

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



Dario Flaccovio Editore



COLLANA SIGEA  
DI GEOLOGIA  
AMBIENTALE



Compatibile Windows



- 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, rocciosi, la macchia ✓
- Progettazione di interventi e monitoraggio delle opere costiere, ecosistema marino ✓

*A Carla e Giulia  
per un Mediterraneo a misura di mito*

Ἡμος δ' ἠριγενεία φανῆ ροδοδακτύλος Ἴως,  
καὶ τότε γῶν ἀγορῆν θέμενος μετὰ πασίν εἶπεν·  
"... Εἶδον γάρ σκοπιῆν ἐς παιπαλοέσσαν ἀνέλθων  
νησον, τὴν περὶ πόντος ἀπειρίτος ἐστεφανώται.  
Αὐτὴ δὲ χθαμαλὴ κεῖται· κάπνον δ' ἐνὶ μέσῃ  
ἐδρακὸν ὀφθαλμοῖσι διὰ δρυμὰ πυκνὰ καὶ ὕλην".  
(Ομηροῦ, *Ὀδύσεια*, X "Κίρκη" 187-197)

*Ma come, figlia di luce, apparve l'Aurora dita rosate,  
allora io, fatta adunanza, parlai in mezzo a tutti:  
"... Vidi, infatti, salito su una cima rocciosa,  
l'isola, che intorno il mare infinito corona.  
E un'isola bassa: un fumo nel centro  
ho scorto con gli occhi tra i fitti querceti e la macchia".  
(Trad. Rosa Calzecchi Onesti)*



pagina ll bianca

Federico Boccalaro

# **DIFESA DELLE COSTE E INGEGNERIA NATURALISTICA**

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



Dario Flaccovio Editore

Federico Boccalaro

DIFESA DELLE COSTE E INGEGNERIA NATURALISTICA – Manuale di ripristino degli habitat lagunari, dunari, litoranei e marini

ISBN 978-88-579-0109-1

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: ....., 2012

Boccalaro, Federico <1956->

Difesa delle coste e ingegneria naturalistica : manuale di ripristino degli habitat lagunari, dunari, litoranei e marini / Federico Boccalaro. - Palermo : D. Flaccovio, 2012.

ISBN 978-88-579-0109-1

1. Coste – Protezione.

333.91716 CDD-22

SBN PAL0239368

*CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana “Alberto Bombace”*

Stampa: ....., Palermo, ..... 2012

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

# INDICE

*Prefazione*

*Introduzione*

## **1. Idrodinamismo marino e geomorfologia costiera**

1.1.	Premessa.....	»	1
1.1.1.	Dinamica costiera.....	»	1
1.1.2.	Erosione costiera.....	»	1
1.2.	Formazione ed evoluzione degli arenili.....	»	4
1.2.1.	Fasi successive di abrasione della costa.....	»	4
1.2.2.	Stadio iniziale dell'evoluzione di una regione litorale.....	»	5
1.2.3.	Stadio avanzato dell'evoluzione di una regione litorale.....	»	6
1.2.4.	Fasi dell'evoluzione morfologica di una parete litoranea.....	»	8
1.3.	I movimenti del mare.....	»	13
1.3.1.	Le correnti marine e i moti di deriva dei mari italiani.....	»	13
1.3.2.	Le correnti marine indotte dal vento: calcolo dell'intensità.....	»	15
1.3.3.	Settore di traversia composto.....	»	16
1.3.4.	Calcolo del fetch effettivo.....	»	18
1.3.5.	Moto ondoso: definizioni.....	»	19
1.3.6.	Moto ondoso: onde di burrasca.....	»	21
1.3.7.	Moto ondoso: previsione del vento di burrasca.....	»	22
1.3.8.	Moto ondoso: determinazione dell'onda caratteristica.....	»	23
1.3.9.	Moto ondoso: ingressione del mare.....	»	24
1.3.10.	Il fenomeno di rifrazione dell'onda.....	»	26
1.3.11.	Il fenomeno di riflessione dell'onda.....	»	28
1.3.12.	Il fenomeno dei frangenti.....	»	29
1.3.13.	Trasporti in senso trasversale al litorale.....	»	31
1.3.14.	Trasporti in senso longitudinale al litorale.....	»	33
1.3.15.	Profilo estivo e profilo invernale di una spiaggia.....	»	35
1.4.	Modifica dell'equilibrio dei litorali.....	»	36
1.4.1.	Erosione dei litorali italiani.....	»	36
1.4.2.	Erosione del litorale friulano.....	»	38
1.4.3.	Erosione del litorale veneto.....	»	38
1.4.4.	Erosione del litorale emiliano romagnolo.....	»	39
1.4.5.	Erosione del litorale marchigiano.....	»	40
1.4.6.	Erosione del litorale abruzzese e molisano.....	»	40
1.4.7.	Erosione del litorale pugliese.....	»	41
1.4.8.	Erosione del litorale calabrese.....	»	41
1.4.9.	Erosione del litorale lucano.....	»	42
1.4.10.	Erosione del litorale campano.....	»	43

1.4.11. Erosione del litorale laziale.....	»	43
1.4.12. Erosione del litorale toscano.....	»	45
1.4.13. Erosione del litorale ligure.....	»	45
1.4.14. Erosione del litorale siciliano.....	»	46
1.4.15. Erosione del litorale sardo.....	»	47
1.4.16. Software di settore.....	»	47
1.5. Formazione ed evoluzione delle dune litoranee sabbiose.....	»	48
1.5.1. Struttura di una duna sabbiosa litoranea.....	»	48
1.5.2. Dinamica e formazione di una duna litoranea sabbiosa.....	»	49
1.5.3. Natura del substrato delle spiagge e delle dune italiane.....	»	50
1.6. Bibliografia.....	»	52

## 2. Opere di difesa costiera

2.1. Introduzione.....	»	55
2.2. La protezione delle coste in Italia.....	»	56
2.3. Generalità sugli interventi.....	»	59
2.4. Quadro schematico per la scelta delle opere di difesa.....	»	66
2.5. Pennelli.....	»	68
2.5.1. Evoluzione del litorale per effetto dei pennelli.....	»	68
2.5.2. Pennelli di massi naturali e artificiali.....	»	71
2.6. Scogliere radenti.....	»	76
2.6.1. Generalità.....	»	76
2.6.2. Scogliere radenti in massi naturali sagomate.....	»	78
2.6.3. Scogliere radenti di massi naturali alla rinfusa.....	»	81
2.6.4. Scogliere radenti miste di massi naturali e artificiali sagomate.....	»	81
2.6.5. Scogliere radenti di massi artificiali allineati.....	»	86
2.6.6. Scogliere radenti in gabbioni metallici.....	»	88
2.7. Scogliere foranee.....	»	89
2.7.1. Scogliere foranee emerse.....	»	89
2.7.1.1. Generalità.....	»	89
2.7.1.2. Scogliere foranee di massi naturali.....	»	90
2.7.1.3. Scogliere foranee miste di massi naturali e artificiali.....	»	93
2.7.2. Scogliere foranee sommerse.....	»	96
2.7.2.1. Generalità.....	»	96
2.7.2.2. Funzioni difensive.....	»	97
2.7.2.3. Tubi in geotessile e materassi in rete metallica.....	»	99
2.8. Attività di recupero e ripristino.....	»	102
2.8.1. Recupero spiagge e habitat costieri.....	»	102
2.8.2. Interventi di emergenza.....	»	103
2.8.3. Interventi sperimentali.....	»	107
2.9. Ripascimenti e spiagge artificiali.....	»	107
2.9.1. Generalità.....	»	107
2.9.2. Le sabbie.....	»	110
2.9.3. Le cave.....	»	111
2.9.4. Le tecniche di prelievo e versamento.....	»	113
2.9.5. Naturalizzazione.....	»	114
2.9.6. Monitoraggio.....	»	115



2.9.7. Conclusioni .....	»	115
2.10. Esempi applicativi .....	»	116
2.10.1. Opere di difesa del litorale di Ostia.....	»	116
2.10.2. Ripascimenti del litorale emiliano-romagnolo.....	»	118
2.10.3. Ripascimenti del litorale Poetto a Cagliari.....	»	121
2.10.4. Ripascimenti del litorale Maronti a S. Angelo nell'isola d'Ischia .....	»	124
2.10.5. Ripascimenti del litorale a Cavo nell'Isola d'Elba .....	»	126
2.10.6. Costruzione di una spiaggia con sterili di cava: il caso della costa di Trani (BA) .....	»	126
2.10.7. Rinforzo dei litorali in Laguna di Venezia .....	»	128
2.11. Recupero delle dune.....	»	130
2.11.1. Stato dei complessi dunosi nel Mediterraneo .....	»	130
2.11.2. Formazione e sviluppo di complessi dunosi.....	»	132
2.11.3. Costruzione di dune armate alla foce del Po.....	»	136
2.12. Sistemi di difesa innovativi .....	»	136
2.12.1. Sistemi di difesa con geosintetici .....	»	136
2.12.2. Sistemi di difesa a elementi in acciaio .....	»	140
2.12.2.1. Elemento Erdox® stabilizzatore di versante.....	»	140
2.12.3. Sistemi di difesa di emergenza .....	»	142
2.12.4. Sistemi di difesa dei fondali di spiagge sommerse .....	»	144
2.13. Manutenzione delle opere di difesa della costa.....	»	146
2.13.1. Prescrizioni di carattere generale.....	»	146
2.13.2. Tipologie di opere e di interventi ammessi.....	»	147
2.13.3. Prescrizioni specifiche.....	»	148
2.13.4. Buone pratiche: criteri di intervento e modalità gestionali proposti .....	»	149
2.14. Normativa.....	»	149
2.14.1. Normativa italiana.....	»	149
2.14.2. Normativa regionale .....	»	152
2.14.3. Normativa tecnica .....	»	154
2.14.4. Gestione integrata della zona costiera.....	»	154
2.15. Programmi europei .....	»	156
2.15.1. Generalità .....	»	156
2.15.2. Progetto Beachmed.....	»	156
2.15.3. Trattati internazionali .....	»	158
2.16. Bibliografia.....	»	159
<b>3. Ecosistema costiero</b>		
3.1. Coste mediterranee .....	»	161
3.2. La vegetazione dei litorali sabbiosi e salati .....	»	161
3.2.1. I fondali marini .....	»	161
3.2.2. Le spiagge arenose.....	»	162
3.2.3. Le dune.....	»	163
3.2.4. Le lagune e gli stagni salmastri.....	»	164
3.2.5. Le velme e le barene .....	»	165
3.3. La vegetazione dei litorali rocciosi.....	»	167
3.3.1. Le rupi marittime .....	»	167
3.4. La macchia.....	»	168



3.4.1.	Generalità .....	»	168
3.4.1.1.	Impatto antropico sulla macchia mediterranea.....	»	169
3.4.2.	La macchia di leccio.....	»	169
3.4.3.	La macchia a corbezzolo e a erica.....	»	171
3.4.4.	La macchia a cisti.....	»	172
3.4.5.	La macchia a ginepri .....	»	173
3.4.6.	La macchia a oleastro e lentisco .....	»	175
3.4.7.	La macchia a euforbia.....	»	176
3.4.8.	La macchia a palma nana.....	»	177
3.4.9.	La macchia a ginestre.....	»	178
3.4.10.	La macchia ad alloro.....	»	179
3.4.11.	La macchia a oleandro.....	»	181
3.5.	Fisionomia e adattamenti delle piante mediterranee .....	»	182
3.5.1.	Il clima .....	»	182
3.5.2.	Caratteri fisiologici .....	»	184
3.5.3.	Caratteri biologici .....	»	185
3.5.4.	Il vento .....	»	186
3.6.	Fisionomia e adattamenti delle piante delle sabbie.....	»	187
3.7.	Fisionomia e adattamenti delle piante dei suoli salsi.....	»	188
3.8.	Stabilizzazioni con piante vive e morte .....	»	189
3.8.1.	Gestione di Posidonia oceanica spiaggiata.....	»	190
3.9.	Strategie di conservazione.....	»	191
3.9.1.	Linee guida operative .....	»	191
3.9.2.	Conservatoria delle coste .....	»	193
3.9.2.1.	Motivazioni .....	»	193
3.9.2.2.	Compiti .....	»	194
3.9.2.3.	Il patrimonio gestito dalla Conservatoria delle coste.....	»	195
3.9.3.	Difesa dell'ambiente costiero in siti di interesse archeologico .....	»	196
3.9.3.1.	Cenni introduttivi.....	»	196
3.9.3.2.	Il caso di Kamarina .....	»	197
3.9.3.3.	Il caso della via Flacca .....	»	199
3.9.3.4.	Il caso di Capo Colonna .....	»	200
3.9.3.5.	Indirizzi operativi .....	»	201
3.10.	Bibliografia.....	»	202

#### 4. Ingegneria naturalistica costiera

4.1.	Progettazione di interventi costieri.....	»	203
4.1.1.	Aspetti paesaggistici della progettazione .....	»	203
4.1.2.	Aspetti geomorfologici della progettazione .....	»	206
4.1.3.	Aspetti pedologici della progettazione.....	»	209
4.1.4.	Aspetti vegetazionali della progettazione.....	»	212
4.1.5.	Aspetti biotecnici della progettazione.....	»	216
4.1.5.1.	Sistema radicale delle piante .....	»	216
4.1.5.2.	Caratteristiche biotecniche delle piante.....	»	218
4.1.5.3.	Indagine sugli apparati radicali degli arbusti mediterranei.....	»	221
4.1.6.	Aspetti metodologici della progettazione .....	»	224
4.1.7.	Aspetti manutentivi della progettazione .....	»	230

4.1.8.	Aspetti eco-tecnologici della progettazione .....	»	231
4.1.8.1.	Generalità .....	»	231
4.1.8.2.	Definizioni.....	»	231
4.1.8.3.	Cenni storici ed elementi di attualità della fitodepurazione .....	»	233
4.1.8.4.	Vantaggi e svantaggi della fitodepurazione.....	»	234
4.1.9.	Aspetti valutativi.....	»	236
4.1.9.1.	Generalità .....	»	236
4.1.9.2.	Esempio applicativo su costa .....	»	236
4.1.10.	Esempio progettuale di sistemazione di una costa alta franosa lungo la linea ferroviaria Genova-Ventimiglia.....	»	238
4.1.11.	Esempio progettuale di sistemazione di una costa bassa erosa nell'area marina protetta di "Capo Rizzuto".....	»	242
4.2.	Buone pratiche per la gestione del sistema spiaggia-duna .....	»	245
4.2.1.	Generalità .....	»	245
4.2.2.	Gestione adattativa.....	»	251
4.2.2.1.	Descrizione generale .....	»	251
4.2.2.2.	Funzione .....	»	252
4.2.2.3.	Metodi.....	»	253
4.2.2.4.	Impatto.....	»	255
4.2.2.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	255
4.2.3.	Piantagione erbacea su duna .....	»	255
4.2.3.1.	Descrizione generale .....	»	255
4.2.3.2.	Funzione .....	»	256
4.2.3.3.	Metodi.....	»	257
4.2.3.4.	Impatti.....	»	258
4.2.3.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	258
4.2.3.6.	Provenienza del materiale di propagazione e riproduzione vivaistica delle specie legnose da utilizzare.....	»	259
4.2.4.	Copertura di duna .....	»	260
4.2.4.1.	Descrizione generale .....	»	260
4.2.4.2.	Funzione .....	»	260
4.2.4.3.	Metodi.....	»	260
4.2.4.4.	Impatti.....	»	262
4.2.4.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	262
4.2.5.	Schermatura di dune .....	»	263
4.2.5.1.	Descrizione generale .....	»	263
4.2.5.2.	Funzione .....	»	263
4.2.5.3.	Metodi .....	»	264
4.2.5.4.	Impatti.....	»	267
4.2.5.5.	Migliori pratiche ambientali e opportunità .....	»	267
4.2.6.	Spiaggia di riciclo e di riprofilatura.....	»	267
4.2.6.1.	Descrizione generale .....	»	267
4.2.6.2.	Funzione .....	»	269
4.2.6.3.	Metodi.....	»	269
4.2.6.4.	Impatti.....	»	271
4.2.6.5.	Migliori pratiche ambientali e opportunità .....	»	272
4.2.7.	Strutture in sacchi di sabbia.....	»	273
4.2.7.1.	Descrizione generale .....	»	273
4.2.7.2.	Funzione .....	»	273

4.2.7.3.	Metodi.....	»	274
4.2.7.4.	Impatti.....	»	275
4.2.7.5.	Migliori pratiche ambientali e le opportunità .....	»	276
4.2.8.	Ripascimento della spiaggia.....	»	276
4.2.8.1.	Descrizione generale .....	»	276
4.2.8.2.	Funzione .....	»	277
4.2.8.3.	Metodi.....	»	278
4.2.8.4.	Impatti.....	»	280
4.2.8.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	281
4.2.9.	Rivestimento in gabbioni.....	»	282
4.2.9.1.	Descrizione generale .....	»	282
4.2.9.2.	Funzione .....	»	282
4.2.9.3.	Metodi.....	»	283
4.2.9.4.	Impatti.....	»	285
4.2.9.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	285
4.2.10.	Promontori artificiali .....	»	286
4.2.10.1.	Descrizione generale .....	»	286
4.2.10.2.	Funzione .....	»	287
4.2.10.3.	Metodi.....	»	288
4.2.10.4.	Impatti.....	»	290
4.2.10.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	290
4.2.11.	Scogliere artificiali.....	»	291
4.2.11.1.	Descrizione generale .....	»	291
4.2.11.2.	Funzione .....	»	291
4.2.11.3.	Metodi.....	»	292
4.2.11.4.	Impatti.....	»	294
4.2.11.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	295
4.2.12.	Frangiflutti prossimi alla riva .....	»	296
4.2.12.1.	Descrizione generale .....	»	296
4.2.12.2.	Funzione .....	»	296
4.2.12.3.	Metodi.....	»	297
4.2.12.4.	Impatti.....	»	299
4.2.12.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	299
4.2.13.	Pennelli .....	»	300
4.2.13.1.	Descrizione generale .....	»	300
4.2.13.2.	Funzione .....	»	301
4.2.13.3.	Metodi.....	»	302
4.2.13.4.	Impatti.....	»	305
4.2.13.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	305
4.2.14.	Drenaggio di riva .....	»	306
4.2.14.1.	Descrizione generale .....	»	306
4.2.14.2.	Funzione .....	»	307
4.2.14.3.	Metodi.....	»	308
4.2.14.4.	Impatti.....	»	309
4.2.14.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	309
4.2.15.	Stabilizzazioni in pietrame .....	»	309
4.2.15.1.	Descrizione generale .....	»	309
4.2.15.2.	Funzione .....	»	310
4.2.15.3.	Metodi.....	»	311

4.2.15.4.	Impatti.....	»	313
4.2.15.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	313
4.2.16.	Stabilizzazioni in legname.....	»	314
4.2.16.1.	Descrizione generale .....	»	314
4.2.16.2.	Funzione .....	»	314
4.2.16.3.	Metodi.....	»	315
4.2.16.4.	Impatti.....	»	316
4.2.16.5.	Migliori pratiche e opportunità ambientali .....	»	317
4.2.17.	Piantagione di fanerogame marine.....	»	317
4.2.17.1.	Descrizione generale .....	»	317
4.2.17.2.	Raccomandazioni pratiche.....	»	318
4.3.	Tecniche per la protezione del sistema spiaggia-duna-laguna .....	»	319
4.3.1.	Viminata viva con disposizione romboidale .....	»	319
4.3.2.	Barriera viva basale .....	»	321
4.3.3.	Schermi frangivento.....	»	323
4.3.4.	Sistemi combinati.....	»	325
4.3.5.	Palificata viva latina.....	»	327
4.3.6.	Blocchi incatenati.....	»	329
4.3.7.	Scogliera rinverdita.....	»	331
4.3.8.	Rivestimento in pietrame con impianto di talee .....	»	333
4.3.9.	Materasso preconfezionato in rete metallica rinverdito, con geostuoie e/o biostuoie .....	»	334
4.3.10.	Regolazione idrica con dragaggi e ricostruzione di dune, velme e barene .....	»	337
4.3.11.	Rivestimento vegetativo con geostuoie.....	»	338
4.3.12.	Rivestimento vegetativo con biostuoie.....	»	342
4.3.13.	Rivestimento vegetativo con rete metallica e geostuoie o biostuoie .....	»	345
4.3.14.	Messa a dimora di alberi e arbusti (a radice nuda, in zolla, in contenitore, in fitocella).....	»	347
4.3.15.	Messa a dimora di talee.....	»	349
4.3.16.	Trapianto di rizomi e cespi.....	»	351
4.3.17.	Fascinata spondale viva con culmi di canna .....	»	351
4.3.18.	Fascinata spondale viva sommersa.....	»	352
4.3.19.	Copertura diffusa con culmi di canna .....	»	353
4.3.20.	Rullo spondale con zolle (pani) di canne e fibra vegetale o sintetica.....	»	354
4.3.21.	Palificata viva spondale (con palo verticale frontale).....	»	357
4.3.22.	Palizzata viva.....	»	358
4.4.	Realizzazione di interventi costieri antiersivi .....	»	363
4.4.1.	Produzione di specie arbustive litoranee di provenienza locale per la ricostituzione degli habitat in Veneto.....	»	363
4.4.2.	Rivegetazione delle dune a Sylt.....	»	364
4.4.3.	Rivegetazione dei fondali dell'Alto Tirreno .....	»	368
4.5.	Realizzazione di interventi costieri stabilizzanti .....	»	369
4.5.1.	Ripascimenti e ricostruzione delle dune in Laguna di Venezia.....	»	369
4.5.2.	Ricostruzione dune a Castel Porziano.....	»	370
4.5.3.	Progetto Life-natura sulle dune costiere di Vendicari .....	»	375
4.5.4.	Ricostruzione di dune ad Albufera (Valencia) .....	»	376
4.5.5.	Ricostruzione di biotopi umidi a Pula (CA).....	»	379
4.5.6.	Conservazione del sistema dunale di Cala Mesquida a Capdepera (Maiorca – Isole Baleari).....	»	383

4.5.7.	Gestione del Parco naturale della Camargue (Arles).....	»	385
4.5.8.	Ricostruzione dunale a Torre Guaceto (BA).....	»	386
4.5.9.	Ampliamento e riqualificazione di aree umide retrodunali nel Parco regionale Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli (PI).....	»	389
4.6.	Manutenzione delle opere di Ingegneria Naturalistica.....	»	390
4.6.1.	Manutenzione delle opere per il periodo di garanzia.....	»	391
4.6.2.	Manutenzione delle opere nel breve periodo.....	»	392
4.6.3.	Manutenzione delle opere a medio e lungo periodo.....	»	393
4.7.	Applicazione dell'Ingegneria Naturalistica alle zone percorse dal fuoco.....	»	393
4.7.1.	Cenni introduttivi.....	»	393
4.7.2.	Resilienza della vegetazione mediterranea.....	»	394
4.7.3.	Azioni prioritarie di intervento.....	»	394
4.7.4.	Interventi di recupero e ricostituzione della vegetazione.....	»	395
4.8.	Bibliografia.....	»	396

## 5. Monitoraggio delle opere costiere

5.1.	Cenni introduttivi.....	»	399
5.2.	Finalità e obiettivi per il monitoraggio.....	»	400
5.3.	Priorità per la misurazione.....	»	400
5.4.	Frequenza, tempi e posizione delle misurazioni.....	»	401
5.5.	Tecniche di monitoraggio.....	»	402
5.5.1.	Cenni introduttivi.....	»	402
5.5.2.	Creazione delle zone di litorale.....	»	403
5.5.3.	Individuazione di aree di erosione.....	»	403
5.5.4.	L'equipaggiamento.....	»	405
5.5.5.	Determinazione delle probabili cause di erosione.....	»	406
5.5.6.	Misurazione dell'entità dell'erosione.....	»	407
5.5.7.	Lista di controllo per l'erosione.....	»	407
5.5.8.	Fotografia aerea.....	»	409
5.6.	Misurazioni dell'ambiente fisico.....	»	410
5.7.	Raccolta e analisi dei dati.....	»	411
5.7.1.	Schede tecniche.....	»	412
5.8.	I monitoraggi floristici sugli interventi di rinaturalizzazione per la salvaguardia del litorale veneto (progetto Life Natura, 2004-2006).....	»	415
5.8.1.	Cenni introduttivi.....	»	415
5.8.2.	Metodo.....	»	416
5.8.3.	La mappatura degli habitat.....	»	418
5.9.	Monitoraggio delle azioni di tutela di habitat prioritari costieri della Riserva naturale statale di Torre Guaceto (progetto Life Natura, 2006-2008).....	»	419
5.9.1.	Contenuti e obiettivi generali del piano di monitoraggio.....	»	419
5.9.1.1.	L'azione "Monitoraggio degli interventi".....	»	419
5.9.1.2.	I tipi di intervento e le implicazioni teoriche relative allo sviluppo del programma di monitoraggio.....	»	420
5.9.1.3.	Gli indicatori.....	»	422
5.9.1.4.	Il rilevamento.....	»	424
5.9.2.	Definizione degli indicatori.....	»	424
5.9.3.	Indicazioni sul rilevamento e il trattamento dei dati.....	»	427

5.9.3.1.	Il materiale necessario .....	»	427
5.9.3.2.	I metodi.....	»	428
5.9.3.3.	La scheda di registrazione.....	»	430
5.9.3.4.	Il rapporto annuale di monitoraggio .....	»	431
5.10.	Bibliografia .....	»	432

## 6. L'ecosistema marino

6.1.	Principi e definizioni generali.....	»	433
6.2.	Biodiversità marina e del Mediterraneo.....	»	434
6.3.	Zonazione biologica.....	»	437
6.4.	Tropicalizzazione del Mediterraneo.....	»	438
6.5.	Specie endemiche del Mediterraneo.....	»	440
6.6.	Fanerogame marine.....	»	441
6.6.1.	Aspetti biologici.....	»	441
6.6.2.	Aspetti ecologici .....	»	444
6.6.3.	Aspetti vegetazionali .....	»	447
6.7.	Posidonia oceanica.....	»	448
6.7.1.	Generalità .....	»	448
6.7.2.	Caratteristiche morfologiche.....	»	450
6.7.3.	Caratteristiche ecologiche .....	»	451
6.7.4.	Caratteristiche riproduttive .....	»	453
6.7.5.	Funzioni della prateria.....	»	454
6.7.6.	Formazione ed evoluzione di un posidonieto .....	»	456
6.7.7.	Cause di regressione delle praterie .....	»	458
6.7.8.	Biomasse vegetali spiaggiate .....	»	461
6.8.	Poriferi.....	»	463
6.8.1.	Generalità .....	»	463
6.8.2.	Caratteristiche morfologiche.....	»	464
6.8.3.	Caratteristiche ecologiche .....	»	464
6.8.4.	Funzioni .....	»	464
6.9.	Tutela e gestione di ecosistemi marini costieri.....	»	465
6.10.	Bibliografia.....	»	468

## 7. Ingegneria naturalistica marina

7.1.	Trapianto di fanerogame bentoniche costiere.....	»	471
7.1.1.	Prime esperienze nel Mediterraneo .....	»	471
7.1.2.	Sedimenti delle praterie di Posidonia oceanica .....	»	474
7.1.3.	Progettazione di ripristini di praterie a fanerogame marine.....	»	478
7.1.3.1.	Progetto di rivegetazione nell'Oasi Blu "Scogli di Isca" .....	»	478
7.1.3.2.	Ricerca bibliografica.....	»	479
7.1.3.3.	Rilievo dati geomorfologici delle coste .....	»	480
7.1.3.4.	Rilievo dati oceanografici delle acque marine.....	»	481
7.1.3.5.	Rilievo dati della qualità delle acque marine.....	»	482
7.1.3.6.	Sollecitazioni agenti sul fondo.....	»	485
7.1.3.7.	Modalità operative .....	»	486
7.1.3.8.	Individuazione dei siti di intervento.....	»	488

7.1.3.9.	Analisi dei costi e della redditività della rivegetazione dei fondali.....	»	489
7.1.4.	Realizzazioni di interventi di trapianto di fanerogame marine.....	»	490
7.1.4.1.	Trapianto di fanerogame marine a Gabicce Mare (AN) .....	»	490
7.1.4.2.	Trapianto di fanerogame marine a Rapallo (GE) .....	»	491
7.1.4.3.	Progetto di ripristino di Cymodocea n. a Port Cros .....	»	492
7.1.4.4.	Progetto “Nomatec” di ripristino praterie in Corsica.....	»	494
7.1.4.5.	Risanamento dei fondali in Laguna di Venezia .....	»	496
7.1.4.6.	Sperimentazione di rivegetazione a Cavo nell’Isola d’Elba.....	»	499
7.1.5.	Tecniche di intervento .....	»	502
7.1.5.1.	Schede descrittive dei georivestimenti.....	»	502
7.1.5.2.	Schede descrittive dei materassi rivegetati.....	»	505
7.1.6.	Conclusioni .....	»	511
7.2.	Sistemi di tutela delle praterie a fanerogame marine .....	»	512
7.2.1.	Barriere artificiali sommerse .....	»	512
7.2.1.1.	Cenni introduttivi.....	»	512
7.2.1.2.	Le barriere artificiali nella gestione delle risorse marine .....	»	512
7.2.1.3.	Le barriere artificiali nella azione anti-pesca a strascico.....	»	513
7.2.1.4.	Barriere artificiali a Loano (sv) .....	»	515
7.2.1.5.	Barriere artificiali a Rossano (CS).....	»	518
7.2.1.6.	Barriere artificiali Tecnoreef .....	»	519
7.2.2.	Ormeggi sostenibili.....	»	520
7.2.2.1.	Cenni introduttivi.....	»	520
7.2.2.2.	Ormeggi sostenibili nell’AMP di Capo Carbonara.....	»	521
7.2.2.2.1.	Vantaggi .....	»	522
7.2.2.3.	Ormeggi sostenibili nel Parco naturale di Port Cros (Francia) ...	»	523
7.2.2.4.	Ancoraggi antisfilamento .....	»	524
7.3.	Acquacoltura per spugne marine .....	»	525
7.3.1.	Cenni introduttivi.....	»	525
7.3.2.	Progetto di spongicoltura “Nomatec” .....	»	526
7.3.2.1.	Cenni introduttivi.....	»	526
7.3.2.2.	Primo anno di progetto.....	»	527
7.3.2.3.	Secondo anno di progetto.....	»	528
7.3.3.	Progetto di spongicoltura nell’AMP “Cinque Terre” .....	»	529
7.3.4.	Progetto di spongicoltura nel porto di Rapallo .....	»	530
7.4.	Bibliografia.....	»	531

## 8. Monitoraggio delle praterie a fanerogame marine

8.1.	Programma nazionale di tutela .....	»	533
8.2.	Metodologie di sorveglianza di un posidonieto.....	»	534
8.2.1.	Cenni introduttivi.....	»	534
8.2.2.	Livello della pianta.....	»	535
8.2.3.	Livello della prateria.....	»	536
8.2.4.	Livello della comunità associata.....	»	538
8.3.	Monitoraggio delle praterie di Posidonia oceanica.....	»	538
8.3.1.	Sorveglianza delle praterie di Posidonia oceanica in Calabria.....	»	538
8.3.2.	Sorveglianza delle praterie di Posidonia oceanica a Favignana (TP) .....	»	541



8.3.2.1.	Indagini.....	»	541
8.3.2.2.	Risultati ottenuti.....	»	542
8.3.2.3.	Considerazioni finali .....	»	546
8.3.3.	Sorveglianza delle praterie di Posidonia oceanica a Sanremo (IM) .....	»	547
8.3.4.	Sorveglianza delle praterie di fanerogame marine in Laguna di Venezia ...	»	550
8.3.5.	Mappatura di Posidonia oceanica in Costa Azzurra .....	»	552
8.3.5.1.	Cenni introduttivi.....	»	552
8.3.5.2.	Quadro d'unione .....	»	553
8.3.5.3.	Carte di dettaglio di stazioni e osservazioni specifiche .....	»	555
8.3.5.4.	Microcartografia .....	»	557
8.3.5.5.	Considerazioni finali .....	»	559
8.4.	Bibliografia.....	»	560
	Rassegna fotografica .....	»	561

pagina XVI bianca

# PREFAZIONE

Da tempo l'ingegnere Boccalaro si dedica con grande competenza al vasto tema di come contrastare il degrado fisico del territorio con rimedi improntati all'Ingegneria naturalistica. Nel 2007 riassunse i suoi studi al riguardo pubblicando il volume *Difesa del territorio e ingegneria naturalistica*. Dall'ampio ventaglio di argomenti trattati allora, il nostro Autore ha estrapolato e messo a fuoco, in questo nuovo libro, un soggetto di notevole importanza e attualità: la difesa delle coste in generale e il ruolo dell'Ingegneria naturalistica in particolare. Dopo la difesa del suolo volta a impedirne lo sfacelo "verticale" in tutti gli ambienti naturali, l'Autore rivolge adesso la sua attenzione alla difesa areale del territorio costiero. Analizza le cause del degrado e ne descrive i rimedi idonei a contenerne gli effetti, cioè la sottrazione di superficie dovuta all'erosione marina. Questa da tempo erode interi arenili, demolisce i sistemi dunosi e altera l'ambiente circostante. L'evoluzione distruttiva dei litorali sabbiosi risale all'ultimo cinquantennio, allorché è cambiato di segno il bilancio sedimentario costiero. Il ripascimento naturale delle spiagge, il loro protendimento dovuto alla deposizione lungo le stesse dei sedimenti portati dai fiumi, che convogliavano verso il mare la terra strappata dai monti diboscati e soggetti a dissesto idrogeologico, è cessato quasi del tutto, anche se il dissesto idrogeologico non è stato debellato affatto. Questo rifornimento, che eccedeva un tempo la quantità di materiali erosi dal moto ondoso, è venuto meno in concomitanza con lo sviluppo del territorio, cioè con i massicci prelievi di sabbia per le attività costruttive e, per lo stesso motivo, l'estrazione spesso abusiva di inerti dagli alvei fluviali, lo sbarramento dei fiumi con dighe che ne arrestano la portata solida, la proliferazione di porti turistici con creazione di moli guardiani che intercettano il trasporto litoraneo delle correnti marine, provocando devastanti erosioni sottoflutto.

L'assottigliamento delle spiagge ha numerose conseguenze negative: fa giungere i marosi a ridosso delle infrastrutture stradali e ferroviarie che si sviluppano lungo le coste basse, e che vanno difese con scogliere; provoca la demolizione parziale o totale delle dune con la conseguente alterazione o addirittura distruzione della copertura vegetale, imbruttendo il paesaggio e minacciando la conservazione della biodiversità, per cui se ne impone la conservazione, il restauro quando sono danneggiate e la ricostruzione allorché sono totalmente collassate; sottrae spazi vitali al turismo estivo, che poggia sulla balneazione e le piccole attività sportive connesse, minacciandolo di estinzione estesa alla vita di interi villaggi con le loro strutture abitative e alberghiere, costituenti risorse occupazionali, per cui si cerca di salvarlo ricreandone la base fisica mediante il ripascimento artificiale degli arenili.

Oltre alla trattazione generale delle cause, della normativa e dei rimedi, affidati alla vegetazione, tra cui le praterie di fanerogame marine, il libro passa in rassegna la situazione italiana regione per regione, fornendo in tal modo un quadro d'insieme valido anche per chi si occupa di pianificazione e di gestione dei sistemi ambientali a grande scala. Numerosi esempi corredano l'opera accrescendone l'utilità per i progettisti, ai quali vengono forniti i dati occorrenti per il progetto e per l'esecuzione dei lavori.

Salvatore Puglisi

# INTRODUZIONE

*L'uomo ragionevole adegua se stesso al mondo;  
l'uomo irragionevole persiste nel tentativo di adeguare il mondo a se stesso.  
Perciò ogni progresso dipende dall'uomo irragionevole.*

George Bernard Shaw

## 1. Habitat marini costieri europei

Ciò che in prima istanza va notato è che l'entità della perdita di habitat marini costieri è quanto mai allarmante: a oggi, infatti, soltanto meno del 15% degli habitat costieri europei può essere considerato in buone condizioni e la situazione risulta ancora più drammatica per quanto riguarda le coste italiane lungo le quali le attività dell'uomo si sono concentrate per secoli. Da quanto appena evidenziato, appare chiaro che sottovalutare 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 (Airoidi e Beck, 2007).

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 (piante superiori dotate di radici, fusto, foglie, fiori e frutti; tra cui la più nota è la Posidonia oceanica), altri vegetali marini (macroalghe), banchi di ostriche, mitili e altre formazioni organogene. Questi habitat forniscono importantissimi servizi all'uomo, come cibo, medicinali, 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, estuari e lagune costiere è stimato dieci volte superiore a quello di qualsiasi sistema terrestre, con valori che raggiungono i 23.000 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.

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 e centri di ricerca.

Gli habitat marini temperati costeggiano alcune delle nazioni più sviluppate del mondo in Europa e Nord America. Pertanto, nell'interesse dei cittadini, è auspicabile che i governi

attuino politiche volte a migliorare la gestione e la sostenibilità futura di questi habitat così incredibilmente ricchi di specie e così produttivi (Airoldi e Beck, 2007).

Per proteggere in maniera efficace e ripristinare tali habitat, innanzitutto occorre che venga colmata urgentemente la carenza di dati sulla vegetazione marina e lagunare, sui banchi di ostriche e altre formazioni organogene marine, investendo nella ricerca ambientale e nelle collaborazioni internazionali.

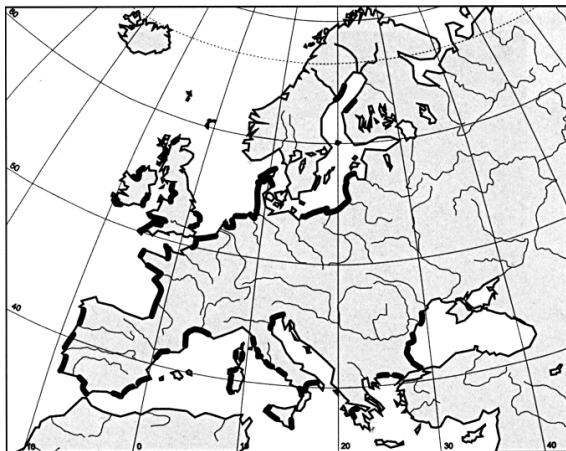


Figura 1. Le dune costiere in Europa (fonte: Pranzini, 2004)

## 2. Ambiente costiero in Italia

Si potrebbe pensare che le spiagge e le dune siano ambienti privi di valore economico in quanto troppo instabili e soggette a erosione e mareggiate e quindi generalmente non edificabili; attività agricole (essenzialmente orticoltura) sono possibili unicamente nella fascia più interna e nelle lacune interdunali, cioè al di fuori della duna vera e propria. Nonostante ciò le spiagge di tutto il Mediterraneo – e in modo specifico quelle italiane – subiscono da alcuni decenni un impatto generalizzato che rischia di generare alterazioni irreversibili. Gli impatti sulle spiagge sono causate per lo più da un'errata politica di gestione del territorio e vengono aggravati dalle conseguenze, dirette e indirette, dello sviluppo del turismo di massa. L'impatto è visibile 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 cosiddetti *eurieci* (cioè organismi che presentano un notevole grado di adattabilità), tolleranti e ad ampia distribuzione geografica.

È necessario confrontare gli ecosistemi costieri sabbiosi, per loro stessa natura e collocazione topografica, con situazioni difficili e mutevoli, nel breve e nel lungo termine. Va notato che le loro capacità di, per così dire, "autoriparazione" e di resilienza dal punto di vista idrogeologico, geomorfologico, floristico e faunistico sono ovviamente molto elevate.

Queste considerazioni potrebbero indurre a pensare che gli ambienti costieri sabbiosi, anche dove disturbati pesantemente dalle attività antropiche o, in alcuni casi, totalmente distrutti, siano in grado prima o poi di ricostituire naturalmente ecosistemi litoranei di buona qualità ambientale. Se è vero che tali ipotesi abbiano un che di fondato (ma con prospettive di decine o centinaia di anni), è estremamente importante sottolineare quanto siano però difficilmente compatibili con scenari a breve termine.

Successivamente ci si occuperà delle possibili strategie di conservazione, gestione e recu-

però ambientale che interessano gli ambienti litoranei sabbiosi italiani.

È invece utile descrivere quelle che alcuni specialisti hanno chiamato *le leggi dei litorali sabbiosi*: queste leggi governano in effetti molti dei meccanismi geomorfologici di rischio che coinvolgono i sistemi spiaggia-duna e pertanto è bene tenerne conto.



Figura 2. Ambiente costiero integro (fonte: Boccalaro, 2006)

Per quanto riguarda le leggi dei litorali sabbiosi si veda l'approfondimento 1 contenuto nel cd allegato.

### 3. La commissione De Marchi

È noto che la cosiddetta *Commissione De Marchi*, dal nome del grande esperto di idraulica ing. Giulio De Marchi, nel 1970 elaborò una relazione conclusiva sulla *Sistemazione idraulica e la difesa del suolo* in Italia, da cui si riportano alcune considerazioni importanti riguardo la difesa dal mare dei territori litoranei.

“L’azione statale, per il suo carattere del tutto generale per tutti i litorali, dovrà essere normalizzata e coordinata mediante la compilazione di apposito “piano delle opere di difesa dei litorali”. (...) Lo studio del piano delle opere di difesa dei litorali dovrebbe essere portato a termine rapidamente e consistere in:

- rilievo del territorio litoraneo;
- conoscenza e studio della storia delle diverse unità fisiografiche;
- analisi dei rilevamenti mareografici;
- raccolta del materiale necessario alla comprensione dei fenomeni, onde giudicare sui criteri effettivi di intervento e pianificazione;
- progetto del piano delle opere marittime e di quelle terrestri connesse, con l’indicazione della disciplina a cui dovranno essere sottoposte.

(...) Un fattore negativo per la conservazione delle coste è il loro uso intensivo, che spesso è irrazionale, di urbanizzazione senza valutazione di quei limiti e vincoli che sono imposti dalle condizioni fisiche locali e dell’unità fisiografica.

Accade che in terreni demaniali marittimi, con o senza autorizzazione, imprese turistiche o edili, ecc. distruggano o gravemente alterino nella loro struttura, composizione e densità rimboschimenti di pini e altre specie eseguiti dalla Amministrazione forestale dello Stato. Anche i boschi naturali, le formazioni arbustive pioniere delle sabbie vengono distrutte e altresì non sono rari gli esempi della distruzione delle dune sabbiose per attuare insediamenti con finalità turistiche. Su queste coste spogliate dalle loro formazioni vegetali o indebolite a causa



dell'asportazione di notevoli quantità di sabbie costituenti cordoni dunosi sul lato mare, cioè private di quelle forze elastiche, resistenti al vento e all'acqua marina con grande efficacia, l'erosione eolica e quella marina acquistano nuovo vigore. Inoltre, gli inquinamenti di origine industriale e domestica delle acque lagunari e marine, contribuiscono a distruggere quei particolari microclimi (marini, lagunari e litoranei) favorevoli alla vita degli organismi vegetali e animali.

Alla permanenza di equilibri biologici corrispondono più favorevoli condizioni per il mantenimento degli equilibri fisici delle coste, mentre di seguito alla loro rottura sopravviene una condizione di instabilità fisica delle coste."

"Dall'esame delle situazioni descritte sotto il profilo dei loro aspetti di sistemazioni montane (stabilità delle terre e buon ordine idraulico), con riferimento al ripascimento naturale delle spiagge, e di bonifica idraulica delle zone costiere, con riferimento alla permanenza dell'attuale linea delle coste, ritengo necessario richiedere:

- a) intangibilità assoluta delle coste marine e lagunari, sia delle parti emerse sia di quelle sommerse, e della loro vegetazione di ogni tipo e specie, salvo quanto sarà disposto al punto d) seguente;
- b) ripresa del risanamento e rimboschimento dei terreni litoranei (demaniali e privati) sottoposti a pericolo di ablazione marina, previo acquisto ed esproprio dei terreni privati o sicure garanzie di intangibilità per quelli appartenenti al demanio marittimo;
- c) revisione severa della regolamentazione per la derivazione delle acque dei fiumi e delle concessioni di estrazione degli inerti, in modo da non sconvolgere il loro normale regime idraulico e la loro capacità di ripascere naturalmente le spiagge;
- d) controllo coordinato e reciprocamente vincolante delle pubbliche amministrazioni dello Stato e delle Regioni, che sono interessati alla difesa del suolo, alla regolazione dei corsi d'acqua, all'uso del territorio, alla tutela del demanio idrico, terrestre e marittimo;
- e) manutenzione, ripristino e adeguamento tecnico di tutte le opere arginali di bonifica per la difesa dei valori immensi costituitisi nei territori bonificati e pertanto con spesa a totale carico dello Stato."

Da queste affermazioni emerge un'anticipazione di quella che sarebbe stata la tendenza successiva, da parte degli operatori ambientali e degli amministratori più illuminati, di rinaturalizzare il più possibile le zone costiere compromesse da un eccessivo impatto antropico. Un approccio che è stato anche adottato dalla corrente più evoluta di pensiero degli ingegneri idraulici, come si evidenzia nel successivo paragrafo.

#### 4. Da una rigida difesa costiera a una gestione dinamica dell'ambiente costiero con l'aiuto della ingegneria ecologica

Va osservato che durante l'ultimo decennio si è avuta un'evoluzione nella difesa delle coste sabbiose, da una rigida protezione del litorale verso un approccio più flessibile, con la ricostituzione del litorale di sabbia.

Si è reso necessario un approccio sistemico più olistico (indirizzato verso un approccio multidisciplinare e lo studio di problemi che prevedono interazioni complesse tra le loro

parti costituenti), dove la conoscenza del movimento della sabbia fornisce la chiave per la sostenibilità e lo sviluppo di interi ecosistemi dunali costieri.

In via schematica si presenta un insieme di principi di ingegneria ecologica, elaborati dall'ingegnere olandese H.D. Van Bohemen:

1. si consideri un intervento umano nel paesaggio in un contesto ecologico a tutti i livelli di scala. Il carattere del sito o *genius loci* (l'insieme delle caratteristiche naturali, socio-culturali, architettoniche, di linguaggio, di abitudini che caratterizzano un luogo, un ambiente) dovrebbe costituire il punto di partenza;
2. uno degli obiettivi nella pianificazione, realizzazione e gestione di interventi di ingegneria civile dovrebbe essere quello di facilitare l'auto-regolazione dei processi ecologici;
3. la progettazione di interventi costieri dovrebbe tener conto dell'importanza del ritmo relativamente veloce o lento dei processi ecologici e far sì che le specie vegetali e animali, legate a una bassa dinamica ambientale, siano in grado di trovare opportunità in siti dinamici;
4. una condizione ecologicamente integra dovrebbe essere mantenuta e, se possibile, promossa ovunque: ciò significa ottimizzare le condizioni abiotiche, biotiche e fisiche, al fine di soddisfare il più possibile i requisiti di funzionamento dell'ecosistema;
5. il progetto degli interventi di ingegneria civile deve essere adattato agli ecosistemi locali. Le funzioni dell'ecosistema devono essere rispettate e deve essere intrapreso il corretto utilizzo dei beni e dei servizi ecosistemici;
6. i servizi ecosistemici, così come la produzione di beni, dovrebbero essere combinati per quanto possibile;
7. il progetto, la realizzazione e la manutenzione di un'opera di ingegneria civile devono mirare a prevenire l'impatto negativo sulle situazioni a elevata flessibilità e, ove possibile, ripristinare o aggiungere diversità invece di imporre confini rigidi;
8. i modelli e i processi ecologici o le modifiche a questi dovrebbero essere il più possibile visibili, percettibili e, se concesso, sperimentabili;
9. tutti i soggetti direttamente interessati (committente, cliente, progettista, costruttore) e tutti quelli indirettamente coinvolti (utenti futuri, manager, imprenditori di demolizione) devono essere consultati in ogni fase del processo, che comprende la pianificazione, la progettazione, la costruzione, la gestione e la demolizione delle opere di ingegneria civile. Anche coloro che possono essere interessati, nel presente o nel futuro, dovrebbero essere coinvolti o almeno presi in considerazione;
10. gli effetti dannosi non dovrebbero essere trasferiti ad altri soggetti o ad altri luoghi, né nel presente né nel futuro. Devono adottarsi misure di mitigazione se effetti negativi dovessero prodursi a seguito di un intervento, anche se sono state adottate misure preventive e/o è stato fatto un tentativo per evitare tali effetti. Se, nonostante tutti gli sforzi fatti, gli effetti negativi persistono, la compensazione dovrebbe essere utilizzata per evitare un'ulteriore perdita di valori ecologici. Inoltre, deve essere promosso, ove possibile, il ripristino dei valori ecologici originari intaccati.

## 5. L'esperienza sulla rete ferroviaria italiana

L'ing. Cesare Scatena, con il suo splendido manuale *La difesa dal mare delle linee ferroviarie*, ha guidato l'autore nella sua attività passata di ingegnere manutentore delle linee

ferroviarie liguri, spesso minacciate dalle forti mareggiate invernali. Si riporta di seguito un estratto dal suo testo riguardo i criteri da seguire nella scelta e progettazione delle opere di difesa costiere.

Il problema della protezione delle coste mediante opere, quali le scogliere foranee ed i pennelli, presenta particolari difficoltà in quanto non può esservi a priori assoluta certezza che la soluzione adottata possa sortire esito favorevole; inoltre non è da escludersi che il nuovo regime determinato nel paraggio dalla presenza della difesa, pur essendo in grado di procurare un'adeguata protezione del tratto di costa prima minacciato, possa contemporaneamente dar luogo ad alterazioni nelle zone adiacenti a tale tratto, spesse volte in punti anche considerevolmente lontani. È opportuno pertanto che si proceda nella progettazione di una difesa dal mare tenendo conto dei seguenti criteri validi per qualunque tipo di opera che si intenda adottare.

- 1) Tenere nella debita considerazione e valutare opportunamente: le caratteristiche dei movimenti migratori dei materiali litici (con particolare attenzione al senso nel quale in prevalenza tali movimenti si verificano); la posizione, rispetto all'opera da costruire, delle fonti di rifornimento dei materiali stessi (consistenti prevalentemente nelle conoidi formate alle foci dei fiumi che sboccano nelle zone adiacenti del litorale); la ripartizione dei materiali lungo gli arenili dovuta alle caratteristiche del litorale nonché ai movimenti delle acque marine in prossimità del litorale stesso; la composizione granulometrica dei materiali suddetti ed infine la quantità dei materiali che mediamente persiste nella zona. Questi elementi sono determinanti agli effetti dei risultati di un'opera di difesa dal mare, nel senso che da essi dipende la possibilità o meno della ricostituzione di un arenile eroso e pertanto in base ad essi si potrà stabilire il tipo di difesa da adottare.
- 2) Dare alle opere dimensioni e forme determinate, in modo da raggiungere i seguenti scopi fondamentali:
  - a) evitare di contrastare eccessivamente i movimenti naturali delle acque marine, cercando di assecondarli il più possibile; al riguardo già gli antichi romani erano giunti a questa saggia conclusione: *Ne coneris contra ictum fluctus; fluctus obsequio blandiuntur*;
  - b) favorire la tendenza naturale del mare al ripascimento, nel senso di non impedire del tutto l'azione di trascinamento dei materiali sciolti lungo l'arenile e di non ostacolare il raggiungimento dell'arenile da parte dei materiali sciolti, zappati, nella zona dei frangenti, dal moto ondoso e da questo trascinati in sospensione verso la riva.



Figura 3. Tratto costiero in adiacenza alla ex linea ferroviaria passante per San Lorenzo al Mare (M), futura pista ciclabile

- 3) Non subordinare l'entità dell'opera e tanto più il tipo da adottare al fattore economico.

Infatti trattandosi di opere che vengono sottoposte a cimenti particolarmente notevoli, che spesso volte possono raggiungere entità eccezionali. Una difesa costruita con criteri di eccessiva economia può, in occasione di qualche violenta mareggiata, andare completamente o parzialmente distrutta, con conseguente possibilità di gravi danni alla sede ferroviaria e necessità di ricostruire nuovamente l'opera oppure di dover sostenere sensibili spese di manutenzione.

- 4) Abbondare sempre nel dimensionamento delle opere di difesa dal mare e prevedere per esse strutture dotate di particolare robustezza e solidità. Al riguardo è da rilevare che a causa dell'impossibilità di conoscere l'entità e le caratteristiche dei cimenti cui l'opera è sottoposta quando viene colpita dall'onda, non si può effettuare un calcolo delle dimensioni da dare alla difesa e neppure un calcolo di verifica della sua stabilità.

Di conseguenza occorre dimensionare le opere sulla base dell'esperienza e cioè tenendo conto del comportamento di altre opere, costruite nelle zone vicine, che sono sottoposte più o meno a mareggiate della stessa entità.

È pertanto soprattutto sulla sensibilità e sul grado di esperienza del progettista che si deve fare affidamento per avere una difesa opportunamente dimensionata e strutturalmente razionale.

- 5) Esaminare attentamente nella progettazione di una difesa, l'opportunità o meno, di prevedere la sua esecuzione in un'unica fase oppure in più fasi e ciò in relazione sia alla tendenza dell'opera a modificare i processi naturali che si verificano in quella zona del litorale sia all'entità delle difese stesse.”

Questi consigli tecnici e le esperienze vissute in prima persona dall'autore hanno portato sempre di più a considerare l'importanza della conoscenza del territorio, con le sue dinamiche geomorfologiche e dell'ambiente, con le sue dinamiche ecologiche, per affrontare al meglio un intervento di difesa costiera che mantenga a lungo la sua efficacia, giungendo alla convinzione che è sempre preferibile adottare soluzioni flessibili, contenute e di breve-media durata piuttosto che soluzioni rigide, imponenti e di lunga durata.

## 6. Ingegneria naturalistica

Tra le discipline tecniche che intervengono nella soluzione dei problemi creati dal dissesto idrogeologico si è inserita ormai da diversi anni l'Ingegneria Naturalistica, che trova ampio spazio di trattazione nel presente manuale.

L'Ingegneria Naturalistica (I.N., ted. *Ingenieurbiologie*, ingl. *Biological Engineering*, franc. *Génie Biologique*) è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive negli interventi antiersivi e di consolidamento, in genere, in abbinamento con altri materiali (legno, terra, roccia, geotessili, reti zincate, ecc.), per la ricostruzione di ecosistemi tendenti al naturale e all'aumento della biodiversità. I campi di intervento vanno da quelli tradizionali di consolidamento dei versanti e delle frane al recupero delle aree degradate (cave, discariche, cantieri), alla mitigazione degli impatti legati alla realizzazione di opere di ingegneria (barriere antirumore e visive, filtri alla diffusione di polveri, ecosistemi-

filtro a valle di scarichi idrici), all'inserimento ambientale delle infrastrutture di trasporto lineari (scarpate stradali e ferroviarie), alla rinaturazione dei corsi d'acqua, ecc. (Boccalaro, 2007).

Le finalità degli interventi di Ingegneria Naturalistica sono principalmente:

- tecnico-funzionali, ad esempio antiersive e di consolidamento di una scarpata o di una sponda;
- naturalistiche, in quanto lo scopo non è la semplice copertura a verde, ma la ricostituzione o l'innescio di comunità vegetali appartenenti alla serie dinamica autoctona;
- estetiche e paesaggistiche di inserimento nel paesaggio naturale;
- economiche, in quanto tipologie alternative e competitive alle opere tradizionali (ad esempio muri di sottoscarpa in cemento sostituiti da palificate vive).

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica si contraddistinguono da quelli tradizionali per:

- l'esame delle caratteristiche microclimatiche, geomorfologiche e pedologiche delle aree di intervento;
- l'analisi floristica e vegetazionale, con particolare riferimento alla ricostruzione della serie dinamica e all'individuazione delle specie d'impiego in funzione delle loro caratteristiche biotecniche;
- l'uso di materiali non tradizionali quali i geotessuti sintetici in abbinamento a piante o parti di esse;
- l'accurata selezione delle specie vegetali da impiegare (miscele di sementi, specie arboree e arbustive, talee, rizomi, trapianti di zolle);
- l'abbinamento della funzione di consolidamento con quella del reinserimento ambientale;
- il miglioramento nel tempo delle suddette funzioni per lo sviluppo delle parti aeree e sotterranee delle piante.

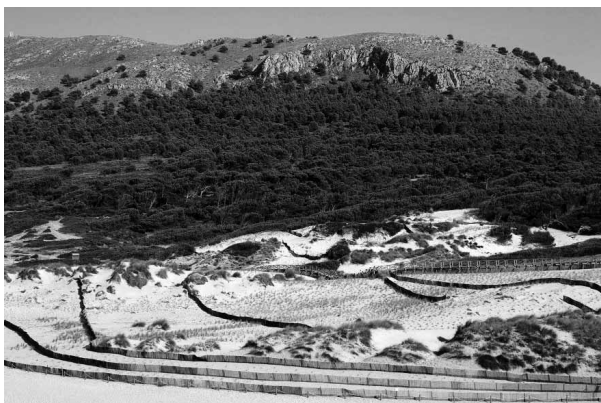


Figura 4. Ripristino del sistema dunare di Cala Mesquida a Capdepera (Isole Baleari – Maiorca) con tecniche di Ingegneria Naturalistica (fonte: Boccalaro, 2010)

Lo studio di un intervento di Ingegneria Naturalistica comporta le seguenti fasi:

- indagini bibliografiche;
- indagine geologica e geomorfologica;
- indagini pedologica;
- indagine floristica e vegetazionale per l'individuazione delle specie e delle tipologie vegetazionali d'intervento;
- definizione dei criteri progettuali;
- definizione delle tipologie di Ingegneria Naturalistica;
- elenco delle specie floristiche da impiegare.

Opere di Ingegneria Naturalistica vengono realizzate da oltre trent'anni nei paesi di lingua tedesca, mentre in Italia le esperienze principali sono state fatte nel Centro-Nord. Nel settore costiero importanti interventi sono stati realizzati in Australia (Queensland), in Nuova Zelanda, in USA (Florida), in Sudafrica (Cape Province), in Europa:

- sia lungo la costa atlantica (Irlanda, Inghilterra, Scozia, Danimarca (Jutland), Germania (Sylt), Olanda, Francia (Aquitaine), Spagna, Portogallo;
- sia lungo la costa mediterranea (Coto Doñana, Valencia, Baleari, Camargue, Costa Azzurra, Creta, delta del Nilo).

In Italia gli interventi più importanti di ripristino degli ecosistemi dunali sono stati realizzati nella laguna di Venezia e Grado, penisola del Cavallino, Litorale Veneto, delta del Po, Torre del Cerrano, duna e lago di Lesina, Torre Guaceto, Porto Cesareo, Selinunte, Vendicari, stagno e ginepreto di Platamona, Pula, Piscinas, foce del Volturno, spiaggia Cala del Cefalo, dune del Circeo, Castel Porziano, Macchia Grande, Macchiatonda, palude della Trappola, Torre del Lago, San Rossore.

Anche sul piano legislativo tali tecniche vengono ormai espressamente richieste come nella legge speciale 102/90 per la Valtellina o in diverse norme regionali per gli interventi di difesa del suolo.

L'interesse per tali tecniche è anche manifestato dai manuali tecnici usciti negli ultimi anni quali quelli predisposti dalle Regioni Emilia Romagna, Veneto, Lazio, Toscana, Liguria, Lombardia, Marche e Campania, dalle Province di Bolzano, Trento e Terni e dal Ministero dell'ambiente.

Si può quindi affermare che l'Ingegneria Naturalistica ha ormai superato in Italia la fase pioniera e si sta accreditando presso le pubbliche amministrazioni e i professionisti come uno strumento fondamentale per la salvaguardia del territorio e la riqualificazione dell'ambiente.

## 7. Manuale di difesa dell'ambiente costiero

Il presente manuale si rivolge agli operatori tecnici ambientali e ai gestori che si devono occupare di ripristino, gestione e manutenzione dei sistemi costieri spiaggia-duna e che spesso devono affrontare problemi di emergenza per il territorio causati dalle mareggiate (arretramento dei litorali).

Si è cercato di rappresentare tutti gli aspetti (progettuali, costruttivi, manutentivi, sorvegliativi) degli interventi di difesa delle coste, seppur con la consapevolezza di dover spesso rinunciare ai necessari approfondimenti di singoli argomenti, rimandati alla bibliografia, a favore però di un sguardo d'insieme sintetico e logico.

L'Ingegneria naturalistica ha avuto un'attenzione particolare nel presente manuale essendo, per il settore della difesa costiera, una disciplina nuova e nello stesso tempo dimenticata (si vedano le antiche tecniche di sistemazione dunali conosciute dai primi tecnici forestali, come illustrato in figura 5).

Si spera con questo lavoro di coniugare quindi innovazione e tradizione per una gestione del territorio volta al risparmio di risorse, alla prevenzione del dissesto e al rispetto dell'ambiente.



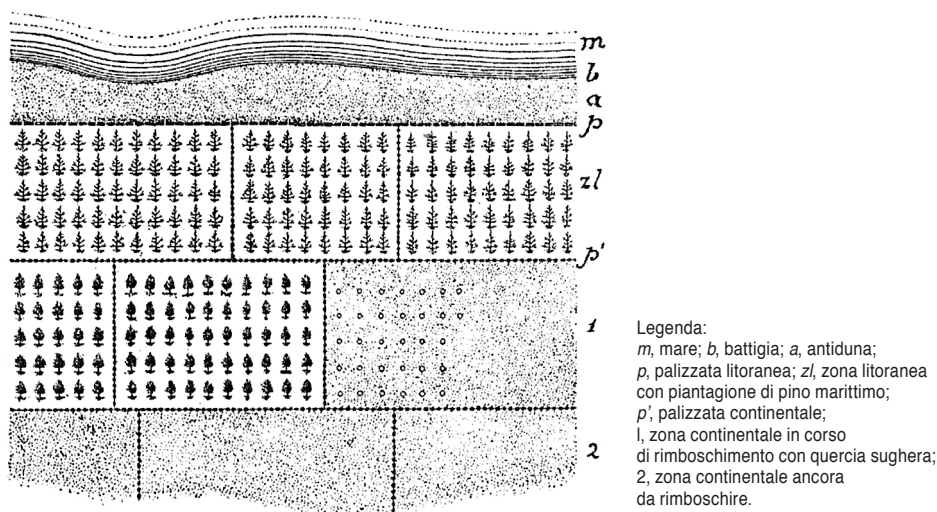


Figura 5. Schema generale degli interventi di fissazione delle dune litoranee mediante vegetazione col metodo Brémontier – Lande di Guascogna (fonte: Piccioli, 1923)

Si ringrazia l'amico e collega Nicola Cantasano (CNR Isafom, Cosenza) per la stesura del capitolo dedicato all'habitat marino.

Si ringraziano inoltre gli amici e colleghi della SIGEA (Giuseppe Gisotti, Gioacchino Lena), dell'AIPIN (Paolo Cornelini, Giuliano Sauli, Giancarlo Bovina, Salvatore Puglisi) e gli autori citati nei capitoli e in bibliografia per i consigli e i contributi forniti all'autore. Si auspica che pervengano dai fruitori del manuale consigli e suggerimenti per migliorare il presente lavoro.

## 8. Bibliografia

Airoldi L., Beck M., *Loss, Status and Trends for Coastal Marine Habitats of Europe*, in *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 2007.

Audisio P. Muscio G., Pignatti S., *Problemi di conservazione e gestione*.

Boccalaro F., *Difesa del territorio e ingegneria naturalistica*, Dario Flaccovio Editore, 2007.

Piccioli L., *Selvicoltura*, Unione Tipografica Editrice Torinese, 1923, in AA.VV. *Manuale studio cave, discariche e coste*, Regione Lazio.

Pranzini E., *La forma delle coste. Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali*, Zanichelli, 2004.

Scatena C., *La difesa dal mare delle Linee Ferroviarie*, FS – Servizio Lavori e Costruzioni, Roma, 1967.

van Bohemen H.D., *Ecological Engineering and Civil Engineering Works – A Practical Set of Ecological Engineering Principles for Road Infrastructure and Coastal Management*, 2004.