nei pressi di Torre Paola. La maggior parte di queste, allo stato attuale ancora tutte attive, caratterizzano spiagge ancora abbastanza ampie, con valori per lo più compresi tra i 20 e i 60 metri.

Dal punto di vista **dinamico**, la difficoltà nel posizionare correttamente il piede della duna da un lato e la mancanza di dati aggiornati relativi alle altezze (e quindi ai volumi) dall'altro,

rendono le informazioni considerate nella presente analisi, insufficienti per una corretta interpretazione e valutazione dell'effettivo stadio evolutivo delle dune.

Al fine di comprendere più approfonditamente la dinamica delle dune costiere in esame, emerge dunque la necessità di condurre una caratterizzazione di maggior dettaglio. A questo proposito, l'utilizzo del LIDAR ([AA.VV., 2008](#)) per l'acquisizione di numerosi dati ad elevata risoluzione per la caratterizzazione di sistemi dunali ([Andrews *et al.*, 2002](#); [Woolard e Colby, 2002](#)) e la quantificazione delle variazioni della spiaggia ([Sallenger *et al.*, 2003](#)) sembra costituire una possibile soluzione per superare le limitazioni legate al metodo della fotointerpretazione.

Inoltre, dagli studi più recenti volti all'ottimizzazione delle tecniche di classificazione e mappatura della **vegetazione** tramite l'utilizzo di dati telerilevati, l'elaborazione di immagini satellitari sfruttandone le proprietà spettrali ([Kumar *et al.*, 2001](#); [Thackrah *et al.*, 2002](#)) e l'elaborazione di dati LIDAR ([De Lange *et al.*, 2004](#); [Ritchie *et al.*, 2001](#)) appaiono oggi le strade più promettenti e vantaggiose per analisi relative all'evoluzione e al monitoraggio della vegetazione dunale.

9. BIBLIOGRAFIA

- Almagià R. (1975) – Lazio. Collana: “Le Regioni d’Italia”, 757 pp. UTET, Torino.
- AA.VV. (2005) - I depositi eolici delle coste italiane e il flusso di sedimenti spiaggia-duna. *Atti del Congresso Cagliari* – Arbus – Loc. Piscinas, 60 pp.
- AA.VV. (2007) – POSIDUNE - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l’Environnement des Dunes Naturelles - Cahier Technique étendu de Phase B, INTERREG IIIC Beachmed-e, 127 pp.
<http://www.beachmed.it/Beachmede/SousProjets/POSIDUNE/tabid/99/Default.aspx>
- AA.VV. (2008) – Influence des méthodes et de l’échelle de recherche sur les résultats de la classification de la tendance évolutive des plages. In: OpTIMAL - Optimisation des Techniques Intégrées de Monitoring Appliquées aux Littoraux, Cahier Technique de Phase C, INTERREG IIIC Beachmed-e, 107-145.
- Andrews B.I., Gares P.A., Colby J.D. (2002) - Techniques for GIS modeling of coastal dunes. *Geomorphology*, **48** (1), 289-308.
- Audisio P., Muscio G., Pignatti S., Solari M. (2002) - Dune e spiagge sabbiose - Ambienti fra terra e mare. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio - Museo Friulano di Storia Naturale, Comune di Udine (Ed) - Quaderni Habitat, 4, 160 pp.
- Bagnold, R. A. (1941) - The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, Morrow, New York, (republished in 1954 by Methuen, London), 265 pp.
- Beachmed-e (2007) – La gestion stratégique de la défense des littoraux pour un développement soutenable des zones côtières de la Méditerranée – 1^{er} Cahier Technique Phase A, pp. 131 – 139.
<http://www.beachmed.it/Beachmede/SousProjets/POSIDUNE/tabid/99/Default.aspx>
- Blanc A. C., Segre A. (1953) – Le quaternarie du Monte Circeo. Livret guide, IV Congrès INQUA, pp. 23-108, Roma.
- Boni C., Bono P., Calderoni G., Lombardi S., Turi B. (1980) – Indagine idrogeologica e geochimica sui rapporti tra ciclo carsico e circuito idrotermale nella Pianura Pontina (Lazio meridionale). *Geologia applicata e idrogeologia* – vol. XV, pp. 206-220, Bari.
- Bono P. (1985) - Seminario informativo sui risultati del progetto “laghi costieri”. Terracina 30-31 Gennaio 1985. Latina, Arti grafiche Archimio ed, 163 pp.

- Bovina G., Callori Di Vignale C., Amodio M. (2003) - L'approccio dell'ingegneria naturalistica nella conservazione degli ambienti dunali. In: Regione Lazio (Ed.) "Manuale di Ingegneria Naturalistica", 2, 367-381.
- Bovina G. (2004) – Professione geologo. Notiziario dell'ordine dei geologi del Lazio, 5, pp. 8-11.
- Campo V., La Monica G.B. (2006) - Le dune costiere oloceniche prossimali lungo il litorale del Lazio. *Studi Costieri*, 11, 31-42.
- Campo V., La Monica G.B., Cappucci S., Pallottini E. (in stampa) - Caractérisation des dunes côtières – Région Lazio. In: POSIDUNE - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles - Cahier Technique étendu de Phase C.
- Caraci I. (1968) – Le variazioni della linea di costa laziale tra Torre Astura e il Circeo. Boll. Soc. Geogr. It., S.9, IX, pp. 31-66, Roma.
- Carrara C. (1995) – Elementi di geologia regionale. In: "Lazio meridionale - Sintesi delle ricerche geologiche multidisciplinari". pp. 22-33. ENEA.
- Carter R.W.G., Nordstrom K.F., Psuty N.P. (1990) - The study of coastal dunes. In: Carter R.W.G., Nordstrom K.F., Psuty N.P. (Ed.) - Coastal dunes: form and process, 3-14.
- Chiocci F.L., La Monica G.B. (1996) - Analisi sismostratigrafica della piattaforma continentale. In: Il Mare del Lazio (1996) Elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinico, dinamica dei sedimenti ed apporti continentale. Regione Lazio. Tip. Borgia. Roma, 40-61.
- C.N.R. (1985) – Atlante delle spiagge italiane. Progetto finalizzato "Conservazione del Suolo", sottoprogetto "Dinamica dei litorali", Consiglio Nazionale delle Ricerche, S.E.L.C.A., Firenze.
- Coates T, Brampton A., Motyka G. (2000) - A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems. HR Wallingford e Natural Scottish Heritage - <http://www.snh.org.uk/publications/on-line/heritagemanagement/erosion>. Ultimo accesso: agosto 2008.
- De Lange R., M. Van Til, M., Dury S. (2004) - The use of hyperspectral data in coastal zone vegetation monitoring. *Proceedings EARSeL* 3, 143-153.
- Gatto A. (2002) – Progetto di ripristino naturalistico di un tratto del litorale domitio. Rapporto WWF sezione di Aversa, 78 pp.
- Giovagnotti C., Rondelli F., Pascoletti M.T. (1980) – Caratteristiche geomorfologiche e sedimentologiche delle formazioni quaternarie del litorale laziale tra T.re Astura e il M.

- Circeo. In: Estratto degli Annuali della Facoltà di Agraria dell'Università di Perugia Volume XXXIV – Nota I “Geologia, morfologia e dinamica del litorale”: 173-235.
- Guza R.T., Inman D.L. (1975) - Edge waves and beach cusps. *Journal of Geophysics Research*, **80**, 2997-3012.
- ICRAM (2002) - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento lungo la piattaforma continentale laziale Fase A - Caratterizzazione della piattaforma continentale laziale (Sintesi dei dati di letteratura scientifica e tecnica). Per conto della Regione Lazio: 140 pp.
- Komar P.D. (1971) - Nearshore cell circulation of the formation of giant cusps. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **82**: 2643-2650.
- Komar P.D. (1971) - Nearshore cell circulation of the formation of giant cusps. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **82**, 2643–2650.
- Komar P.D. (1998) - Beach processes and sedimentation. (2nd edn.), Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 544 pp.
- Konings Ph. (1990) - Eolian sand transport at the Belgian coast: morphodynamic implications and use in coastal management. *Proc. Littoral 90*, Marseille, Eurocoast, 120 -124 pp.
- Kumar C.P. (2000) - Management of Groundwater in Saltwater ingress Coastal Aquifers. Technical Notes. Personal webpage of C.P. Kumar.
- Kumar L., Schmidt K.S., Dury S., Skidmore A.K.. (2001) - Imaging spectrometry and vegetation science. In: Van der Meer F.D. and S.M. De Jong (Eds) - *Imaging spectrometry: basic principles and prospective applications*, 111-155.
- La Monica G.B., Raffi R. (1996) – Morfologia e sedimentologia della spiaggia e della piattaforma continentale interna. In: Tip. Borgia (Ed.) - *Il mare del Lazio - “Elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarina, dinamica dei sedimenti e apporti continentali”*, Roma, 1996: 62-86.
- Oude Essink G.H.P. (2001) - Density Dependent Groundwater Flow Salt Water Intrusion and Heat Transport. KHTP/GWM II Hydrological Transport Processes/Groundwater Modelling II L3041/L4019, Utrecht University Interfaculty, Centre of Hydrology Utrecht Institute of Earth Sciences Department of Geophysics.
- Pallottini E. (2005) – Analisi morfo-sedimentologica del tratto di litorale compreso tra Anzio e Gaeta (Lazio meridionale) ai fini di una valutazione della vulnerabilità per erosione. Tesi di Laurea inedita, “Sapienza” Università di Roma – Dipartimento di Scienze della Terra, 86 pp.

- Pallottini E., Cappucci S. (2008) - Beach-dune system interaction and evolution. *Rendiconti online, Soc. Geol. It.*, **2**, in stampa.
- Pallottini E., Campo V., Cappucci S., Rossi L., La Monica G.B., Simeoni U., Gabellini M. (2007) - Multitemporal analysis of the beach-dune system of Circeo National Park (Italy). *European Geosciences Union General Assembly 2008*. 13–18 April 2008, Vienna (Austria). Poster presentation.
- Paolucci P., Siniscalchi C. (1996) – Valutazione del trasporto solido di fondo alla foce dei corsi d'acqua In: Tip. Borgia (Ed.) - *Il mare del Lazio - elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinario, dinamica dei sedimenti e apporti continentali*, Roma, 1996, 262-281.
- Parlagreco L., Devoti S., Mastracci M., Silenzi S. (2008) – Zonazione costiera finalizzata all'analisi del rischio: il caso del litorale Pontino (Lazio Meridionale). *Atti Congr. "Coste: prevenire, programmare, pianificare"* – Maratea, 15-17 Maggio 2008, 105-112.
- Petrella S., Bulgarini F., Cerfolli F., Polito M., Teofili C. (2005) - *Libro Rosso degli Habitat d'Italia*. WWF Italia - ONLUS, Roma, 136 pp.
- Picchi S., Scalera R., Zaghi D. (2006) - *Il bilancio di LIFE Natura in Italia - Indicazioni e prospettive per il futuro*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Direzione Generale Protezione della Natura. Roma, 224 pp.
- Pruszek Z., Różyński G., Szmytkiewicz P. (2008) - Megascale rhythmic shoreline forms on a beach with multiple bars. *Oceanologia*, **50**, **2**, 183-203.
- Psuty, N.P., 1986. Principle of dune-beach interaction related to coastal management. *Thalassas*, **4**, 11-15.
- Psuty N. P. (1988) - Sediment budget and dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research*, **SI 3**, 1-4.
- Raudkivi A. J. (1976) - *Loose boundary hydraulic*. 2nd ed. Pergam Press, Oxford, 397 pp.
- Ritchie J.C., Seyfried M.S., Chopping M.J., Pachepsky Y. (2001) - Airborne laser technology for measuring rangeland conditions. *J. Rangeland Management* **54**, 8-21.
- Sallenger Jr. A.H., Krabill W.B., Swift R.N., Brock J., List J., Hansen M., Holman R.A., Manizade S., Sontag J., Meredith A., Morgan K., Ynkel J.K., Frederick E.B. e Stockton H. (2003) - Evaluation of airborne topographic LIDAR for quantifying beach changes. *Journal of Coastal Research*, **19**, 125-133.

- Saye S. E., van der Wal D., Pye K., Blott S.J. (2005) - Beach-dune morphological relationships and erosion/accretion: An investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data. *Geomorphology*, **72**: 128-155.
- Thackrah G., Rhind P., Hurford C. (2002) - Using earth observation data from multiple sources to map rare habitats in a coastal conservation area. In: Veloso Gomes F., F. Taveiro Pinto and L. das Neves (Eds) - *Littoral 2002, The changing coast*, Vol. II, EUROCOAST/EUCC, Porto, 69-81.
- Thornton E.B., MacMahan J, Sallenger Jr. (2007) – Rip currents, mega-cusps and eroding dunes. *Marine Geology*, **240**, 151-167.
- Università di Roma “La Sapienza”, Dipartimento di Scienze della Terra (1999) - Individuazione e caratterizzazione dei depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma continentale della Regione Lazio e valutazione di un loro utilizzo ai fini del ripascimento dei litorali in erosione. Rapporto Finale della I Fase.
- Williams A.T., Alveirinho-Dias J., Garcia Novo F., Garca-Mora M.R., Curr R., Pereira A. (2001) - Integrated coastal dune management: checklists. *Continental Shelf Research*, **21**(18), 1937-1960.
- Woolard J.W., Colby J.D. (2002) – Spatial characterization, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *Geomorphology*, **48**, 269-287.

APPENDICE I - INTERVENTI PREGRESSI DI DIFESA DELLA DUNA

Le dune sabbiose litoranee sono state inserite tra gli habitat altamente minacciati elencati nel “Libro rosso degli habitat d’Italia” (Petrella *et al.*, 2005) poiché ambienti estremamente sensibili e fragili.

Negli ultimi anni, numerosi Siti Natura 2000 sono stati oggetto di progetti LIFE Natura aventi come scopo principale quello di realizzare strutture per proteggere le dune costiere dalle principali cause di degrado e distruzione.

In questo contesto, il Parco Nazionale del Circeo presenta uno dei pochi sistemi dunali ancora piuttosto integri ma al contempo soggetto ad un notevole impatto antropico e ad altre tipologie di criticità (ad es. ruscellamento dell’acqua piovana provocato alla strada litoranea che attraversa la duna in tutta la sua lunghezza, presenza di solchi di erosione approfonditi dall’azione erosiva del vento, camminamenti provocati dal passaggio dei bagnanti, accesso incontrollato alla spiaggia, pulizia meccanizzata degli arenili).

Secondo quanto riportato nel rapporto “Il bilancio di LIFE Natura in Italia - Indicazioni e prospettive per il futuro” (Picchi *et al.*, 2006), in accordo con la direttiva del Consiglio 92/43/CEE del 21 maggio 1992, in quest’area sono stati finanziati due progetti tramite il programma LIFE Natura, le cui specifiche sono illustrate nella tabella 5.5.1:

Titolo	Paese e regione	Amministrazione e beneficiaria	Budget totale	Contributo LIFE	Durata	Codice identificativo
“Ripristino e protezione dell’habitat di interesse comunitario dune sabbiose del Parco Nazionale del Circeo”	Italia, Lazio	Amministrazione Comunale di Sabaudia (LT)	533.333 €	400.000 €	01.10.1994 – 30.04.1995	LIFE94 NAT/IT/000602
“Completamento del programma di ripristino delle dune costiere nel Parco Nazionale del Circeo”	Italia, Lazio	Amministrazione Comunale di Sabaudia (LT)	615.200 €	307.600 €	01.01.1996 – 31.03.1999	LIFE95 NAT/IT/000739

Tabella 5.5.1 – Informazioni relative ai progetti LIFE Natura finanziati con lo scopo di salvaguardare l’ambiente delle dune litoranee del Parco Nazionale del Circeo.

Il primo progetto, *“Ripristino e protezione dell’habitat di interesse comunitario dune sabbiose del Parco Nazionale del Circeo”*, ha avuto come obiettivo quello di restaurare e proteggere dall’erosione un tratto di dune di circa 8 km mediante la realizzazione di infrastrutture per la fruizione e la difesa delle dune costiere ubicate lungo il litorale appartenente al Comune di Sabaudia.

Il secondo progetto, *“Completamento del programma di ripristino delle dune costiere nel Parco Nazionale del Circeo”*, ha avuto come obiettivo quello di completare le azioni intraprese nel corso dell’azione precedente su due diversi settori dunali, mediante la realizzazione di opere di ingegneria naturalistica.

Grazie a questi finanziamenti, nell’arco di tempo di circa quattro anni e mezzo (tra il 1994 e il 1998) circa 14 Km di dune sono state interessate da specifici interventi sperimentali (a carattere sia puntuale che diffuso) per il controllo delle diverse forme di erosione e dissesto descritti in dettaglio da [Bovina et al. \(2003\)](#).

In particolare, nel corso di questi progetti:

- Sono state realizzate strutture per impedire il passaggio dei bagnanti sulle dune, come passerelle per l’accesso diretto alla spiaggia, recinzioni dissuasive in legno associate a schermi frangivento, picchetti per l’interdizione del parcheggio delle auto.
- Sono stati realizzati capanni informativi sulla corretta fruizione dell’ambiente e sull’origine e finalità dell’azione di restauro e protezione ([foto 1](#)).
- Sono state realizzate sistemazioni ed opere per la regimazione delle acque di ruscellamento.
- Sono stati realizzati sistemi frangivento, di differente forma e dimensione, realizzati con diverse tipologie di materiali naturali (stuoie di canna, fascinate verticali, recinti porosi in legno, ecc.) e barriere in viminata a scacchiera, per ricostruire e proteggere i depositi embrionali al piede della duna.
- Sono state realizzate opere di contenimento e consolidamento delle sabbie realizzate in viminate associate a bioreti in fibra di cocco.
- Sono state realizzate barriere permeabili in legno con funzione di smorzamento del moto ondoso e frangivento.
- È stato rimosso il manto d’asfalto in un tratto di strada costiera di circa 3 km, parzialmente demolita dalle mareggiate all’inizio degli anni 80’ e da allora chiusa al traffico. Tale intervento ha permesso di ripristinare la naturale mobilità della duna, limitare il

ruscellamento dell'acqua piovana e reinnescare il processo di colonizzazione delle specie vegetali caratteristiche dell'habitat.

- Infine, sono stati realizzati impianti di circa 40.000 piante arbustive locali (*Juniperus oxycedrus ssp.*, *Phyllirea latifolia*, *Rhamnus alaternus*, *Pistacia lentiscus*), provenienti dal vivaio forestale del Parco Nazionale del Circeo di Sabaudia (LT), che hanno riguardato le parti sommitali (cresta dunale) delle opere di contenimento.

Nel 2006, nell'ambito di un Accordo Programma Quadro tra la Regione Lazio e il Parco Nazionale del Circeo (APQ7), le dune costiere sono state oggetto di ulteriori interventi di ripristino e restauro. In particolare, sono stati realizzati strutture frangivento e una serie di camminamenti protetti, in legno e biorete in fibra di cocco.

Infine, è stato recentemente approvato da parte del Comune di Sabaudia un progetto che prevede opere di manutenzione delle passerelle presenti lungo il litorale che ricade all'interno del territorio comunale, il rifacimento del manto stradale tramite l'utilizzo di asfalto drenante e realizzazione di alcune delle opere per il restauro e ripristino dunale (la cui ubicazione è ancora da definire) citate all'interno del "Manuale di Ingegneria Naturalistica" edito dalla Regione Lazio (Bovina *et al.*, 2003).



Foto 1 - Pannelli informativi sulla corretta fruizione dell'ambiente e sull'origine e finalità dell'azione di restauro e protezione della duna costiera del Parco del Circeo, realizzati nell'ambito del primo Progetto LIFE.

Di seguito vengono brevemente descritte le finalità e gli effetti delle principali tipologie di opere realizzate sulle dune del Parco Nazionale del Circeo, progettate dallo Studio Associato Geosphera (eccetto che quella relativa alla rivegetazione) e descritte nel rapporto esteso di fase B del sottoprogetto POSIDuNE ([AA.VV., 2007](#)) nell'ambito dell'INTERREG IIIC Beachmed-e.

Tali opere sono state suddivise in tre diverse categorie, in relazione alle principali funzioni svolte:

Opere ad effetto frangivento

Recinzione frangivento realizzata mediante stuoia di canna

La recinzione frangivento è un'opera che ha la duplice funzione di controllare i meccanismi di erosione eolica, trattenendo efficacemente le sabbie trasportate dal vento, e al contempo di proteggere la duna dagli effetti del calpestio incontrollato. E' costituita da una staccionata di pali di castagno posta lungo la cresta o al piede della duna per dissuadere i bagnanti dall'attraversamento incontrollato, indirizzandoli verso le passerelle di accesso. La struttura della recinzione porta una stuoia in canna con funzione di frangivento.

Favorendo la creazione di depositi eolici in grado di vegetarsi rapidamente ed efficaci nel chiudere i varchi della duna (sia sommitali che basali), permette di ottenere un effetto di restauro e rinaturalizzazione dell'intero sistema ([foto 2](#)).



Foto 2 – Doppia recinzione frangivento realizzata nell'ambito del primo progetto LIFE.

Frangivento a scacchiera

Le barriere frangivento disposte a scacchiera, risultano particolarmente utili in corrispondenza di depositi eolici embrionali (avanduna) poiché esercitano una funzione protettiva che ne favorisce i meccanismi di accrescimento e stabilizzazione. In particolare, queste barriere svolgono un'azione protettiva nei confronti della vegetazione sia da un punto di vista meccanico che, indirettamente, mediante il trattenimento di materiale organico (in grado di arricchire le sabbie dunali di sostanze nutritive) e la condensazione dell'umidità atmosferica (fonte idrica fondamentale per la vegetazione xerofila). Per questo motivo, sia la vegetazione erbacea che arbustiva trovano condizioni vantaggiose per il proprio sviluppo, innescando meccanismi di *feedback* positivo per l'accrescimento e la stabilizzazione dei depositi eolici (**foto 3**).

Frangivento a scacchiera sono stati realizzati sia nell'ambito del secondo progetto LIFE, lungo il tratto della strada costiera interrotta, che nell'ambito dell'Accordo Programma Quadro tra la Regione Lazio e il Parco Nazionale del Circeo (APQ7).



Foto 3 - Barriera in viminata a scacchiera realizzata nel tratto di duna che si estende da... a

Viminata associata a bioreti in fibra di cocco

Questa struttura risulta particolarmente adatta ad ambienti dunali interessati da differenti forme di dissesto quali aree di deflazione e *canyon* di erosione (eolica, da calpestio, da ruscellamento, ecc., anche interagenti) con vegetazione assente o rada.

L'opera consente di realizzare la sutura di forme di erosione di diversa estensione prodotte da diverse cause anche agenti contemporaneamente. Essa favorisce i meccanismi di deposito delle sabbie eoliche e la stabilizzazione della vegetazione, che trova all'interno degli schermi frangivento condizioni favorevoli all'insediamento e al progressivo sviluppo.

Queste opere sono state realizzate nell'ambito del primo progetto LIFE per la sutura dei dissesti presenti lungo il versante marino delle dune del parco.

Cannucciata frangivento orizzontale

Si tratta di schermi frangivento posti parallelamente alla linea di riva in corrispondenza del piede dunale o del retrospiaggia, in cui l'intreccio di canne costituisce uno schermo poroso capace di ridurre l'energia del trasporto eolico e a favorire meccanismi di deposito del sedimento. Le caratteristiche strutturali dell'opera (in particolare la porosità) consentono anche l'esposizione a mareggiate ad elevata energia.

L'opera consente la rapida formazione di depositi eolici in proporzione al tasso di trasporto eolico; nel caso in cui il deposito sia interessato da spiaggiamento di materiale vegetale, contestualmente si potrà avere una rapida colonizzazione da parte della vegetazione psammofila.

Opere di questo tipo sono state realizzate nell'ambito dell'Accordo Programma Quadro tra la Regione Lazio e il Parco Nazionale del Circeo (APQ7).

Nuclei dunali armati integrati da sistemi frangivento

I nuclei di sabbia armati sono opere efficienti nei confronti di eventi meteomarinari di media energia. Essi permettono la stabilizzazione e il consolidamento del piede dunale mediante sacche riempite di sabbia (ed eventualmente materiale vegetale spiaggiato) realizzate in biorete in fibra di cocco e ricoperte da un sottile strato di sabbia. Particolarmente importante è la totale biodegradabilità del materiale utilizzato, che permette anche un recupero della fertilità del substrato e, dunque, una rapida colonizzazione da parte della vegetazione autoctona.

I nuclei dunali realizzati in questo tratto di litorale nell'ambito dell'APQ7, sono stati integrati da sistemi frangivento.

Consolidazione e restauro di dune costiere attraverso la vegetazione

Tecniche di rivegetazione

Le tecniche di rivegetazione delle dune costiere hanno come principale obiettivo quello di accelerare i meccanismi di colonizzazione della vegetazione per la stabilizzazione dei depositi eolici. È preferibile utilizzare specie appartenenti alla flora locale, selezionate in funzione delle esigenze ecologiche, della resistenza e delle diverse attitudini edificatrici di ciascuna specie.

Questi interventi sono stati realizzati in concomitanza con la realizzazione di opere per il contenimento delle nicchie di erosione, nell'ambito del primo Progetto LIFE.

Gestione degli accessi

Passerelle per l'accesso alla spiaggia

Le passerelle sono state realizzate in coincidenza dei "tracciati" già esistenti e svolgono una funzione di protezione delle dune dall'erosione dagli effetti del calpestio, causato dai bagnanti per accedere alle spiagge.

Esse costituiscono percorsi controllati, efficaci ed agevoli per l'attraversamento delle dune. Sono particolarmente consigliate in ambienti dunali caratterizzati da diffuso calpestio e diffusa presenza di solchi erosivi, quali quelli del Parco del Circeo.

In particolare, le tipologie presenti lungo il litorale pontino sono due: passerelle tradizionali in legno (**foto 4a**), realizzate nell'ambito del primo progetto LIFE, e camminamenti protetti (**foto 4b**), realizzati nell'ambito dell'APQ7.

Le passerelle tradizionali sono costruite interamente in legno mentre quelle radenti sono state realizzate su versanti poco acclivi tramite l'utilizzo di bioreti in fibra di cocco (materiale naturale duraturo e di elevata resistenza) e castagno. Sebbene richiedano una manutenzione più frequente, hanno costi di costruzione e gestione più contenuti rispetto alle passerelle tradizionali. Inoltre, si inseriscono meglio di queste nell'ambiente dunale, anche dal punto di vista paesaggistico.



Foto 4 a e b - Esempi di due diverse tipologie di passerelle costruite per regolare l'accesso dei bagnanti alla spiaggia: (a) passerella tradizionale in legno e (b) passerella radente, in castagno e fibra di cocco.

Barriera basale in viminata

L'opera è in grado di svolgere un'azione efficace sia di smorzamento delle onde che di frangivento, inducendo la deposizione della sabbia e creando la possibilità di trattenere frazioni organiche spiaggiate con effetti positivi anche sulla vegetazione pioniera. In tal modo svolge un ruolo articolato ed estremamente funzionale di protezione e consolidamento del piede dunale e/o della porzione sommitale della spiaggia (**foto 5**).



Foto 5 - Barriera basale in viminata.

APPENDICE II – SOPRALLUOGHI *IN SITU*

Al fine di ottenere una rappresentazione aggiornata delle attuali condizioni del litorale oggetto di studio, sono stati eseguiti sopralluoghi *in situ* tra settembre e novembre 2008.

In particolare, sulla base dei risultati ottenuti nel corso della presente analisi, i sopralluoghi sono stati effettuati lungo in corrispondenza di alcuni punti significativi illustrati nella **figura 1**.

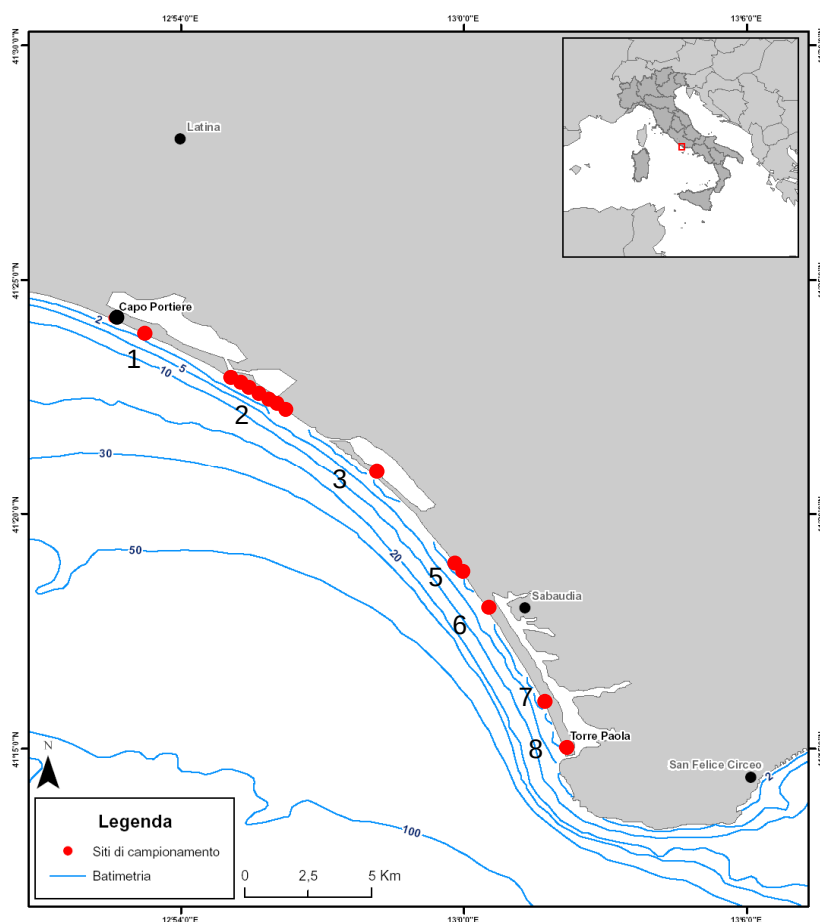


Figura 1 – Ubicazione dei siti oggetto dei sopralluoghi. 1. Litorale antistante il Lago di Fogliano in corrispondenza di Foce Nuova; 2. Tratto di litorale antistante il Lago dei Monaci, dalla Foce di Rio Martino all’Idrovora Lavorazione (in corrispondenza della strada interrotta); 3. Tratto di litorale antistante il Lago di Caprolace; 4. Tratto di litorale in corrispondenza di Foce Caterattino; 5. Tratto di litorale antistante il Lago di Sabaudia, in corrispondenza dello stabilimento “Le Dune”; 6. Tratto di litorale antistante il Lago di Sabaudia, in corrispondenza dello stabilimento “Le Streghe”; 7. Tratto di litorale antistante il Lago di Sabaudia, in corrispondenza dello stabilimento “Saporetti”.

Nel corso di tali sopralluoghi sono state raccolte informazioni e materiale fotografico relativo allo stato dei cordoni dunali e della spiaggia antistante con particolare riferimento alla vegetazione costiera, alla presenza di segni di recente scalzamento al piede della duna, alla

presenza di *blowout*, ad ogni altro elemento rilevabile in campo ed utile a fornire informazioni circa lo stato di conservazione e il grado di impatto naturale e/o antropico presente sul litorale.

1. Litorale antistante il Lago di Fogliano, in corrispondenza di Foce Nuova

Il tratto di litorale antistante il Lago di Fogliano è caratterizzato da un cordone dunale con un'elevazione media inferiore ai 10 m e una spiaggia antistante mediamente ampia.

Dai sopralluoghi condotti, le criticità maggiori appaiono legate allo stato della vegetazione (foto 1.1) e ai danni causati dalle azioni di pulizia meccanica che si spingono oltre la spiaggia emersa fino al piede della duna, impedendo od ostacolando la possibile formazione di nuove dune embrionali (foto 1.2).



Foto 1.1 – Dune lungo il litorale antistante il Lago di Fogliano.



Foto 1.2 – Dune lungo il litorale antistante il Lago di Fogliano. E' possibile vedere le tracce lasciate da un automezzo sul retrospiaggia.

In questo tratto di litorale lo scambio di sedimenti dalla spiaggia alla duna trova comunque una situazione favorevole, testimoniata dalla presenza di accumuli di sabbia colonizzati da vegetazione specializzata, tipica di ambienti in cui è sono in atto processi di deposizione (**foto 1.3 e 1.4**).



Foto 1.3 – Accumuli di sabbia colonizzata da vegetazione erbacea.



Foto 1.4 – Accumuli di sabbia colonizzata da vegetazione erbacea.

2. *Tratto di litorale antistante il Lago dei Monaci, dalla Foce di Rio Martino all’Idrovora Lavorazione, in corrispondenza della strada interrotta*

A seguito della mareggiata avvenuta negli anni ottanta che ha danneggiato la strada costiera per un tratto di circa 3,5 km, questo settore è rimasto da allora interdetto al

traffico (foto 2.1 e 2.2). E' stato successivamente oggetto del secondo progetto LIFE, finanziato nel 1996, e dell'Accordo Programma Quadro APQ7 tra la Regione Lazio e il Parco Nazionale del Circeo (2006), con lo scopo di riqualificare e proteggere l'habitat dunale ivi presente.

Nel corso dei recenti sopralluoghi, sono state verificate l'efficacia e lo stato di manutenzione delle opere realizzate.



Foto 2.1 – Strada interrotta nei pressi di Rio Martino.

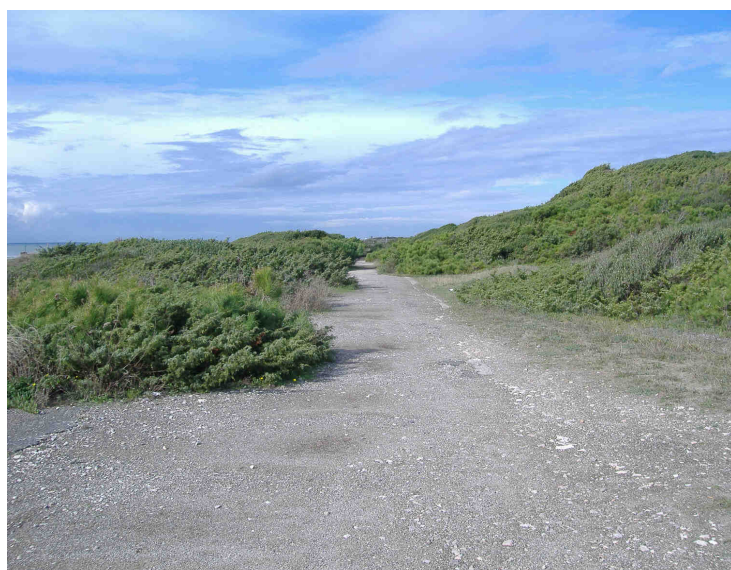


Foto 2.2 – Strada interrotta nei pressi di Rio Martino.

Le opere realizzate nel corso del progetto LIFE sono mostrate nelle foto 2.3 - 2.12. Si tratta principalmente di tre tipologie di opere: passerelle in legno per l'accesso alla spiaggia, frangivento a scacchiera e opere di contenimento delle nicchie erosive realizzate mediante l'impiego di fascine di *Erica scoparia*.

Per quanto riguarda le passerelle in legno, va segnalata una scarsa manutenzione che ne ha causato spesso un eccessivo degrado e una compromissione della funzionalità (foto 2.3 e 2.4).



Foto 2.3 – Passerella in legno priva di manutenzione lungo il tratto della strada interrotta, tra la foce di Rio Martino e l’Idrovora Lavorazione. Nel riquadro è evidenziata la targa del progetto LIFE, con la quale sono state contrassegnate tutte le passerelle e i pannelli informativi realizzati nell’ambito di questo finanziamento.



Foto 2.4 – Passerella in legno priva di manutenzione nei pressi della foce di Rio Martino.

I frangivento a scacchiera sembrano invece aver lavorato efficacemente. Fatta eccezione per quelli posti nel retrospiaggia, dei quali è possibile osservarne i resti poiché sono stati attaccati e distrutti dal mare, le serie più interne sono state completamente o quasi completamente ricoperte da sedimento, a volte consolidato da vegetazione spontanea (foto 2.5 e 2.6).

Nel tratto di costa i cui è presente un *bunker* (in corrispondenza del Lago dei Monaci) risalente alla seconda guerra mondiale, la situazione si presenta estremamente critica poiché la spiaggia è pressoché scomparsa e, di conseguenza, anche la duna mostra gravi dissesti (foto 2.7, 2.8). Questo sembra il punto più vulnerabile del litorale per quanto riguarda l'esposizione a mareggiate intense (foto 2.9). I frangivento a scacchiera realizzati in questo settore sono stati infatti completamente distrutti dall'azione del mare (foto 2.10).



Foto 2.5 – Frangivento a scacchiera realizzati nell’ambito del secondo Progetto LIFE, completamente ricoperti di sedimento e parzialmente colonizzati da vegetazione.



Foto 2.6 – Frangivento a scacchiera realizzati nell’ambito del secondo progetto LIFE, completamente ricoperti di sedimento e parzialmente colonizzati da vegetazione. La schiera realizzata lungo il retrospiaggia non é più visibile.



Foto 2.7 – Tratto di litorale, retrostante il Lago dei Monaci, in cui la duna costiera presenta le più gravi criticità.



Foto 2.8 – Tratto di litorale, retrostante il Lago dei Monaci, in cui la duna costiera presenta le più gravi criticità.



Foto 2.9 – Tratto di litorale in corrispondenza del *bunker* (evidenziato in rosso) che presenta le maggiori criticità, sia riguardo l'ampiezza della spiaggia emersa che i dissesti presenti sulla duna.



Foto 2.10 – I frangivento a scacchiera realizzati nel tratto di litorale in corrispondenza del *bunker* sono stati completamente distrutti.

Infine, le opere di contenimento realizzate mediante fascine d'erica, così come osservato per le passerelle in legno, stanno perdendo la loro funzionalità a causa di una scarsa manutenzione. Infatti, in alcuni casi, è possibile osservare la ripresa di fenomeni di dissesto anche in aree in cui queste criticità erano state inizialmente risolte (**foto 2.11**).



Foto 2.11 – Fascine di erica per il contenimento di nicchie di erosione. Sulla destra è possibile notare la riattivazione di fenomeni di dissesto a causa della scarsa manutenzione.

Un caso di contenimento dell'erosione avvenuto con successo è quello realizzato in concomitanza con interventi di rivegetazione della porzione sommitale della duna (a ridosso della strada costiera) mediante la piantumazione di ginepri ed altri arbusti provenienti dal vivaio del Parco (**foto 2.12**). Si può infatti notare davanti alle strutture in erica, un consistente deposito sabbioso formatosi a seguito della realizzazione dell'opera (**foto 2.13**).



Foto 2.12 - Contenimento dell'erosione tramite la costruzione di fascine di erica in concomitanza con interventi di rivegetazione della porzione sommitale della duna mediante la piantumazione arbusti provenienti dal vivaio del Parco.



Foto 2.13 – Deposito di sabbia formatosi a seguito della realizzazione dell'opera di contenimento dell'erosione, che testimonia l'esito positivo dell'intervento.

Dalla **foto 2.14** alla **foto 2.21** sono mostrate le opere realizzate nel corso dell'APQ7. Si tratta principalmente di tre tipologie di opere: camminamenti protetti in castagno e fibra di cocco, schermi frangivento orizzontali associati a bioreti o nuclei armati e frangivento a scacchiera.

Così come segnalato per le passerelle in legno costruite nell'ambito del progetto LIFE, anche questa seconda tipologia di camminamento mostra evidenti segni di degrado dovuti ad una scarsa manutenzione (**foto 2.14**). Va comunque segnalato che questi camminamenti, sebbene di più rapida esecuzione, hanno bisogno di interventi di manutenzione più frequenti (ma anche più semplici ed economici) rispetto alle passerelle tradizionali.



Foto 2.14 – Camminamento protetto in castagno e fibra di cocco realizzato nell'ambito dell'APQ7 tra la Regione Lazio e il Parco Nazionale del Circeo. Nella foto non è più visibile la biorete posta alla base dell'opera completamente ricoperta di sabbia.

Le diverse tipologie di opere frangivento visionate lungo questo tratto di litorale, hanno mostrato un esito positivo poiché hanno favorito la deposizione delle sabbie (in relazione alle condizioni locali) e talvolta anche una buona ripresa della vegetazione (**foto 2.15, 2.16, 2.17 e 2.18**).

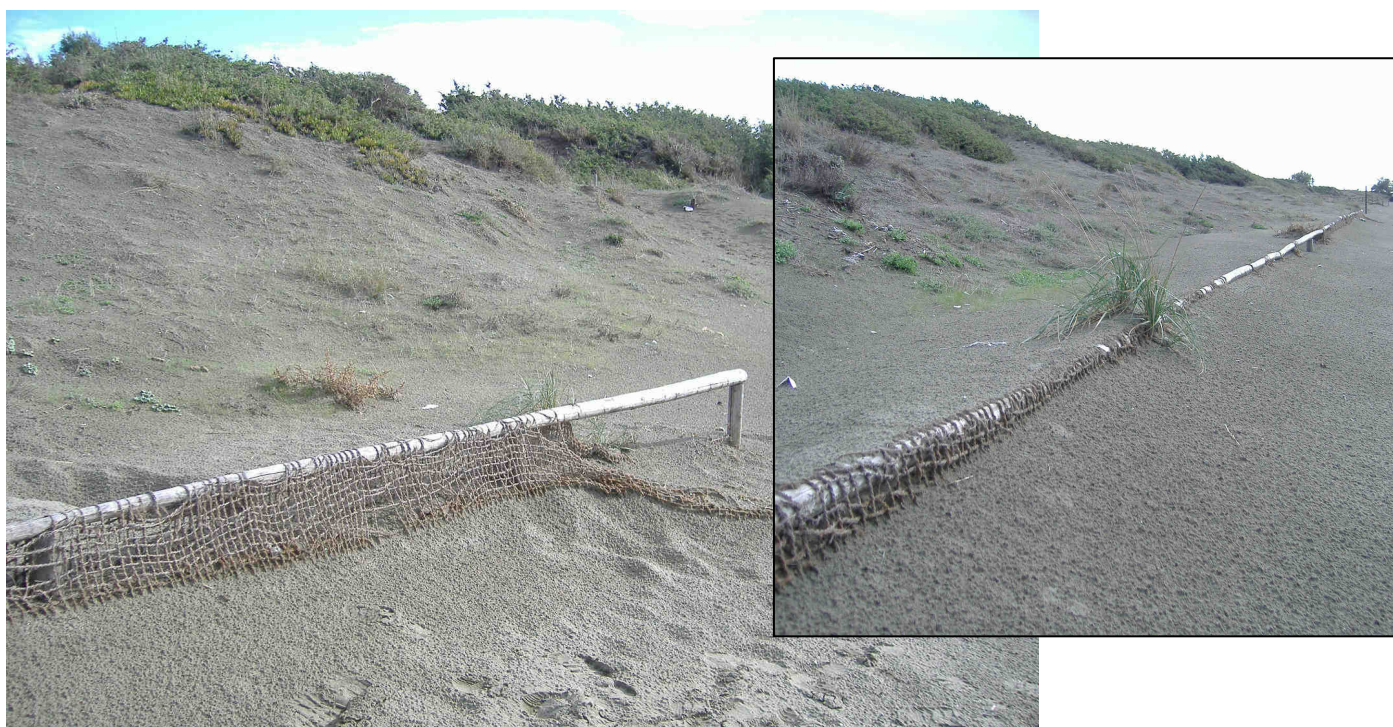


Foto 2.15 – Frangivento orizzontali con biorete a grammatura leggera. In alcuni punti il deposito che si è formato negli anni presenta la stessa altezza del picchetto dell’opera, la quale ha quindi cessato la sua funzione.



Foto 2.16 – Frangivento orizzontali in cui la biorete è stata parzialmente demolita. I depositi di sedimento sono stati colonizzati dalla vegetazione.



Foto 2.17 – Frangivento orizzontali con nucleo armato, visibile nell'immagine di destra, evidenziato in rosso.



Foto 2.18 – Frangivento a scacchiera.

In corrispondenza dell'Idrovora Lavorazione, sono ancora visibili alcuni interventi risalenti al primo finanziamento LIFE (1995). Si tratta dei paletti lungo i margini della strada costiera per mantenere gli autoveicoli all'interno delle aree appositamente destinate al parcheggio (foto 2.19) e di opere frangivento lungo il piede della duna (foto 2.20) e ai margini della strada (foto 2.21).



Foto 2.19 – Picchetti per il controllo dei parcheggi.



Foto 2.20 – Tracce di opere frangivento in corrispondenza del piede della duna, che hanno pienamente svolto la propria funzione.



Foto 2.21 – Doppia serie di frangivento lungo la strada litoranea, per limitare la perdita di sabbia verso l'entroterra.

3. *Tratto di litorale antistante il Lago di Caprolace*

Il tratto di litorale antistante il Lago di Caprolace è caratterizzato da un cordone dunale con un'elevazione di circa 8 - 10 m e una spiaggia antistante che non presenta criticità al pari di quelle osservate lungo il tratto più settentrionale.

Dai sopralluoghi condotti, le dune costiere presenti in questo settore appaiono più integre e meglio conservate. Le criticità più frequenti riscontrate sono relative a forme di dissesto ed erosione lungo il versante marino. A questo proposito, anche questo tratto le dune sono state negli anni oggetto di interventi di ripristino, sia nell'ambito dei finanziamenti LIFE (frangivento, **foto 3.1**) che in quello dell'Accordo Programma Quadro APQ7 (camminamenti protetti, cannucciate per proteggere aree di deflazione, frangivento, **foto 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6**).

Altri schermi frangivento e interventi di contenimento dei fenomeni erosivi sono stati inoltre realizzati dalla Provincia di Latina (**foto 3.7**).



Foto 3.1 - Resti dei frangivento realizzati nell'ambito del primo Progetto LIFE, nei pressi dell'emissario del Lago di Caprolace. Nella zona colonizzata da piante giovani, un tempo era presente una barriera basale.



Foto 3.2 - Camminamento protetto realizzato nell'ambito dell'Accordo Programma Quadro APQ7.



Foto 3.3 e 3.4 – Cannuccia per la protezione di aree di deflazione realizzata nell'ambito dell'APQ7. Nella foto 3.4 (sotto) è ben evidente il cospicuo deposito che si è accumulato negli anni.





Foto 3.5 e 3.6 – Frangivento con setti trasversali realizzato nell'ambito dell'APQ7.



Foto 3.7 – Frangivento realizzati dalla Provincia di Latina.

4. *Tratto di litorale antistante Foce Caterattino*

Le dune costiere presenti in questo tratto di litorale mantengono le stesse caratteristiche descritte per le dune antistanti il Lago di Caprolace. Anche questo settore è stato oggetto di interventi di restauro nell'ambito del primo Progetto LIFE. (foto 4.1, 4.2).

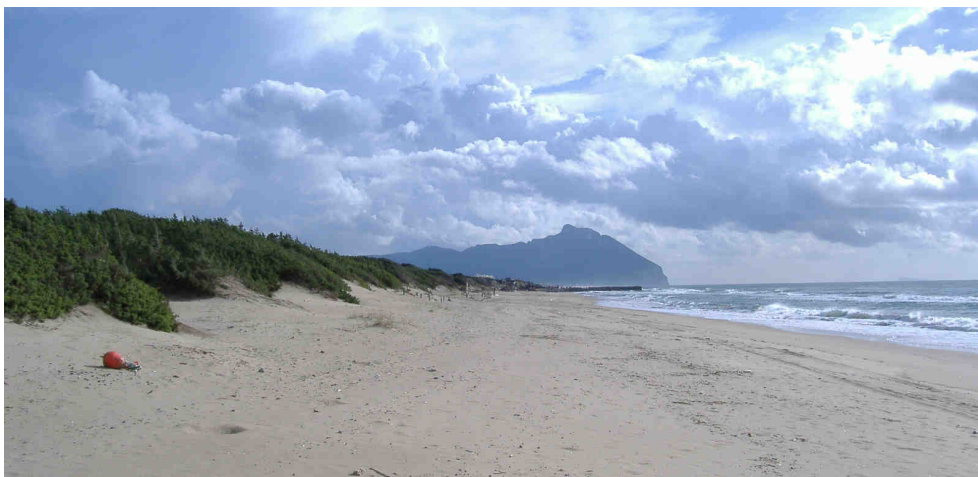


Foto 4.1 – Dune nei pressi della Foce Caterattino.



Foto 4.2 – Resti dei frangivento realizzati nell'ambito del primo progetto LIFE.

5. 6. 7. *Tratto di litorale antistante il Lago di Sbaudia, in corrispondenza dello stabilimento “Le Dune”, dello stabilimento “Le Streghe” e dello stabilimento “Saporetti”*

Così come emerso dall’analisi condotta sul litorale tramite fotointerpretazione, il settore più meridionale dell’arco costiero che si estende da capo Portiere a Torre Paola è senz’altro quello più compromesso dall’impatto antropico sia diretto che indiretto. Le foto riportate di seguito testimoniano lo stato generale delle dune costiere in questo tratto che, sebbene più elevate e sviluppate, sono completamente irrigidite dalle costruzioni o dai recinti dei giardini di case private che spesso coincidono con il piede della duna stessa oppure si spingono addirittura nella prima fascia di retro spiaggia (foto 5.1, 5.2, 5.3, 5.4).



Foto 5.1 – Dune nei pressi dello stabilimento “Saporetti”.



Foto 5.2 – Dune nei pressi dello stabilimento “Saporetti”.



Foto 5.3 – Dune nei pressi dello stabilimento “Le Streghe”.



Foto 5.4 – Dune nei pressi dello stabilimento “Le Streghe”.



Foto 5.5 – Dune nei pressi dello stabilimento “Le Streghe”.

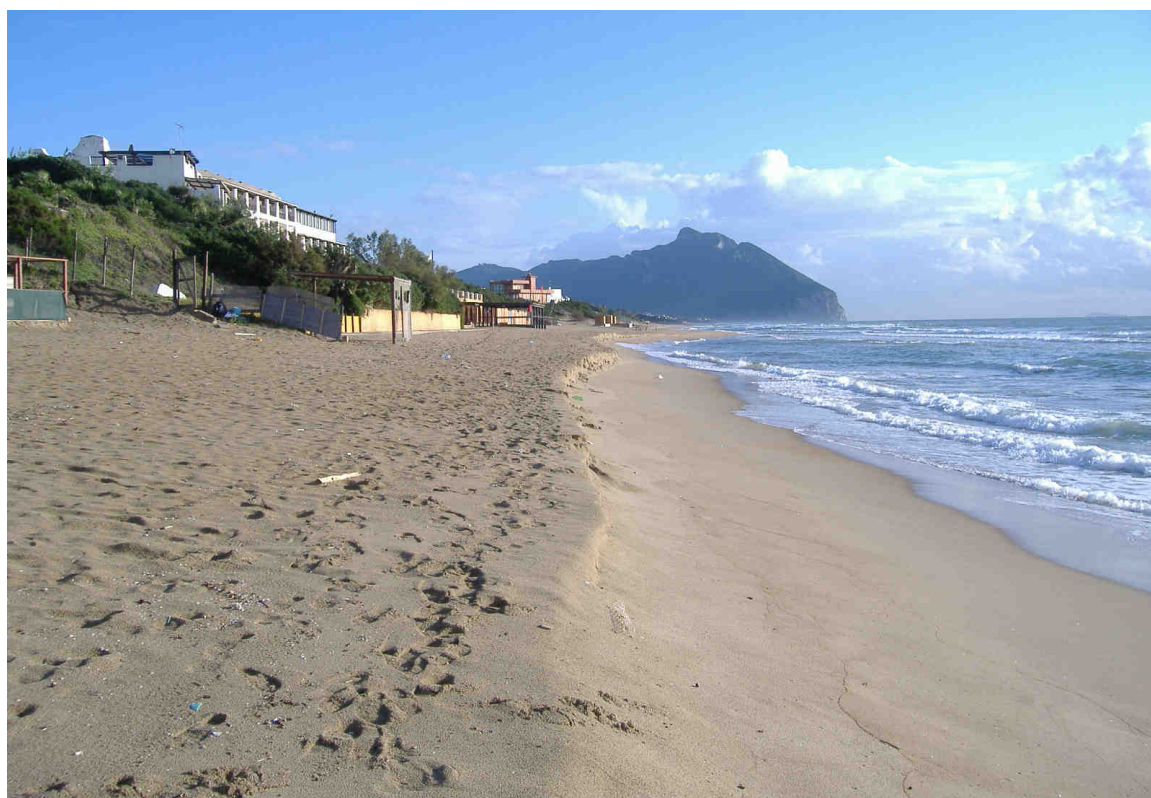


Foto 5.4 – Dune nei pressi dello stabilimento “Le Dune”.

ALLEGATO I – ELENCO ELABORATI CARTOGRAFICI

TAVOLA I	-	Capo Portiere – Emissario del Lago di Caprolace
TAVOLA II	-	Emissario del Lago di Caprolace - Torre Paola