



**L' Ingegneria Naturalistica
nel Contrasto al Dissesto Idrogeologico e nella Difesa delle Coste
in Ambito Mediterraneo
GIORNATA di STUDIO**

Venerdì 18 Maggio 2018, ore 9:00

SALA ANTONELLI c/o HOTEL SAVOY di PESARO
Viale della Repubblica, 22



Via Venezia, Cagli (PU)

Archivio Fotografico di Alta Scuola,
ph E. Martini



Eremo di Fonte Avellana

"Archivio fotografico Provincia di Pesaro e Urbino
ph A. Gamberini"



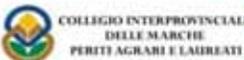
*Campo sperimentale di I.N.
Jemmbuild (Albano Laziale)*

Archivio Fotografico di Jemmbuild
ph E. Marrone

con il patrocinio di



evento in convenzione, partecipazione e sostegno con



INGEGNERIA NATURALISTICA PER LE COSTE: aspetti progettuali

**Federico Boccalaro,
Ordine degli Ingegneri di Roma**



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma

naides@fastwebnet.it, www.ording.roma.it

INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA COSTA E IL MARE

18 maggio 2018 - Pesaro

Aspetti Progettuali

Federico Boccalaro ingegnere ambientale
AIPIN socio docente esperto



Introduzione

Habitat marini costieri europei

L'entità della perdita di *habitat* marini costieri è allarmante.

AD OGGI, MENO DEL 15% DEGLI *HABITAT* COSTIERI EUROPEI PUÒ ESSERE CONSIDERATO IN BUONE CONDIZIONI, E LA SITUAZIONE È ANCORA PIÙ DRAMMATICA PER LE COSTE ITALIANE DOVE LE ATTIVITÀ DELL'UOMO SI SONO CONCENTRATE PER MIGLIAIA DI ANNI.

Ignorare queste perdite può compromettere la salute e la sostenibilità dei pochi frammenti di *habitat* naturali che ancora sopravvivono, con gravissime ripercussioni anche per l'industria del turismo (da Airoidi L. e Beck M., 2009).

Nei secoli le bonifiche, lo sviluppo costiero incondizionato, il sovrasfruttamento delle risorse della pesca e l'inquinamento hanno portato alla scomparsa di vastissime porzioni di *habitat* costieri naturali. Tra questi le lagune costiere, le praterie di fanerogame marine (tra cui la più nota è *Posidonia o.*), le rupi costiere, i sistemi dunali.

Introduzione

Habitat marini costieri europei

Questi *habitat* forniscono importantissimi servizi all'uomo, come cibo, depurazione, difesa da mareggiate e inondazioni, controllo dell'erosione costiera, svago e ricreazione. Di fatto, il **valore economico** dei servizi forniti da praterie di fanerogame marine, dune, spiagge e lagune costiere è stimato dieci volte superiore a quello di qualsiasi sistema terrestre, con valori che raggiungono i 25.000 euro per ettaro all'anno.

La perdita di questi sistemi naturali ha causato danni economici rilevanti per molti Paesi europei, inclusa l'Italia.

BASTI PENSARE AL PROBLEMA DELL'EROSIONE COSTIERA (MEDIAMENTE 3 MILIONI DI EURO DI INTERVENTI DI DIFESA ALL'ANNO PER LE SOLE COSTE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA), FACILITATA DALLA PERDITA DI *HABITAT* MARINI CHE FORNISCONO ALLE COSTE DELLE DIFESE NATURALI.

Introduzione

Habitat marini costieri europei

In Europa restano pochi esempi di *habitat* nativi costieri ancora intatti, e questi sono seriamente minacciati dai cambiamenti globali in corso. È auspicabile la loro immediata **protezione** all'interno della rete **Natura 2000**, un complesso di siti protetti nel territorio dell'Unione Europea, la cui funzione è garantire la sopravvivenza a lungo termine della **biodiversità** del continente europeo. Per prevenire l'ulteriore perdita di *habitat* marini costieri saranno necessari seri investimenti di ripristino, e la cooperazione attiva tra agenzie governative, organizzazioni non governative e università / centri di ricerca.

Introduzione

Habitat marini costieri europei

GLI *HABITAT* MARINI TEMPERATI COSTEGGIANO ALCUNE DELLE NAZIONI PIÙ SVILUPPATE DEL MONDO IN EUROPA E NORD AMERICA.

NELL'INTERESSE DEI CITTADINI I GOVERNI DEVONO ATTUARE POLITICHE VOLTE A MIGLIORARE LA GESTIONE E LA SOSTENIBILITÀ FUTURA DI QUESTI *HABITAT* COSÌ INCREDIBILMENTE RICCHI DI SPECIE E COSÌ PRODUTTIVI (DA AIROLDI L. E BECK M., 2009).

Per proteggere in maniera efficace e ripristinare questi *habitat* occorre innanzi tutto che venga colmata urgentemente la **carenza di dati** sulla vegetazione marina e lagunare, su quella dunale e rupestre, investendo nella **ricerca ambientale** e nelle collaborazioni internazionali.

Figura – *Le dune costiere in Europa* (da Pranzini, 2004)

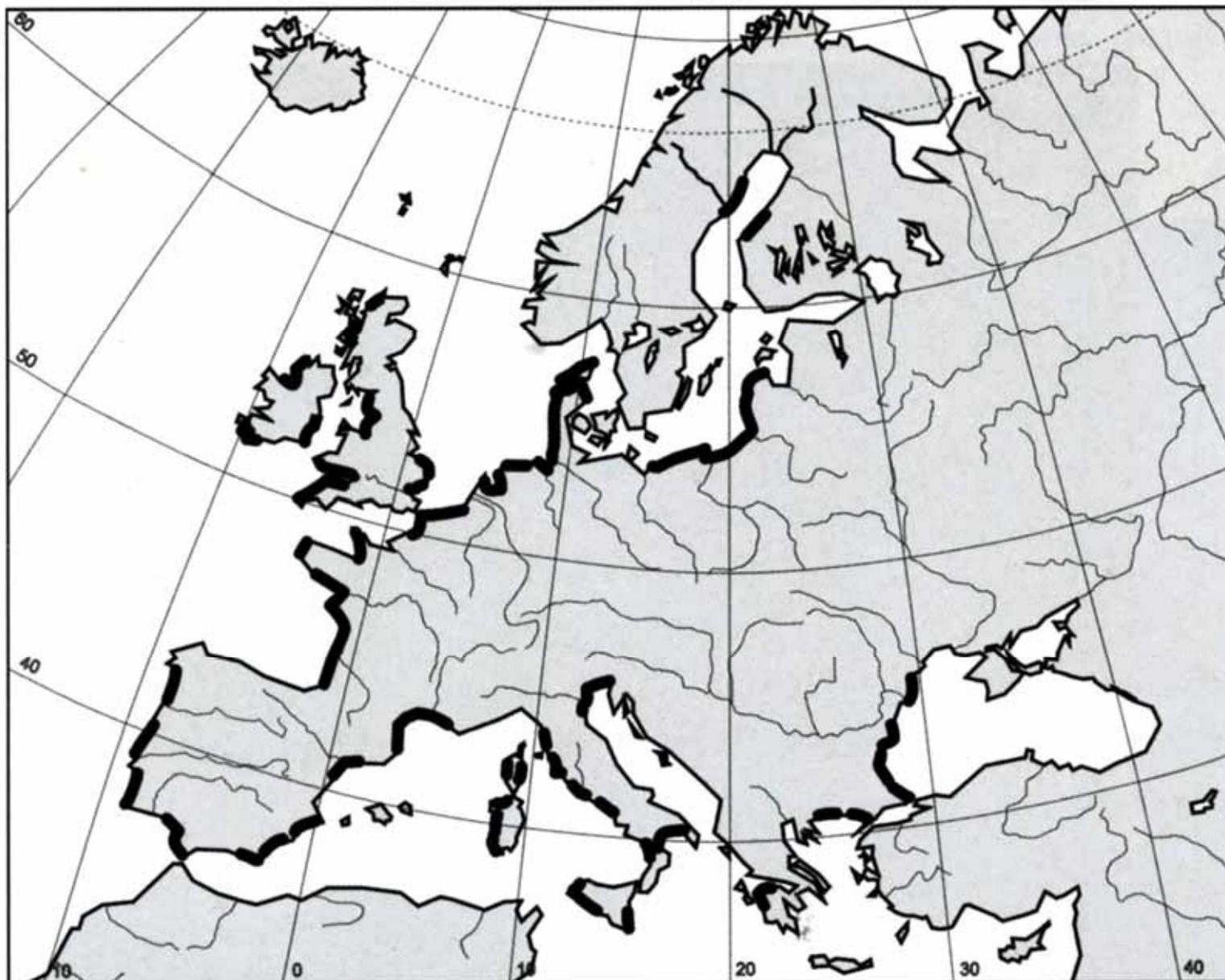
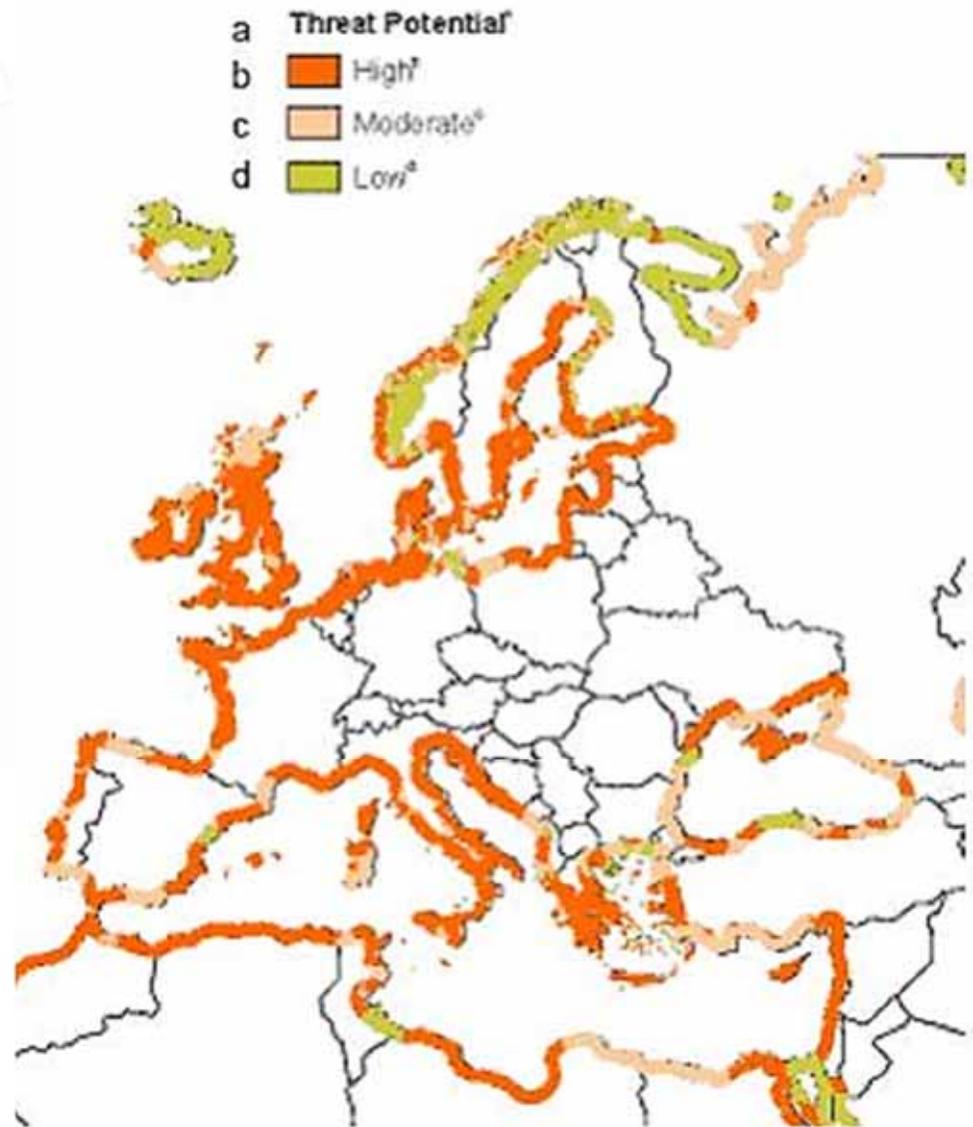


Figura – *Ecosistemi costieri europei minacciati dallo sviluppo* (da *EUROSION, 2004*)



Notes:

- a) Threat ranking depicts potential risk to coastal ecosystems from development-related activities.
- b) Coastal areas falling within a city or major port footprint or having a population density exceeding 150 persons per square kilometre, a road network density exceeding 150 meters of road per square kilometre, or a pipeline density exceeding 10 meters of pipeline per square kilometre.
- c) Coastal areas with a population density of between 75 and 150 persons per square kilometre, a road network density of between 100 and 150 meters of road per square kilometre, or a pipeline density of between 0 and 10 meters of pipeline per square kilometre.
- d) Coastal areas with a population of less than 75 persons per square kilometre, a road network density of less than 100 meters of road per square kilometre, and no pipelines known to be present.

Introduzione

Ambiente costiero in Italia

Le spiagge e le dune potrebbero sembrare ambienti privi di valore economico: infatti sono troppo **instabili** e soggette ad erosione e mareggiate, e pertanto in generale non sono edificabili; attività agricole (essenzialmente orticoltura) sono possibili soltanto nella fascia più interna e nelle lacune interdunali, cioè al di fuori della duna vera e propria.

Ciò nonostante, le spiagge di tutto il Mediterraneo, e particolarmente quelle italiane, sono soggette da alcuni decenni ad un **impatto** generalizzato, che minaccia di produrre alterazioni irreversibili.

GLI IMPATTI SULLE SPIAGGE DERIVANO IN GENERALE DA UN'ERRATA POLITICA DI GESTIONE DEL TERRITORIO, E VENGONO AGGRAVATI DALLE CONSEGUENZE, DIRETTE E INDIRETTE, DELLO SVILUPPO DEL TURISMO DI MASSA.

Introduzione

Ambiente costiero in Italia

L'impatto si rende evidente soprattutto attraverso danni diretti o indotti all'**ambiente fisico**, come sbancamenti e processi di erosione ben visibili su molte spiagge, e attraverso la semplificazione delle **comunità biotiche**, spesso banalizzate da elementi estranei "eurieci" (organismi che presentano un notevole grado di adattabilità), tolleranti e ad ampia distribuzione geografica.

Gli **ecosistemi costieri sabbiosi**, per loro stessa natura e collocazione topografica, debbono confrontarsi con situazioni difficili e mutevoli, nel breve e nel lungo termine.

LE LORO CAPACITÀ DI "AUTORIPARAZIONE" E DI RESILIENZA, DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, FLORISTICO E FAUNISTICO, SONO OVVIAMENTE MOLTO ELEVATE.

Introduzione

Ambiente costiero in Italia

Queste considerazioni ci potrebbero far credere che gli ambienti costieri sabbiosi, anche dove disturbati pesantemente dalle attività antropiche, o perfino dove totalmente distrutti, siano in grado prima o poi di **ricostituire spontaneamente degli ecosistemi litoranei di buona qualità ambientale.**

SEBBENE QUESTE IPOTESI ABBIANO UN CERTO FONDAMENTO (MA CON PROSPETTIVE DI DECINE O CENTINAIA DI ANNI), SONO PERÒ DIFFICILMENTE COMPATIBILI CON SCENARI A BREVE TERMINE, CHE CI COINVOLGANO PIÙ DIRETTAMENTE.

Ci occuperemo più avanti delle possibili strategie di conservazione, gestione e recupero ambientale che interessano gli ambienti litoranei sabbiosi italiani.

Figura – *Mappa dei paesaggi sensibili costieri più a rischio (da Italia Nostra, 2010)*



Figura – *Ambiente costiero integro* (da F. Boccalaro, 2006)



Figura – *Ambiente costiero degradato* (da G. Bovina, 2007)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

Gli olandesi hanno avuto a che fare con il mare per due millenni. Nell'incerto equilibrio di questo stato di dipendenza, fra amore e timore, si è sempre saputo quali sono le difese contro la violenza del mare. Tra il mare e l'uomo ci sono due tipi di barriere, una naturale, l'altra il suo surrogato artificiale: la **duna** e la **diga**.

Gli olandesi hanno imparato che il mare non può essere fermato ma solo diretto o mitigato, e così hanno sempre scelto un tipo di **costruzione flessibile**. Le loro dighe non sono fatte di cemento armato, come le nostre difese: sono invece costruite con **strati di fascine** posate su strati di **sabbia** e **argilla**, il tutto rinforzato con **muratura**. Le dune, stabilizzate dall'erba, hanno una flessibilità ancor maggiore delle dighe, accogliendo le onde ma riducendone la velocità e assorbendone la forza. Le dighe di **calcestruzzo**, al contrario, sfidano l'energia delle onde, e alla fine crollano agli attacchi ripetuti del mare.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

Queste informazioni non sono riportate nei manuali di ingegneria, in cui la **costruzione rigida** ha assunto l'aspetto di un dogma.

L'erba delle dune è straordinariamente resistente, e riesce ad attecchire negli ambienti più inospitali; ma non riesce a superare la prova finale, quella dell'uomo.

In Olanda si sa così bene che l'erba delle dune è vulnerabile al calpestio che è **vietato l'accesso del pubblico alle dune**: solo ai naturalisti è consentito camminare sopra di esse.

Efedra (*Ephedra distachya*) e Ammofila (*Ammophila arenaria*) soccombono all'uomo. Se volete avere delle dune che vi proteggano, dato che le dune sono stabilizzate dall'erba, e questa è messa in pericolo dall'uomo, bisogna che l'erba sia **protetta**.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

Una costa sabbiosa è continuamente sottoposta all'azione del moto ondoso e degli agenti meteorici: la sua **morfologia** è **dinamica**.

La sua relativa stabilità dipende dalla vegetazione consolidante. Ciò implica diversi fattori convergenti.

Il primo è l'**acqua freatica**. Se l'uso di pozzi poco profondi fa abbassare la falda freatica al di sotto di un livello critico, le piante che stabilizzano la duna muoiono.

D'altro canto, se si arresta il **trasporto solido** litorale mediante la costruzione di frangiflutti o di altre difese longitudinali o trasversali **impermeabili**, si intercetta la fonte di sabbia che alimenta la duna.

Il fattore finale è la **vegetazione dunale**, che è estremamente vulnerabile al calpestio.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

Abbiamo ora un codice di **divieti fondamentali**:

- non calpestare l'erba delle dune;
- non abbassare la falda freatica al di sotto del livello critico;
- non interrompere il trasporto litorale.

Questi divieti assicureranno la conservazione di una barra di **sabbia naturale** e la sua **vegetazione autoctona**.

Figura - Interazione geomorfologia-vegetazione-idrologia nelle successioni dunali (da L. Ian McHarg, 2007)

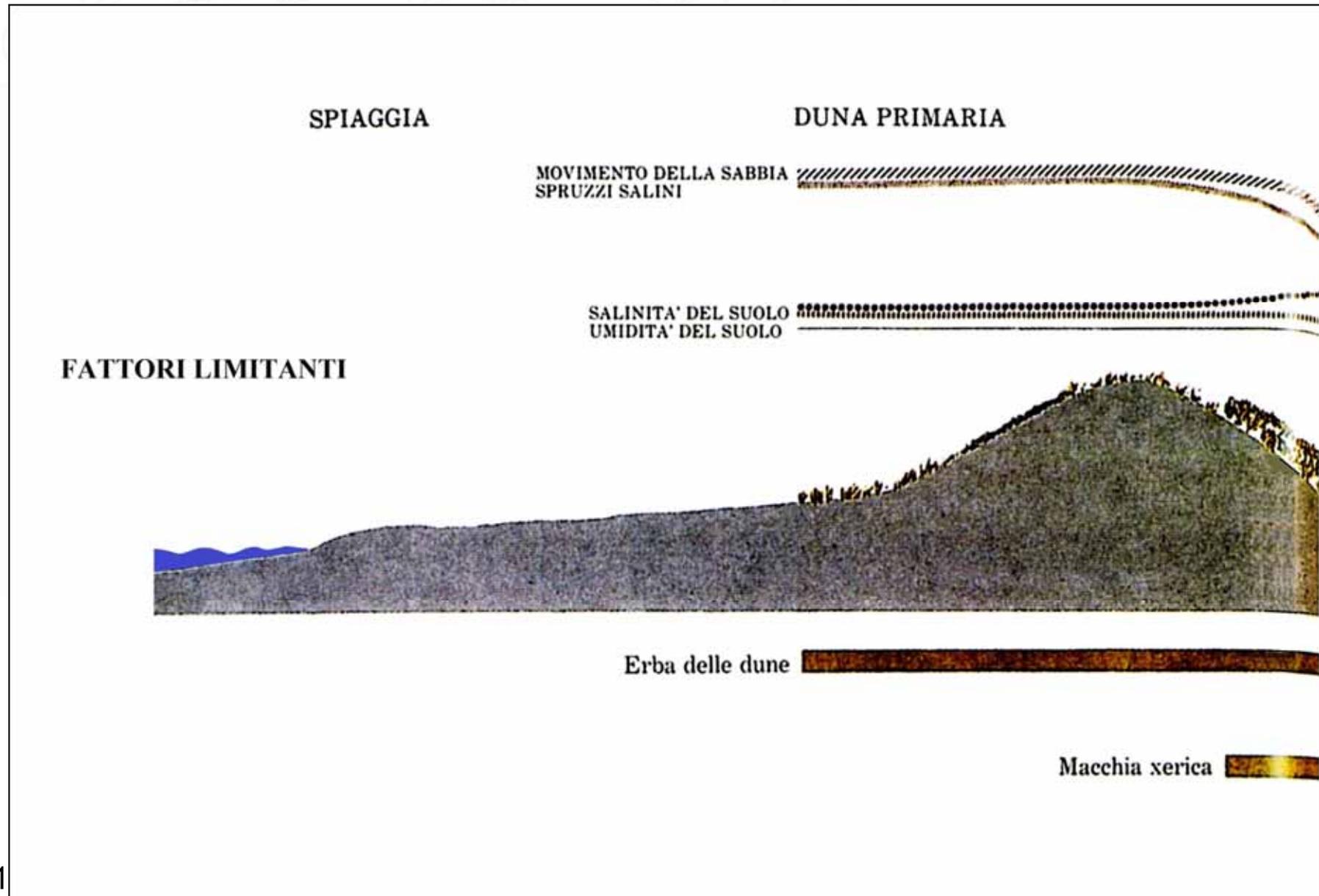
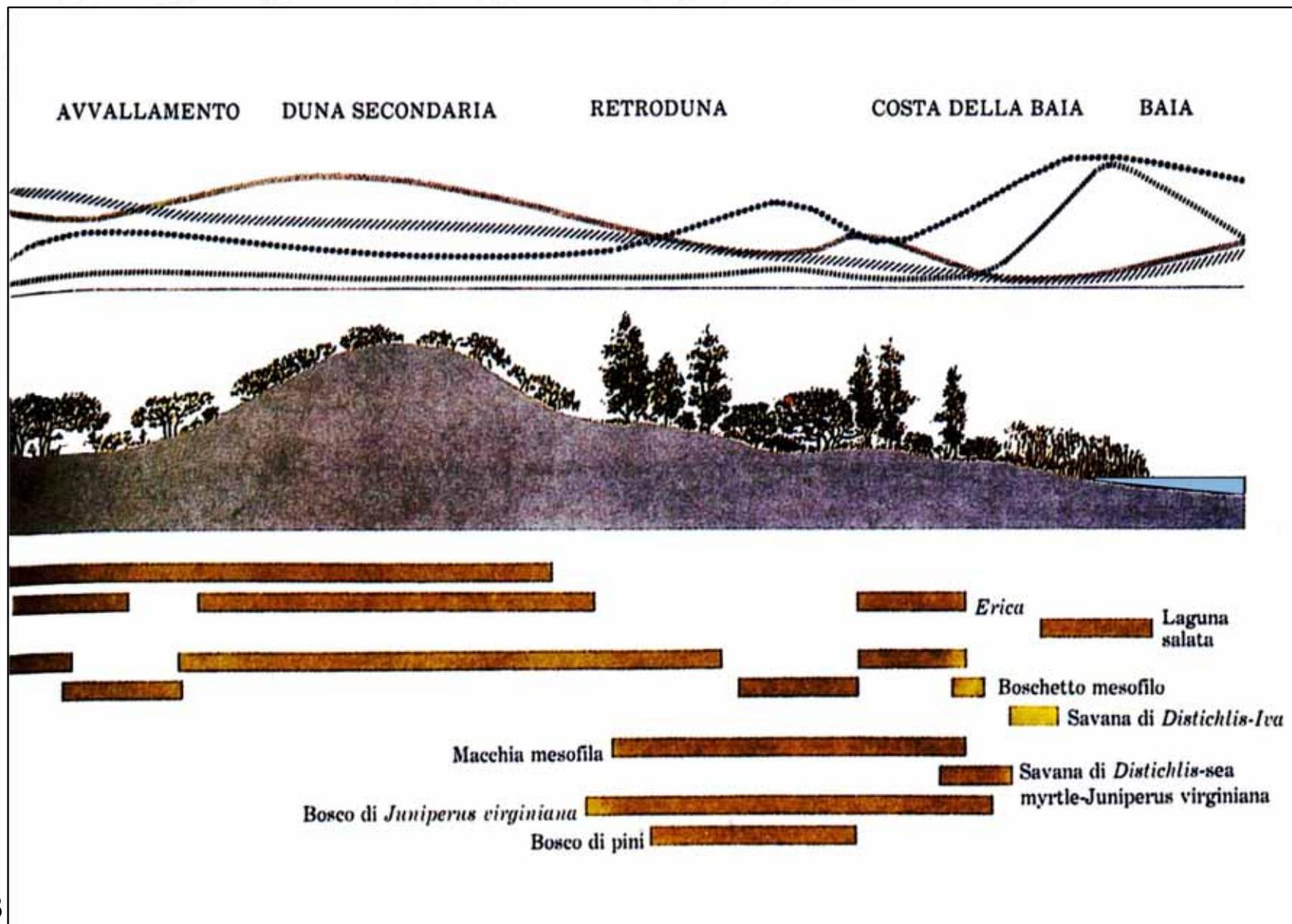


Figura - Interazione geomorfologia-vegetazione-idrologia nelle successioni dunali (da L. Ian McHarg, 2007)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

Considerando ora il problema dell'**urbanizzazione** delle coste sabbiose, l'approccio più ragionevole è quello di esaminare la **tolleranza** dei vari ambienti all'uso umano in generale e ad alcuni usi specifici.

La prima zona è la **spiaggia** e fortunatamente essa è molto **tollerante**. Le maree la puliscono due volte al giorno dagli avanzi lasciati dagli uomini. Le creature che vivono in questa zona lo fanno per lo più nella sabbia, e così sfuggono alla distruzione da parte dell'uomo.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

La zona immediatamente successiva, la **duna primaria**, è completamente diversa: è assolutamente **intollerante**.

Non sopporta di essere calpestata e deve essere proibita all'uso. Se la si deve attraversare (come bisogna fare per raggiungere la spiaggia) bisogna farlo mediante delle **passerelle** sopraelevate.

Inoltre, se si vuole che la duna offra una difesa contro le mareggiate e le inondazioni, non bisogna praticarvi dei **varchi**.

Di conseguenza, sulla duna primaria non si dovrebbe permettere **nessuna costruzione**, non dovrebbe essere consentito passeggiarvi sopra e non si dovrebbe aprirvi dei varchi in nessun punto.

Figura – Interazione geomorfologia-insediamento nelle successioni dunali (da L. Ian McHarg, 2007)

INTERAZIONE TRA GEOMORFOLOGIA E INSEDIAMENTO

SPIAGGIA

TOLLERANTE

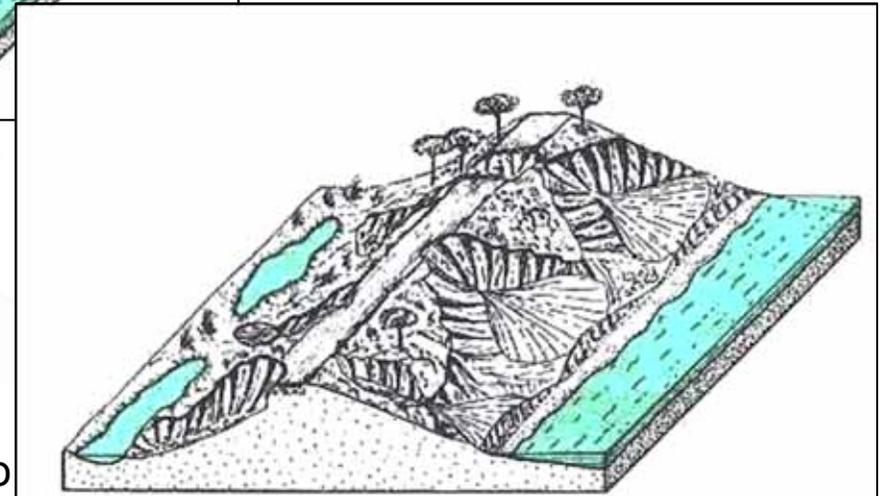
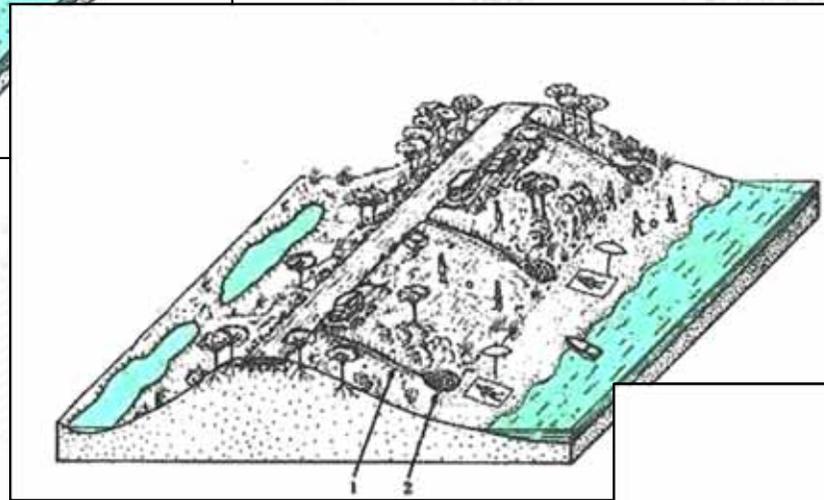
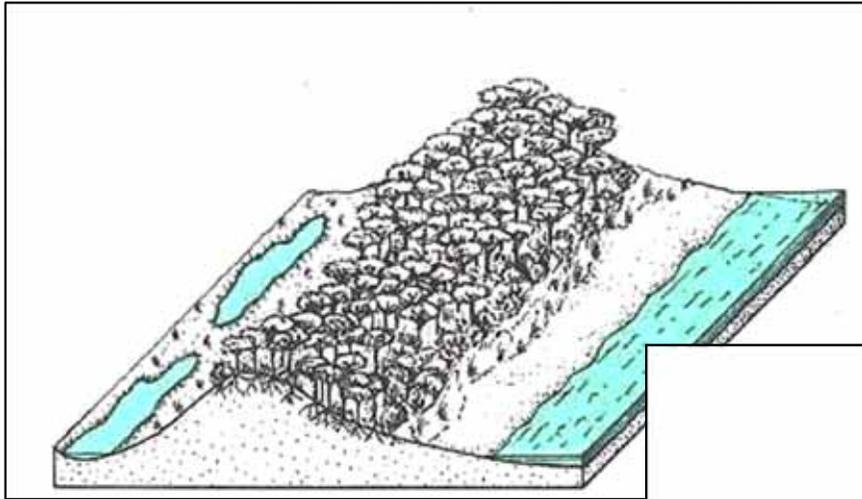
Tempo libero intensivo
Vietato costruire

DUNA PRIMARIA

INTOLLERANTE

Vietato passare, costruire o aprire breccie

Figura – Effetti della costruzione di una strada su di una duna litoranea (da WWF Ravenna, 2008)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

L'avvallamento è molto più tollerante, e può essere urbanizzato. Naturalmente, esso è più protetto dalla duna dalle mareggiate, dal vento e dalla sabbia. Qui il problema è l'acqua freatica.

La vegetazione che occupa questa zona esiste solo grazie alla relativa abbondanza d'acqua dolce. Se il livello di quest'acqua dovesse essere abbassato, le piante morirebbero. Questo potrebbe accadere a causa dell'uso di pozzi, ma potrebbe anche essere provocato da tetti e pavimentazioni che deviano il deflusso superficiale verso canali di scolo o sistemi di fognature.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

La **duna interna** è la seconda linea di difesa ed è vulnerabile come la duna primaria. Anch'essa è **intollerante** e dovrebbe essere lasciata allo stato naturale.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

Il retroduna, invece, è un sito più permissivo ed è forse l'ambiente più adatto all'uomo su tutta la fascia di sabbia. Normalmente vi cresce una vegetazione arborea: pini e ginepri (fenici o coccoloni). L'ombra di questi alberi è un sollievo dalla luce abbagliante e dal caldo che caratterizzano le altre zone.

L'acqua dolce è più abbondante in questo ambiente che in qualsiasi altro, un fattore importante per l'urbanizzazione.

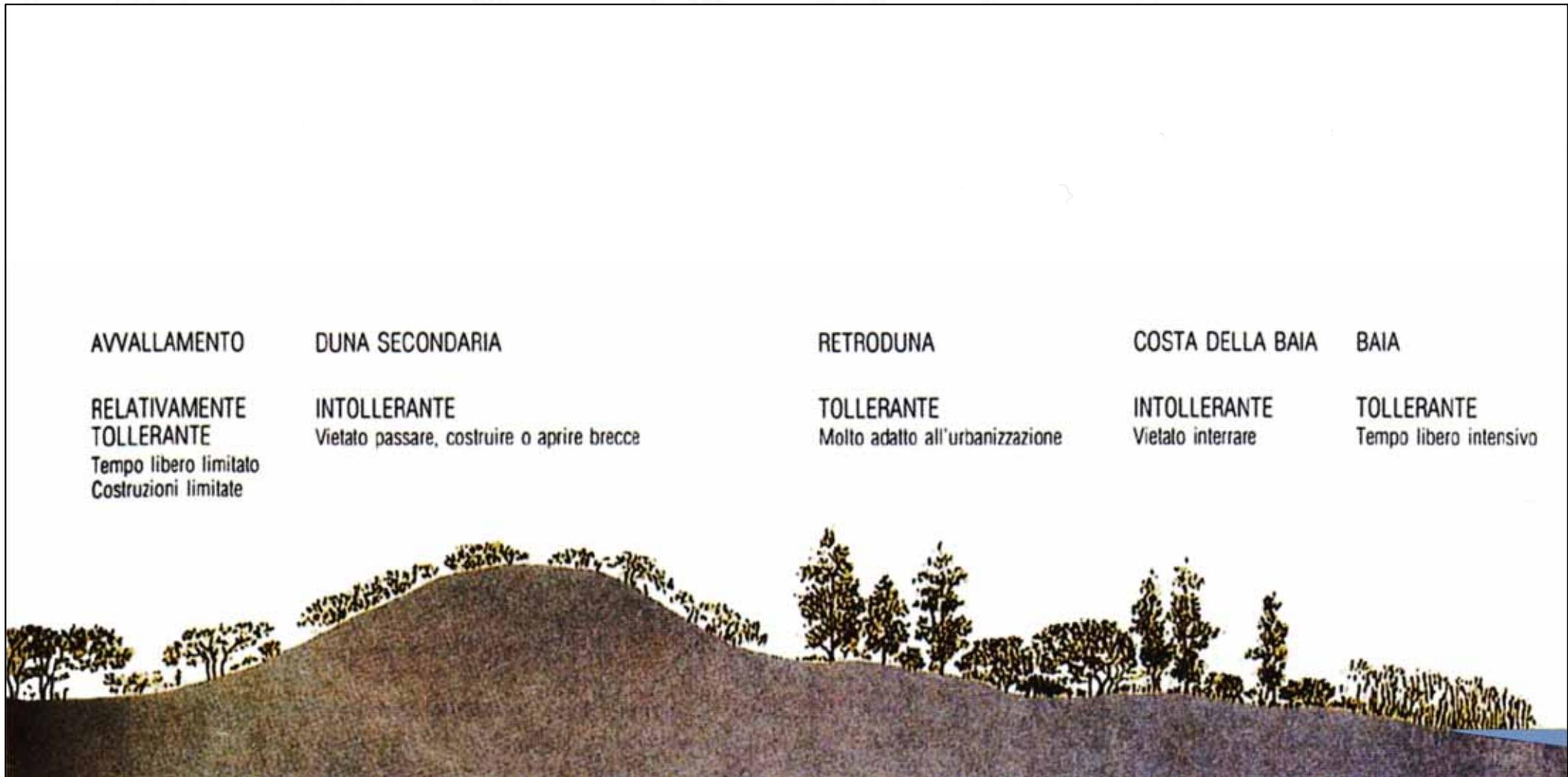
Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

L'ultima zona è la **laguna** (o la baia). Non è molto noto che gli ambienti degli estuari, delle lagune e delle baie sono i più produttivi del mondo, superando gli esempi più noti delle risaie e delle coltivazioni di canne da zucchero. È in queste località, ricche di sostanze nutritive, che molti pesci si riproducono e crescono, e che vivono i molluschi più apprezzati. Esse sono il terreno di cova e la dimora dei più importanti uccelli acquatici. Non devono essere usate come **discariche**.

Interrare le paludi e costruirci sopra vuole dire provocare inondazioni e destabilizzare le fondazioni. Le paludi non sono state fatte per essere "**bonificate**". Costituiscono un valore attuale e un reale pericolo per l'insediamento umano.

Figura – Interazione geomorfologia-inquinamento nelle successioni dunali (da L. Ian McHarg, 2007)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettare con la natura

In **conclusione**, le sezioni più strette della fascia costiera sabbiosa non dovrebbero essere urbanizzate, perché è qui che ci sono maggiori probabilità che si aprano dei varchi. Ma, nella ricerca di un ambiente favorevole all'uomo, abbiamo scoperto una situazione molto fortunata.

L'ampiezza di una duna tende a dipendere dalla sua altezza e dall'angolo di riposo (o angolo massimo di naturale declivio) della sabbia stabilizzata. Perciò le dune primaria e secondaria non occupano molto spazio, e il **retroduna**, più pianeggiante, tende ad essere la più ampia di tutte le componenti del litorale.

E' qui, fortunatamente, che si trovano gli ambienti più piacevoli, vari, sicuri e tolleranti.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - geomorfologia dune

Nell'ambito del sistema litorale la **duna costiera** costituisce la parte più arretrata del profilo di spiaggia e rappresenta pertanto il limite tra ambiente marino e continentale. **Spiaggia** e **duna** sono strettamente collegate e sono sede di importanti **interazioni** dal punto di vista dinamico e sedimentologico, la cui comprensione è fondamentale per una corretta lettura e quindi gestione dell'ambiente costiero.

LE DUNE AGISCONO DA **BARRIERA** CONTRO L'INGRESSIONE MARINA DURANTE LE MAREGGIATE PIÙ VIOLENTE E RAPPRESENTANO UNA FONTE NATURALE DI **RICARICA** DI SEDI MENTO PER LA SPIAGGIA.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - geomorfologia dune

In ambito internazionale già da tempo le dune sono state inserite nei programmi di gestione e protezione costiera.

Gli aspetti più negativi dell'azione antropica sono invece prevalsi in Italia, dove le dune sono state quasi totalmente distrutte in seguito allo sviluppo urbanistico dei centri balneari ed alla costruzione di strade e ferrovie litoranee.

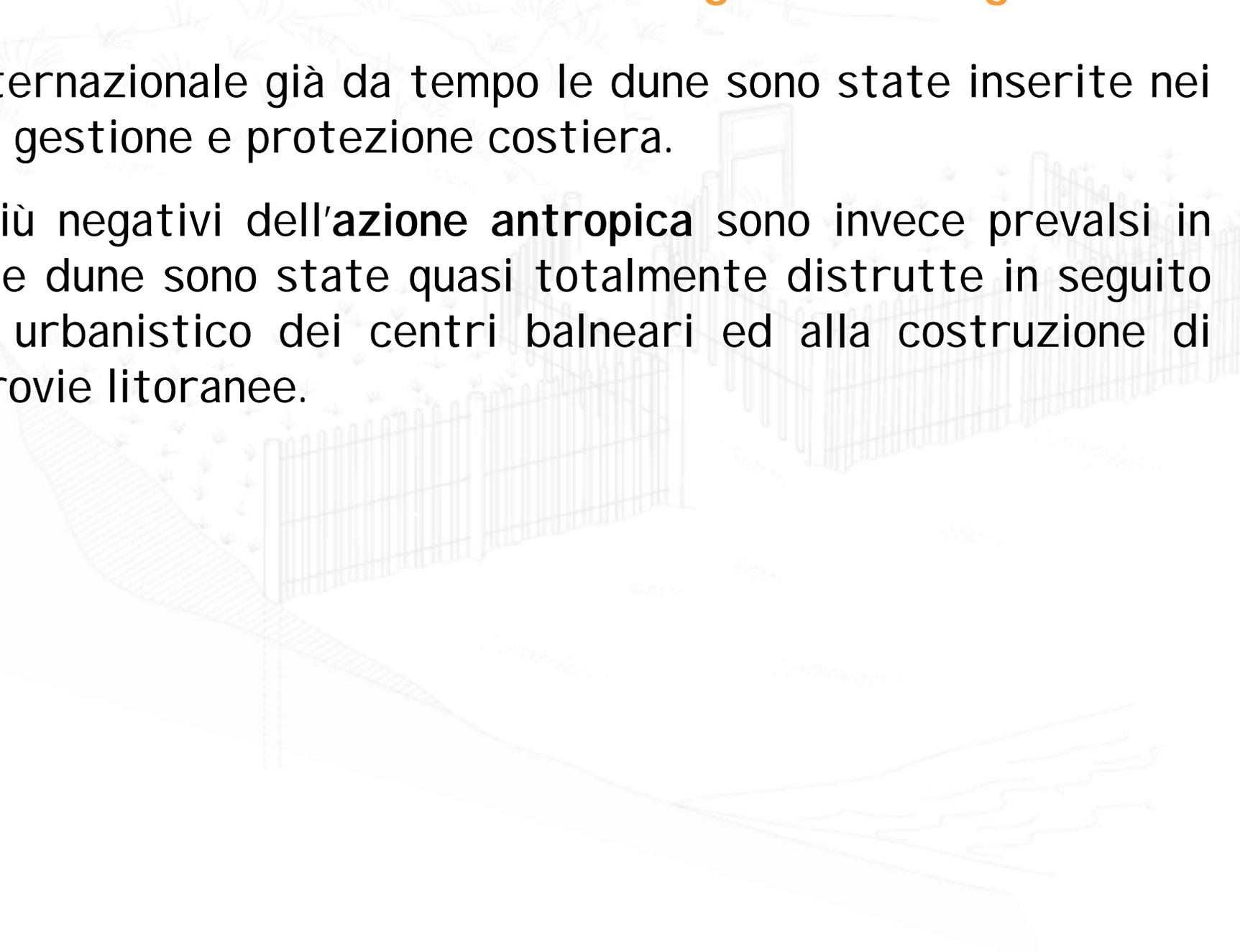


Figura – *Formazione di dune a S. Rossore* (da Federici, 1993)

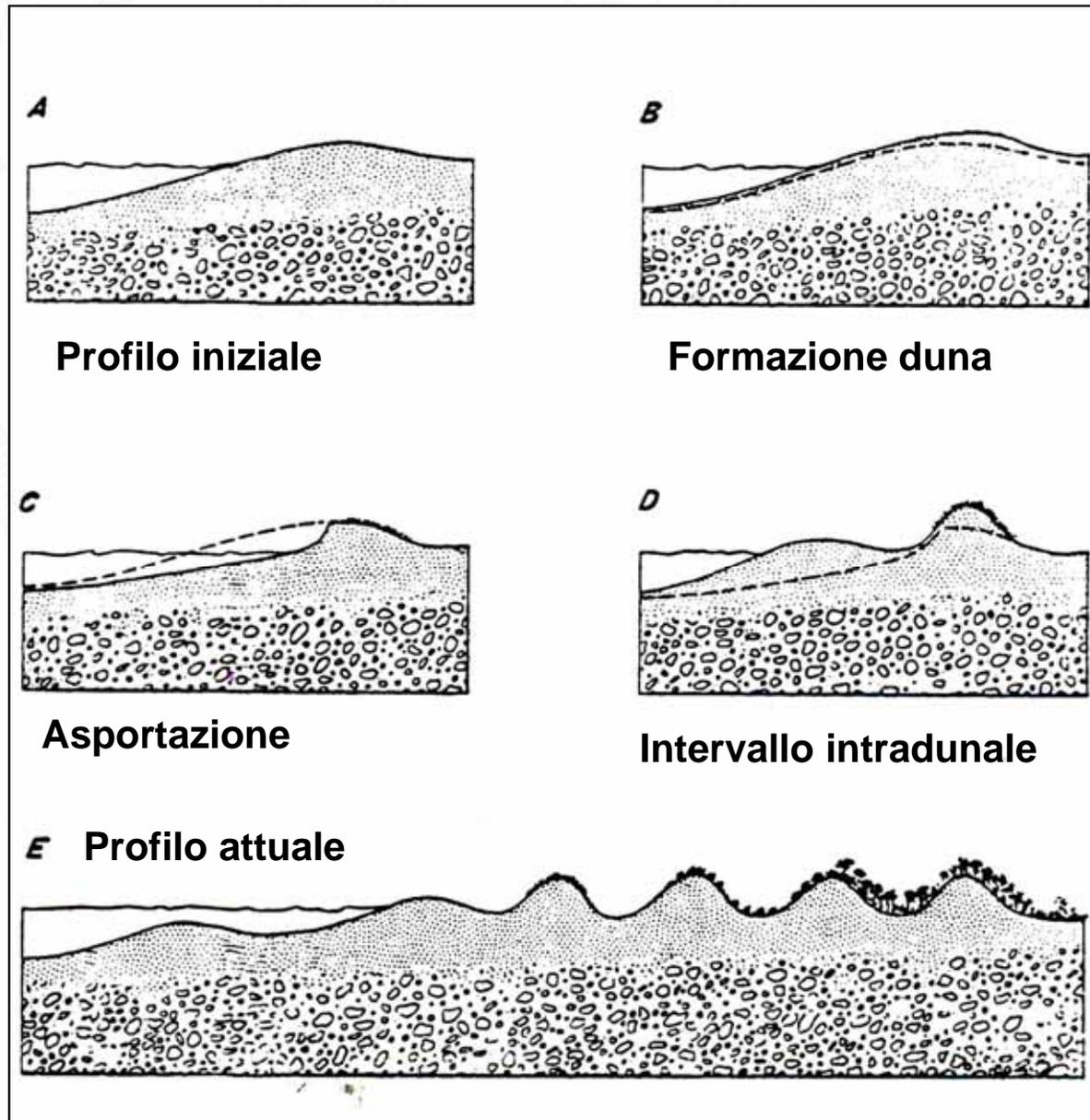


Figura – *Dune costiere alla foce del Coghinas* (da F. Boccalaro, 2005)



Figura – *Transetto di un sistema spiaggia/duna* (da Macaulay Institute, 2005)

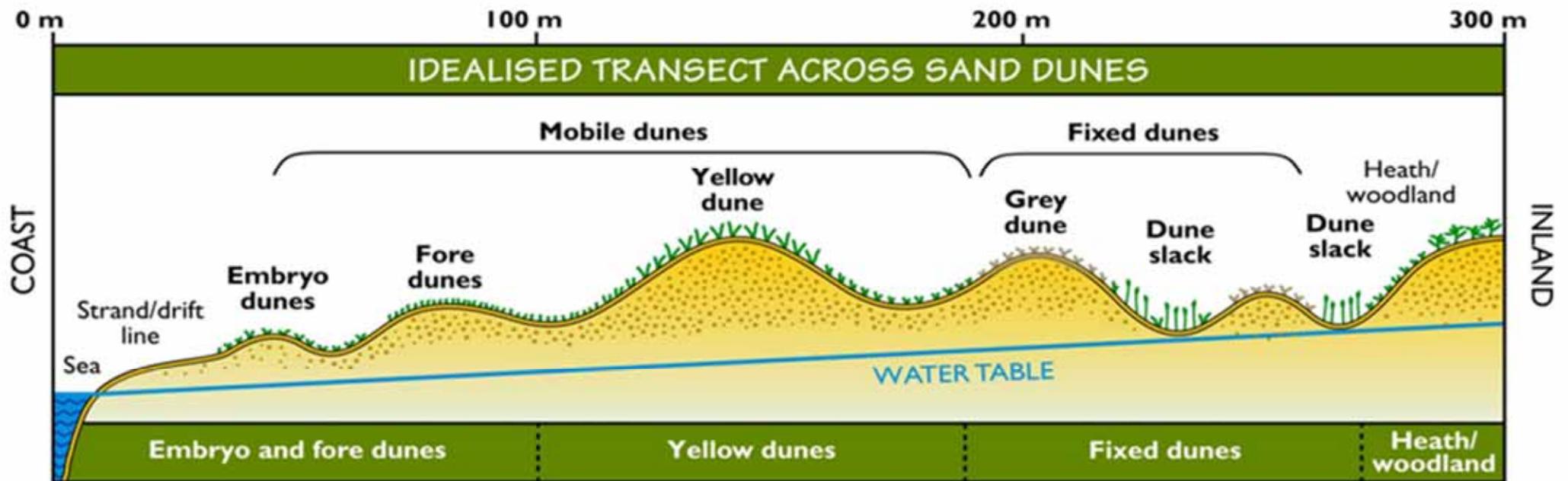


Figura - *Distruzione di dune litoranee* (da G. Gisotti, 1991)



Figura – *Erosione di dune nel Circeo* (da F. Boccalaro, 2009)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - geomorfologia dune

Uno dei casi più eclatanti è rappresentato dal litorale del **Veneto orientale**, lungo il quale le dune si sviluppavano in maniera continua fino a circa metà del secolo, prima del rapido sviluppo turistico.

Da allora si è verificato un progressivo processo di **degrado accelerato** dall'azione dell'uomo che ha portato ad una diffusa erosione dei litorali e delle dune, culminando nell'evento catastrofico della mareggiata del 1966.

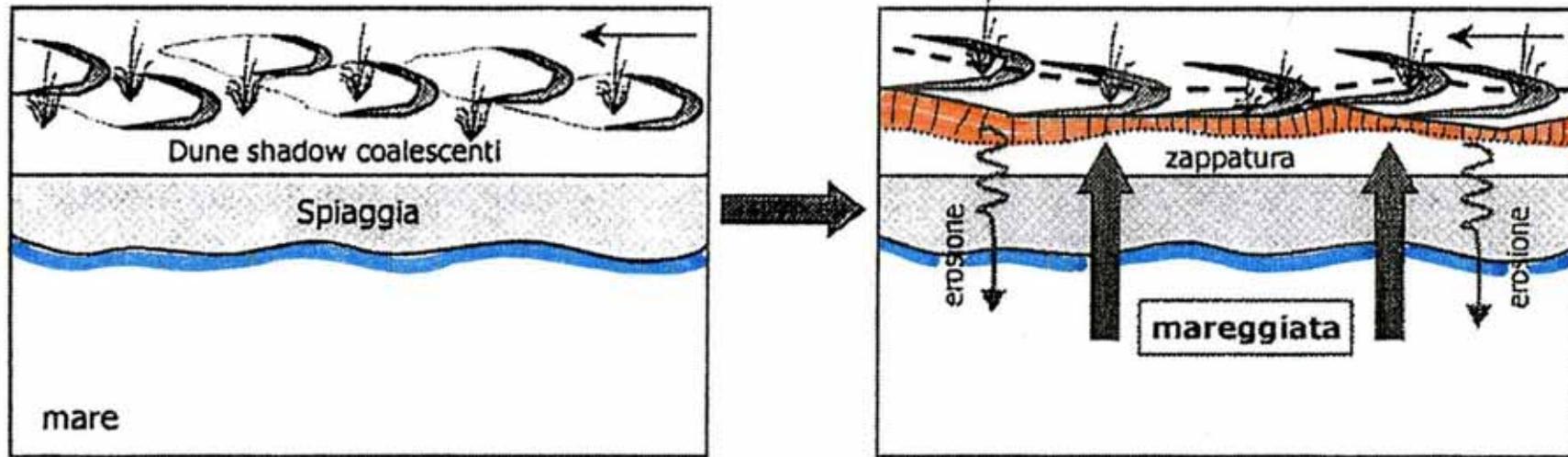
Tra i parametri principali che regolano i processi di interscambio sedimentario tra spiaggia e duna c'è il potenziale di **trasporto eolico**, che può essere considerato costante per l'Alto Adriatico. L'efficienza del trasporto è regolata dall'**orientazione della linea di costa** rispetto al **vento dominante**, che ha un'influenza diretta sulle dimensioni delle dune e sulle caratteristiche morfologiche del sistema duna-spiaggia.

Ingegneria Naturalistica costiera

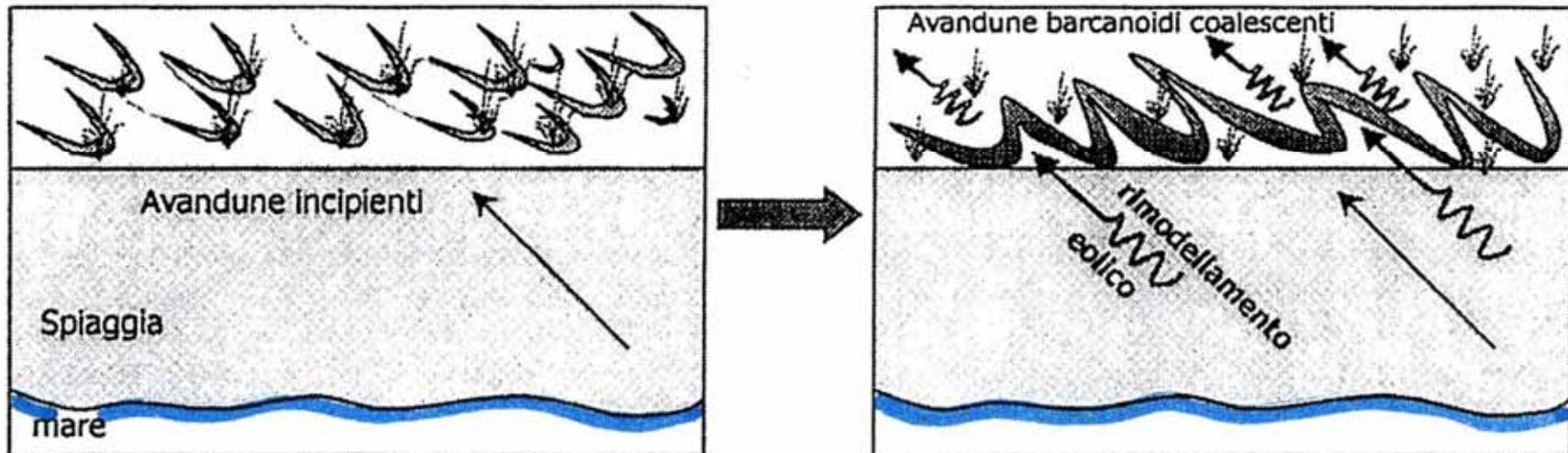
Progettazione di interventi costieri - geomorfologia dune

Nei siti con orientazione longitudinale (*longshore*) le avandune, formatesi per coalescenza longitudinale di forme *shadow*, sono molto più vicine alla spiaggia e presentano una conformazione delle linee di cresta più rettilinea rispetto ai casi con orientazione obliqua (*onshore*). Solamente nel primo caso, quindi, un ruolo importante nella modellazione delle avandune è esercitato anche dal **moto ondoso**.

Figura – *Modello di sviluppo delle avandune costiere* (da A. Bezzi, 1998)



a) ORIENTAZIONE LONGSHORE



b) ORIENTAZIONE OBLIQUA

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - geomorfologia dune

Il **litorale toscano** continentale è esteso circa 470 km e circa il 50% delle sue spiagge (estese 190 km) è soggetto ad erosione; ciononostante solo il 17% può considerarsi a rischio molto elevato e la limitazione del livello di rischio è dovuta al modesto sviluppo urbano e industriale della fascia costiera.

L'arretramento della linea di riva è più rapido (anche 10 o 20 m/a) alle ali deltizie dei **fiumi Arno** e **Ombrone**, ove l'erosione raggiunge la massima efficacia, anche per la quasi totale assenza di opere di difesa. In queste zone il rischio riguarda essenzialmente **ambienti igrofili** e di **dune costiere**, unici in Italia. Altri tratti a rischio molto elevato sono in corrispondenza delle foci di fiumi minori, a riprova che la causa principale dell'erosione risiede nell'impoverimento degli apporti fluviali e quindi nella gestione dei bacini imbriferi. In settori di estensione limitata il rischio elevato è dovuto alla presenza di zone archeologiche e biotopi.

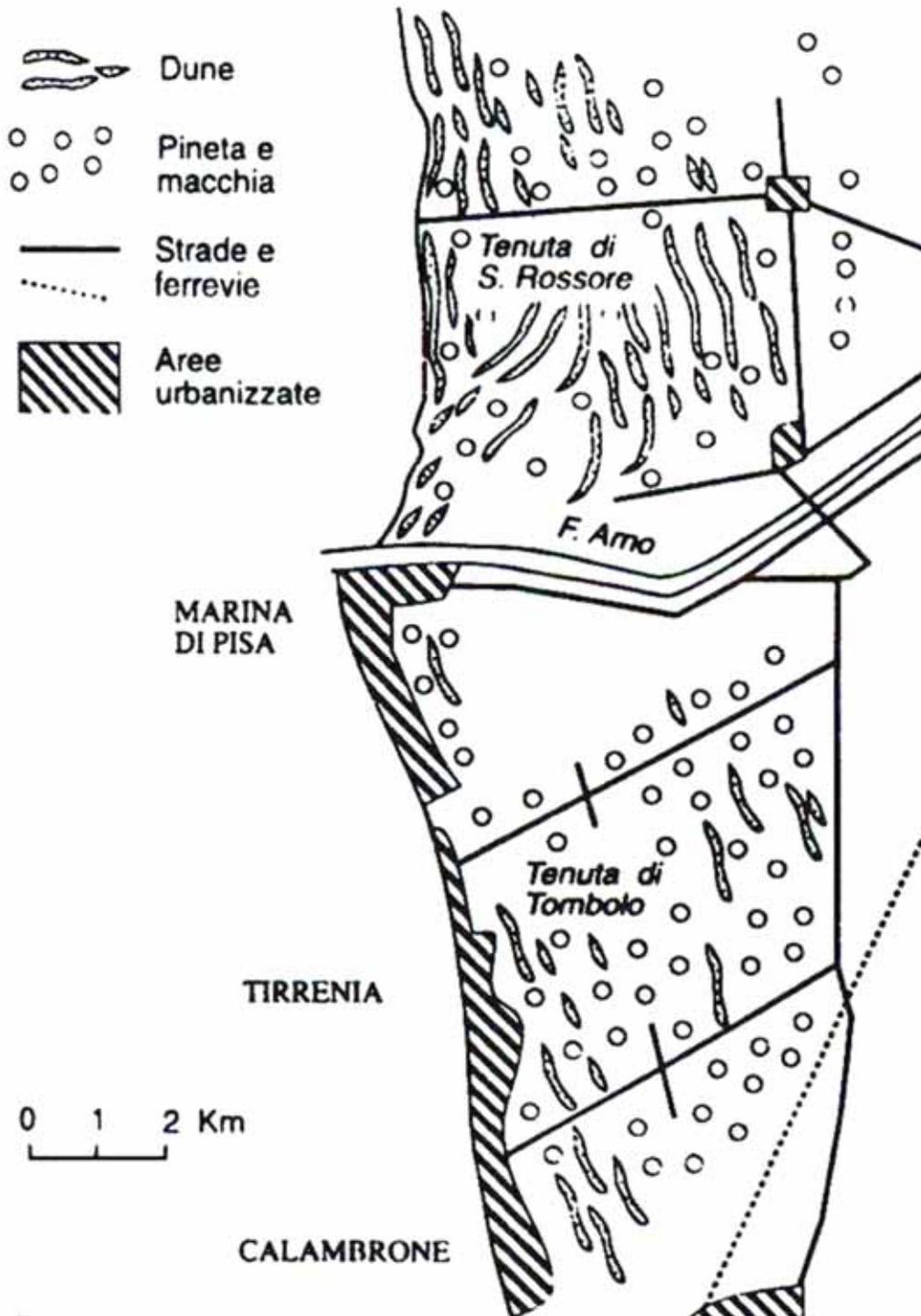
Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - geomorfologia dune

Lungo il litorale versiliense-pisano il ripetersi ciclico di ingressione e regressione del mare ha portato alla formazione di una serie di **dune** parallele alla linea di costa intervallate da zone depresse e umide, le **lame**.

Il calo dell'**apporto sedimentario** da parte dei fiumi ha coinciso con un poderoso intervento umano sul territorio che ha drasticamente **ridotto** quel sistema di dune, che anticamente occupava la fascia di territorio dai monti al piano, cioè il serbatoio di riserva dell'alimentazione di sabbia delle spiagge.

Figura – *Planimetria con sistemi dunari del Parco Migliarino-S. Rossore*

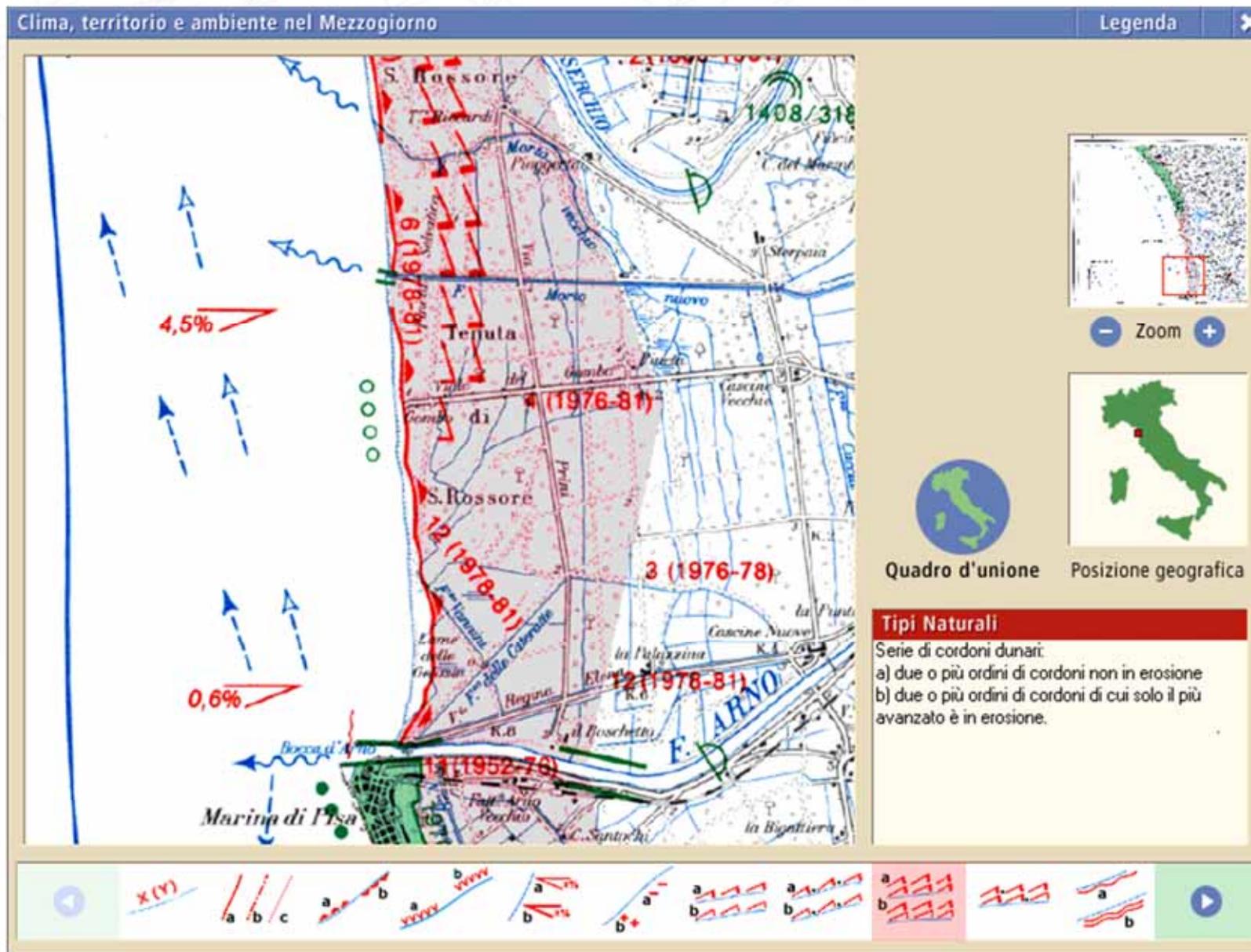


calaro

Figura – *Veduta satellitare del Parco Migliarino-S. Rossore (...)*



Figura – *Costa toscana instabile sull'Arno* (da CNR, 1999)



Ingegneria Naturalistica costiera

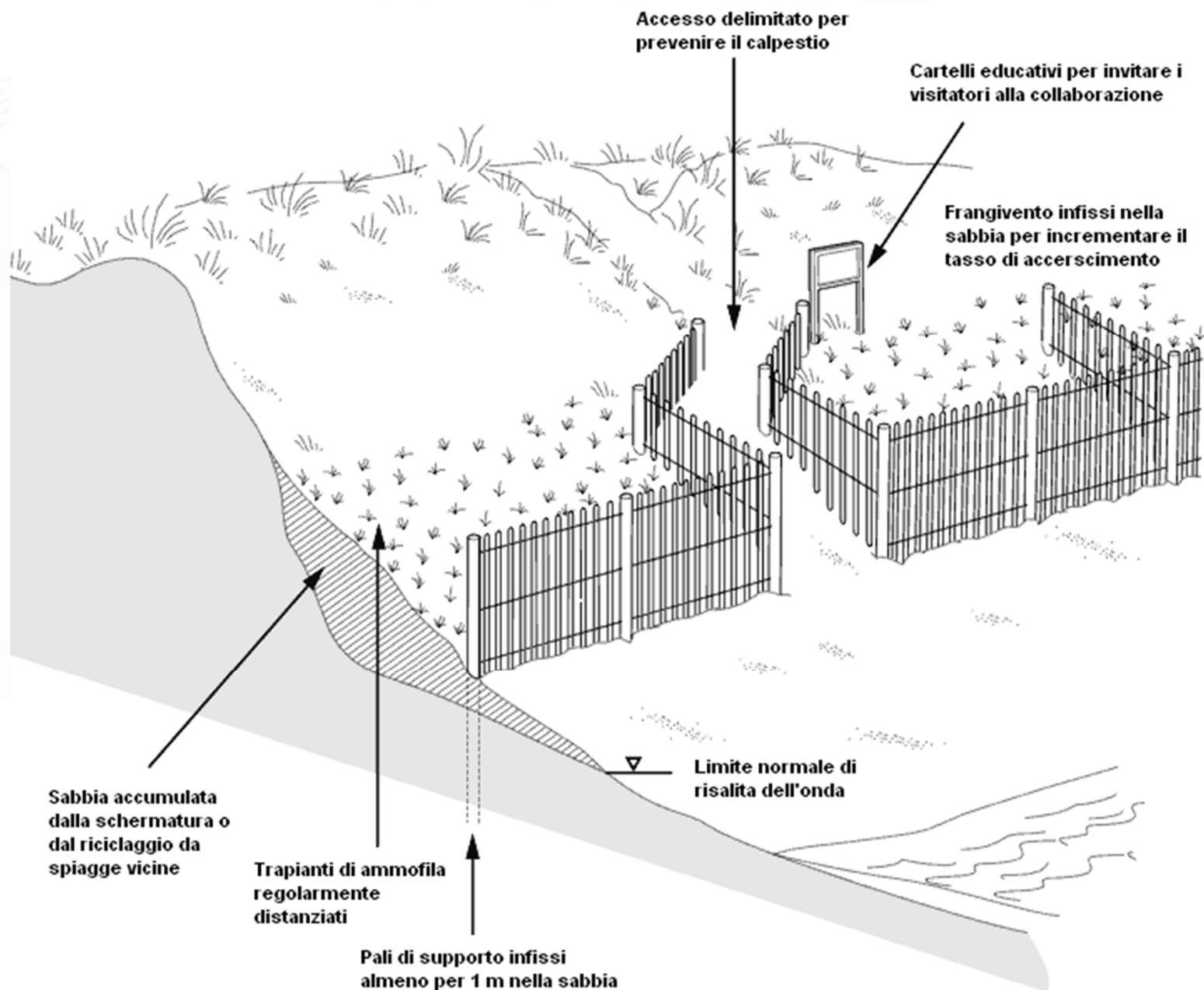
Rivegetazione delle dune

La formazione delle dune è direttamente collegata anche alla presenza della vegetazione, in particolare di quella **pioniera** (*Ammophila*), che favorisce la formazione di depositi embrionali, a distanze anche molto ridotte rispetto alla linea di riva.

La **riforestazione** delle dune non è però cosa semplice, dato che il substrato è in continua evoluzione e le radici delle nuove **piantine** vengono continuamente scoperte dal vento; essa viene quasi sempre accompagnata da **interventi**, eventualmente provvisori, idonei a ridurre la **mobilità** dei sedimenti, oltre che a limitare l'**accesso** (vedi **figura**).

La specie più frequentemente utilizzata per favorire la formazione di nuove dune o la stabilizzazione di quelle soggette a deflazione accelerata è l'***Ammophila litoralis***.

Figura – *Intervento tipo di rivegetazione e schermatura dunale* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)



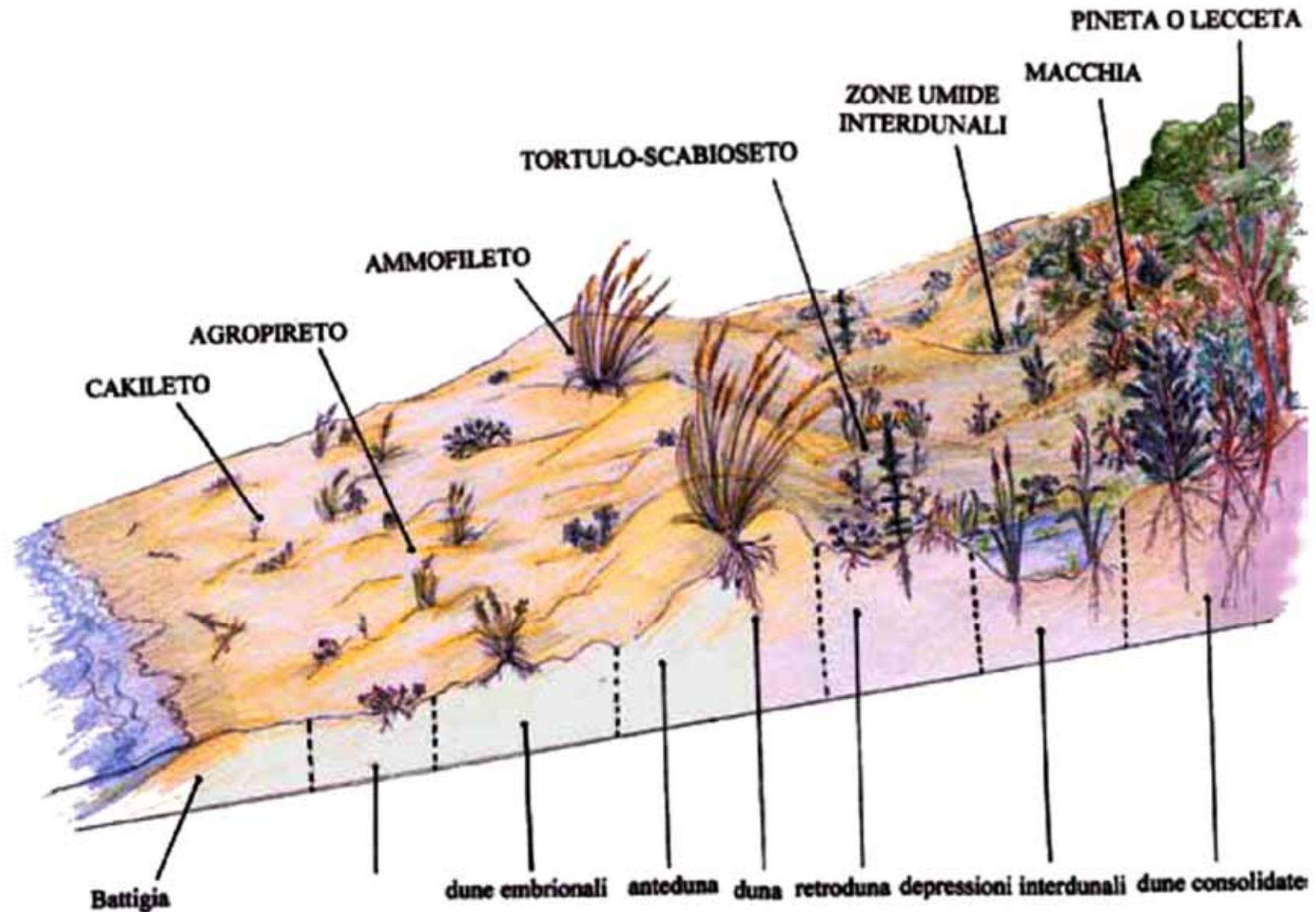
Ingegneria Naturalistica costiera

Rivegetazione delle dune

Le attenzioni agli aspetti ecologici delle dune hanno lo scopo di:

- mantenere pingue la **falda** di acqua dolce sottostante le dune, evitando il prelievo da pozzi superficiali, e facilitando la **percolazione** delle acque piovane (non paiono opportune le usuali fognature per acque bianche, che drenando e allontanando rapidamente le acque ne impediscono la percolazione);
- conservare la struttura di **barriera naturale**, anche e soprattutto nelle sue parti meno appariscenti ma più esposte che fronteggiano il mare, come la **zona erbacea** che fissa le sabbie (**vegetazione colonizzatrice**, caratterizzata in genere dalla presenza di *Ammophila arenaria*) e quella **arbustiva** retrostante (caratterizzata in genere dalla presenza di ginepro e olivello spinoso, **vegetazione schermante**).

Figura – *Vegetazione delle dune* (da S.Pignatti, 2001)



Ingegneria Naturalistica costiera

Rivegetazione delle dune

A costituire una prima barriera contro i venti marini è opportuno far precedere le fasce di vegetazione arborea da una prima linea di vegetazione più bassa, arbustiva, molto resistente ai venti carichi di salsedine e di sabbia; pertanto è opportuno conservare la **vegetazione spontanea** e, dove questa è stata eliminata, riprodurre artificialmente quella particolare forma che si trova in natura, ossia il **"cuneo"**, per cui i venti marini, incontrata la prima fascia arbustiva, vengono sollevati in modo da sfiorare e non investire direttamente le chiome delle compagini arboree retrostanti.

Adatte a questa funzione sono le specie della **bassa macchia mediterranea**, quali **Ginepro coccolone e fenicio, Mirto, Lentisco, Tamerici, Ginestra odorosa**. Anche l'Oleandro resiste bene in queste condizioni difficili.

Figura – *Forma a cuneo della vegetazione spontanea* (da G. Gisotti, 1991)

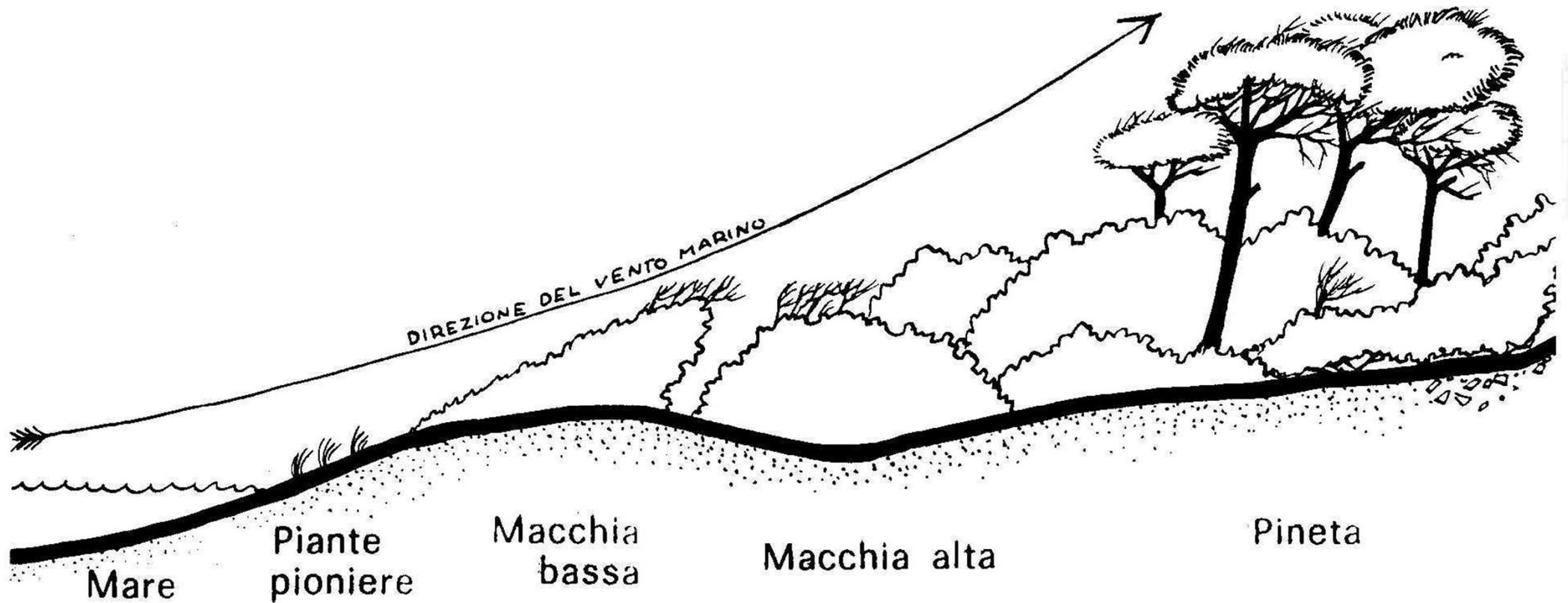
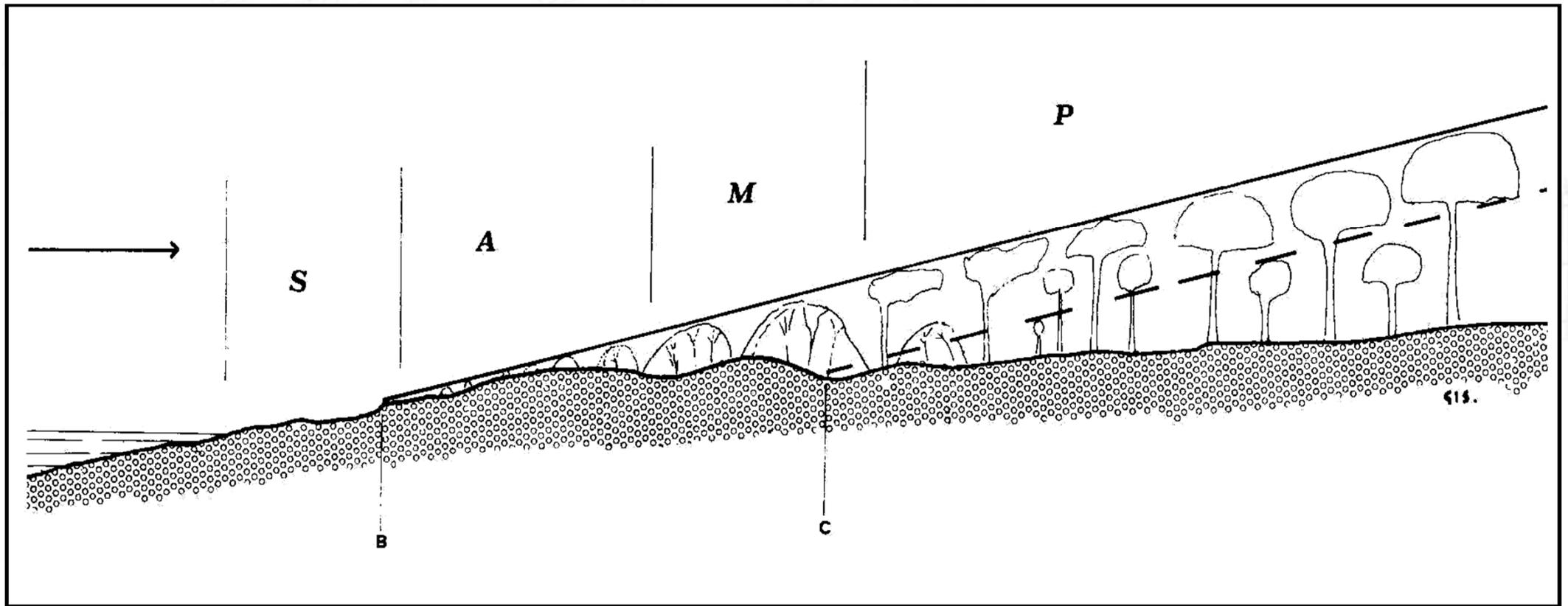


Figura – *Forma a cuneo della vegetazione spontanea* (da G. Gisotti, 1991)



Leg.: S = spiaggia; A = ammfioleto, agropireto (vegetazione antidunale); M = macchia mediterranea; P = pineta. Qualsiasi intervento che modifichi la struttura del «cuneo» di vegetazione, modificherà conseguentemente la vegetazione verso terra, venendo a mancare la reciproca protezione che esercitano le piante. Pertanto, se in seguito a degradazione della copertura vegetale una zona del cuneo viene distrutta, tra B e C, se ne formerà un altro più all'interno, e il vertice si sposterà da B a C: molte piante che prima erano riparate dai venti marini, nella nuova situazione saranno esposte e quindi soggette a deperimento, in quanto il sistema macchia protettiva-pineta per restare in equilibrio con l'ambiente dovrà riassetarsi su un fronte più arretrato. In particolare le piante colpite saranno quelle la cui chioma si trova al di sopra della linea tratteggiata.

Figura – *Effetti dell'aereosol sulla pineta* (da L. Onori, 2002)



Ingegneria Naturalistica costiera

Rivegetazione delle dune

Ma dove si trovano sabbie nude, mobili sotto la spinta del vento, è opportuno far precedere il rimboschimento da **specie consolidatrici**, adatte a questo particolare tipo di suolo sabbioso e salso.

Di solito l'imbrigliamento delle sabbie si effettua mediante **reticolo di viminate**, e nei riquadri viene eseguita la semina, o la piantagione, di **specie erbacee** (*Ammophila arenaria*, *Agropyrum junceum*, *Cakile marittima*, *Eryngium maritimum*, ecc.) o **arbustive** (*Tamarix sp.*, *Juniperus macrocarpa*).

In ogni caso tutte queste **piante**, dapprima arbustive poi arboree, delle fasce litoranee esercitano un'azione **favorevole** sulla vegetazione che le segue verso l'interno, che è quella, a volte d'importanza vitale, di ripararle dai **venti marini** carichi di salsedine, di sabbia e di inquinanti, i quali determinano forte erosione, esplicano **azione disseccante** sulla vegetazione e sul terreno e provocano deperimento della vegetazione.

Figura – *Viminate a Vendicari* (da F. Boccalaro, 2014)



Ingegneria Naturalistica costiera

Rivegetazione delle dune

La struttura vegetazionale della duna può essere usata anche come **indicatore di erosioni** in atto. Infatti, in fase regressiva della spiaggia vengono a trovarsi esposte sulla riva associazioni che non hanno funzione colonizzatrice o schermante.

Figura – *Distruzione di dune litoranee* (da F. Boccalaro, 2010)



Ingegneria Naturalistica costiera

Rivegetazione delle dune

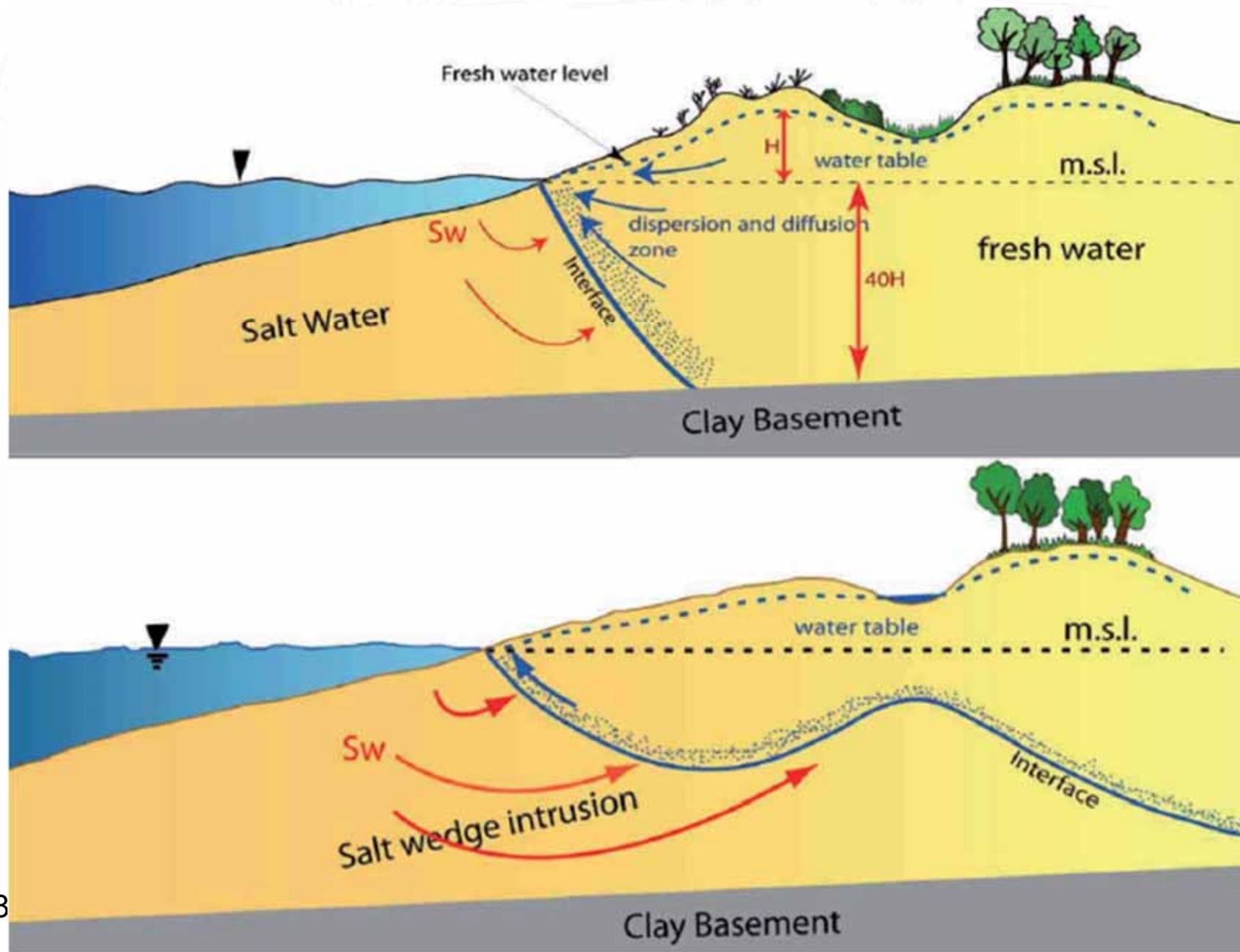
Gli ambienti dunali mutano le loro **condizioni microclimatiche** dal mare verso l'interno, ne consegue una sequenza di specie, organizzate in **associazioni vegetali**, adattate a vivere alle varie condizioni.

La **salinità**, il **vento**, la **motilità** del substrato sono massime sulla spiaggia e sulla prima duna (ambiente obiettivo del progetto), e vanno attenuandosi nell'interno. Ne consegue una vegetazione organizzata su più cinture parallele alla battigia: le prime sono quelle relative alle associazioni di **psammofite** tipiche della prima duna o duna mobile o duna bianca, poi si passa alla **gariga** discontinua sulla sommità della seconda duna o duna grigia, quindi alla **macchia** vera e propria.

Figura – *Intensità dei fattori ecologici sulla vegetazione dunale* (da Acosta, 2005)



Figura - Effetto barriera della falda d'acqua dolce in condizioni naturali (sopra) e antropizzate (sotto) (da Beachmed, 2008)



Ingegneria Naturalistica costiera

Rivegetazione delle dune

La scelta delle specie di psammofite rappresenta la fase iniziale del progetto. I **criteri della scelta** sono: la **rappresentatività** nell'ambito delle varie associazioni vegetali presenti sul territorio italiano, la **capacità strutturante** e contenitiva nell'ambito del processo di costruzione della duna, la **rarietà** e il rischio di scomparsa.

Per evitare, durante lo svolgimento delle attività, qualsiasi forma di **depauperamento** del patrimonio vegetale naturale attraverso eccessivi prelievi sul campo, si effettuano alcune campagne di prelievo volte a costruire un **vivaio di piante madri**, su cui basare gran parte delle attività.

Ingegneria Naturalistica costiera

Rivegetazione delle dune

Il contingente delle specie prescelte può comprendere:

Agropyron junceum, Ammophila littoralis, Anthemis marittima, Cakile marittima, Calystegia soldanella, Carpobrotus acinaciformis, Crucianella marittima, Cyperus kalli, Dorycnium hirsutum, Echinophora spinosa, Eryngium maritimum, Glaucium flavum, Juncus acutus, Lagurus ovatus, Matthiola situata, Medicago marina, Ononis variegata, Otanthus maritimus, Pancratium maritimum, Phragmites australiana, Plantago coronopus, Sporobolus pungens.

Sono da sperimentare i principali **metodi produttivi vivaistici**: il taleaggio, la produzione da seme e la separazione dei polloni, e le migliori risposte in termini di produzione efficiente sono esposti nella **tabella** che segue.

SPECIE	NOME COMUNE	FAMIGLIA	TECNICA DI RIPRODUZIONE TESTATA	TECNICA RITENUTA COMMERCIALMENTE EFFICACE
<i>Agropyron junceum</i>	Gramigna delle spiagge	Graminaceae	separazione seme	*
<i>Ammophila littoralis</i>	Sparto pungente	Graminaceae	separazione seme	*
<i>Anthemis maritima</i>	Camomilla marina	Compositae	taleggio separazione seme	*
<i>Cakile maritima</i>	Ravastrello marittimo	Cruciferae	seme	*
<i>Calystegia soldanella</i>	Vilucchio marittimo	Campanulaceae	separazione seme	*
<i>Carpobrotus acinaciformis</i>	Fico degli Ottentotti	Aizoaceae	taleggio separazione	*
<i>Crucianella maritima</i>	Crucianella marittima	Rubiaceae	taleggio separazione	*
<i>Cyperus kalli</i>	Zigolo delle spiagge	Cyperaceae	separazione seme	*
<i>Dorycnium hirsutum</i>	Trifogliino irsuto	Leguminosae	taleggio seme	*
<i>Echinophora spinosa</i>	Carota di mare	Umbelliferae	separazione seme	*
<i>Eryngium maritimum</i>	Calcatreppola marina	Umbelliferae	separazione seme	*
<i>Glaucium flavum</i>	Papavero cornuto	Papaveraceae	seme	*
<i>Juncus acutus</i>	Giunco pungente	Juncaceae	separazione seme	*
<i>Lagurus ovatus</i>	Piumino	Graminaceae	seme	*
<i>Matthiola sinuata</i>	Violaciocca sinuate	Cruciferae	taleggio separazione seme	*
<i>Medicago maritima</i>	Erba medica marina	Leguminosae	taleggio separazione seme	*
<i>Ononis variegata</i>	Ononide screziata	Leguminosae	seme	*
<i>Otanthus maritimus</i>	Santolina delle spiagge	Compositae	taleggio separazione seme	*
<i>Pancratium maritimum</i>	Giglio di mare	Amaryllidaceae	seme	*
<i>Plantago coronopus</i>	Piantaggine barbatella	Plantaginaceae	separazione seme	*
<i>Sporobolus pungens</i>	Gramigna delle spiagge	Graminaceae	separazione seme	*

Tabella – Rivegetazione delle dune: specie da utilizzare
(da P. Menegoni, 2004)



Figura – *Vegetazione delle dune* (da S.Pignatti, 2001)

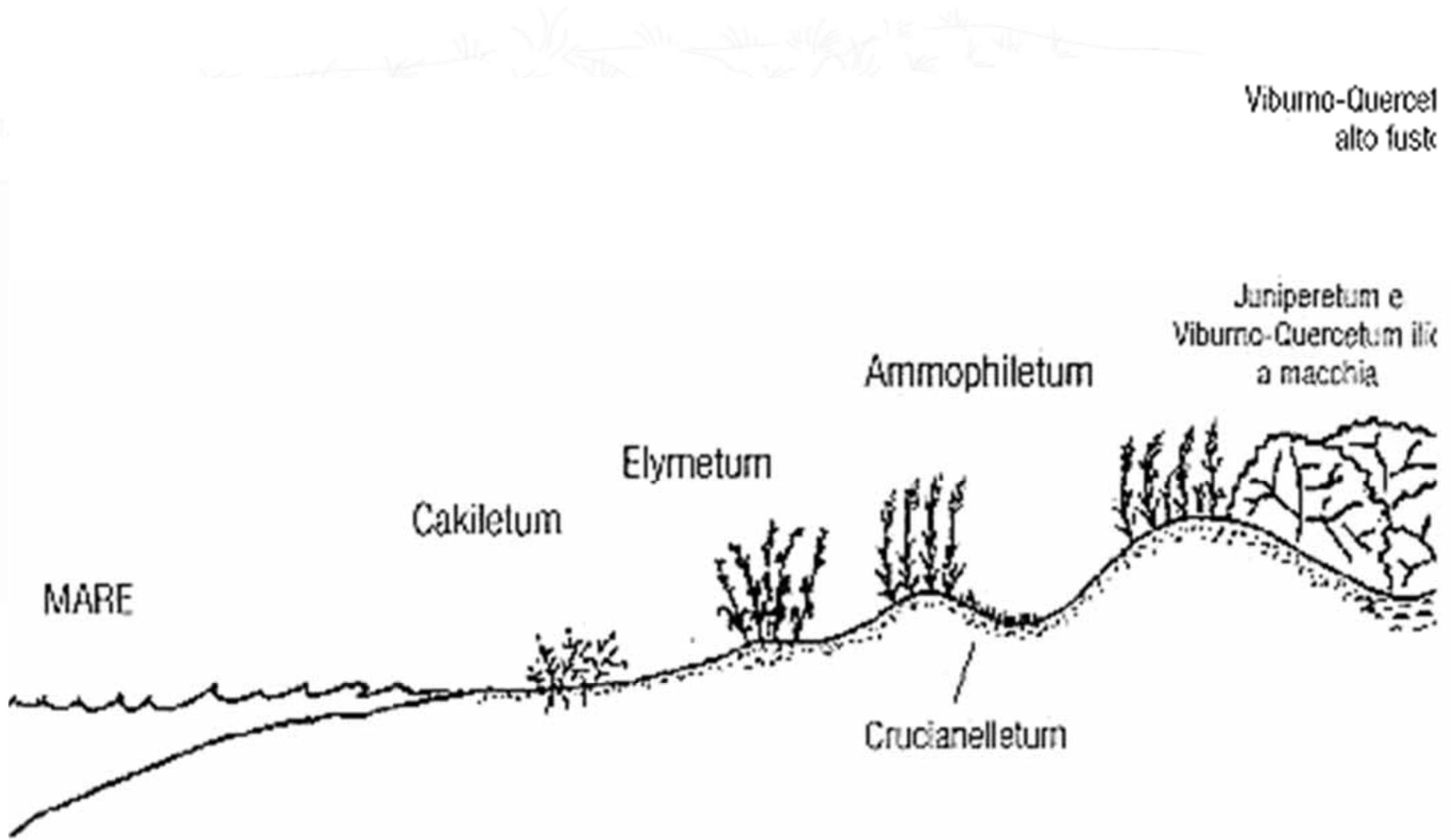




Figura – *Gradonate di
Ammophila arenaria
a Formentera (SP)*
(da F. Boccalaro, 2005)

Figura – *Ammophila arenaria* (da L. Fenaroli, 1962)

GRAMINACEE

L'AMMOFILA
o SPARTO PUNGENTE

Ammophila arenaria

Erba di alto sviluppo, formante densi cespi alti sino a 1 m, a foglie convolute, quasi giunchiformi, molto tenaci e pungenti, ornate da una lunga ligula bifida. L'inflorescenza è una densa pannocchia spiciforme, lunga 10-15 e anche sino a 30 cm (var. *arundinacea*). Tutta la pianta ha colore biancastro volgente al giallo-paglierino. Questa graminacea, tipicamente xeromorfa, è una delle più specifiche colonizzatrici delle sabbie litoranee ove forma associazioni proprie (Ammofieteti). Grazie al suo vasto apparato radicale, che è rizomatoso



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - interventi su dune

La formazione delle dune è direttamente collegata anche alla presenza della **vegetazione**, in particolare di quella **pioniera** (*Ammophila*), che favorisce la formazione di depositi embrionali, a distanze anche molto ridotte rispetto alla linea di riva.

La **difesa** o la **riformazione** delle dune litoranee sono tra gli interventi più rappresentativi dell'**ingegneria naturalistica** nell'ambito della protezione costiera.

Le dune possono essere **mobili** o **fisse**; le prime sono costituite da sabbia incoerente mossa dai venti, le seconde sono fissate dalla vegetazione che, in parte con le radici, in parte con l'*humus* prodotto, dà coerenza e capacità di trattenere umidità alle sabbie.

Il **passaggio** da un tipo all'altro è **reversibile**, avendosi in genere dune mobili in ambienti molto ventosi ed aridi e dune fisse in ambienti più favorevoli.

Figura – *Protezione di dune a cala s'Amador a Maiorca*
(da F. Boccalaro, 2007)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - interventi su dune

Tale processo però è difficile da realizzarsi nel senso che ognuno dei due tipi, una volta che si è instaurato, genera delle situazioni che **inibiscono l'altro**.

Le **dune fisse** hanno benefici **effetti** sul retrospiaggia:

- costituiscono un **argine** alle acque alte;
- costituiscono un **accumulo** di sabbia che alimenta la spiaggia occasionalmente in erosione;
- costituiscono una **barriera frangivento** che trattiene le sabbie e il salmastro, proteggendo il retrospiaggia.

Gli **argini a mare** sono un sostitutivo artificiale delle dune e realizzano praticamente solo il primo dei suddetti benefici, essendo in genere, quando esposti sulla spiaggia, difesi sul lato mare da un **rivestimento in pietrame**.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - interventi su dune

L'efficienza come **argine idraulico** è determinata dalla minima quota della sommità, e pertanto a parità di quota media o volume, sarà maggiore per un argine che non per una duna che ha sommità più irregolare.

Nei nostri climi le dune si **mantengono naturalmente**, senza oneri se non quelli derivanti dalle limitazioni all'uso del suolo.

Ingegneria Naturalistica costiera

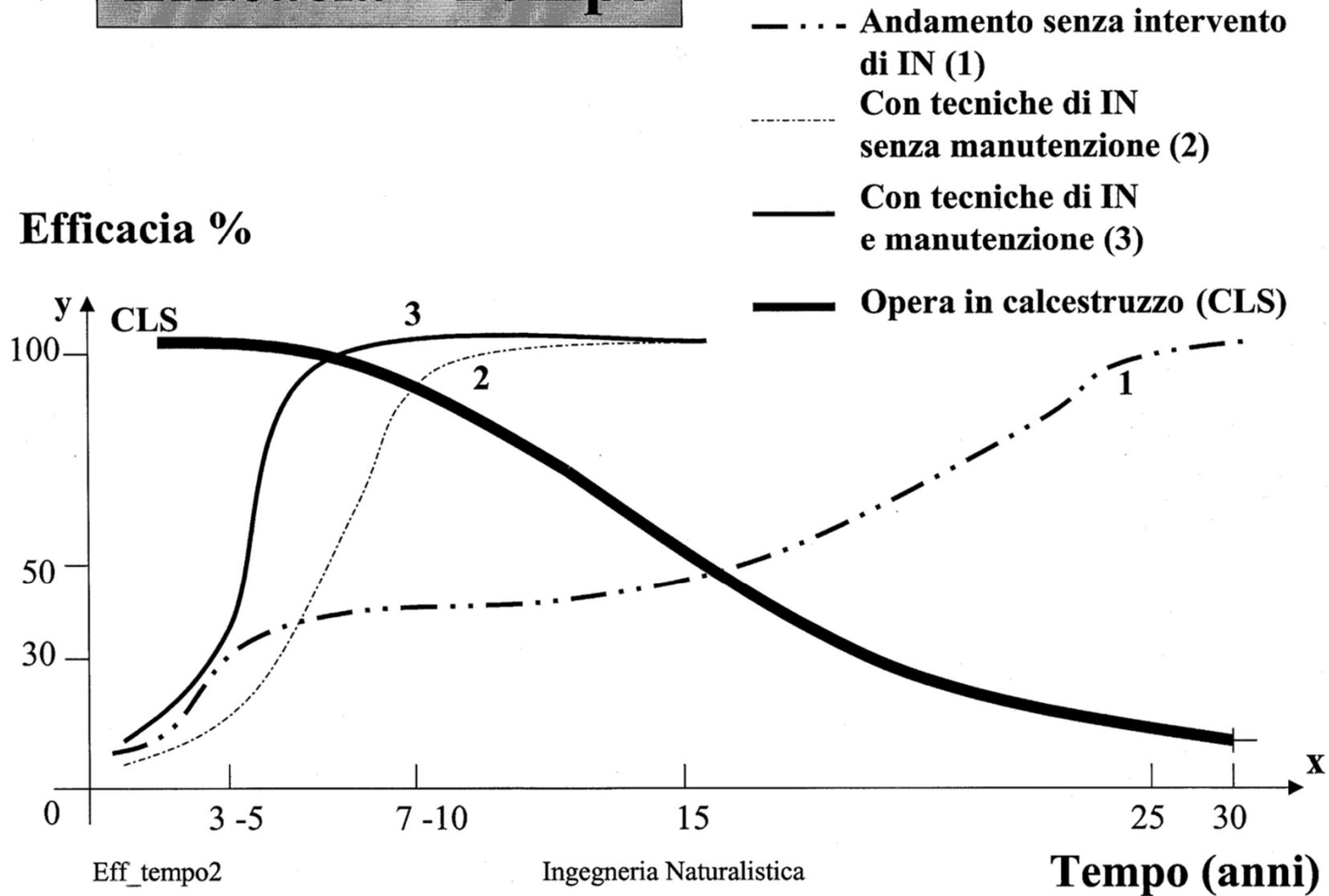
Progettazione di interventi costieri - interventi su dune

I fattori che condizionano la scelta dell'intervento sistematorio più idoneo sono elencati di seguito.

- **Scopo della sistemazione** : innanzitutto il consolidamento delle aree in duna, seguito da un aumento delle specie vegetali, un costo di manutenzione più contenuto possibile e la creazione di superfici utili.
- **Effetto tecnico** : le dune minacciate da erosione vengono protette mediante interventi di copertura, le dune minacciate da franamenti possono essere consolidate e rese stabili con interventi stabilizzanti o di sostegno.
- **Ecologia delle stazioni** : i fattori stazionali influenzano la scelta delle piante che, dal canto loro, contribuiscono a determinare il metodo costruttivo.

Figura - Efficacia nel tempo delle opere di ingegneria naturalistica (da G. Sauli, 2004)

Efficacia - Tempo



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - interventi su dune

La difesa delle dune contempla, oltre ai tradizionali strumenti urbanistici come l'interdizione all'accesso, anche la realizzazione di opere volte a ridurre l'erosione, a rifeodarle e a ripristinare la morfologia.

La rifeodazione delle dune non è però cosa semplice, dato che il substrato è in continua evoluzione e le radici delle nuove piantine vengono continuamente scoperte dal vento; essa viene quasi sempre accompagnata da interventi, eventualmente provvisori, idonei a ridurre la mobilità dei sedimenti, oltre che a limitare l'accesso (vedi *figura*).

La specie più frequentemente utilizzata per favorire la formazione di nuove dune o la stabilizzazione di quelle soggette a deflazione accelerata è l'*Ammophila litoralis*.

Figura – *Piantumazione di Ammophila arenaria sulle dune di S. Rossore (da F. Boccalaro, 2008)*



Figura – *Piantumazione di Ammophila arenaria sulle dune di Captiva Island, Florida (da DEFRA, 2009)*



Figura – *Piantumazione di Ammophila arenaria sulle dune di Cala Mesquida, Maiorca (da F. Boccalaro, 2010)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - interventi su dune

Le tecniche di intervento utilizzate nel mondo per stabilizzare o ricostituire le dune sono estremamente diversificate, anche se si stanno evolvendo tutte nella direzione dell'Ingegneria Naturalistica, come avviene ad esempio con la creazione di **barriere frangivento** in materiali naturali che simulano l'effetto della vegetazione (*vedi figura*). Si trovano comunque anche difese costruite con staccionate in legno, barriere di plastica e **reti in geotessuto** (*vedi figura*).

Figura – *Intervento di stabilizzazione di dune costiere con griglie di siepi morte (Olanda) (da U. Macchia, 1993)*



Figura – *Protezione di dune a cala Lagor in Algarve*
(...)



Figura – Schermature in paleria di castagno a Outer Banks (da Alan Brooks & Elizabeth Agate, 2004)



Figura – *Recinzioni e cartellonistica* (da F. Boccalaro, 2010)



Figura – *Intervento di stabilizzazione di dune costiere con utilizzo di geosintetici. Cap Feret (Francia) (da DEFRA, 2008)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - interventi su dune

L'accesso alla spiaggia viene spesso realizzato con percorsi sinuosi, così che il vento non possa incanalarvisi, e senza operare tagli artificiali; inoltre, si copre il suolo con passerelle in legno (*vedi figura*) o con detriti vegetali di varia natura, in modo da impedire la deflazione laddove il calpestio non consente lo sviluppo della vegetazione.

In molti casi, per impedire ogni interferenza fra le strutture e la morfologia delle dune, si realizzano passerelle sopraelevate fino a costituire veri e propri ponti che collegano la viabilità interna ed i parcheggi direttamente con la spiaggia (*vedi figura*).

Figura – *Passerella in legno per l'attraversamento di un campo di dune in Galles (da ...)*



Figura – *Passerella sulle dune di Paestum* (da F. Boccalaro, 2016)



Figura – *passerella sopraelevata in legname sulle dune di Cala Mesquida (Majorca, ES) (da F. Boccalaro, 2010)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Rinaturalizzazione di un sistema spiaggia-duna

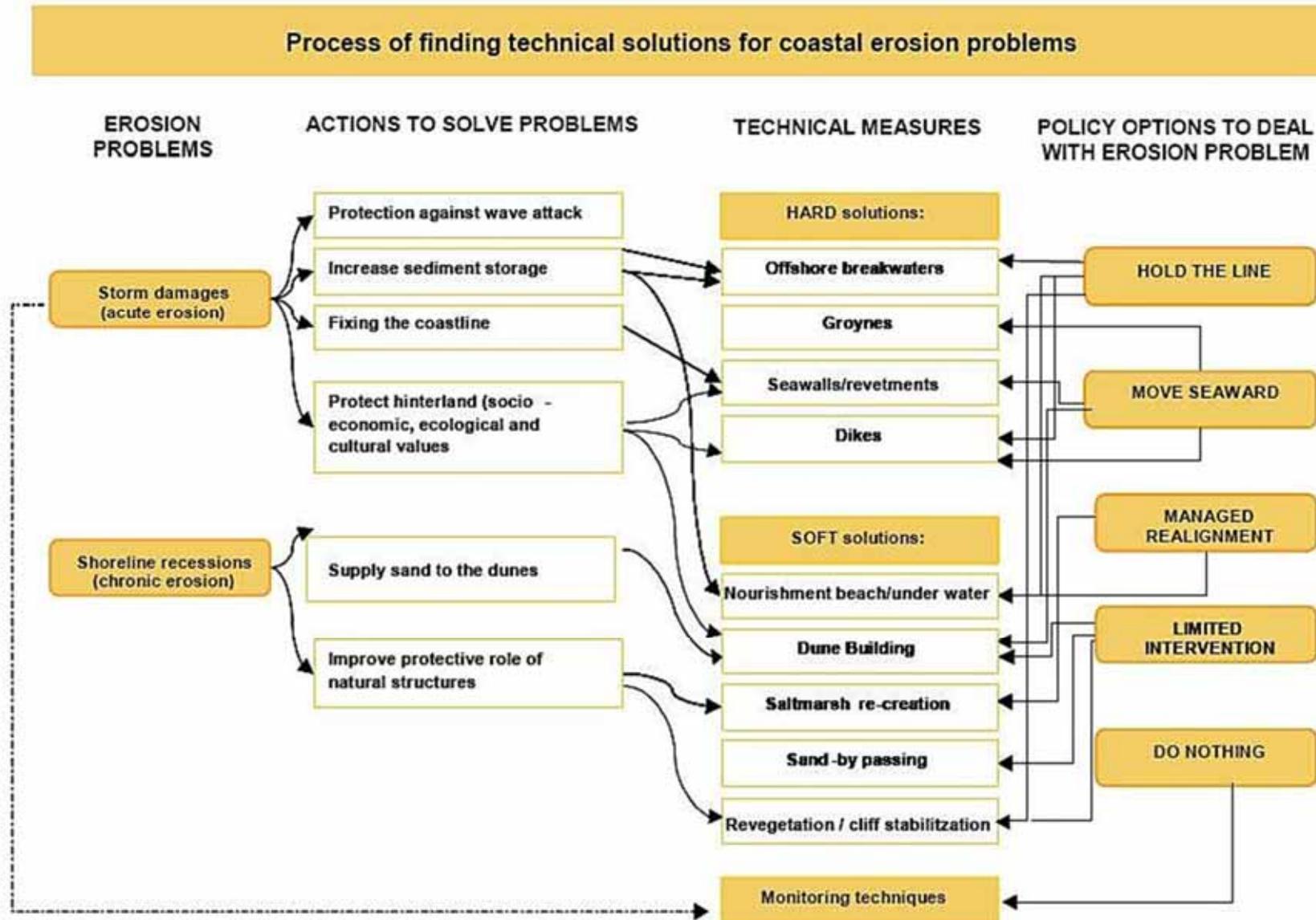
Sequenza operativa

L'ideale schema operativo per lavori di ripristino ambientale, che coinvolgano sistemi dunali erosi, distrutti o con ecosistemi totalmente banalizzati, si può così sintetizzare.

1. Realizzazione di uno studio di **compatibilità ambientale** ed economica dell'intero progetto, con raccolta del maggior numero di informazioni possibile sullo status naturale del sito sotto il profilo geomorfologico (foto, disegni, mappe, ricordi dei locali, ecc.) e sulle caratteristiche delle relative sabbie.

Raccolta di tutti i dati possibili sulla vegetazione potenziale naturale dell'area e sulla invertebrato fauna associata.

Figura – *Soluzioni per problemi di erosione costiera (CIRIA, 2014)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Rinaturalizzazione di un sistema spiaggia-duna

Sequenza operativa

2. Calcolo della **cubatura di sabbia** necessaria per il ripascimento dell'area in oggetto fino al raggiungimento di una fisionomia dunale assimilabile a quella naturale accertata o stimata, e progettazione delle strutture e del profilo finali attesi dell'intero sistema a regime.

Sotto la supervisione di sedimentologi e di biologi marini, individuazione di un'adatta area ove effettuare, senza significativi danni e ripercussioni sulla morfologia costiera e sulle comunità bentoniche, il **prelievo** della necessaria cubatura di sabbia; di norma è più opportuno scegliere sabbie di origine marina, individuando banchi a profondità ottimali intorno ai 10-20 metri, possibilmente nella stessa zona del sito di ripascimento, sia per ragioni di economicità di trasporto, che per affinità sedimentologiche del substrato.

Figura - *Ripascimento sulla costa romagnola (...)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Rinaturalizzazione di un sistema spiaggia-duna

Sequenza operativa

3. Identificazione delle specie vegetali adatte alla ricolonizzazione artificiale e controllata delle dune embrionali e di quelle mobili, e calcolo per ciascuna specie della quantità di plantule necessarie per le operazioni di reimpianto; la scelta di **piante autoctone** è opportuna soprattutto nella stabilizzazione di dune mobili, e inoltre favorisce lo sviluppo di comunità vegetali più ricche e diversificate.

La specie-guida del processo di fitostabilizzazione delle dune riqualificate è tipicamente rappresentata nel Mediterraneo dallo **sparto pungente** (*Ammophila littoralis*), eventualmente accompagnata in una seconda fase dalle localmente più adatte entità psammofile erbacee o arbustive di dune embrionali, duna e retroduna (*Lotus* spp., *Cakile maritima*, *Juniperus* spp., *Rosmarinus officinalis*, *Tamarix* spp., *Quercus ilex*, ecc.).

Figura – *Sparto e Eringio sulle dune di Cala Mesquida (Maiorca, ES)* (da F. Boccalaro, 2010)



Ingegneria Naturalistica costiera

Rinaturalizzazione di un sistema spiaggia-duna

Sequenza operativa

4. Individuazione, in aree limitrofe di buona qualità ambientale, di ecosistemi dunali nei quali, in accordo con le competenti autorità di controllo, e sentito il parere di esperti botanici e zoologi, si possano effettuare i necessari **prelievi di specie vegetali** da reimpiantare, utilizzando la tecnica del diradamento locale.

Di norma per ciascuna specie interessata sono consigliabili prelievi non superiori al 5-10 % del totale di individui vegetali presenti, compatibili con una naturale rapida resilienza della comunità vegetale di origine.

L'eventuale disponibilità di vivai locali che forniscano plantule e semi delle specie vegetali interessate può spesso essere una valida alternativa o un utile complemento.

Figura – *prelievo di zolle di piante psammofile* (da F. Boccalaro, 2016)



Ingegneria Naturalistica costiera

Rinaturalizzazione di un sistema spiaggia-duna

Sequenza operativa

5. Prelievo con draghe montate su chiatte da trasporto delle previste quantità di sabbia, e sua veloce **rideposizione** nel nuovo sito, a livello della spiaggia emersa, lasciando possibilmente che almeno una parte dell'attività di modellamento dei cumuli sia affidata per qualche tempo successivo al moto ondoso, alle maree e ai venti dominanti, piuttosto che ai soli mezzi meccanici di movimentazione.

Figura – *accumulo di sabbia sulle dune di Cala Mesquida (Majorca, ES)*
(da F. Boccalaro, 2010)



Ingegneria Naturalistica costiera

Rinaturalizzazione di un sistema spiaggia-duna

Sequenza operativa

6. Predisposizione delle **zone di reimpianto** delle specie vegetali, utilizzando rami e **ramaglie** (o eventualmente **reti artificiali**) di norma disposti a disegnare quadrati e linee parallele, parzialmente infossati sui cumuli rimodellati, con basse **recinzioni lignee frangivento**, al fine di agevolare e proteggere la delicata fase iniziale di attecchimento e di ripresa vegetativa delle specie vegetali introdotte.

Figura – *schermature frangivento in canne e pali in legname sulle dune di Cala Mesquida (Majorca, ES) (da F. Boccalaro, 2010)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Rinaturalizzazione di un sistema spiaggia-duna

7. Raccolta delle essenze vegetali prescelte nel sito di prelievo (fatta possibilmente da operai agricoli addestrati) e rapido reimpianto delle stesse nel sito di destinazione. La messa a dimora può prevedere in una prima fase una densità media ottimale di *Ammophila* intorno alle 5-6 piante per metro quadrato, organizzando in modo casuale sub-moduli di una dozzina di metri quadri con densità di una quindicina di piante per metro quadro, alternati ad ampi spazi lasciati liberi o con densità inferiore.

Questa disposizione permette di simulare la naturale disposizione a gruppi di addensamento, tipica delle *Ammophila*, che consente un più facile inserimento spontaneo o indotto di altre specie pioniere. Anche la pratica di cospargere le dune con i resti di *Posidonia* ed altre erbe marine spiaggiate ha dato buoni risultati, trattandosi di materiali naturali largamente disponibili in loco e che rapidamente scompaiono senza lasciare tracce o richiedere lavori di risistemazione.

Figura – *piantazione di ammophila e passerella sopraelevata in legname sulle dune di Cala Mesquida (Majorca, ES) (da F. Boccalaro, 2010)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Rinaturalizzazione di un sistema spiaggia-duna

Sequenza operativa

8. Integrazione delle piantumazioni delle ammofile con quella delle **altre specie vegetali** previste, e **monitoraggio** periodico dell'intero sistema per due-tre anni, al fine di controllare l'attecchimento delle piante messe a dimora (grado di vitalità dei trapianti), e la resilienza dell'ecosistema (grado di naturalità dei trapianti), ovvero la capacità di altre piante pioniere di attecchire spontaneamente sulle dune ricostruite artificialmente.

Figura – *monitoraggio costiero sulla costa inglese (da DEFRA, 2010)*

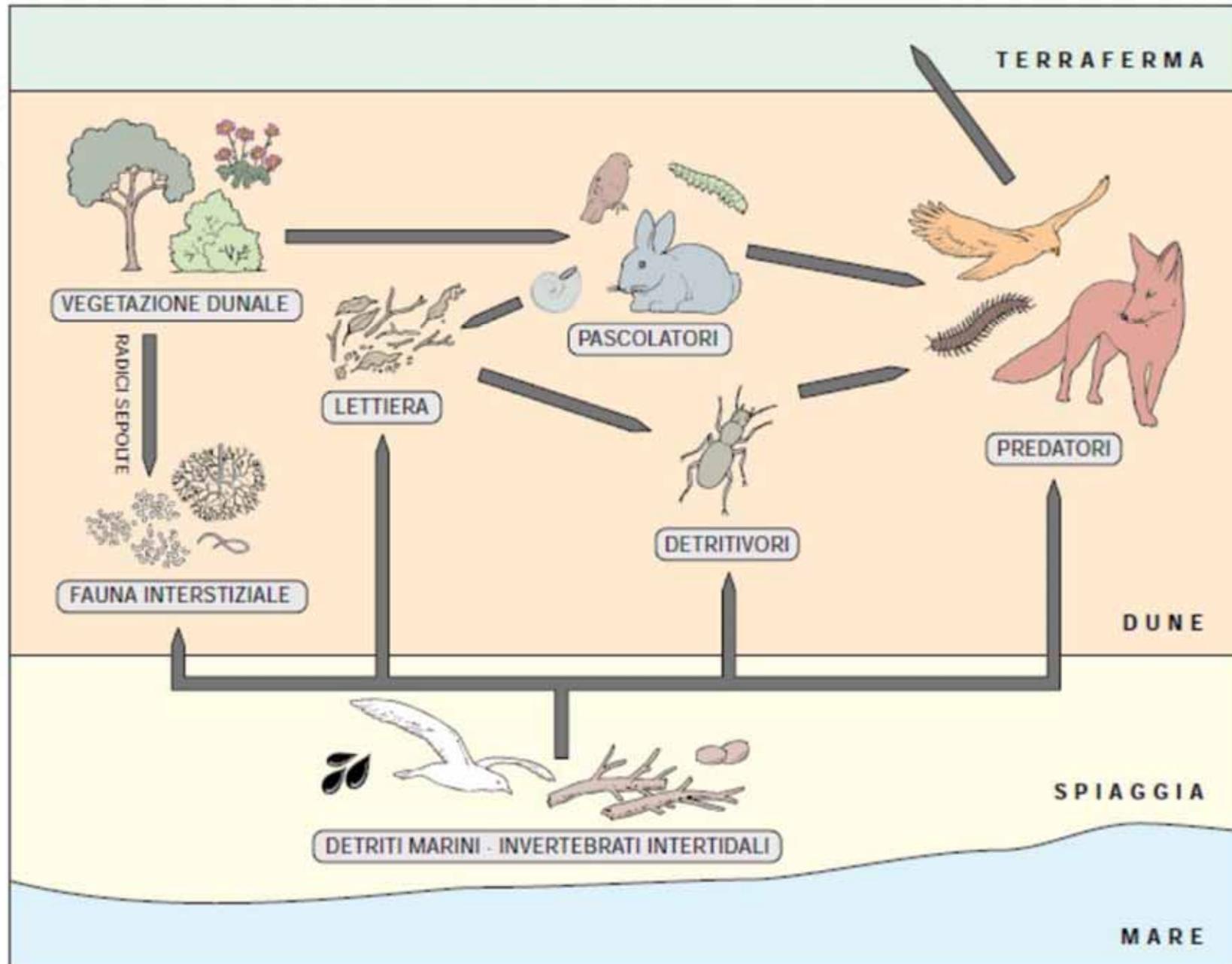


Ingegneria Naturalistica costiera

Rinaturalizzazione di un sistema spiaggia-duna

9. Monitoraggio delle comunità di **invertebrati psammofili** insediatesi naturalmente, almeno per un triennio. Una particolare attenzione è opportuno sia data alle **coleotterocenosi**, per le loro marcate capacità di colonizzazione e dispersione, e la loro elevata rappresentatività nel fornire indicazioni sulla qualità biologica complessiva degli ecosistemi terrestri. Uno strumento di calcolo ("*Biotic score*") studiato per valutare numericamente con strumenti oggettivi e sufficientemente ripetitivi e confrontabili le coleotterocenosi dunali dei sistemi costieri sabbiosi italiani è stato messo a punto recentemente, mutuandolo da esperienze condotte ormai da decenni per la valutazione qualitativa delle comunità macrobentoniche di acque correnti. Nella sua fase di sperimentazione per locali attività periodiche di monitoraggio è già stato utilizzato con un certo successo in ambienti dunali presso Gioia Tauro (Calabria) e in quelli del Parco Nazionale del Circeo (Lazio).

Figura - Reti trofiche (da M.S.N, 2010)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Sistemazione di una costa alta franosa lungo la linea ferroviaria Genova - Ventimiglia

Descrizione del progetto

Località: Aregai (IM).

Progressiva: km 117+520 della linea ferroviaria Genova - Ventimiglia.

Intervento proposto: opere stabilizzanti quali cordonata viva e drenaggio con fascine; opere di rivestimento quali semina manuale, terreno vegetale; interventi forestali quali rinfoltimenti con piantine di specie arbustive e arboree mediterranee in fitocella; estensione totale di 20 m in lunghezza per 4,5 m in altezza e con superficie di circa 130 m² (la stabilità del versante è garantita da un muro di sostegno ricostruito).

Costo preventivo dell'intervento: € 9000.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Inquadramento meteoclimatico (dati di Capo Mele)

Precipitazione media annua:	mm	108
Media di giorni piovosi all'anno:	g	59
Precipitazione media mese più piovoso:	mm	134
Precipitazione media mese meno piovoso:	mm	19
Temperatura media annuale:	°C	15,5
Temperatura media mese più caldo:	°C	23
Temperatura media mese più freddo:	°C	9
Media di giorni anno con insol. > media mensile:	g	212
Numero di ore di sole annue:	h	2349
Umidità relativa media annua:	%	64,5
Direzione venti prevalenti estate:		NE
Velocità media vento:	m/sec	3,2
Direzione venti prevalenti inverno:		NE
Velocità media vento:	m/sec	3,9

Figura – *Scogliera ad Aregai (IM)* (da F. Boccalaro, 1996)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Geologia e geomorfologia

Substrato geologico costituito da flysch di Sanremo ad Elmintoidi calcareo-marnoso del Cretaceo. Si tratta di una formazione relativamente monotona e potente, costituita dalle tipiche facies del flysch ad Elmintoidi, essenzialmente calcareo-marnose, con alternanze ritmiche di marne e calcari in strati di spessore sovente elevati.

La morfologia è costituita da rilievi collinari con forme più o meno accidentate con fianchi di solito mediamente acclivi, talvolta ripidi. Questi terreni danno luogo a forme del rilievo alquanto durevoli, persistenti e assestate.

La pendenza è di 45° ; l'esposizione è a sud, l'altitudine è di 12 m.

L'erodibilità idrica superficiale è medio-alta. In passato si è verificata sul sito una frana da crollo del muro di sostegno a mare per scalzamento alla base ad opera del moto ondoso.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

I drogeologia

Drenaggio - Il reticolo idrografico è in genere a scarsa densità. Con l'aumentare delle intercalazioni marnose anche la densità sale. Non sono presenti importanti falde acquifere, comunque sono possibili piccole falde locali.

Permeabilità - Suolo poco permeabile. Permeabilità primaria nulla; permeabilità secondaria bassa o media per fessurazione.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Geotecnica

Resistenza - Nel complesso i carichi ammissibili in fondazione possono raggiungere i 3-5 kg/cmq, laddove la formazione è essenzialmente integra. Le caratteristiche peggiorano nella massa rocciosa intensamente fratturata. Vicinanza di pendii ripidi, plasticizzazioni delle intercalazioni argillose per azione delle acque, superfici di scorrimento non visibili sono altri elementi che possono peggiorare il comportamento del terreno nei riguardi delle sollecitazioni.

Stabilità, dissesti - In generale questi terreni sono stabili. In particolari aree, dove struttura geologica sfavorevole, interventi antropici ripetuti ed errati e caratteristiche idrologiche negative si presentano singolarmente o insieme, si verificano dissesti come frane di scivolamento o di crollo. Sui versanti ripidi, i sovraccarichi artificiali possono favorire il formarsi di fenomeni franosi.

Figura – *Versante in frana ad Aregai* (da F. Boccalaro, 1996)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Inquadramento vegetazionale

Stazione

Altitudine, m 12.

Esposizione, sud-sudovest.

Inclinazione, 70-100 %.

Substrato geologico, *flysch* di Sanremo ad Elmintoidi calcareo-marnoso del Cretaceo.

Associazione vegetale definitiva o *climax*, querceto sempreverde a predominanza di leccio.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Inquadramento vegetazionale

Orizzonte delle sclerofille sempreverdi mediterranee

a) Specie arboree (bosco mediterraneo)

Quercus ilex

Leccio

Quercus suber

Sughera

Pinus halepensis

Pino d'Aleppo

Pinus pinaster

Pinastro

Pinus pinea

Pino domestico

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Inquadramento vegetazionale

Orizzonte delle sclerofille sempreverdi mediterranee

b) Specie arbustive (strato alto macchia mediterranea)

Arbutus unedo

Corbezzolo

Ceratonia siliqua

Carrubo

Olea europaea

Oleastro

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Inquadramento vegetazionale

Orizzonte delle sclerofille sempreverdi mediterranee

c) Specie arbustive (strato basso macchia mediterranea)

Calycotome spinosa

Ginestra spinosa

Cistus salvifolius

Cisto a foglie di salvia

Erica arborea

Erica arborea

Juniperus oxycedrus

Ginepro ossicedro

Myrtus communis

Mirto

Pistacia lentiscus

Lentisco

Rhamnus alaternus

Alaterno

Spartium junceum

Ginestra

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Inquadramento vegetazionale

Orizzonte delle sclerofille sempreverdi mediterranee

d) Specie suffruticose (gariga)

Euphorbia spinosa

Euforbia spinosa

Glycyrrhiza glabra

Liquirizia

Lavandula latifolia

Lavanda

Thymus vulgaris

Timo

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Inquadramento vegetazionale

Orizzonte delle sclerofille sempreverdi mediterranee

e) Specie erbacee (graminacee)

Ampelodesmos tenax

Andropogon hirtus

Hedera helix

Stipa pennata mediterranea

Ampelodesma

Barba irta

Edera

Stipa delle fate

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Inquadramento vegetazionale

Orizzonte delle sclerofille sempreverdi mediterranee

f) Specie erbacee (leguminose)

Anthyllis barba-jovis

Barba di Giove

Hedysarum capitatum

Sulla minore

Lathyrus ochrus

Cicerchia pisellina

Lotus creticus

Ginestrino di Creta

Psoralea bituminosa

Trifoglio cavallino

Trifolium vesiculosum

Trifoglio ventricoso

Figura – *Versante in frana ad Aregai* (da F. Boccalaro, 1996)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Inquadramento pedologico

Suolo

Substrato pedogenetico costituito da materiale sabbioso-argilloso, sciolto, con spessore variabile a seconda della pendenza e della copertura vegetale, dotato di capacità idrica di ritenuta soddisfacente; gli elementi nutritivi sono scarsi, la reazione è neutra o subacida, mentre il tenore di *humus* è elevato nei suoli coperti dal bosco o dal prato, modesto nei suoli coltivati. Nel complesso si tratta di suoli dotati di **fertilità media**. Le pratiche colturali hanno accelerato l'impoverimento di tali suoli, a causa delle loro caratteristiche, della morfologia e del clima in cui si trovano.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

Ingegneria naturalistica

Interventi di rivestimento

Semina manuale

Fornitura e stesa di terreno vegetale

Biostuoia

Preparazione del terreno

Rivegetazione con piantine in vaso o fitocella

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - rupi marittime

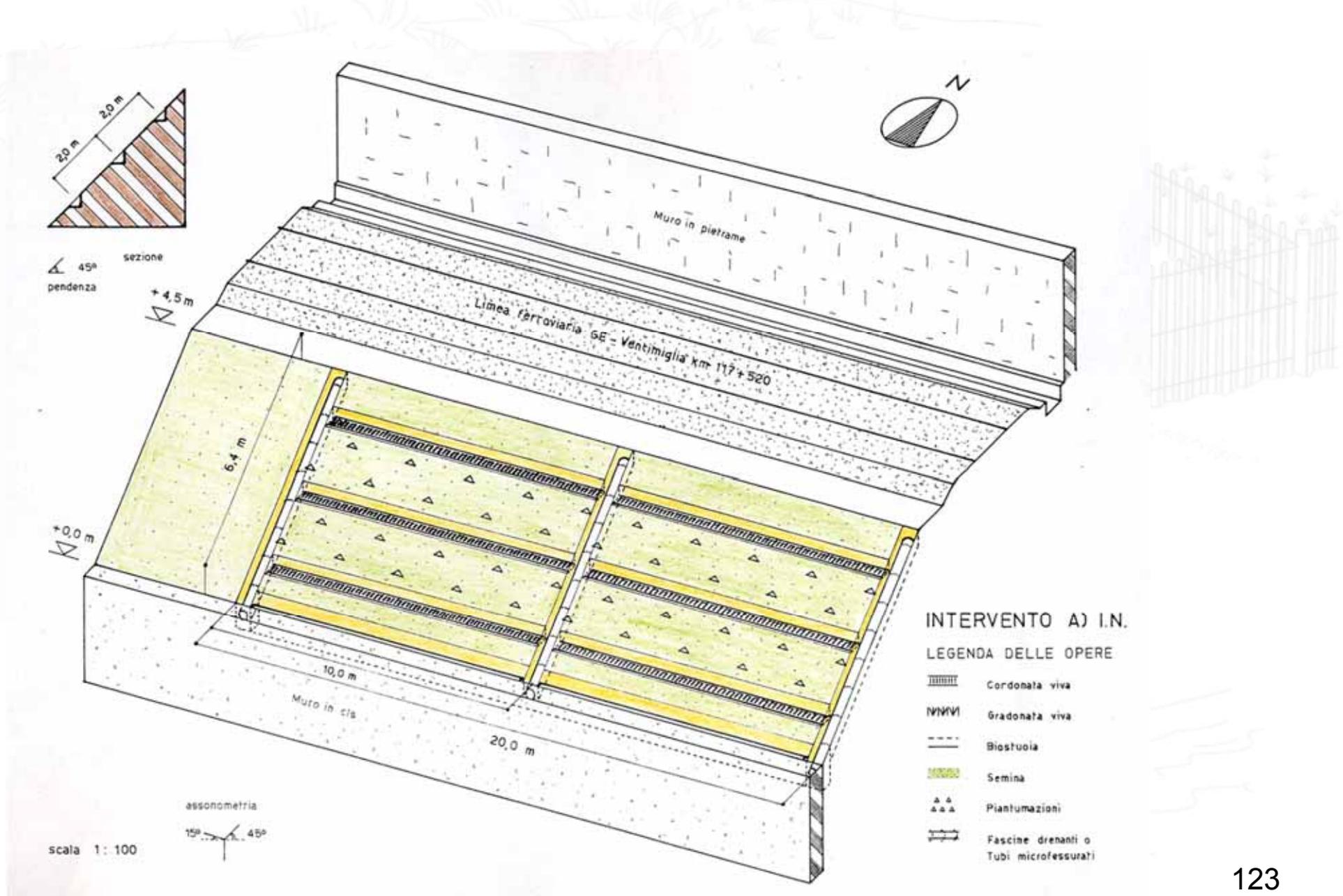
Ingegneria naturalistica

Interventi stabilizzanti

Cordonata viva secondo *Praxl*

Drenaggio con fascine

Figura – *Cordonate vive e drenaggi con fascine a Aregai* (da F. Boccalaro, 1996)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune e fondali

Sistemazione di una costa bassa erosa lungo le dune di Sovereto

Il progetto sul sito SIC Dune di Sovereto (194,25 ha), comune di Isola Capo Rizzuto (KR), nell'ambito dell'Area Marina Protetta di Capo Rizzuto, si prefigge lo scopo di riportare gli habitat prioritari presenti, che ospitano specie di interesse comunitario e nazionale, in un **buono stato di conservazione** per le specie vegetali e animali tipiche delle dune. Indirettamente, riguarderanno anche aree di rilevanza archeologica.

Gli **obiettivi** principali riguardano effetti di arresto ed inversione delle compromissioni in atto delle risorse naturali dell'area, di diffusione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica applicate all'ambiente marino-costiero, e di protezione e recupero ambientale degli habitat prioritari costieri e marini.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

In particolare gli **obiettivi** principali riguardano

- azioni di **arresto** ed inversione delle compromissioni in atto delle risorse naturali dell'area;
- diffusione delle **tecniche di Ingegneria Naturalistica** applicate all'ambiente marino-costiero;
- protezione e recupero ambientale dell'insieme degli habitat prioritari 22. **Dune marittime delle coste mediterranee** (dune costiere, dune fisse, dune forestate);
- azioni di recupero della funzionalità ecologica ed aumento della biodiversità nei confronti dell'insieme di **habitat prioritari** 11. Acque marine e ambienti a marea (estuari, praterie di Posidonia) e 32. Acque correnti (fiumi mediterranei).

Figura – Sito SIC Dune di Sovereto (da MinAmbiente, 2008)

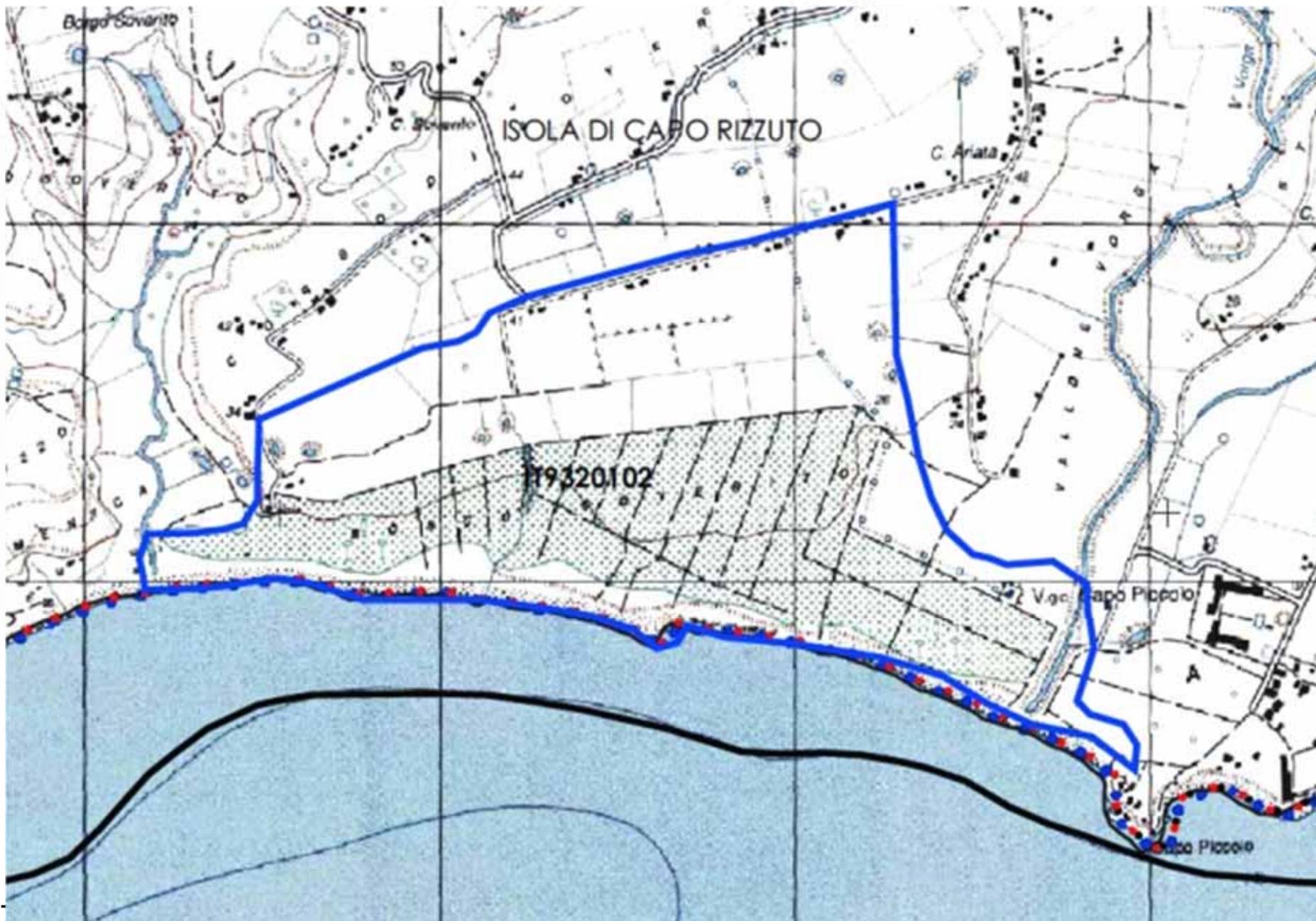


Figura – *Dune di Sovereto* (da F. Boccalaro, 2008)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Il progetto in questione prevede le seguenti attività:

Organizzazione di un corso teorico di Ingegneria Naturalistica applicata all'ambiente costiero e marino.

E' un seminario di aggiornamento tecnico. Una *full immersion* di due giorni durante i quali verranno esposte le più recenti metodologie di attuazione dell'Ingegneria Naturalistica applicata alla difesa delle coste e dei fondali marini. Il terzo giorno è prevista una escursione didattica al sito S.I.C. Dune di Sovereto. Il corso si colloca come un percorso guidato, dall'analisi geomorfologica ed ecologica delle coste e dei fondali marini antistanti, alla progettazione esecutiva di interventi di recupero, ripristino e miglioramento ambientale dei litorali con tecniche prevalentemente di ingegneria naturalistica. Verrà fornito un CD con il contenuto del Corso.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Esecuzione di un cantiere didattico di Ingegneria Naturalistica applicata all'ambiente costiero. Il corso si colloca come un percorso guidato dall'analisi geologica e botanico-vegetazionale dei versanti in frana, alla progettazione, fino all'esecuzione pratica di un cantiere didattico finalizzato al pieno recupero funzionale di un'area dunale dissestata all'interno del sito S.I.C. Dune di Sovereto.

Lezioni frontali, lezioni pratiche ed un continuo confronto ed approfondimento con professionisti del settore a livello nazionale, rappresentano lo svolgimento didattico del corso. Verranno realizzate attività di formazione in collaborazione con l'AIPIN, punto di riferimento da circa trenta anni nella formazione e nella divulgazione dei principi e delle tecniche di Ingegneria Naturalistica. Professionisti e soci dell'AIPIN cureranno le docenze e coordineranno la realizzazione di interventi nell'A.M.P., che verranno progettati e realizzati direttamente dagli allievi.

Figura – *Cantiere didattico* (da F. Boccalaro, 2016)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Redazione e pubblicazione di un manuale di Buone pratiche di Ingegneria Naturalistica applicata all'ambiente marino-costiero, rivolto agli amministratori, ai professionisti ed ai privati.

Il manuale prevedrà una raccolta di raccomandazioni per la progettazione e l'esecuzione di interventi di Ingegneria Naturalistica e di difesa del suolo applicati al settore marino e costiero per aree di particolare pregio ambientale e che comunque richiedono un approccio eco-sostenibile a lavori di ripristino-ricostruzione.

Il manuale tratterà tutti gli aspetti (progettuali, costruttivi, manutentivi) relativi agli interventi di difesa del suolo applicati alle coste, nella duplice funzione di protezione dal dissesto idrogeologico e di salvaguardia dell'ambiente.

Figura – *Manuale ripristino habitat costieri* (da F. Boccalaro, 2008)

Federico Boccalaro

Difesa delle coste e ingegneria naturalistica

Manuale di ripristino degli habitat lagunari,
dunari, litoranei e marini

Quest'opera ripercorre l'esperienza di lavoro dell'autore nel settore della difesa del corpo stradale e vuole descrivere i nuovi metodi di tutela delle coste che interessano gli habitat lagunari, dunali, litoranei e marini della penisola italiana, e più in generale dei paesi che si affacciano sul Mediterraneo.

Oggi si cerca di ridurre l'impatto ambientale delle opere, ricorrendo a strutture più flessibili e leggere, ma soprattutto rimverdibili, con l'obiettivo di coniugare maggiormente sicurezza delle persone, salvaguardia degli ambienti naturali e tutela del paesaggio.

L'Ingegneria Naturalistica costituisce lo strumento operativo per raggiungere questo obiettivo. Questo libro cerca di rappresentare tutti quegli aspetti (ecologici, progettuali, costruttivi, ispettivi, qualitativi, manutentivi) degli interventi per la difesa delle coste nella duplice funzione di protezione dal dissesto idrogeologico e di salvaguardia dell'ambiente.

Il manuale si rivolge agli operatori tecnici ambientali e ai gestori che si devono occupare di ripristino e manutenzione dei sistemi costieri e che spesso devono affrontare problemi di emergenza per il territorio.

● Ambiente



Federico Boccalaro



Difesa delle coste e ingegneria naturalistica



Federico Boccalaro

Difesa delle coste e ingegneria naturalistica

Manuale di ripristino degli habitat lagunari,
dunari, litoranei e marini

Nel CD allegato: capitolo "controllo di qualità", glossario,
approfondimenti e rassegna fotografica in pdf



- Idrodinamismo marino e geomorfologia costiera ✓
- Scogliere radenti e foranee, recupero e ripristino, ripascimenti e spiagge artificiali ✓
- Ecosistema costiero: la vegetazione dei litorali sabbiosi e salati, rocce, la macchia ✓
- Progettazione di interventi e monitoraggio delle opere costiere, ecosistema marino ✓



Dario Fico Editore



COLLANA SIGEA
DI GEOLOGIA
AMBIENTALE



Competibile Windows

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Realizzazione di un vivaio per la conservazione delle specie vegetali autoctone tipiche dell'habitat dunale.

L'intento è quello di attivare, nell'ambito di una struttura esistente, una sezione per la conservazione e propagazione di ecotipi locali di alcune specie mediterranee dell'ambiente dunale.

Per un terreno di 4.000 metri quadri (la superficie minima necessaria), l'investimento iniziale servirà per l'acquisto o la raccolta di 7.000 piantine o semi, e per l'attrezzatura necessaria a irrigare e concimare. Si aggiungeranno le spese per l'affitto della terra e l'eventuale assistenza di personale (ad esempio nelle fasi più critiche, come al momento di seminare). Dopo un anno, si potranno produrre circa 2.000 piante da riutilizzare per interventi ambientali.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Sarà avviata la produzione di piantine forestali di specie arbustive proprie degli habitat litoranei partendo da materiali di propagazione raccolti nei biotopi dunali del Marchesato di Crotona o coltivati in vivai regionali o nel vivaio del Parco Regionale dei Monti Aurunci.

Figura – *Vivaio di specie autoctone* (da F. Boccalaro, 2006)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Realizzazione di recinzioni e percorsi escursionistici e didattici supportati da specifica cartellonistica, pieghevoli e schede illustrative di divulgazione, appositamente studiati per permettere ai visitatori l'osservazione di questo ambiente senza interferire con il suo ecosistema, nella fascia fluviale, boscata e dunale del sito S.I.C. Dune di Sovereto. Le opere consisteranno in:

1. chiusura dei varchi di attraversamento delle dune;
2. installazione di passerelle in legname;
3. posizionamento di cartellonistica in legname;
4. informazione sulle modalità di accesso all'arenile;
5. installazione di garitte in legname per la sorveglianza.

Figura – *Recinzioni e cartellonistica* (da F. Boccalaro, 2010)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Recupero e difesa delle dune e della spiaggia del sito S.I.C. Dune di Sovereto con opere di Ingegneria Naturalistica e costiera. La zona costiera oggetto di intervento, compresa tra Le Castella e Capo Rizzuto, a ridosso del sito S.I.C Dune di Sovereto, per una lunghezza approssimativa di 3 km e una profondità di 50 m, si presenta fortemente degradata a causa dell'azione antropica e dell'azione marina. La continuità del cordone dunale risulta interrotta in più punti; varchi aperti artificialmente dal continuo passaggio dei bagnanti hanno determinato punti di innesco di processi erosivi, con conseguente formazione di grosse soluzioni di continuità nel sistema dunale per l'azione del vento. Il piede del cordone dunale appare gravemente eroso dall'azione del moto ondoso, pregiudicando la stabilità dei rilievi sabbiosi. La linea di riva della spiaggia risulta significativamente arretrata. L'area retrodunale si presenta in parte dissestata e per larghi tratti a suolo eccessivamente compattato per il passaggio di uomini e mezzi.

Figura – *Dune di Sovereto in erosione per blow out* (da F. Boccalaro, 2009)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Il risanamento delle dune e delle spiagge riguarderà le seguenti azioni:

1. **Contenimento del sentieramento e del calpestio.** Eventuale inserimento di specie arbustive tipiche di duna fissa. Eliminazione progressiva della vegetazione infestante e inserimento di specie erbacee di duna mobile (1 ha) [vedi **fig.**].

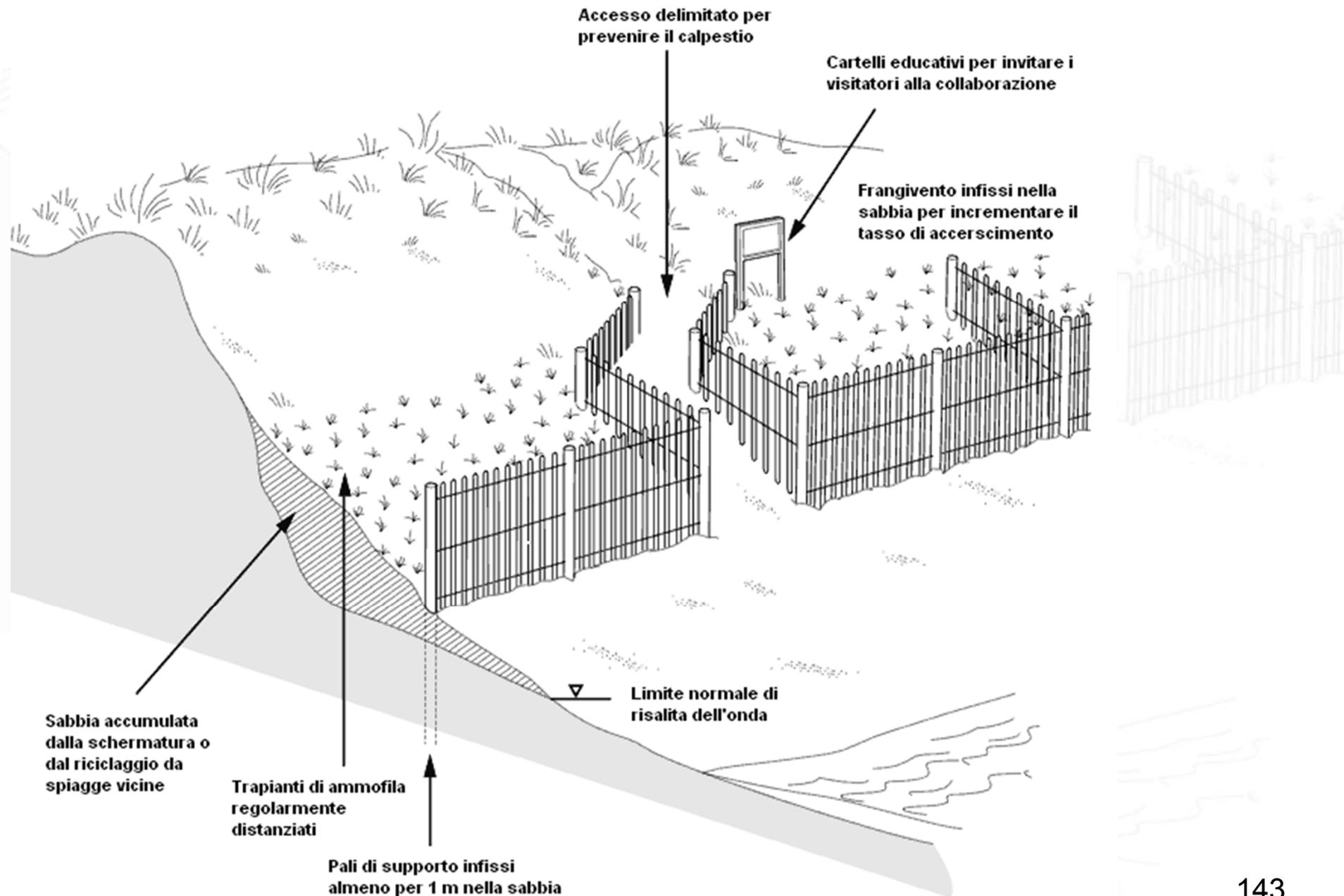
2. **Interventi di protezione e recupero ambientale delle dune (2.000 ml).** Prima di procedere al modellamento del cordone dunale, sull'intera area di intervento sarà recuperato tutto il **materiale vegetale** presente, fino ad una profondità di 70-80 cm, rimuovendo e setacciando la sabbia, che sarà temporaneamente stoccata. Successivamente, sarà **modellato** il corpo della duna con materiale recuperato in sito e, infine, ricoperto con la sabbia precedentemente stoccata, per formare uno strato adatto allo sviluppo della vegetazione.

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Il versante a mare e il piede del corpo delle dune saranno poi fissati, per garantire la stabilità della sabbia fino al completo sviluppo della vegetazione, mediante l'impiego di **biostuoie in cocco** e **paletti di castagno scortecciato**, **vimate romboidali** con verghe di tamerice e **paletti di castagno scortecciato**, **palizzate e/o palificate in legname di castagno scortecciato**, **sacchi di geotessile** riempiti di sabbia e pietrame e sepolti nella sabbia, rivestimenti in **blocchi di pietra locale (calcarenite)**, a guisa di placcatura del piede dunale, sepolti nella sabbia.

Figura – *Intervento tipo di rivegetazione e schermatura dunale* (da Scottish Natural Heritage, 2004)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

3. Recupero morfologico-ambientale di ex cava di sabbia (1 ha).

Riguardo al recupero morfologico della duna nel tratto interessato dalla cava, la scelta tecnica sarà quella di inserire delle barriere frangivento per favorire i processi di accumulo dei sedimenti sabbiosi, lasciando alla natura il compito di ricostruire il tratto di duna mancante.

Verghe di tamerice intrecciate su paletti di castagno, saranno utilizzate per realizzare una **struttura alveolare** a nido d'ape, opportunamente orientata per intercettare ortogonalmente i venti dominanti e favorire la sedimentazione delle particelle sabbiose all'interno delle celle.

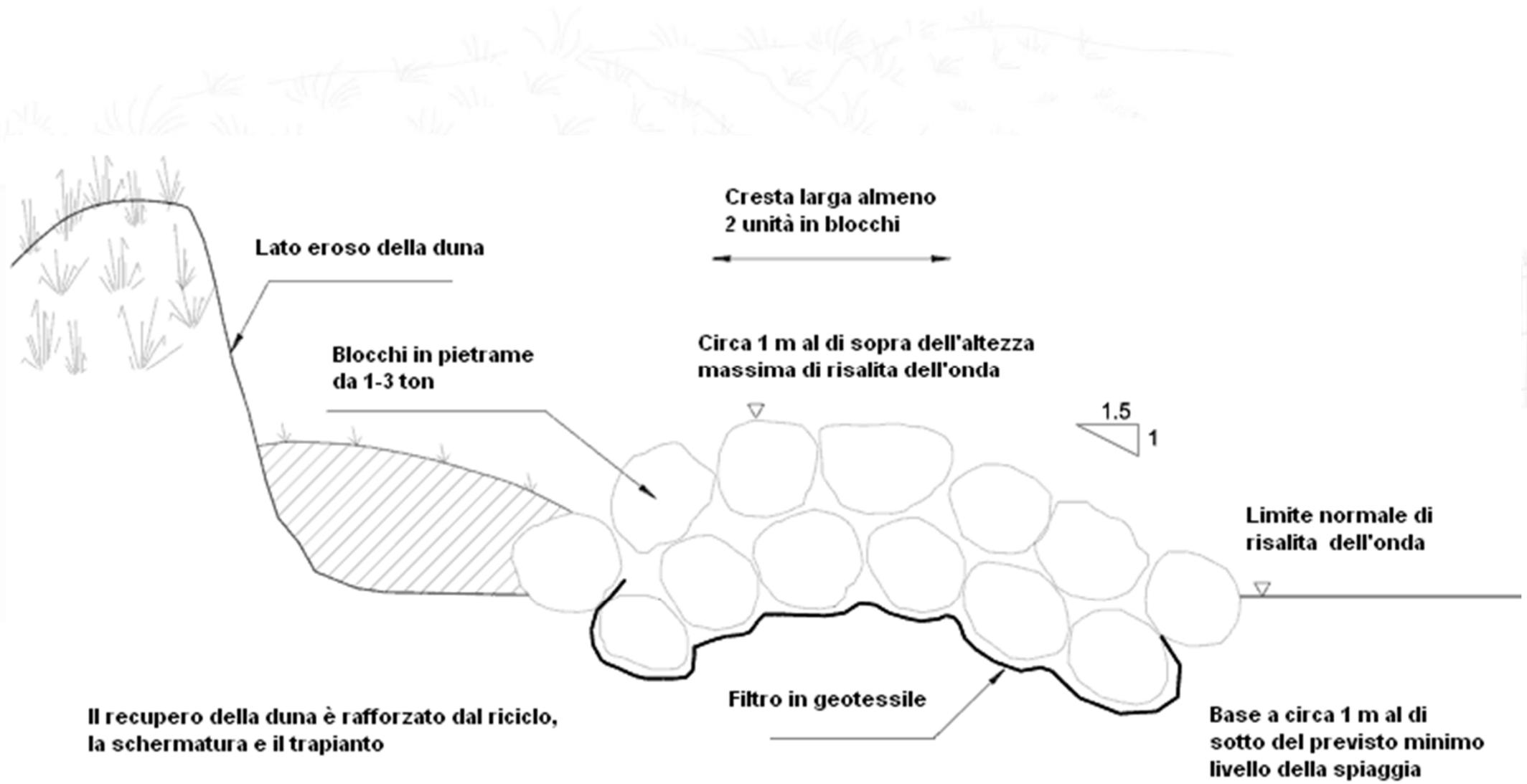
Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

4. Interventi di protezione e recupero ambientale delle spiagge (1000 m).

Riguardo al recupero morfologico delle spiagge nel tratto interessato dal sito S.I.C. Dune di Sovereto, la scelta tecnica sarà quella di usare metodi di difesa morbidi, considerata l'alta valenza ambientale della zona in questione, e comunque adatti a conservare le naturali interazioni tra duna e spiaggia. Gli interventi saranno prevalentemente articolati in ripascimento protetto, promontori artificiali in blocchi di pietra locale (calcarenite), pennelli artificiali permeabili in pali di legname di castagno impregnato, scogliere artificiali in blocchi di pietra locale, frangiflutti prossimi alla riva in blocchi di pietra locale.

Figura – *Promontorio artificiale* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Recupero della biodiversità della vegetazione ripariale alla foce del torrente Vorga e nelle aree umide circostanti presso il sito S.I.C. Dune di Sovereto.

Gli interventi saranno così articolati:

1. Recupero funzionale ed ambientale delle sponde del torrente Vorga (bacino Vallone Vorga di circa 64 kmq) in prossimità della foce (500 ml di asta fluviale) con diffusione delle tipologie forestali dell'Arbusteto ripariale a **salici**, associazione adatta alla colonizzazione dei greti stabili del fiume, protette con **palificate** e **fascinate vive spondali**. Formazione di nuclei di diffusione selezionati per incrementare i processi evolutivi della vegetazione riparia.

Ingegneria Naturalistica costiera

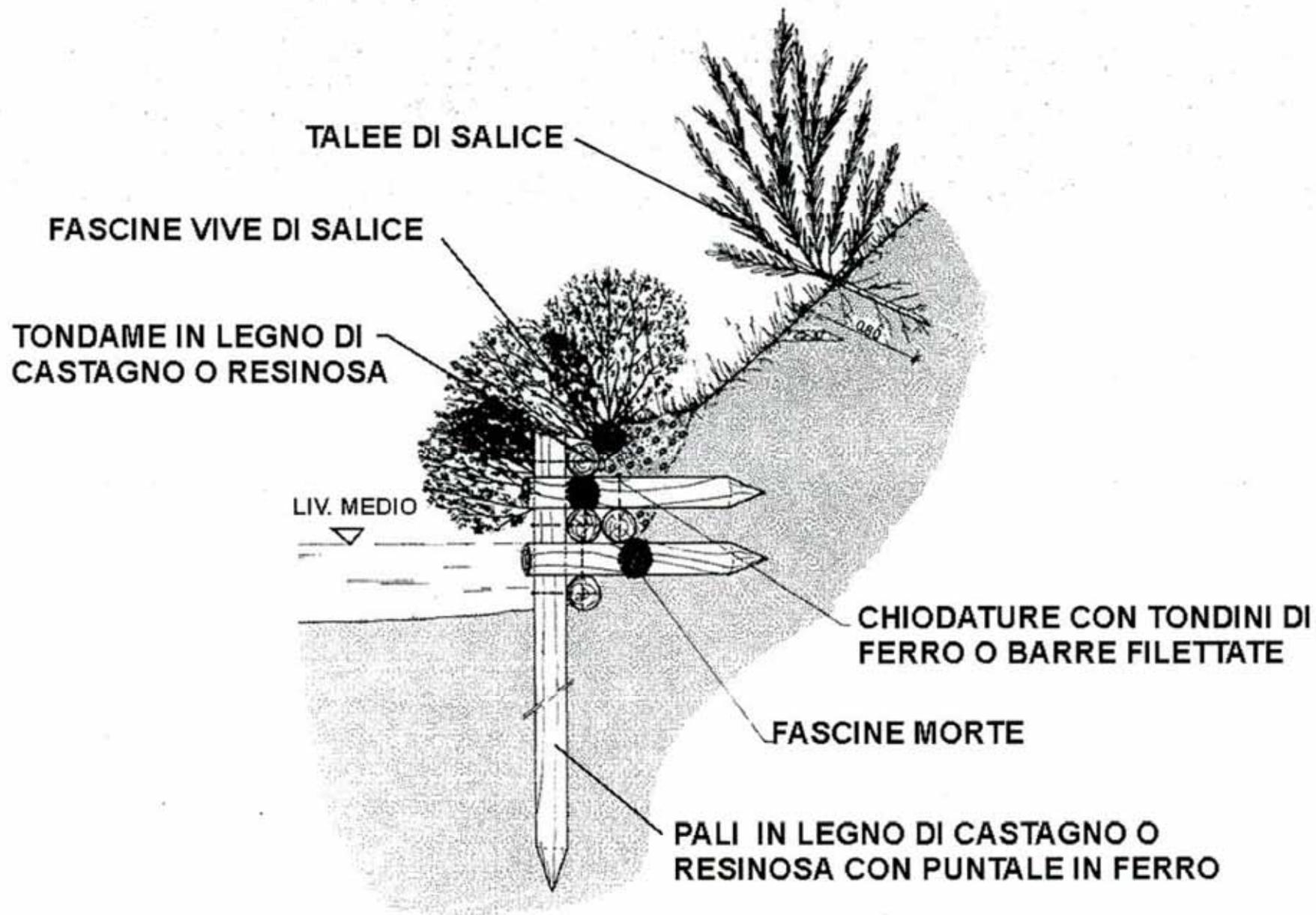
Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

2. Ampliamento e riqualificazione di aree umide retrodunali dulciacquicole, o debolmente salmastre (circa 0,25 ha) con **trapianto di rizomi e cespi** dal selvatico di specie palustri e **rulli spondali con zolle di canne**.

Figura – *Torrente Vorga* (da F. Boccalaro, 2009)



Figura – *Palificata spondale* (da F. Florineth, 2006)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Formazione di barriere artificiali sommerse per il frangimento delle onde, il ripopolamento dei fondali e la dissuasione della pesca a strascico.

La barriera artificiale sarà una costruzione effettuata con l'impianto di corpi solidi sui fondali che si vogliono proteggere entro i 50 m di profondità o le 3 miglia, limiti entro i quali l'esercizio della pesca meccanica è illegale. Si tratta anche di un intervento di Ingegneria Naturalistica volto alla costruzione di **habitat artificiali per pesci** e altri organismi marini.

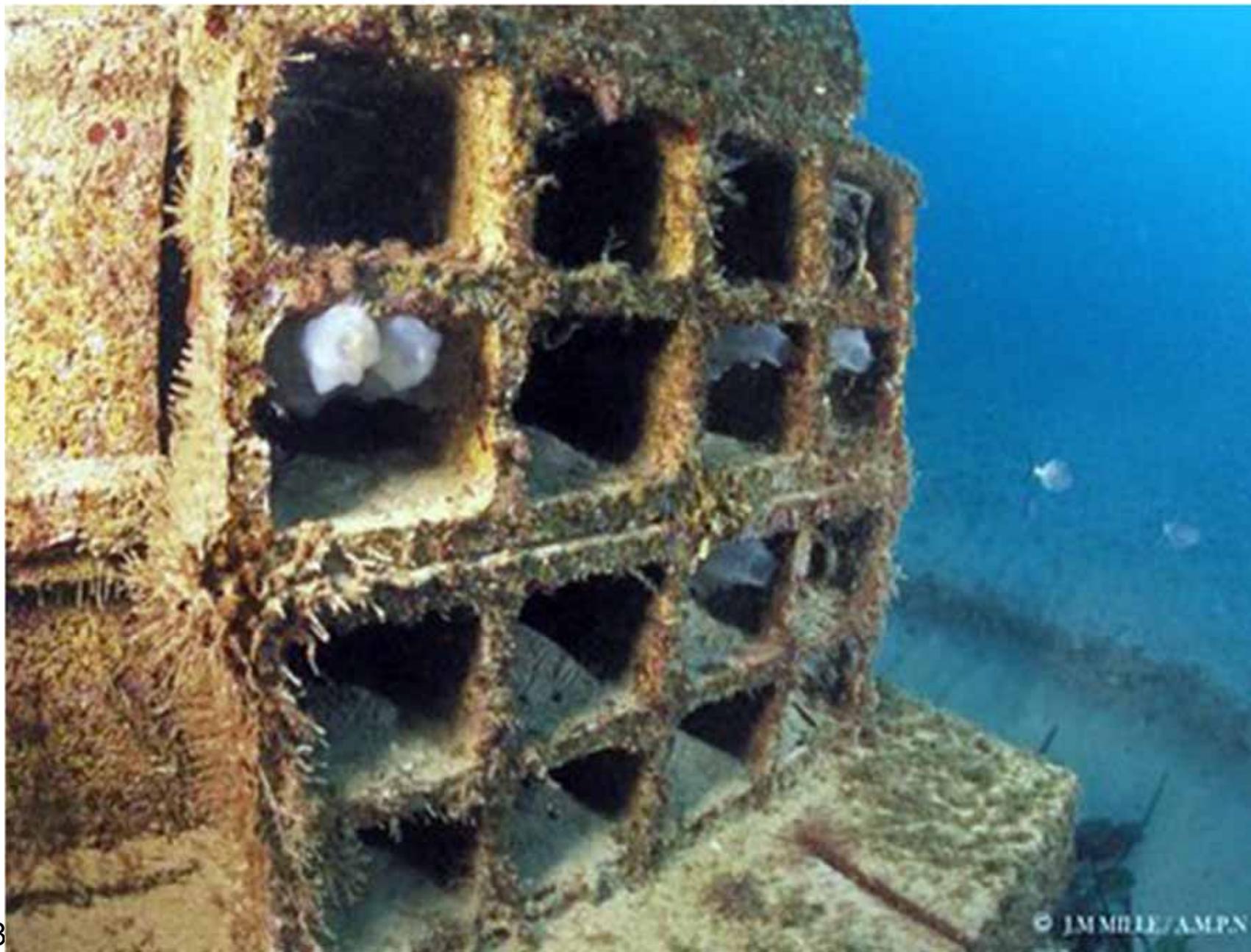
Gli elementi di base (circa 240) saranno costituiti da **manufatti in calcestruzzo armato *seafriendly***, assemblati e uniti fra loro per costituire delle strutture troncoconiche (circa 20), che costituiranno il *reef* artificiale sul fondale marino individuato. L'estensione dell'intervento sarà pari a circa 50 m x 200 m (1 ha).

Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Se opportunamente dimensionata e localizzata (una grande larghezza di cresta ed una piccola sommergenza) la barriera artificiale potrà svolgere anche funzione di **barriera frangiflutto sommersa**, tale da ridurre l'energia del moto ondoso entrante entro i limiti necessari alla stabilità degli arenili nella zona protetta, assicurando il ricambio d'acqua fra l'area esterna ed interna e quindi la salubrità delle acque di balneazione anche nei mesi estivi, non interrompendo la naturale dinamica di trasporto dei sedimenti lungo riva, evitando i problemi delle pericolose *rip currents* attraverso i varchi nel corso delle mareggiate, non impattando visivamente.

Figura – *Barriere artificiali antistrascico* (da Beachmed, 2012)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

Ripristino vegetazionale e stabilizzazione dei limiti superiori e inferiori delle praterie di Posidonia oceanica.

Intervento di rivegetazione dei limiti superiori e inferiori di praterie di Posidonia su fondali prospicienti il sito SIC Dune di Sovereto mediante il trapianto, a talee e a zolle, di Posidonia oceanica e di Cymodocea nodosa, prelevate da idonee zone di rifornimento. Tale intervento prevede la posa di idonei **rivestimenti antierosivi** e stabilizzanti come stuoie, griglie, celle e reti in materiali naturali o sintetici, e/o materassi in rete metallica abbinati a geotessuti, geostuoie e sabbia, per proteggere l'erbario, in fase di accrescimento, dal moto ondoso e dalle correnti, assicurando così l'evoluzione positiva del sistema. L'estensione dell'intervento sarà pari a circa 2 m x 100 m (0,02 ha) [Boccalaro F., 2012].

Figura – *Danni da ancoraggio al Posidonieto* (da F. Boccalaro, 2010)



Figura – *Materassi per impianti di Posidonia o.* (da F. Cinelli, 2009)



Ingegneria Naturalistica costiera

Progettazione di interventi costieri - dune di Sovereto

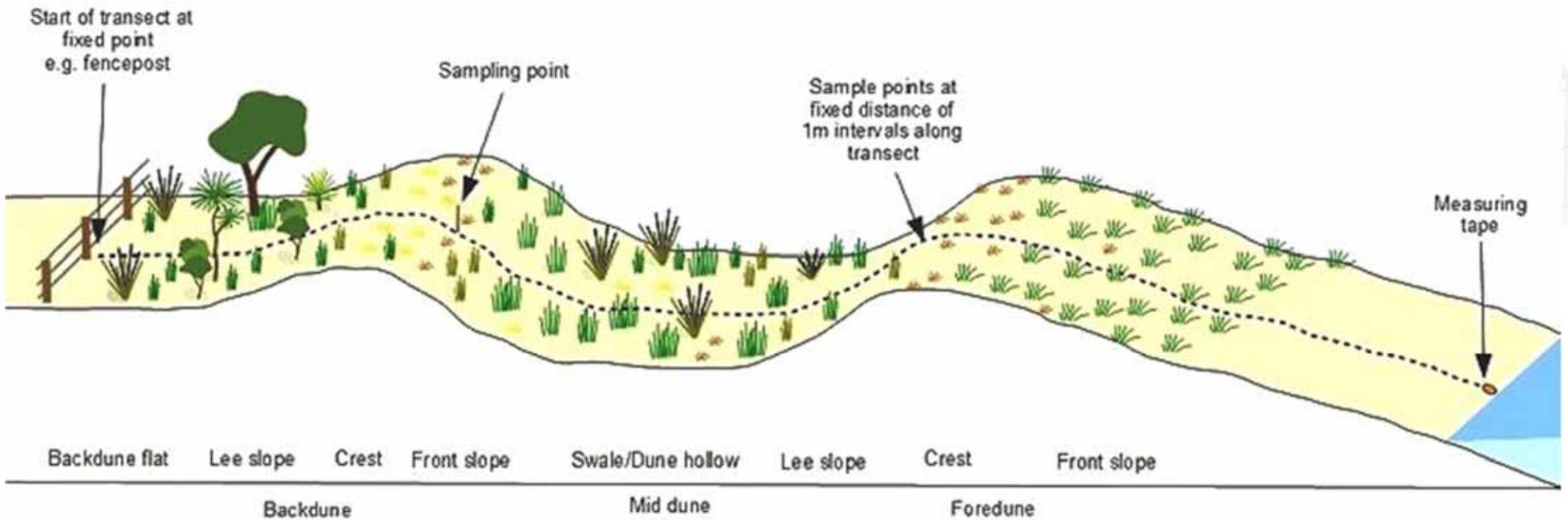
Monitoraggio del risultato degli interventi effettuati.

Per ognuno degli habitat individuati ed indagati in corrispondenza delle aree oggetto degli interventi di progetto saranno realizzate, in fase ante esecuzione dei lavori di progetto, le seguenti attività:

- rilievo fitosociologico secondo il metodo Braun-Blanquet;
- transetti in numero di 2-3 in corrispondenza dell'area di rilievo con estensione, se necessaria, atta ad evidenziare la seriazione esistente tra la porzione centrale dell'area e la porzione periferica;
- censimento, mappatura e descrizione quali-quantitativa delle colonie più significative o raggruppamenti di specie guida e specie prioritarie di ciascun tipo di habitat/cenosi;

La collocazione del rilievo all'interno di ciascuna area di azione sarà effettuata considerando la rappresentatività della vegetazione e la tipologia degli interventi di progetto, che in tale contesto saranno eseguiti nei mesi successivi.

Figura – Piano di monitoraggio (da ...)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuali delle spiagge/dune

Nel caso di un ripristino dei sistemi dunari degradati è possibile fare tesoro delle numerose esperienze fatte in **Europa**, che hanno portato alla formulazione di alcune linee guida (es. «**Scottish Natural Heritage**», 2004) che consentono oggi di affrontare il problema con minore improvvisazione di quanto fatto in passato, sia nella determinazione della **morfologia** delle aree da ricostituire che nell'**utilizzo delle piante** migliori per la loro stabilizzazione.

Figura – *Manuale sulla gestione delle coste* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

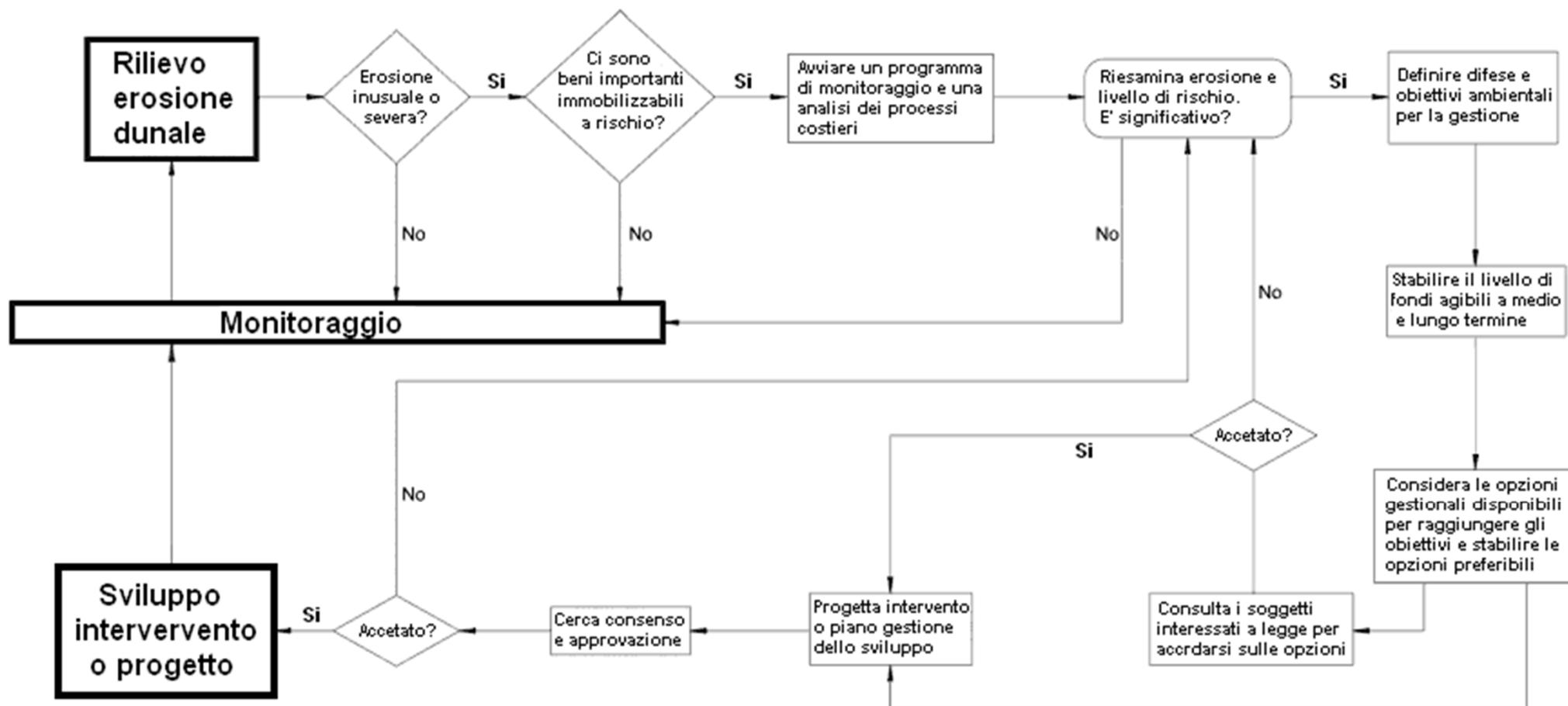
 	A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems
Index Tables Figures Appendices	Appendix 1 Erosion management options
Contents	Summaries
Preface Introduction Dunes, beaches and the sea Long-term evolution of dunes Sources of sand for dunes Losses of sand from dunes Consequences for dune evolution Short-term dune evolution processes Accretion of dunes Dune erosion	<ol style="list-style-type: none">1. Adaptive management2. Dune grass planting3. Dune thatching4. Dune fencing5. Beach recycling and reprofiling6. Sandbag structures7. Beach nourishment8. Gabion revetments9. Artificial headlands10. Artificial reefs11. Nearshore breakwater12. Groynes13. Beach drainage14. Rock revetments15. Timber revetments16. Impermeable revetments and seawalls17. Novel coast protection methods

Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

Lo schema presenta un diagramma di flusso per aiutare il **gestore del litorale** nel passare dall'osservazione dell'erosione all'attuazione di un piano di gestione. Questo processo è fortemente legato al monitoraggio.

Figura – *Pianificazione della gestione dune e diagramma di flusso di attuazione (da Scottish Natural Heritage, 2004)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

La tabella riassume le potenziali **risposte** a diverse situazioni di rischio generalizzato in base alla natura delle attività a rischio. La selezione di specifici approcci dipenderà dalle caratteristiche del sito.

Altri **fattori**, come i processi costieri, l'accesso al sito, la disponibilità di materiali e manodopera, l'accettabilità di un impegno di gestione a lungo termine, un uso ricreativo della zona, le risorse finanziarie e gli interessi di conservazione del sito potranno anche svolgere un ruolo nel processo decisionale.

Figura – *Selezione di opzioni di gestione del litorale per sistemi spiaggia / duna basata su attività a rischio (da Scottish Natural Heritage, 2004)*

Attività a rischio	Coste esposte		Estuari	
	approcci	costi indicativi per 100 ml in €	approcci	costi indicativi per 100 ml in €
Habitat e geomorfologie costieri	Non intervento od opere minori per migliorare la conservazione di sabbia (ad es. schermatura, piantumazione, ricopertura)	0 - 15.000	Come per le coste esposte	
Basso valore economico o breve vita residua (<5 anni) (ad esempio pascoli, aree di pregio, campi da golf e vie d'acqua navigabili, aree con esercitazioni militari, ecc)	Abbandonare o sostituire attività altrove ("gestione adattativa"), oltre a opere minori per ritardare le perdite (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura)	0 - 15.000	Come per le coste esposte. Se la zona retrostante a rischio di alluvione è ampia, può essere necessario arginare le aree interne	0 - 15.000
Beni mobile o sostituibili (ad esempio roulotte, aree verdi, parcheggi, edifici turistici, ecc.)	Spostare o ricostruire le attività di navigazione interna (Adaptive Management), oltre a opere minori di ritardare l'esordio del movimento (ad esempio la scherma, la piantagione, ricoprendo, spiaggia ri-cicliamo, sacchetto di sabbia o gabion Rivestimenti)	0 - 45.000	Come per le coste esposte. Se la zona retrostante a rischio di alluvione è ampia, può essere necessario arginare le aree interne	0 - 45.000
Discreta attività da moderato ad alto valore e vita residua da media a lunga (> 5 anni)	Gestione adattativa per il fronte principale, oltre a: - Promontori in pietrame o gabbioni; - Frangiflutti prossimi alla riva; - Scogliere artificiali, oltre a opere minori per ritardare l'erosione tra le strutture (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura, spiaggia riciclata, rivestimenti in gabbioni).	30.000 - 180.000	- Promontori in pietrame o gabbioni; - Pennelli per deviare i flussi; - Opere minori aggiuntive per ritardare l'erosione tra le strutture (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura, spiaggia riciclata, sacchi di sabbia o rivestimenti in gabbioni); - Possono anche richiedere terrapieni anti-alluvione all'interno se sono previste attività da proteggere su terre basse.	15.000 - 75.000

Figura – Selezione di opzioni di gestione del litorale per sistemi spiaggia / duna basata su attività a rischio (da Scottish Natural Heritage, 2004)

Attività a rischio	Coste esposte		Estuari	
	approcci	costi indicativi per 100 ml in €	approcci	costi indicativi per 100 ml in €
Moderato valore economico o vita residua media (5-25 anni) (bassa densità abitativa, strade, grandi aree attrezzate per roulotte, installazioni militari, etc)	<ul style="list-style-type: none"> - Serie di frangiflutti prossimi alla riva; - Pennelli in pietrame (su spiagge con sedimenti misti dove la deriva litoranea è attiva e l'erosione sotto costa non è un problema); - Ripascimento della spiaggia (con futuro rinalzo/riciclo, e possibilmente coperto da rivestimento in pietrame o gabbioni); - Rivestimento in pietrame (gabbioni o legname se un 10-15 anni di vita è accettabile); - Opere minori aggiuntive per migliorare il paesaggio / habitat (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura, riciclaggio). 	75.000 - 375.000	<ul style="list-style-type: none"> - Pennelli in pietrame per deviare il flusso (eventualmente con ripascimento della spiaggia di nutrimento e futura ricarica); - Dragaggio e riciclo dopo un regime di flusso sedimentario; - Rivestimento in pietrame o gabbioni; - Opere aggiuntive minori per ritardare le perdite da erosione tra le strutture (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura, spiaggia riciclata, rivestimenti in gabbioni). 	30.000 - 150.000
Elevato valore economico e lunga vita utile residua (> 25 anni) (alta densità abitativa, ferrovie, strade principali, impianti industriali, centrali elettriche, ecc.)	Larghi rivestimenti in pietrame (eventualmente con pennelli e/o ripascimenti della spiaggia con future ricariche/ricicli), con aggiunta di opere minori per migliorare l'aspetto/habitat (ad esempio schermature, piantumazioni, ricoperture, riciclaggi)	150.000 - 600.000	Estesi gabbioni o rivestimenti in pietrame con pennelli per deviare i flussi (eventualmente con ripascimento della spiaggia e futura ricarica)	75.000 - 300.000

Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

La tabella seguente permette di valutare i diversi impatti, costi e durabilità relativi ai diversi interventi possibili, aiutando il gestore nella scelta della soluzione più idonea al sito in questione.

Figura – Costi, durabilità e potenziali impatti ambientali connessi con gli interventi di gestione del litorale (da Scottish Natural Heritage, 2004)

OPZIONE	IMPATTI (1)				COSTI		DURABILITA'
	Habitat	Morfologia	Paesaggio	Processi	Investimento	Manutenzione (2)	Vita utile (3)
Gestione adattativa	■ ■	■ ■	■ ■	■	-	■	■ ■ ■ ■ ■
Piantumazione	■	■	■	■	■	■ ■ ■	■
Ricopertura	■	■	■	■	■	■ ■ ■	■
Schermatura	■	■	■ ■	■	■	■ ■ ■	■
Riciclaggio della spiaggia	■ ■	■	■	■	■ ■	■ ■ ■	■
Strutture in sacchi di sabbia	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■	■ ■
Drenaggio della spiaggia	■	■	■	■ ■	■ ■ ■	■ ■	■
Ripascimento	■ ■	■	■	■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■
Rivestimento in gabbioni (4)	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■	■ ■ ■
Promontori artificiali	■ ■	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■	■ ■ ■
Scogliere artificiali	■ ■	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■	■ ■ ■
Frangiflutti prossimi alla riva	■ ■ ■	■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■	■ ■ ■
Pennelli	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■	■ ■ ■
Rivestimenti in pietrame (4)	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■	■ ■ ■ ■ ■
Rivestimenti in legname (4)	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■	■ ■ ■
Rivestimenti impermeabili / Muri a mare	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■	■ ■ ■ ■

Legenda

(■ = basso, ■ ■ ■ ■ ■ = alto)

1. Impatti al di là della durata dell'intervento
2. Costi di manutenzione in relazione ai costi di investimento (per mantenere le prestazioni di progettazione)
3. Durata delle prestazioni senza manutenzione
4. Se coperti da sabbia sul fronte dunale gli impatti relativi a queste soluzioni sono minori e la durabilità è maggiore; i costi di investimento possono essere maggiori, ma i costi di manutenzione saranno minori

Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

La tabella seguente permette di individuare le minacce possibili, gli indicatori di qualità ambientale e le **azioni di intervento** di ripristino per gli ambienti dunali e i posidonieti delle spiagge sommerse, tra loro correlati attraverso le spiagge emerse.

Figura – *Minacce, indicatori di qualità ambientale e azioni di restauro per dune e posidonieti (da IC RAM, 2007)*

TIPOLOGIA DI RIFERIMENTO	MINACCE	INDICATORI	AZIONI DI RESTAURO
Dune consolidate	<ul style="list-style-type: none"> Erosione costiera; Abbassamento della falda; Ingressione in falda di acque marine; Riduzione della falda dolce sospesa; Fenomeni di erosione della duna, idrica incanalata ed eolica; Localizzati fenomeni di compattazione nelle zone umide retrodunali dovuti a eccessivo calpestio; Azioni di "pulizia" e spianamento meccanico della spiaggia, con eliminazione delle comunità ad esse associate; Frequenzamento eccessivo; Aerosol marino carico di elementi inquinanti; Attività di bonifica non corrette, che determinano la perdita del reticolo idrico superficiale e delle possibilità di impaludamento retrodunale invernale; Cambiamento dell'uso del suolo, con perdita di connessione con le aree palustri e/o i canali interni o circostanti i siti. 	<ul style="list-style-type: none"> Presenza di differenti tipologie di vegetazione erbacea della duna mobile; Presenza di vegetazione legnosa retrodunale, soprattutto a carattere forestale; Buona strutturazione delle comunità ed estensione delle stesse; Caratteristiche morfologiche dei diversi cordoni dunali (altezza, continuità, distanza dal mare, ecc.); Presenza di comunità di rettili (cheloni (Emididi e Testudinati) e uccelli Coraciformi); Per i mammiferi, la presenza di istrice; Per gli insetti, la presenza di insetti specializzati, quali <i>Hymenoptera</i>, <i>Coleoptera</i> (<i>Tenebrionidae</i>, <i>Scarabaeidae</i>, <i>Carabidae</i> e <i>Cicindelidae</i>); Presenza di endemismi di elevato interesse; Nidificazione di uccelli quali il fratino e durante i passi o lo svernamento la sosta di estese comunità di larolimicoli, specialmente in presenza di pantani e stagni retrodunali; La presenza di comunità ripariali di crostacei Anfipodi. 	<ul style="list-style-type: none"> Allentamento delle pressioni antropiche in un'adeguata zona di rispetto intorno al sistema dunale con particolare riguardo alla azione di compressione e compattamento della sabbia e di modificazione del profilo originario delle dune che porterebbe alla distruzione dei siti di nidificazione possibili e alla riduzione delle comunità di invertebrati psammofili; Ricostituzione dei ginepri durali degradati; azione che difficilmente può basarsi sull'utilizzo diretto delle specie principali di tale <i>habitat</i> (<i>Juniperus macrocarpa</i> e <i>J. phoenicea</i>) poiché l'allevamento dei ginepri in vivaio è problematico e la specie ha un lento accrescimento in fase giovanile. Utilizzo, da sperimentare, delle sclerofille (lentisco e filliree) che in tali <i>habitat</i> accompagnano naturalmente i ginepri; la ricostituzione della vegetazione dunale è basata sull'impiego di erbe psammofite e di arbusti che attecchiscono per talea (tamerici, ammofite, olivello di Boemia); Vigilanza e prevenzione antincendio; Controllo dell'emungimento dalle falde profonde e sospese; Opere di ingegneria naturalistica per la ricostruzione delle dune degradate (barriere basali, schermi frangivento, etc.); Creazione di opportuni passaggi sulle dune onde evitare il calpestio (passerelle in legno, etc.); Evitare l'utilizzo di costruzioni per la difesa delle coste di tipo <i>hard</i> (barriere, scogliere etc.) in luogo di metodologie più <i>soft</i> (ripascimenti, barriere soffici, tubi drenanti etc.); Drastica diminuzione della movimentazione della sabbia; Regolamentazione e rotazione nel taglio boschivo retrodunale.
Posidonieti	<ul style="list-style-type: none"> Fenomeni di disturbo del fondo; Inquinamento del mare; Azioni di disturbo, come ad esempio pesca a strascico; Alterazione strutturale del complesso sistema di <i>habitat</i> presenti nel tratto di spiaggia mobile e consolidato; Eccesso di frequentazione per balneazione; Minacce alla conservazione di <i>Pinna nobilis</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Ricchezza biologica di specie animali e vegetali; Status di conservazione di <i>Pinna nobilis</i>; Continuità della copertura. 	<ul style="list-style-type: none"> Installazione di boe fisse per l'ormeggio di natanti; Perimetrazione, attraverso appositi parchi boe, del posidonieto; Installazione di depuratori lungo costa (da valutare caso per caso); In casi gravi di rarefazione del posidonieto possibilità di intervento attraverso opere di piantumazione di giovani di <i>P. oceanica</i>; Posizionamento di barriere anti-strascico; Incrementare il numero delle riserve marine; Interdizione alla navigazione da diporto

Ingegneria Naturalistica costiera

Buone pratiche per la gestione delle spiagge/dune

Questi sono i principali approcci a una gestione razionale ed ecocompatibile per la difesa dell'ambiente dunale.

1. Gestione adattativa
2. Piantagione di specie erbacee su dune
3. Copertura di dune
4. Schermatura di dune
5. Spiaggia di riciclaggio e di riprofilatura
6. Strutture in sacchi di sabbia
7. Ripascimento della spiaggia
8. Rivestimento in gabbioni

Ingegneria Naturalistica costiera

Buone pratiche per la gestione delle spiagge/dune

9. Promontori artificiali
10. Scogliere artificiali
11. Frangiflutti prossimi alla riva
12. Pennelli ("permeabili")
13. Drenaggio di riva
14. Rivestimenti in pietrame
15. Rivestimenti in legname
16. Rivestimenti impermeabili e muri a mare
17. Piantagione di fanerogame marine su fondali

Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

1. GESTIONE ADATTATIVA

Luoghi appropriati:	Località con basso valore, la vita attesa scaduta o beni del retrospiaggia mobilizzabili
Costi:	Dipende dai beni del retrospiaggia
Efficacia:	A breve termine perdita dei beni, ma altamente sostenibile nel medio-lungo termine
Vantaggi:	Consente processi naturali per continuare con i possibili vantaggi strategici sviluppati su zone adiacenti. Nessun costo di gestione in corso.
Problemi:	I beni di retrospiaggia sono persi o spostati, spesso causando conflitti a causa di diverse percezioni di valori

Figura – *Difendere o adeguarsi?* (da F. Boccalaro, 2008)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

2. PIANTAGIONE ERBACEA SU DUNA

Luoghi appropriati:	Al di sopra del normale limite di frangimento dell'onda in qualsiasi posizione con disponibilità di sabbia trasportata dal vento. Improbabile la riuscita dove l'erosione è grave.
Costi:	Bassi, ma con alta intensità di lavoro in corso di gestione (€250 - €2.500/100m lunghezza per ogni visita).
Efficacia:	Valorizzazione nel recupero delle dune. Il serbatoio di sabbia trattenuto dalle piante fornirà una amplificazione alla resistenza all'erosione da mareggiate.
Vantaggi:	Adatto ai sistemi naturali. Può essere utilizzato per migliorare le altre opzioni di gestione. Tendenzialmente si autosostiene.
Problemi:	Normalmente richiede una schermatura o copertura delle dune per raggiungere il successo. Può essere completamente perso per erosione da mareggiata.

Figura – *Trapianto specie erbacee* (da Scottish Natural Heritage, 2004)

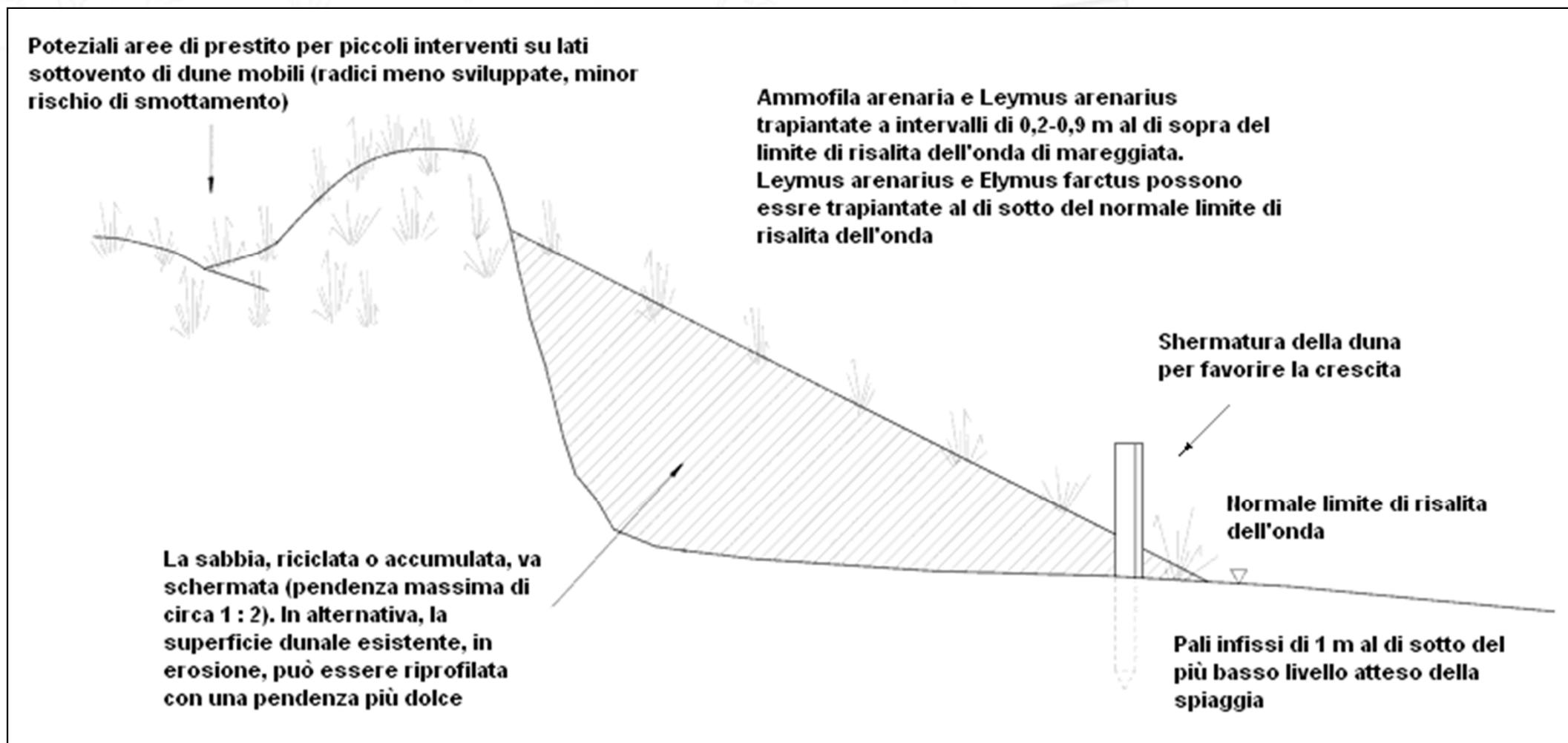


Figura – *Piantumazione di Ammofila a Cala Mesquida (Majorca) (F. Boccalaro, 2010)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

3. COPERTURA DUNA

Luoghi appropriati:	Al di sopra del normale limite di frangimento dell'onda in qualsiasi posizione con disponibilità di sabbia trasportata dal vento. Improbabile la riuscita dove l'erosione è grave.
Costi:	Bassi, ma ad alta intensità di manodopera e richiede una costante manutenzione. (€ 250 - € 2.500/100 m in lunghezza per ogni visita più costo di trapianto e di manutenzione annuale).
Efficacia:	Valorizzazione nel recupero naturale delle dune. Modesta resistenza all'erosione da mareggiate, incrementata dalla vegetazione da trapianto.
Vantaggi:	Minimo impatto per i sistemi naturali. Tutti i materiali sono naturali, degradabili e a basso costo.
Problemi:	Senza manutenzione la ricopertura durerà non più di 1 anno. I materiali sono spesso utilizzati per costruire falò.

Figura – *Copertura dune con specie autoctone* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

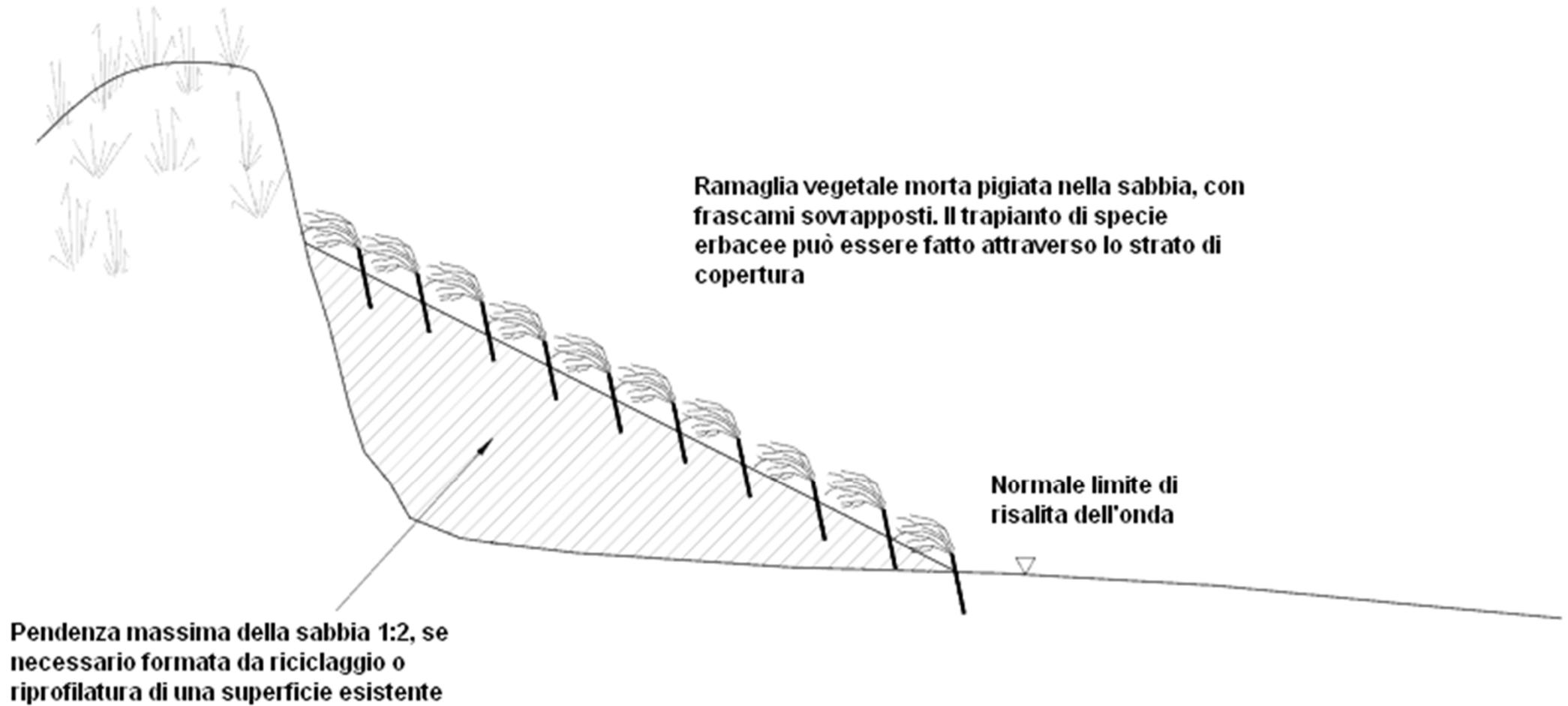


Figura – *Ricopertura con stuoia in juta su dune a Cala Mesquida (ES) (da F. Boccalaro, 2010)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

4. SCHERMATURA DUNE

Luoghi appropriati:	Sopra del limite normale di risalita dell'onda in qualsiasi posizione con disponibilità di sabbia accumulata. Improbabile la riuscita dove l'erosione è grave.
Costi:	Basso, ma richiede manutenzione in corso d'opera (€ 500 - € 2.500/100m di lunghezza al fronte, più i costi di trapianto e di riparazione in corso d'opera).
Efficacia:	Accessorio al recupero delle dune naturali. Limitata resistenza all'erosione da mareggiata. Rafforzata dal trapianto di vegetazione.
Vantaggi:	Un impatto minimo sul sistema naturale. Può essere utilizzato per controllare l'accesso del pubblico e per migliorare altri sistemi.
Problemi:	Le recinzioni danneggiate e i detriti accumulati possono essere sgradevoli. Le recinzioni hanno bisogno di una manutenzione regolare e hanno una durata massima di circa 5 anni a seconda del materiale, della frequenza delle mareggiate e dei vandalismi.

Figura – *Accorgimenti protettivi di rivegetazioni su dune* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

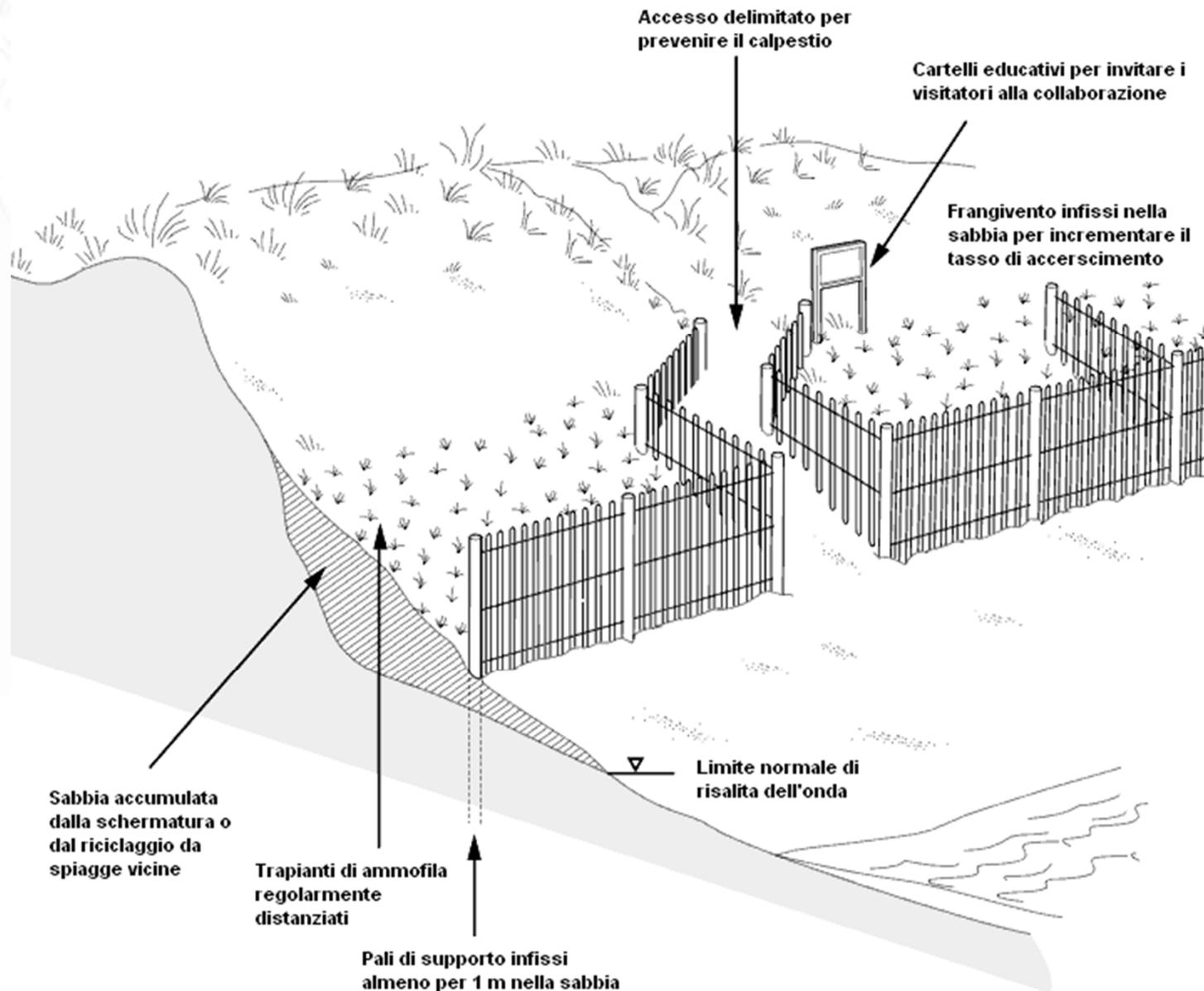


Figura – *Protezione di dune sulla costa a Texel (NL) (da DEFRA, 1999)*



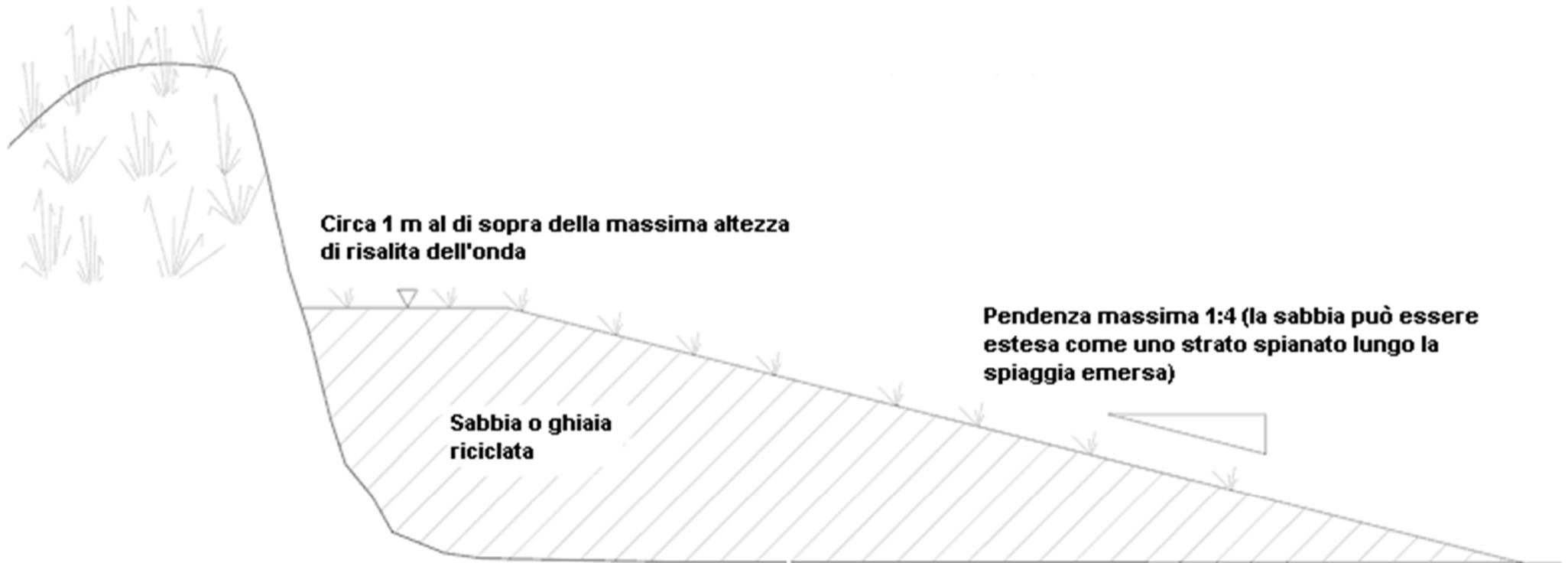
Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

5. SPIAGGIA DI RICICLAGGIO E DI RIPROFILATURA

Luoghi appropriati:	Tutte le località, comprese quelle con sabbia eolica limitata per il recupero naturale.
Costi:	Da basso a moderato, ma richiede una manutenzione costante (€1.250 - €25.000 / 100m di lunghezza, più schermatura, trapianto, ecc., con analoghi costi ripetuti).
Efficacia:	Difesa contro l'erosione a breve termine, e valorizzazione del recupero del paesaggio naturale. Moderata resistenza a particolari mareggiate. È rafforzata da schermature e trapianto di vegetazione, e può essere utilizzata con successo per occultare opere di difesa "pesanti".
Vantaggi:	Accelera il recupero naturale dell'avanduna e fornisce una difesa a breve termine contro forti mareggiate.
Problemi:	Rimuove materiale da altri siti, eventualmente trasferendo l'erosione o il danno ambientale su un altro fronte. Può introdurre detriti spiaggiati, sedimenti e/o organismi vegetali non autoctoni, potenzialmente dannosi all'ecologia locale.

Figura – *Ripascimento di dune con riporti di sabbia* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)



La sabbia riciclata deve essere stabilizzata da trapianti, schermature e/o coperture

Figura – *Riprofilatura di dune con piantumazione a Thy (DK) (da DEFRA, 1999)*



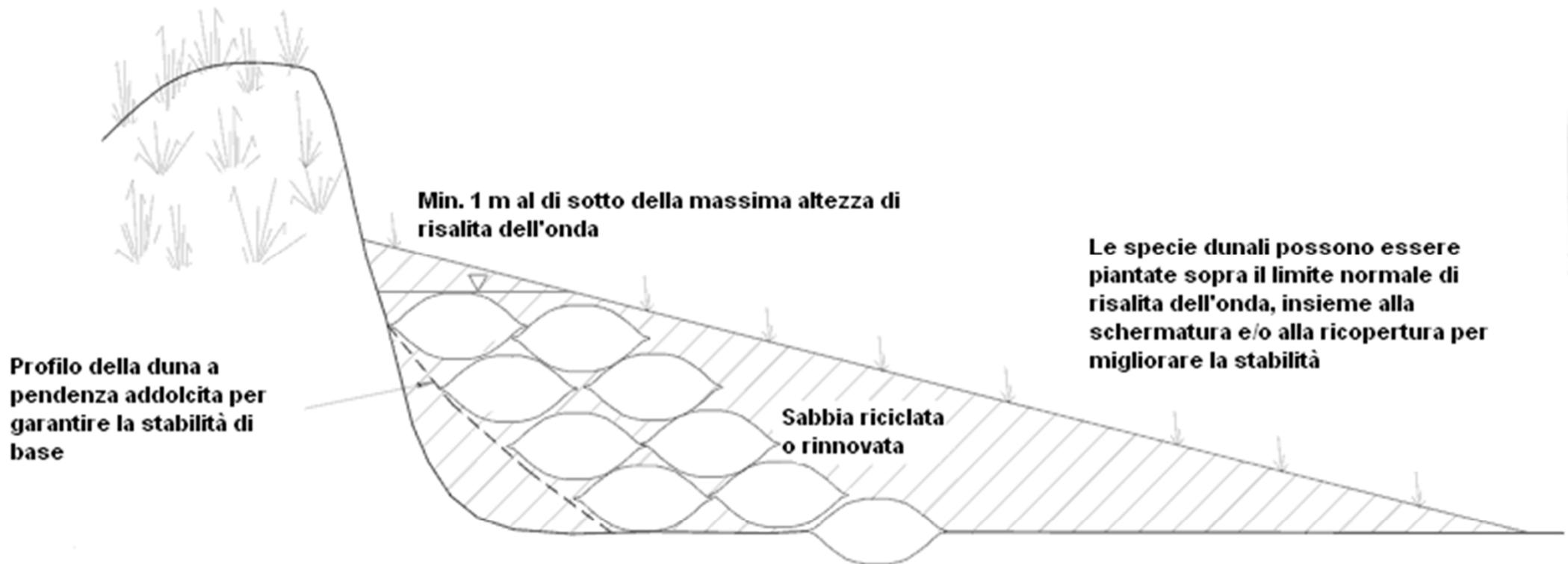
Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

6. STRUTTURE IN SACCHI DI SABBIA

Luoghi appropriati:	Coste sabbiose a bassa a moderata energia che richiedono un costo inferiore e una difesa temporanea.
Costi:	Da bassi a moderati (€2.500 - €12.500 / per un fronte di 100m).
Efficacia:	Procura una linea di difesa fissa a breve termine. Meno di 5 anni di vita. Il seppellimento può estenderne la vita.
Vantaggi:	Basso costo, approccio a basso impiego utilizzando materiali locali che vengono restituiti alla spiaggia, quando le difese non sono più necessarie.
Problemi:	I sacchetti di sabbia sono soggetti ad atti di vandalismo e rapido deterioramento a causa dell'azione delle onde, della luce del sole e della pressione del turismo. I teli sono effettivamente impermeabili e non assorbono l'energia del moto ondoso, quindi può accelerare lo scalzamento della spiaggia.

Figura – *Rinforzo con sacchi di geotessile* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)



Profilo della duna a pendenza addolcita per garantire la stabilità di base

Min. 1 m al di sotto della massima altezza di risalita dell'onda

Le specie dunali possono essere piantate sopra il limite normale di risalita dell'onda, insieme alla schermatura e/o alla ricopertura per migliorare la stabilità

Sabbia riciclata o rinnovata

Il rivestimento in sacchi di sabbia sepolti hanno la funzione di linea estrema di difesa al di sotto di sabbia riciclata o rinnovata. I dettagli del rivestimento dipendono dalla misura dei sacchi usati e dalla prevista esposizione alle onde di mareggiata.

Figura – *Rinforzo con sacchi di geotessile (AUS) (da Gold Coast, 2004)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

7. RIPASCIMENTO DELLA SPIAGGIA

Luoghi appropriati:	Ad alto valore per l'amenità delle spiagge. Sofferenza per l'erosione della riva a causa di lavori di costruzione in avanzamento o di dragaggio di canali. Spiagge miste di sabbia/ghiaia con tendenza all'arretramento da moderato ad alto valore.
Costi:	Da moderato ad alto, e richiede una manutenzione costante (€6.250 - € 250.000/100m facciata, più le strutture di controllo, in corso di gestione e di opere minori).
Efficacia:	Riduzione di erosione a breve-medio termine. Valorizzazione di un ripristino naturale. Da 1 a 10 anni di vita antecedente la prima grande ricarica.
Vantaggi:	Protezione dall'erosione difficile senza strutture. Conservati i processi naturali della spiaggia. Maggiore valore ricreativo della spiaggia.
Problemi:	I materiali potrebbero essere indisponibili o costosi. Materiali importati dissimili possono alterare la geomorfologia o l'ecologia. La sabbia può essere soffiata via causando inconvenienti da rumore.

Figura – *Ripascimento di dune con apporti di sabbia* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)



Figura – *Spiaggia reintegrata con sabbia dragata off-shore (da SARTI, 2008)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

8. RIVESTIMENTO IN GABBIONI

Luoghi appropriati:	Spiaggia di sabbia in siti con rischio da erosione periodica da moderato a grave, le cui attività retrodunali sono a rischio. Utile per la protezione della sponda di un estuario.
Costi:	Moderati, ma è richiesta manutenzione (€ 6.250 - € 62.500/100m di fronte, oltre a opere minori e manutenzione).
Efficacia:	Ben posizionati, i gabbioni forniscono una ragionevole difesa fissa, ma hanno una vita limitata a 5-10 anni a seguito del deterioramento della rete.
Vantaggi:	Soluzione utile dove l'armatura in roccia è considerata inopportuna o troppo costosa. Disponibile in diverse forme. Può essere coperto dalla sabbia e dalla vegetazione. La superficie permeabile assorbe l'energia del moto ondoso e incoraggia la stabilità della spiaggia superiore.
Problemi:	Vita limitata, portando in superficie brutti e pericolosi fili di rete lungo la spiaggia e liberando non autoctoni ciottoli nel sistema della spiaggia. La rete metallica è danneggiata dall'acqua salata, da atti di vandalismo e dall'abrasione da calpestio o da impatti di ghiaia della spiaggia.

Figura – *Gabbioni per dune in massi* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

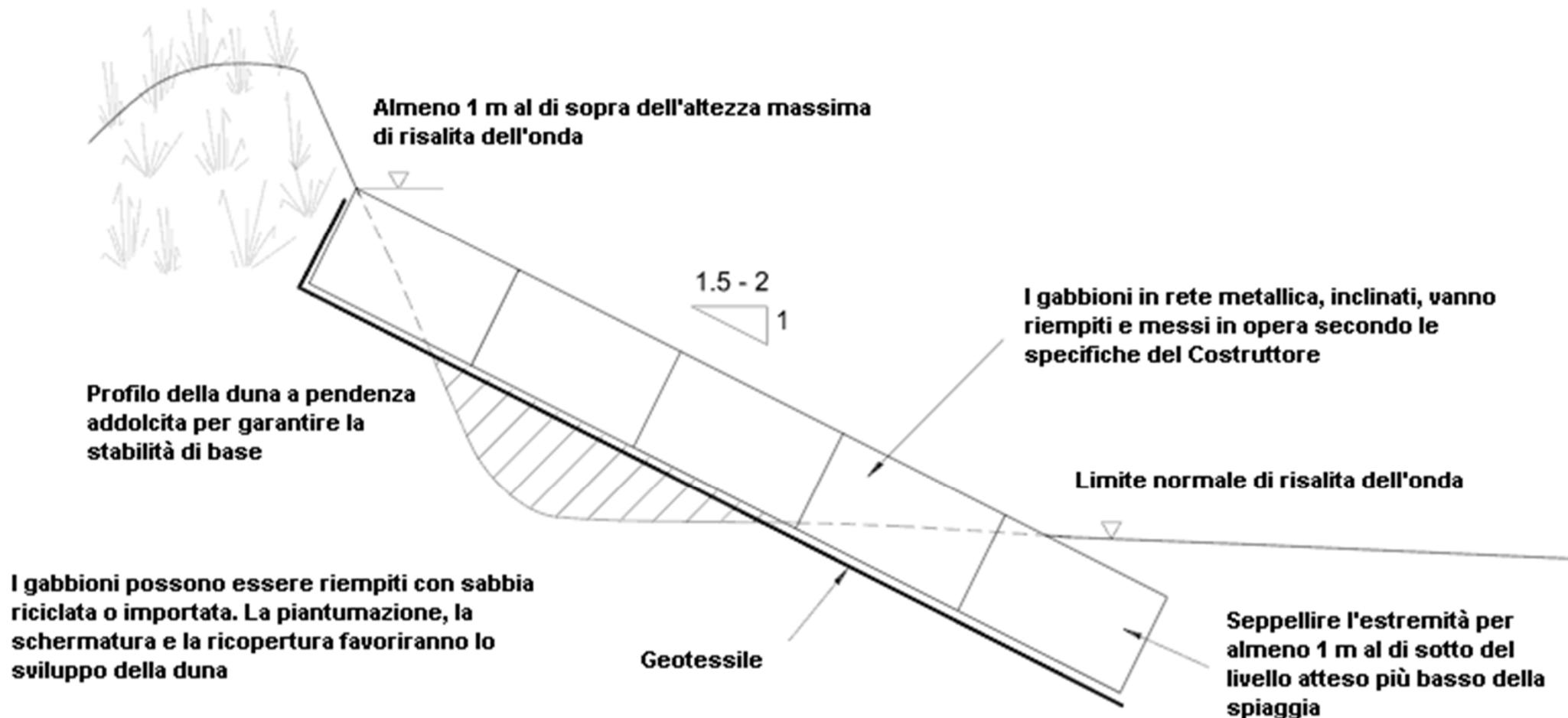


Figura – *Gabbioni per dune in massi a Norfolk (GB) (da DEFRA, 1999)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

9. PROMONTORI ARTIFICIALI

Luoghi appropriati:	Dune in rapida erosione con importanti attività nell'entroterra a intervalli discreti lungo la riva.
Costi:	Moderati, ma è richiesta bassa manutenzione (€ 25.000 - € 75.000/100m della struttura, oltre a opere minori per superfici non protette).
Efficacia:	Buona protezione temporanea o a lungo termine per proteggere il litorale. Consente ai processi naturali di continuare altrove. Può essere utilizzato con altri metodi a basso costo. Vita della struttura illimitata per promontori in roccia.
Vantaggi:	Forniscono protezione locale con il minimo disturbo al sistema duna nel suo complesso. Possono essere modificati o rimossi in data successiva.
Problemi:	Visivamente invadenti. Non controllano l'erosione lungo tutto il fronte. Le strutture possono interferire con il trasporto <i>longshore</i> , in particolare sulle spiagge di sabbia e ghiaia, e possono richiedere l'estensione o la periodica delocalizzazione verso terra per evitare l'aggiramento.

Figura – *Promontori per dune con riporti di sabbia* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

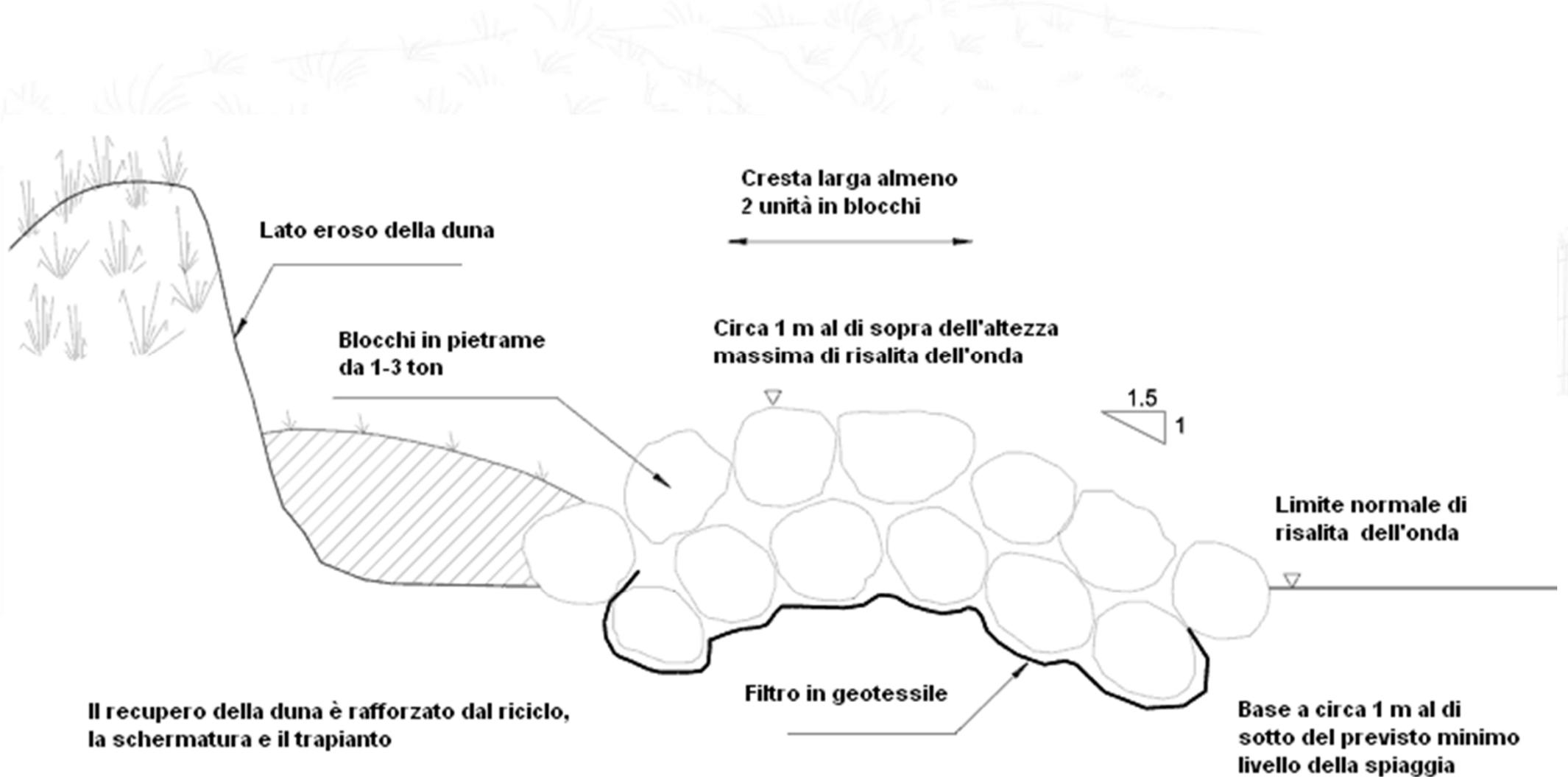


Figura – *Promontori in massi naturali (headlands) con riporti di sabbia* (da APAT - atlante delle opere di sistemazione costiera, 2007)

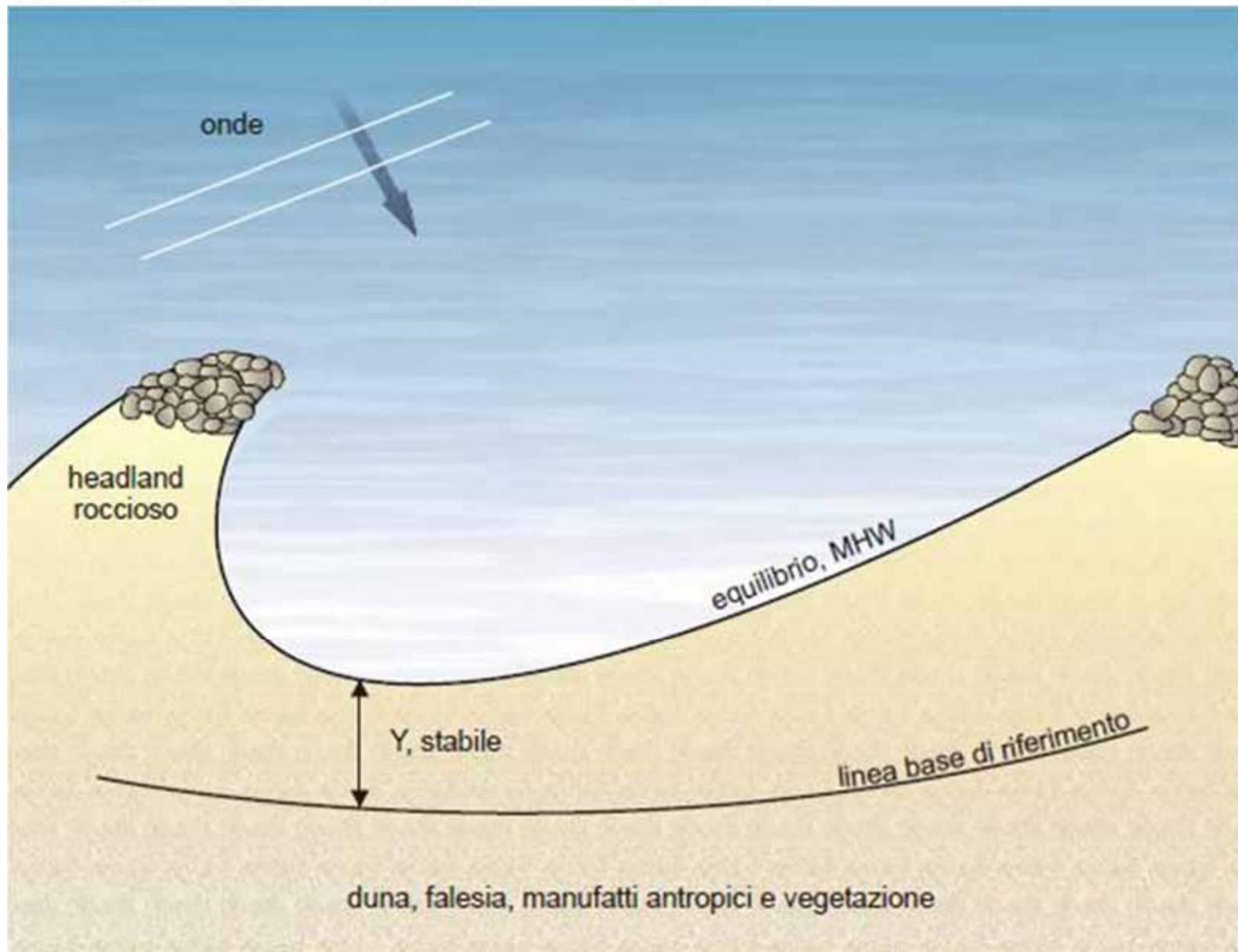


Figura – *Scogliere per dune con riporti di sabbia* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

10. SCOGLIERE ARTIFICIALI

Luoghi appropriati:	Superfici ad alto valore economico con bassi tassi di trasporto <i>longshore</i> e deboli correnti di marea <i>nearshore</i> .
Costi:	Alti, ma bassi per la manutenzione (€ 50.000 - € 125.000/100m di struttura, oltre a lavori per superfici minori non protette)
Efficacia:	Causa deposito sul lato sottoflutto ed erosione sopraflutto. Offre una buona protezione in insenature chiuse, ma è potenzialmente dannoso per le coste aperte.
Vantaggi:	Non disturbano direttamente le dune, aumentano la zona di spiaggia superiore, possono consentire a nuove avandune di stabilizzarsi. Illimitata la vita della struttura.
Problemi:	Visivamente invadente, modificando la morfologia della spiaggia superiore, può indurre a sedimenti fini, alghe o detriti di accumularsi lungo la spiaggia superiore. Può causare localmente forti correnti e può essere un pericolo per gli utenti della spiaggia.

Figura – *Scogliere per dune in massi* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

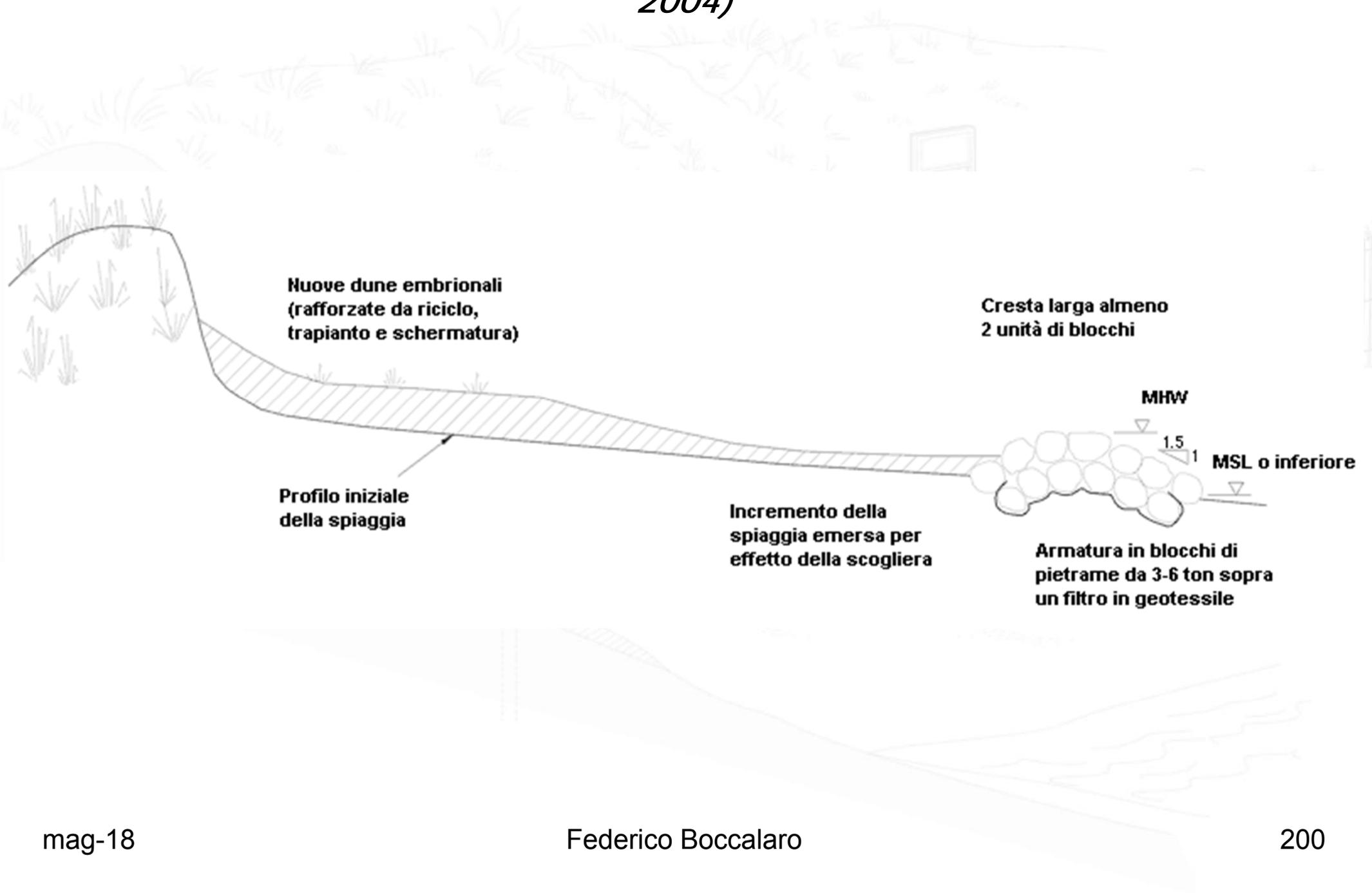


Figura – *Scogliere per costa in massi* (da APAT Atlante delle Coste, 2007)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

11. FRANGIFLUTTI PROSSIMI ALLA RIVA

Luoghi appropriati:	Ad alto valore visivo con bassi tassi di trasporto <i>longshore</i> , e deboli correnti di marea <i>nearshore</i> .
Costi:	Alti, ma bassa manutenzione (€ 50.000 - € 125.000/100m della struttura, oltre a lavori minori accessori)
Efficacia:	Causa accrescimento sottoflutto ed erosione sopraflutto. Offre una buona protezione in insenature chiuse, ma è potenzialmente dannoso per coste aperte.
Vantaggi:	Dune non direttamente disturbate, aumenta la zona di spiaggia asciutta superiore, può consentire a nuove avandune di stabilizzarsi. Illimitata la vita della struttura.
Problemi:	Visivamente invadente, modifica la morfologia della spiaggia superiore, può far sì che sedimenti fini, alghe o detriti si accumulino lungo la spiaggia superiore. Può causare localmente forti correnti e può essere un pericolo per gli utenti della spiaggia.

Figura – *Barriera per dune in massi* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

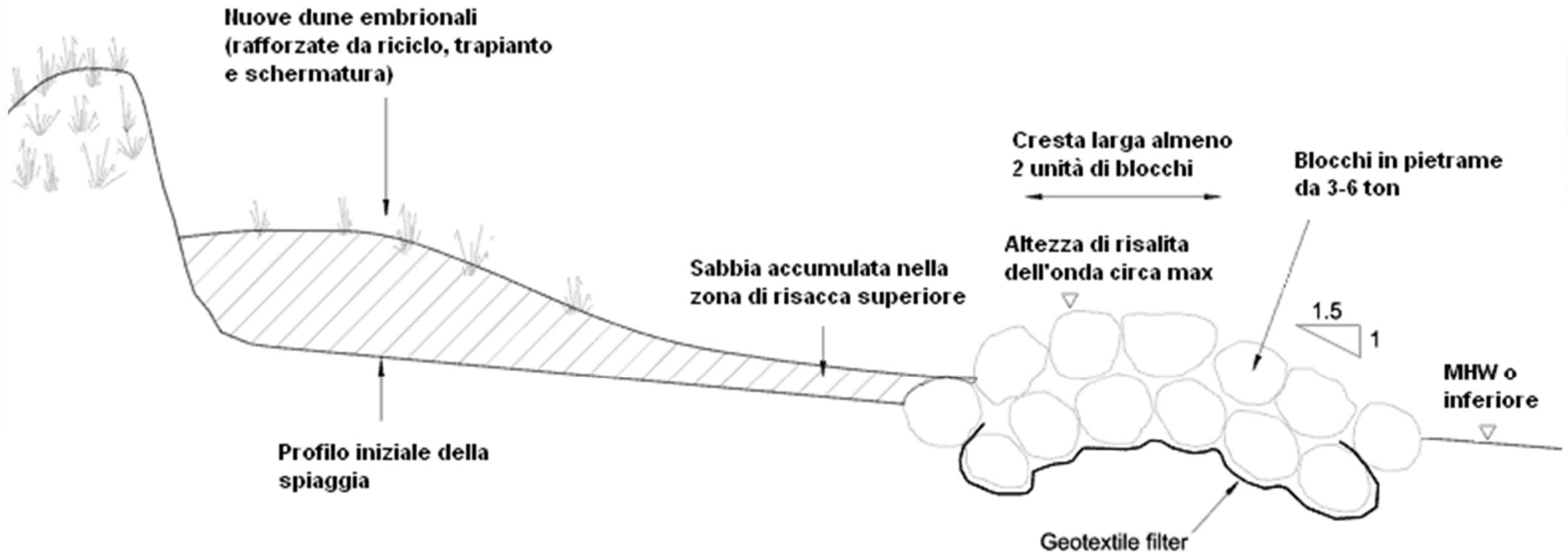


Figura – *Barriere radenti al lido di Tarquinia (VT)* (da APAT - atlante delle opere di sistemazione costiera, 2007)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

12. PENNELLI

Luoghi appropriati:	Siti ad alto valore economico influenzati da forti processi <i>longshore</i> (onde indotte o correnti di marea), dove il ripascimento o il riciclaggio di sabbia sono avviati. I migliori risultati si hanno su spiagge in ghiaia o all'interno degli estuari.
Costi:	Moderati, ma devono comprendere il riciclaggio o il ripascimento (€ 12.500 - €125.000 per struttura, maggiorati per il riciclaggio).
Efficacia:	Buona sulle coste esposte con una naturale spiaggia di ghiaia superiore. Può essere utile anche negli estuari per deviare i flussi. Vita della struttura illimitata per pennelli in roccia.
Vantaggi:	Garantisce la stabilità della spiaggia superiore e riduce l'impegno della manutenzione per il riciclaggio o il ripascimento.
Problemi:	Perturba i processi naturali e l'accesso del pubblico lungo la spiaggia superiore. Può provocare l'erosione sottovento (<i>downdrift</i>) se la spiaggia non è gestita.

Figura – *Pennelli per dune in massi* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

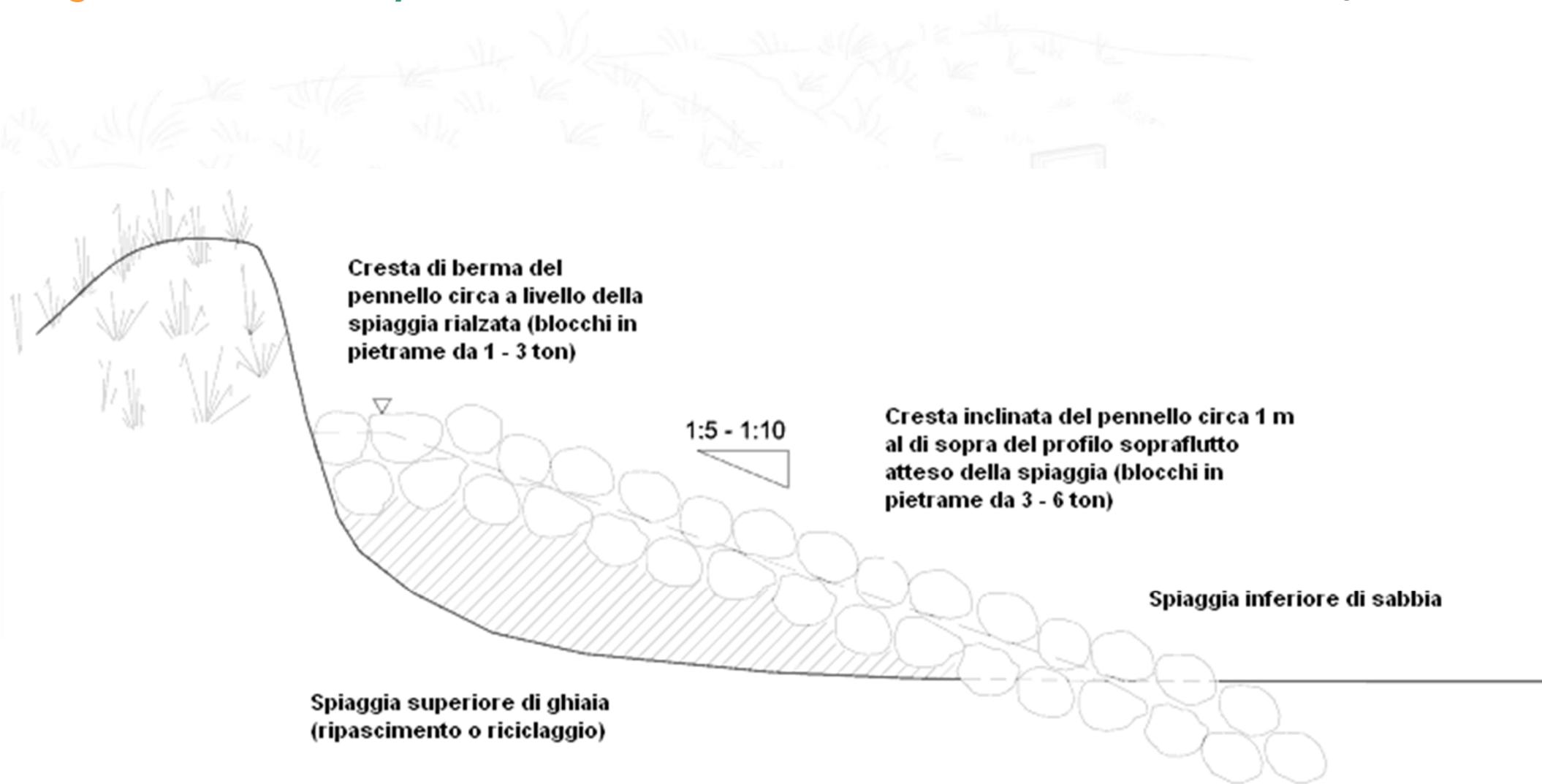


Figura – *Pennelli permeabili per dune in legname* (da APAT Atlante delle spiagge, 2007)

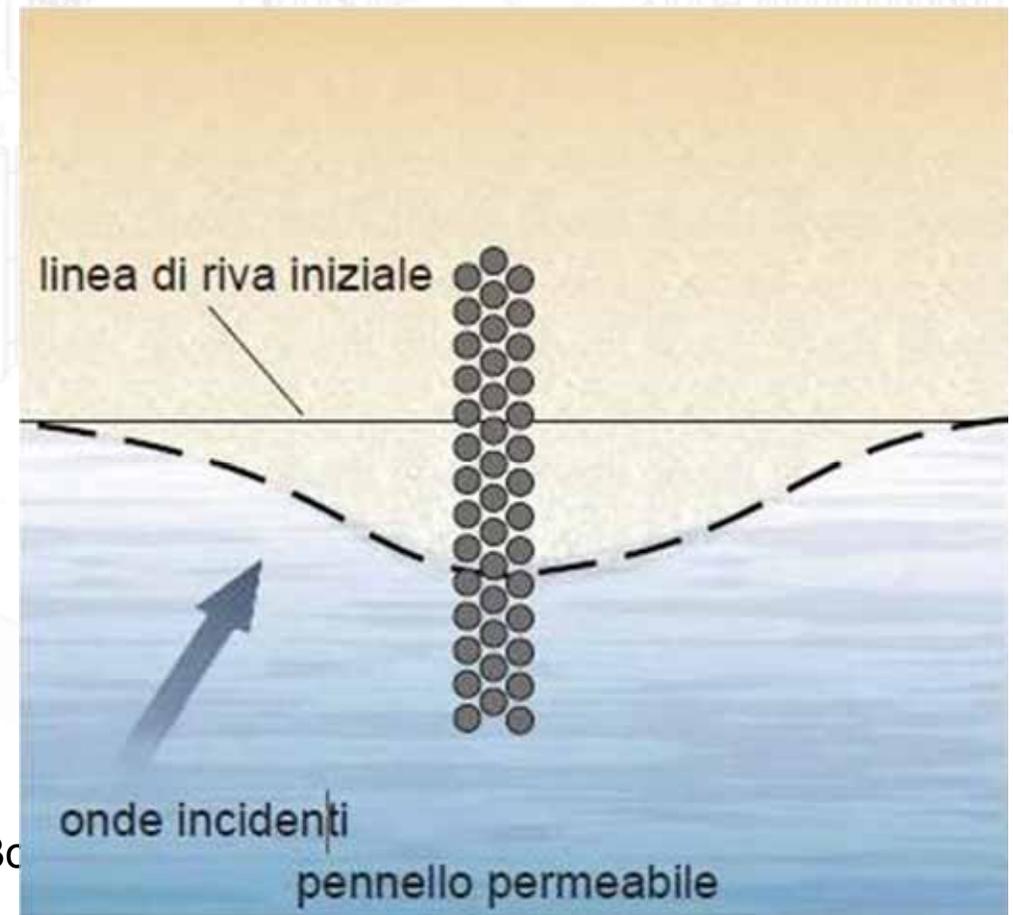
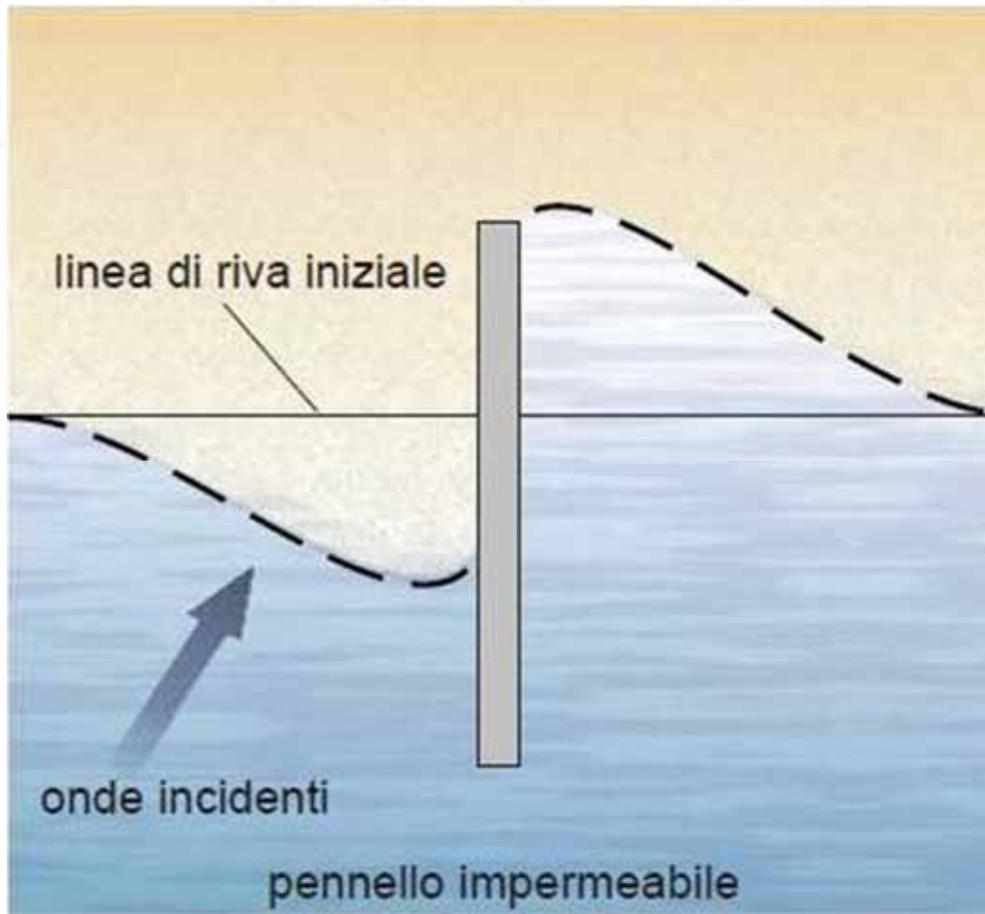


Figura – *Pennelli permeabili per dune in legname* (da DEFRA, 1999)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

13. DRENAGGIO DI RIVA

Luoghi appropriati:	Escursione di marea bassa, spiaggia di sabbia, siti con un alto valore turistico, bassa a moderata energia del moto ondoso.
Costi:	Da bassi a moderati, con alta manutenzione (€6.250 - £ 25.000/100m di lunghezza, più i costi di gestione).
Efficacia:	Aumenta l'ampiezza della spiaggia superiore e delle dune e quindi la stabilità, la vita attesa è variabile.
Vantaggi:	Tecnica non-intrusiva, di ampi risultati, spiaggia più asciutta.
Problemi:	L'erosione della spiaggia da mareggiate può danneggiare il sistema.

Figura – *Drenaggio di dune con geotessili e tubi drenanti* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

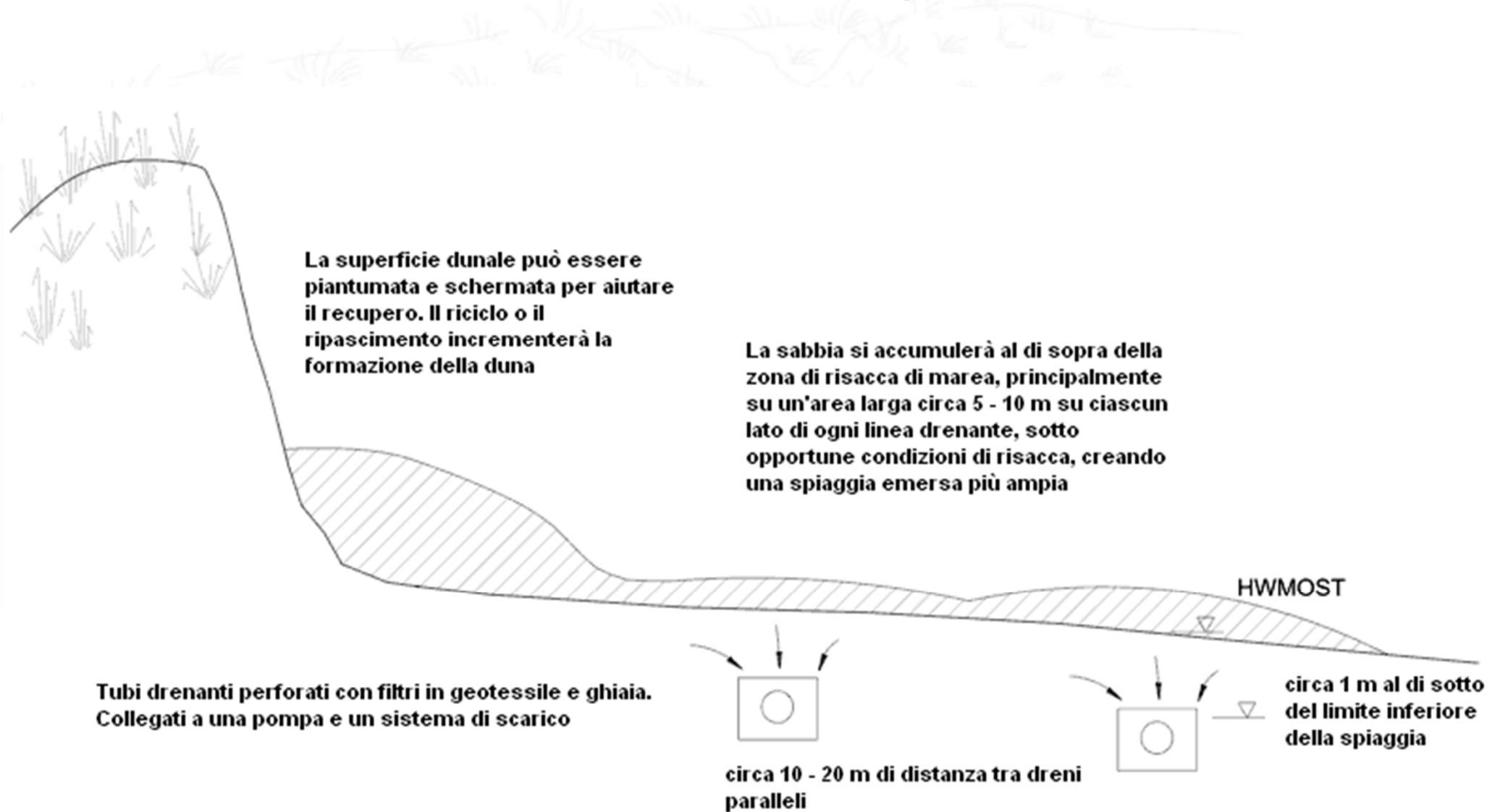
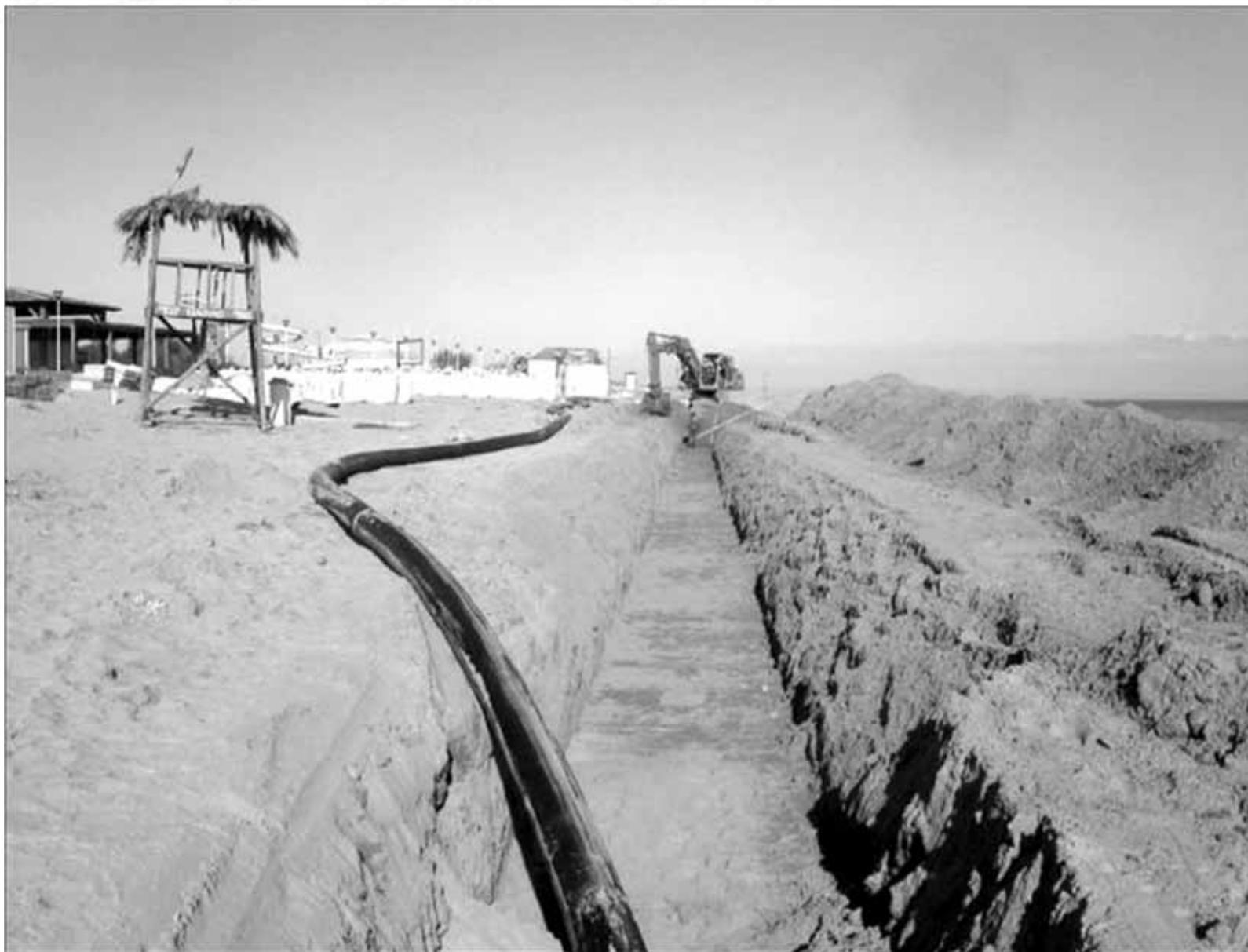


Figura – *Drenaggio di spiaggia a Metaponto lido con tubi drenanti*
(da U. Tessari - UNIFE, 2008)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

14. RIVESTIMENTI IN PIETRAME

Luoghi appropriati:	Siti soggetti a grave e continua erosione dove c'è un importante e vasto retroterra con attività a rischio.
Costi:	Alti, ma con relativamente bassa manutenzione (€ 125.000 - € 375.000/100m di lunghezza).
Efficacia:	Buona la protezione a lungo termine. Può essere esteso o modificato per consentire alla riva un futuro cambiamento. Illimitata la vita della struttura.
Vantaggi:	Basso rischio di opzione per importanti attività del retroterra. La superficie permeabile assorbe l'energia del moto ondoso e procura stabilità alla spiaggia superiore.
Problemi:	Forte impatto paesaggistico. Può modificare in modo permanente il sistema dunare dato che la sabbia tende a non depositarsi oltre le rocce se l'erosione della spiaggia continua.

Figura – *Placcatura di dune in massi* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

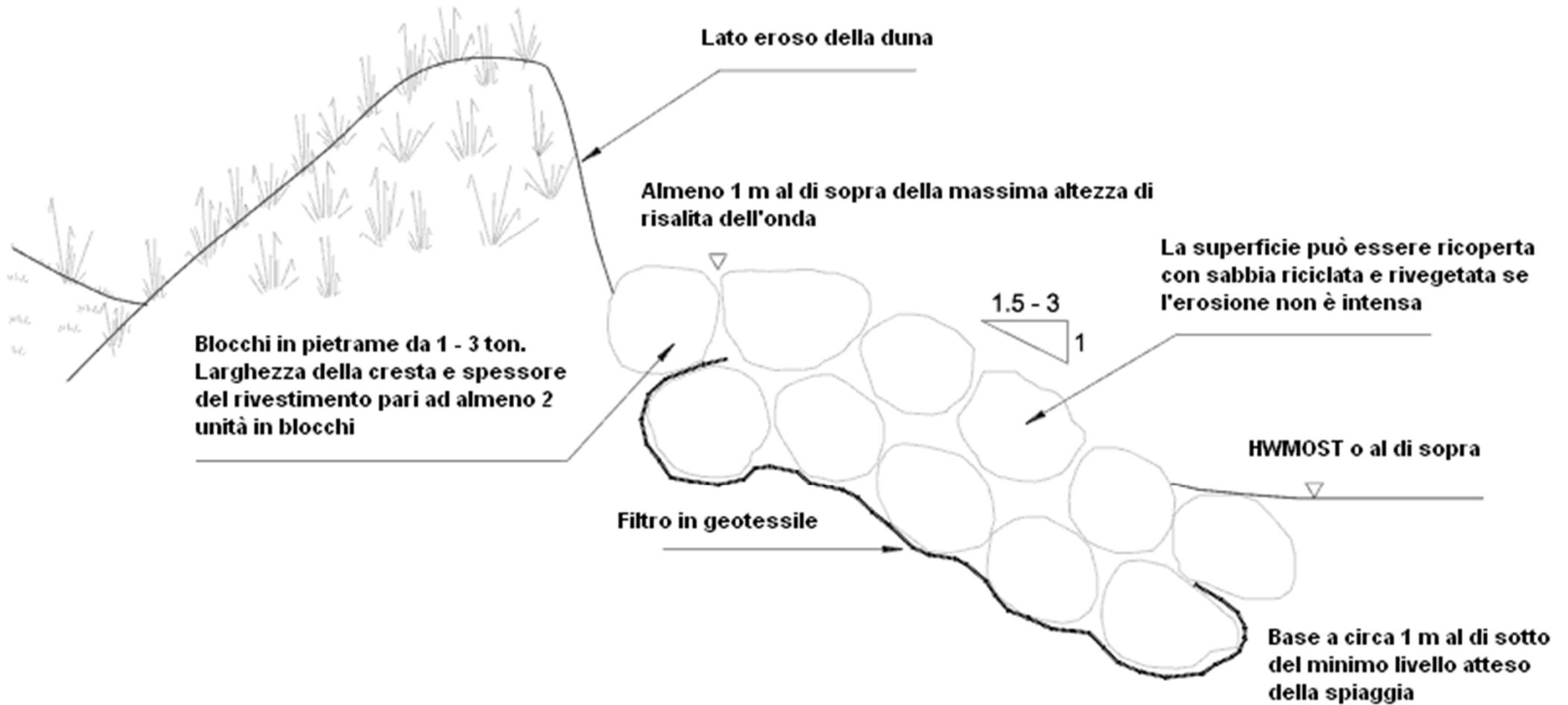


Figura – *Placcatura di dune in massi* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

15. RIVESTIMENTI IN LEGNAME

Luoghi appropriati:	Siti ad alto valore paesaggistico con modesti problemi e periodiche erosioni.
Costi:	Moderati (da €2.500 a €62.500/100m di lunghezza del fronte).
Efficacia:	Forniscono una buona protezione, se solo occasionalmente sono esposti alle onde. 5-30 anni di vita.
Vantaggi:	Normalmente accettabili per il pubblico. Meno costosi dei muri a mare o dei rivestimenti in roccia
Problemi:	Vita limitata, in particolare quando esposti all'azione delle onde. Visivamente invadenti. Alterano i processi spiaggia-duna di sabbia dato che l'interscambio è perturbato.

Figura – *Staccionate paraonde* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

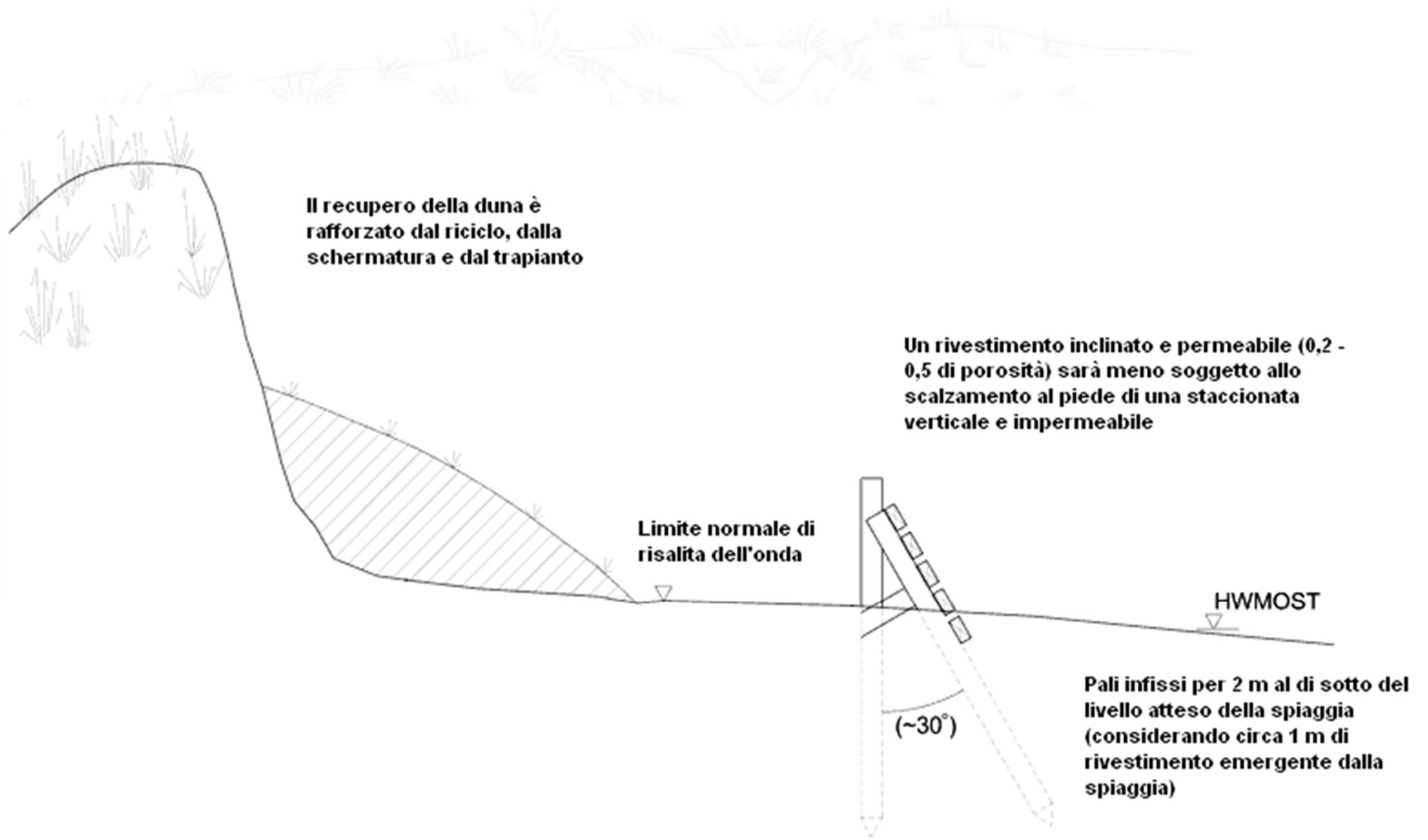


Figura – *Paratie in pali* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

16. RIVESTIMENTI IMPERMEABILI E MURI A MARE

Luoghi appropriati:	Superfici esposte con attività ampie e di alto valore nel retroterra.
Costi:	Alti, ma bassa la manutenzione (€ 250.000 - € 625.000/100m di lunghezza).
Efficacia:	Fornisce una buona protezione a medio termine, ma la continua erosione può provocare a lungo termine il fallimento (30-50 anni l'aspettativa di vita).
Vantaggi:	Linea fissa di difesa che consente lo sviluppo fino al litorale. Consente impianti ricreativi lungo il retrospiaggia e facile accesso al mare.
Problemi:	La continua erosione può causare l'indebolimento strutturale e il fallimento. Completa interruzione dei processi naturali spiaggia-duna.

Figura – *Rivestimento per dune in calcestruzzo* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)

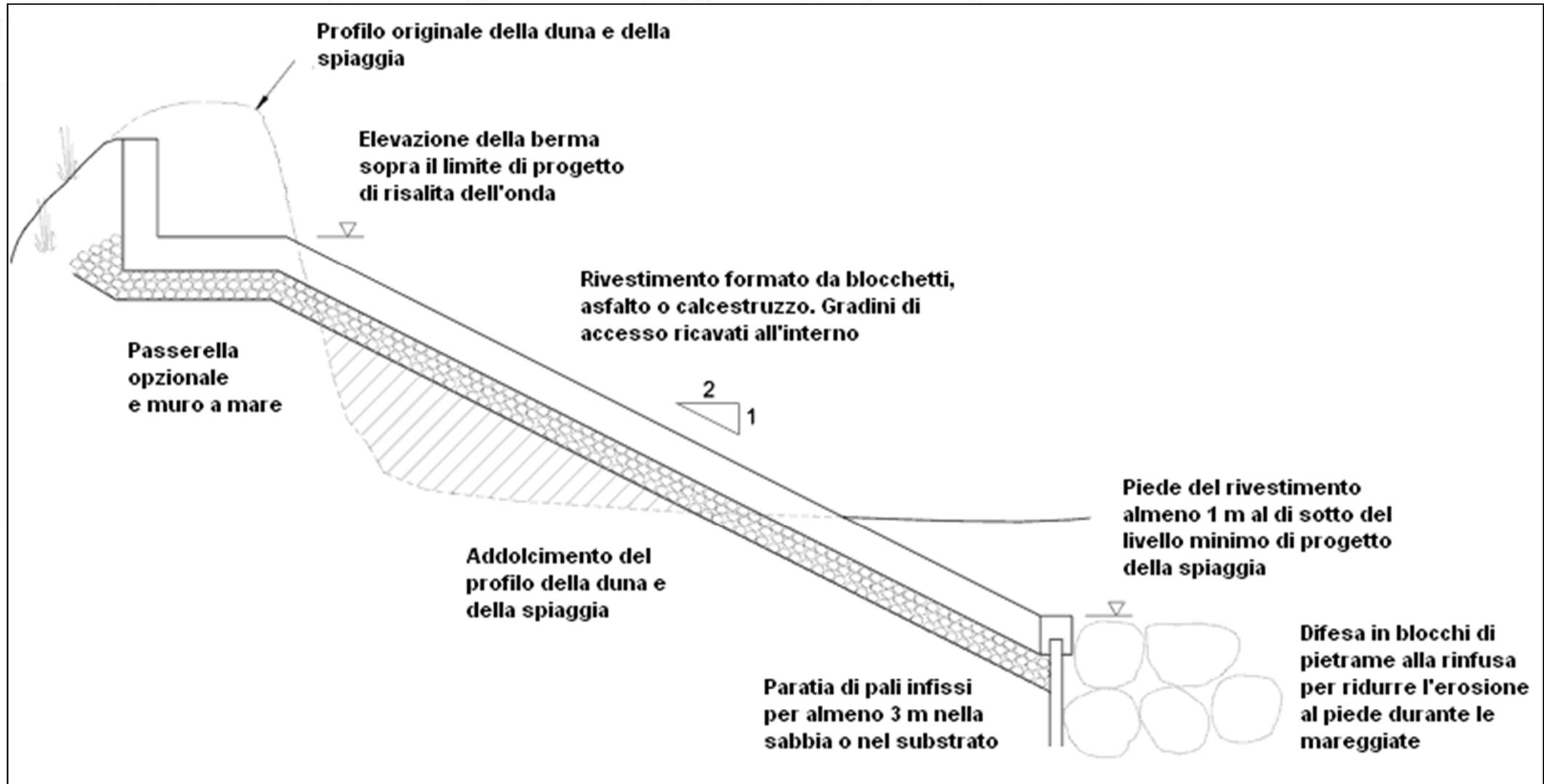


Figura – *Rivestimento per dune in calcestruzzo* (da *Scottish Natural Heritage, 2004*)



Ingegneria Naturalistica costiera

Manuale delle spiagge/dune SNH

17. PIANTAGIONE DI FANEROGAME MARINE

Luoghi appropriati:	Su fondali sabbiosi tra 4 e 40 m, preferibilmente su <i>matte</i> morta. Improbabile la riuscita dove l'idrodinamismo, l'erosione o l'inquinamento è ingente.
Costi:	Elevati, con alta intensità di lavoro subacqueo in corso di realizzazione e gestione (€50 - €250/mq).
Efficacia:	Valorizzazione nel recupero della spiaggia sommersa ed emersa. Il serbatoio di sabbia trattenuto dalle piante e l'inerzia foliare fornirà una amplificazione alla resistenza all'erosione da mareggiate.
Vantaggi:	Adatto ai sistemi naturali. Può essere utilizzato per migliorare le altre opzioni di gestione. Tendenzialmente si autosostiene.
Problemi:	Normalmente richiede un supporto antierosivo (reti o materassine) nei primi anni di sviluppo per raggiungere il successo. Può essere completamente perso per erosione da mareggiata.

Figura – *Bloccosezione di prateria in fase di crescita (Boudouresque e Meinesz, 1982, modificato)*

POSIDONIA SU MATTE

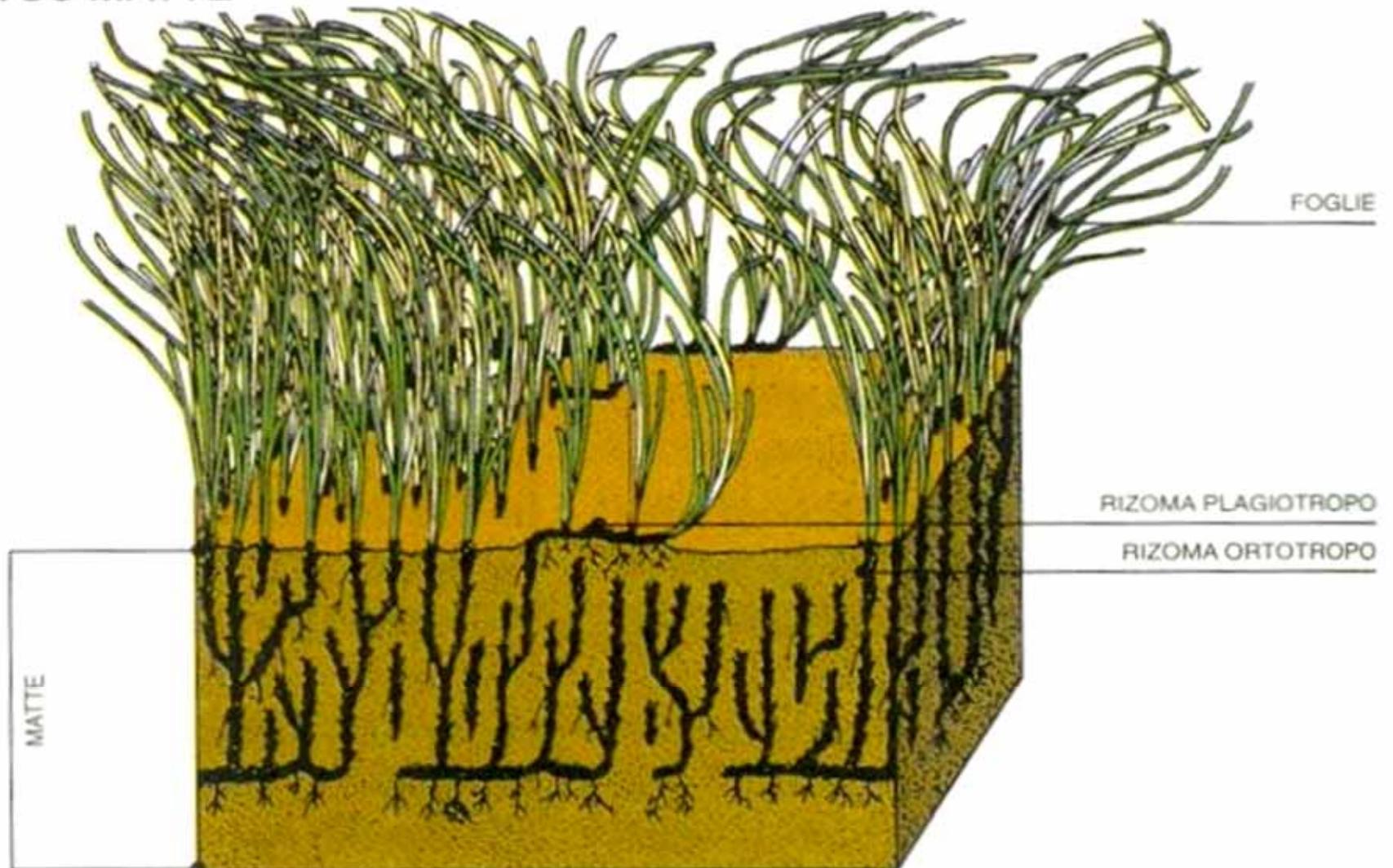


Figura – *Materasso rinverdito su fondale dopo 7 mesi all'Elba (da F. Cinelli, 2007)*



Ingegneria Naturalistica costiera

Bibliografia

AA.VV., *Manuale di Ingegneria Naturalistica vol. 2° (cap. 19), Regione Lazio, Roma, 2003.*

AA.VV., *Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica, Patron, Bologna, 1995.*

AA.VV., *Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree Protette, I spru, Roma, 2009.*

AA.VV., *Progetto LIFE Natura - Azioni concertate per la salvaguardia del litorale veneto - Gestione di habitat dunali nei siti Natura 2000, Veneto Agricoltura - Servizio Forestale Regionale per le Province di Treviso e Venezia - Padova e Rovigo, Padova, 2007.*

AA.VV., *Aree Costiere atti n° 205, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 2004.*

AA.VV., *Atlante delle opere di sistemazione costiera, Apat, Roma, 2007.*

AA.VV., *La gestione strategica della difesa dei litorali per uno sviluppo sostenibile delle zone costiere del Mediterraneo, Beachmed, Roma, 2007.*

Beech N. W., Brampton A. H., Simm J. D., et al., *Beach management manual, Ciria, Londra, 1996.*

Ingegneria Naturalistica costiera

Bibliografia

Blott S., Pye K., Saye S., *Sand dune processes and management for flood and coastal defence*, Defra, Londra, 2007.

Boccalaro F., *Difesa del Territorio e Ingegneria Naturalistica*, Dario Flaccovio, Palermo, 2006.

Borin M., *Fitodepurazione*, Edagricole, Bologna, 2003.

Bovina G., *Restauro e conservazione delle dune costiere*, Professione geologo - *Rivista dell'Ordine dei Geologi del Lazio*, Roma, 2004.

Bruschini U., Castello R., Cornelini P., *Linee guida per la riqualificazione idrogeologica e vegetazionale nelle aree percorse dal fuoco*, Regione Liguria, Genova, 2005.

Cornelini P., Federico C., Pirrera G., *Arbusti autoctoni mediterranei per l'Ingegneria Naturalistica*, Azienda Regionale Foreste Demaniali - Collana Sicilia Foreste n° 40, Palermo, 2008.

Gisotti G., *Principi di Geopedologia*, Calderini, Bologna, 1991.

McHarg Ian L., *Progettare con la Natura*, Franco Muzzio, Padova, 2007.

Schiechl Hugo Meinhard, *Bioingegneria forestale*, Castaldi, Feltre, 1991.

Wallingford H.R., *A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems*, Scottish Natural Heritage, Inverness, 2004.

Ingegneria Naturalistica costiera

Ringraziamenti

Si ringraziano per i consigli e i contributi offerti l'ing. **Paolo Cornelini** (AIPIN - Roma), il dott. **Giuliano Sauli** (AIPIN - Trieste), il dott. **Paolo D'Ambrosio** (AMP Porto Cesareo - Taranto).



L'Ingegneria Naturalistica nel Contrasto al Dissesto Idrogeologico e nella Difesa delle Coste in Ambito Mediterraneo

GIORNATA di STUDIO

Venerdì 18 Maggio 2018, ore 9:00

SALA ANTONELLI c/o HOTEL SAVOY di PESARO

Viale della Repubblica, 22



Via Venezia, Cogli (PU)

Archivio Fotografico di Alta Scuola, ph E. Martini



Eremo di Fonte Avellana

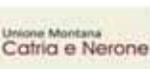
"Archivio fotografico Provincia di Pesaro e Urbino ph A. Gamberini"



Campo sperimentale di I.N. JemmBuild (Albano Laziale)

Archivio Fotografico di JemmBuild ph E. Marrone

con il patrocinio di



evento in convenzione, partecipazione e sostegno con



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Federico Boccalaro, Ordine degli Ingegneri di Roma



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

naides@fastwebnet.it, www.ording.roma.it



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

18 maggio 2018 - Pesaro

Ingegneria Naturalistica Costiera

Ingegnere Ambientale Federico Boccalaro