Gruppo di lavoro della Direzione Generale per la Difesa del Suolo del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio

DOCUMENTO PRELIMINARE PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI INDIRIZZI E DEI CRITERI PER LA DIFESA DELLE COSTE

ROMA, Novembre 2006

Gruppo di lavoro

(istituito con decreti DDS/DEC/2005/0446 del 16/09/05 e DDS/DEC/2006/093 del 01/03/06)

Composizione :

- ing. Carlo Riggio – dirigente Div. III – D.G. Difesa Suolo MATTM
- arch. Rosina De Piccoli – D.G. Difesa Suolo MATTM
- dott. Leonardo Di Maggio - Segreteria Tecnica Difesa Suolo - D.G. Difesa Suolo MATTM
- dott. Francesco Valentini – dirigente Div. X - D.G. Protezione della Natura MATTM
- dott. Roberto Giangreco – D.G. Protezione della Natura MATTM
- dott.ssa Barbara Sorgente –D.G. Protezione della Natura MATTM
- ing. Sergio Cappucci – D.G. Qualità della Vita MATTM
- ing. Pietro Colonna – D.G. Qualità della Vita MATTM
- prof. ing. Antonio Petrillo – docente idraulica - Politecnico di Bari
- prof. Giovanni Randazzo – docente geologia ambientale - Università di Messina
- dott. Diego Paltrinieri - esperto in geologia marina
- ing. Fabio Russo - esperto - Università La Sapienza di Roma
- ing. Stefano Corsini - dirigente Servizio Difesa delle Coste, Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine – APAT
- ing. Angela Barbano - caposettore Analisi Costiere - Servizio Difesa delle Coste, Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine - APAT

Il presente documento è stato realizzato con i contributi forniti dai componenti entro la data del 30 marzo 2006. L'attività di raccordo delle varie parti del testo e di rilettura collegiale di questo si è conclusa nel mese di novembre 2006.

SOMMARIO

PARTE I

PREMESSA pag. 5

QUADRO NORMATIVO pag. 8
Disciplina comunitaria
Disciplina nazionale
Disciplina regionale

PROGETTI E STUDI ESISTENTI pag. 13
Principali iniziative regionali
L'evoluzione della costa italiana
Distribuzione delle opere di difesa

ASPETTI QUALITATIVI DEGLI AMBIENTI MARINO COSTIERI pag. 32
Aspetti qualitativi dei sedimenti marini
Potenziali impatti sugli organismi marini

SUDDIVISIONE DEGLI AMBITI COSTIERI IN UNITÀ FISIOGRAFICHE pag. 36
Morfologia emersa della costa
Morfologia sommersa della costa
Orientamento della linea di riva
Natura litologica della costa
Elenco Unità Fisiografiche (APAT, 2006)

FABBISOGNO ECONOMICO PRELIMINARE PER LA DIFESA DI BENI A RISCHIO DI EROSIONE pag. 52

PARTE II

PREMESSA pag. 53

PIANIFICAZIONE PER LA DIFESA DELLA COSTA pag. 55
Azioni preliminari del piano
Fase conoscitiva
Fase di perimetrazione
Fase di programmazione

LE MISURE DI SALVAGUARDIA DI RIFERIMENTO pag. 61

GIACIMENTI STRATEGICI DI SEDIMENTI pag. 63

INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA pag. 65
Introduzione ***pag. 65***
Studi propedeutici
Bilancio dei sedimenti
Morfologia costiera
Rilievi topografici e batimetrici
Fattori meteo - marini
Tipologie di intervento ***pag. 73***
Opere radenti
Opere distaccate
Barriere emerse e soffolte
Barriere sommerse
Pennelli
Ripascimenti
Opere di by-pass
Dune, argini a mare e foci fluviali
Progettazione ***pag.84***
La modellistica
Scelta delle tipologie di intervento
Monitoraggio e gestione ***pag. 93***
Requisiti tecnici di un programma di monitoraggio
Le zone di una spiaggia interessate dal monitoraggio
Tecniche e strumenti di misura
Stima dei costi di realizzazione comprensivi della gestione in relazione al piano di monitoraggio e manutenzione

PARTE I

PREMESSA

In Italia le attività di pianificazione e di gestione dell'ambiente costiero risultano ancora deboli ed estremamente frammentate tra le diverse competenze afferenti a un considerevole numero di soggetti.

Il Codice della navigazione marittima e il successivo regolamento di esecuzione normano le azioni sui beni del demanio marittimo (il lido, la spiaggia, i porti, le rade, le lagune, le foci dei fiumi che sfociano in mare, i bacini di acqua salsa o salmastra che almeno durante una parte dell' anno comunicano liberamente con il mare, i canali utilizzabili ad uso pubblico marittimo).

La legge 979/82, concernente *"Disposizioni per la difesa del mare"*, disponeva un "Piano Mercantile Generale di difesa del mare e delle coste", redatto dal Ministero della Marina d'intesa con le regioni e, dopo l'emanazione della legge 349/86, sono adottati di concerto con il Ministro dell'ambiente i provvedimenti di competenza ministeriale relativi al piano generale di difesa del mare e delle coste marine: l'approvazione di tale Piano, non ancora avvenuta, avrebbe dovuto segnare una svolta importante nella gestione delle politiche di tutela dell'ambiente marino e costiero.

Successivamente, relativamente al territorio costiero emerso va segnalata per effetto della legge 431/85 (legge Galasso) l'imposizione automatica di un vincolo paesaggistico riferito alla fascia costiera entro i 300 metri dalla battigia. Si tratta tuttavia di un vincolo generico, passivo e non sufficiente a contrastare con efficacia le crescenti iniziative di trasformazione del suolo costiero.

Invece si è assistito al fenomeno crescente dell'occupazione progressiva del demanio marittimo che può essere ricondotta, al di là dei diffusi fenomeni di abusivismo, alla carenza di efficaci criteri di gestione orientati alla tutela dell'uso pubblico e delle aree sensibili.

Con la legge 183/89 sulla difesa del suolo il Piano di bacino, quale piano territoriale di settore, diventava lo *strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e la corretta utilizzazione della acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato*.

Con riferimento specifico alle coste, il Piano deve contenere:

- la individuazione e la quantificazione delle situazioni, in atto e potenziali, di degrado del sistema fisico, nonché delle relative cause;

- le opere di protezione, consolidamento e sistemazione dei litorali marini che sottendono il bacino idrografico;

- la normativa e gli interventi rivolti a regolare l'estrazione dei materiali litoidi dal demanio fluviale, lacuale e marittimo e le relative fasce di rispetto, specificatamente individuate in funzione del buon regime delle acque e della tutela dell'equilibrio geostatico e geomorfologico dei terreni e dei litorali.

Per quanto riguarda le competenze, la legge 183/89 conferisce allo Stato la definizione di indirizzi generali, i criteri e le funzioni amministrative relative alla difesa delle coste nelle zone comprese nei bacini di rilievo nazionale, nonché nelle aree di interesse nazionale per la sicurezza dello Stato e della navigazione marittima; ad esclusione di tali ambiti, tali funzioni amministrative sono conferite alle Regioni.

Il mutamento del quadro giuridico introdotto dal D.Lvo 112/98 ha conferito allo Stato le "funzioni di indirizzi generali e criteri per la difesa delle coste". Invece, le funzioni amministrative relative alla programmazione, pianificazione e gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri sono conferite alle Regioni e, successivamente, conferite, per la parte amministrativa, anche alle province dal D.Lvo 96/99.

La definizione dei contenuti dell'attività di indirizzo che compete allo Stato e dei contenuti del Piano di bacino va individuata in relazione alla specifica materia di intervento, in un equilibrio con le altre competenze istituzionali.

In materia di difesa della costa, quindi, le competenze dello Stato vanno considerate in riferimento ai fattori strutturali di alterazione e degrado delle aree costiere e delle più efficaci azioni di tutela e valorizzazione dei litorali che inevitabilmente devono prescindere dai limiti amministrativi al fine di garantire omogenee azioni di tutela e intervento a livello nazionale.

Il "Regolamento di organizzazione del Ministero dell'Ambiente e della T. T.", individua, tra le funzioni della Direzione Generale per la Difesa del Suolo, anche quella di "determinazione di criteri, metodi e standard di raccolta, elaborazione e consultazione dei dati, definizione di modalità di coordinamento e di collaborazione tra i soggetti pubblici operanti nel settore, nonché indirizzi volti all'accertamento e allo studio degli elementi dell'ambiente fisico delle condizioni generali di rischio;…".

Nello specifico, tra le attività di competenza della Direzione Generale Difesa Suolo, vi è anche quella in materia di "indirizzi e criteri per la difesa delle coste".

Gli obiettivi del presente documento sono quelli di definire il quadro conoscitivo delle dinamiche in atto sugli ambiti fisiografici di coste alte e basse e loro evoluzione, con particolare attenzione anche ai processi di trasporto solido, ai fenomeni di subsidenza, erosione, sedimentazione, di sollevamento relativo del livello del mare etc., focalizzando l'attenzione ai tratti artificializzati per effetto degli interventi relativi ai porti e alle opere di difesa della costa; di individuare gli indirizzi e i criteri generali per la redazione dei piani di difesa delle coste e per la razionalizzazione delle funzioni operative in materia di difesa delle coste attraverso l'inquadramento legislativo, delle competenze, degli studi e ricerche più recenti in ordine alle attività conoscitive dei fenomeni e alle azioni di intervento più opportune ed efficaci.

Un fattore importante è l'individuazione dei principali ambiti costieri omogenei (unità fisiografiche) che per conformazione, morfologia, dinamiche costiere di erosione, trasporto e sedimentazione rappresentano i tratti costieri sulla cui interezza si dovranno basare tutte le attività di studio, pianificazione e intervento, superando tutte le logiche territoriali amministrative.

Viene riportata, infine, una preliminare quantificazione del fabbisogno economico per la difesa delle coste a scala nazio nale desunto dai dati a disposizione della Direzione Generale per la Difesa del Suolo del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare.

La presente attività, svolta dal Gruppo di lavoro istituito con Decreto del Direttore Generale della Direzione Generale per la Difesa del Suolo, ha il fine di sviluppare più approfonditamente le tematiche relative alla gestione "fisica" delle coste italiane.

QUADRO NORMATIVO

Disciplina comunitaria

I principali riferimenti normativi o di indirizzo facenti capo all'attività di settore della Comunità Europea sono:

- Sistemazione integrata del Litorale, Rapporto del Servizio Ambiente della Commissione Europea, 1978
- Carta Europea del Litorale, Creta, 1981
- L'organizzazione integrata delle zone costiere ed il relativo ruolo nell'ambito della politica comunitaria a favore dell'ambiente, (COM (86) 571)
- Atto Unico Europeo (1 luglio 1987)
- V Programma comunitario di politica e di azione in materia di ambiente e di sviluppo sostenibile (1993)
- Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo sull'organizzazione integrata delle zone costiere (COM (95) 511
- Trattato di Amsterdam (2 ottobre 1997)
- Programma dimostrativo sulla Gestione Integrata delle Zone Costiere della U.E. 1997-1999
- Comunicazione della Commissione del 28 aprile 2000 C(2000)1101
- Direttiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio

Nel Gennaio 2001, il Parlamento Europeo, recependo tale proposta del Consiglio d'Europa, stanzia un finanziamento per affidare uno studio conoscitivo e prognostico sullo stato delle coste europee; nel Luglio 2001 la Direzione Generale Ambiente lancia la gara d'appalto che viene aggiudicata nel Dicembre dello stesso anno all' Istituto Nazionale per la gestione del mare e delle coste olandese. Lo studio inizia nel Gennaio 2002 per terminare nel maggio 2004.

Dai risultati del progetto EUROSION sono scaturite quattro raccomandazioni chiave che, una volta implementate nel loro insieme permetteranno di rendere gestibili i problemi dell'erosione costiera ed i rischi ad esso associati.

Tali raccomandazioni dovrebbero costituire il riferimento concettuale della costruzione e gestione dei piani di difesa della costa dall'erosione:

<u>Raccomandazione n. 1</u> : *Ripristino del bilancio sedimentario e messa a disposizione degli spazi per i processi costieri*

E' necessario un approccio prevalentemente strategico e previsionale dell'erosione costiera per lo sviluppo sostenibile di zone costiere vulnerabili e la conservazione della biodiversità costiera.

Nella prospettiva di un cambiamento climatico, è raccomandabile che la resilienza costiera sia incrementata attraverso: (a) ripristino del bilancio sedimentario costiero, (b) creazione di spazi utili alla fisiologica erosione costiera per permettere il libero gioco dei processi sedimentari costieri e (c) definizione di Giacimenti Strategici di Sedimenti per la ricostruzione di litorali in erosione.

Raccomandazione n. 2: *Integrazione dei costi e dei rischi connessi all'erosione costiera nella pianificazione e nelle decisioni di investimento*

L'impatto, il costo ed il rischio dell'erosione costiera provocata dall'antropizzazione dovrebbe essere controllata attraverso una migliore integrazione economica dei problemi derivanti dall'erosione costiera in termini di pianificazione e decisioni di ordine finanziario.

Le pubbliche responsabilità per i rischi derivanti dall'erosione costiera, dovrebbero essere limitate ed una congrua parte dei rischi derivanti dovrebbe essere trasferita ai diretti beneficiari ed agli investitori direttamente concernenti, anche tramite l'applicazione degli strumenti di Valutazione Ambientale. I rischi dovrebbero essere monitorati e mappati, valutati e integrati nella pianificazione e nelle politiche di investimento.

Raccomandazione n. 3: *Rispondere in modo responsabile all'erosione costiera*

La gestione dell'erosione costiera dovrebbe spostarsi da soluzioni frammentarie verso un approccio programmato basato su principi di responsabilità e ottimizzando gli investimenti su beni a rischio, migliorando l'informazione pubblica e l'accettabilità sociale delle azioni in corso e tenendo aperte diverse opzioni per il futuro.

Questa strategia dovrebbe essere guidata dalla necessità di ripristinare la resilienza costiera ed il bilancio sedimentario favorevole e dovrebbe essere supportata da una adeguata pianificazione.

Raccomandazione n. 4: *Rafforzare la conoscenza di base relativa alla gestione ed alla pianificazione dell'erosione costiera*

La conoscenza di base in materia di processi costieri e loro pianificazione e della gestione di un tratto di costa dovrebbe essere rafforzata attraverso lo sviluppo di strategie di gestione dell'informazione. Queste dovrebbero includere la diffusione delle "migliori pratiche" (cosa funziona e cosa no), privilegiare un approccio preventivo nella gestione dei dati e delle informazioni ed infine promuovere una leadership istituzionale a livello almeno nazionale.

- Raccomandazione del Parlamento Europeo e del Consiglio 2002/413/CE del 30.05.2002 relativa alla "attuazione della gestione integrata della zona costiera in Europa"

Nell'ambito di tale Raccomandazione l'Unione Europea impone agli Stati Membri misure di protezione del litorale appropriate e responsabili dal punto di vista ecologico, inclusa la difesa degli insediamenti costieri e del loro patrimonio culturale.

Disciplina nazionale

La Legge n.979 del 1982 impone una strategia globale ed unitaria per la salvaguardia e valorizzazione dell'ambiente marino ed in particolare della fascia costiera, attraverso la elaborazione e continuo aggiornamento del " Piano Generale di difesa del mare e delle coste marine dall'inquinamento e di tutela dell'ambiente marino".

Dal 1994 le funzioni in materia di difesa del mare sono passate dal Ministero della Marina Mercantile al Ministero dell'Ambiente, ed includono le competenze sia sulla porzione marina che su quella continentale della fascia costiera.

La Legge 183/89 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo” considera come ambito di applicazione l’intero bacino idrografico comprensivo del litorale marittimo prospiciente e riconosce tra le finalità quella della “*protezione delle coste e degli abitati dall’invasione e dall’erosione delle acque marine ed il ripascimento degli arenili, anche mediante opere di ricostruzione dei cordoni dunosi*”.

Con il Decreto Legislativo n. 300 del 30.7.1999 sono state attribuite al Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio le competenze statali in materia di tutela dell’ambiente e del territorio, comprensive dei settori difesa del suolo e tutela delle acque, e, nell’ambito di questi, delle “aree funzionali” di difesa del mare e dell’ambiente costiero.

L’art. 117 della Costituzione, così come modificato a seguito della legge Costituzionale 18 ottobre 2001 n. 3 (“Modifiche al titolo V°-parte seconda della Costituzione) assegna alle Regioni, in legislazione concorrente, tra le altre competenze istituzionali, quella specifica concernente il “governo del territorio”.

Il meccanismo legislativo previsto dall’art. 117 in materia stabilisce che “spetta alle Regioni la potestà legislativa, salva la determinazione dei principi fondamentali riservata alla legislazione dello Stato”.

Da quanto sopra consegue che:

- la “gestione integrata della fascia costiera” non è altro che uno specifico piano di gestione (ovvero governo) del territorio finalizzato allo sviluppo socio-economico dell’area nel quadro delle imprescindibili esigenze collettive di tutela dell’ambiente naturale costiero e della pubblica salute;
- nel nostro Paese, la gestione integrata della fascia costiera (intesa come “governo del territorio costiero”) è materia di competenza della Regione alla quale spetta la potestà legislativa “salvo che per la determinazione dei principi fondamentali riservata alla legislazione dello Stato” (art. 117, comma 3 della Costituzione).

Trattasi, come dice espressamente il Legislatore costituzionale, di “legislazione concorrente”, il che concretamente significa che la Regione ha potestà di legiferare in materia nel rispetto dei principi fondamentali riservati alla legislazione statale.

A tale proposito va peraltro considerato che, al momento, lo Stato non ha ancora dettato “i principi fondamentali” in materia di governo del territorio (tanto meno in materia di gestione della fascia costiera come parte del territorio).

La conseguenza è stata che, di fatto, alcune Regioni, avvalendosi delle funzioni ad esse conferite dal D.lgs. 112/98 hanno già adottato autonomamente leggi in materia di governo del territorio ovvero specificamente in materia di gestione della fascia costiera (vedi Regione Liguria, Emilia Romagna, Marche).

Disciplina regionale

In Italia le competenze inerenti la gestione integrata delle coste erano state già affidate alle Regioni con la L. 59/97, il D.lgs.112/98 e il D.Lgs 86/99 che conferiscono e disciplinano le funzioni e i compiti amministrativi dello Stato alle Regioni e agli enti locali.

Alcune regioni hanno promulgato leggi regionali per l'elaborazione di piani e di programmi di gestione integrata delle coste in attuazione alla Raccomandazione del Parlamento Europeo del 30/05/02.

Rimane allo Stato quanto previsto dal D.lgs. 112/98 che, all'art. 88, definisce di rilievo nazionale, ai sensi dell'art. 1, comma 4, lettera c) della legge 15 marzo 1997, n. 59, i compiti relativi agli indirizzi generali ed ai criteri per la difesa delle coste (punto aa).

Si riportano di seguito i principali provvedenti legislativi in materia, adottati dalle Regioni.

LIGURIA

- Piano territoriale di coordinamento della costa (approvato il 19 dicembre 2000)
- L.R. 13/99 – disciplina le competenze di settore e le attività inerenti gli interventi di ripascimento degli arenili
- Norme tecniche conseguenti alla L.R. 38/98 art. 16 con riferimento alle opere di difesa della costa

TOSCANA

- Piano regionale di gestione integrata della costa. Approvazione del 5/11/2001 GR. 1214
- L.R. 88/98 e L.R. 91/98 - Trasferimento a provincie e comuni delle funzioni di progettazione e realizzazione delle opere di difesa delle coste e degli abitati costieri.
- Delibera del C.R. 30 gennaio 1990, n. 47 - Direttiva per la fascia costiera

LAZIO

- Delib. C.R. 31 luglio 2003, n. 143 – Varie citazioni - L.R. 5 gennaio 2001 n. 1, art. 7. Programma integrato di interventi per lo sviluppo del litorale Lazio
- L.R. 5 gennaio 2001 n. 1 – legge correlata al programma di interventi per lo sviluppo del litorale. Norme per la valorizzazione e lo sviluppo del litorale del Lazio

CAMPANIA

- Delib. G.R n. 67/2004 - Procedure tecnico - amministrative per il rilascio delle autorizzazioni di competenza regionale in materia di tutela della fascia costiera, in attuazione dell'art. 21 della legge 31 luglio 2002 n. 179
- Delib. G.R. 30 settembre 2002, n. 4459 – parte B Linee guida per la Pianificazione territoriale regionale (P.T.R.) – Approvazione

CALABRIA

- Delib. G.R. 4 novembre 2002, n. 1000 – Linea di indirizzo 3 Approvazione linee diindirizzo Progetto Integrato Strategico Rete ecologica regionale - P.O.R. 2000-2006. Misura 1.10
- Delib. G.R. 27 giugno 2001, n. 587 – Prog. Oper. Reg. parte III P.O.R. 2000-2006. Misura 1.10 - punto 3.2.2
- Delib. della G.R. 26 ottobre 1999, n. 3431 – capitolo 2 Programma operativo regionale (P.O.R.) e relativo documento di valutazione ex ante. Presa d'atto
- L.R. 9/89 Misure di protezione delle coste in attesa dell'applicazione del piano urbanistico regionale. Proroga della L.R. n. 14/1973 e successive modificazioni ed integrazioni

PUGLIA

- Delib. G.R. 26 settembre 2003, n. 1440 – punto 3 L.R. n. 17/2000 - art. 4 – Programma regionale per la tutela dell'ambiente
- Legge Regionale 23 giugno 2006, n. 17, "Disciplina della tutela e dell'uso della costa".

ABRUZZO

- L.R. 16 settembre 1998, n. 81 – art 3 Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo
- L.R. 12 agosto 1998, n. 72 – art. 8 Organizzazione dell'esercizio delle funzioniamministrative a livello locale

MARCHE

- Delib. G.R. 8 ottobre 2002 n. 1778-MA/DP2 Definizione delle strutture organizzative in cui si articolano i dipartimenti regionali (artt. 9 e 10 L.R. n. 20/2001)
- Delib. G.R. 2 agosto 2002, n. 1461 – Allegato Indirizzi regionali per il rilascio di concessioni demaniali marittime nel settore pesca, maricoltura e ricerca scientifica correlata. Ex D.Lgs. 112/98
- PAI (Piano Assetto Idrogeologico) del settembre 2002 in applicazione alla L. 183/89
- L.R. 365/2000 Gestione integrata della costa e degli abitati costieri
- L.R. 13/99 in applicazione alla L. 183/89
- L.R. 267/98 Gestione integrata della costa e degli abitati costieri

EMILIA ROMAGNA

- Delib. G.R. 9 dicembre 2003, n. 2510 –Direttive per l'esercizio delle funzioni amministrative in materia di demanio marittimo e di zone del mare territoriale ai sensi dell'art. 3 comma 1 della L.R. 31 maggio 2002, n. 9. ex D.Lgs. 112/98
- L.R. 31 maggio 2002, n. 9 - Disciplina dell'esercizio delle funzioni amministrative in materia di demanio marittimo e di zone di mare territoriale. ex D.Lgs. 112/98
- L.R. 20/2000 - Legge generale sulla tutela e disciplina del territorio
- Piano regionale della costa - Approvato nel 1983

VENETO

- L.R. n. 11/2001 - Conferimento di funzioni e compiti amministrativi alle AA.LL. ex D.lgs. 112/98

FRIULI VENEZIA GIULIA

- Delib. G.R. 12 febbraio 2004, n. 534 – Seconda parte Programma operativo della Regione autonoma Friuli-Venezia Giulia - triennio 2004-2006

SICILIA

- L.R. 23 dicembre 2000, n. 32 – art 142 Disposizioni per l'attuazione del POR 2000-2006 e di riordino dei regimi di aiuto alle imprese
- L.R. 11 aprile 1981, n. 65 – art 13 Redazione del Piano Difesa delle Coste

SARDEGNA

- POR 2000-2006 Asse I misura 1.3 Difesa del suolo
- L.R. 45/89 art.13 - Norme di salvaguardia e tutela delle fasce costiere

PROGETTI E STUDI ESISTENTI

I problemi di erosione costiera, che negli ultimi tempi hanno interessato il nostro paese, hanno contribuito a porre all'attenzione generale i temi del monitoraggio e della difesa dei litorali, facendo emergere una coscienza comune sempre più sensibile alla opportunità di destinare risorse e interventi mirati alla prevenzione dei rischi piuttosto che agli interventi d'emergenza.

Questa nuova cultura non può che basarsi su una capillare e sistematica analisi delle aree vulnerabili per la definizione dei provvedimenti finalizzati alla riduzione delle conseguenze dannose. Tali esigenze sono state recentemente recepite dalla legislazione nazionale e regionale per cui le diverse Amministrazioni territoriali dovranno dotarsi di piani di gestione del rischio anche in aree costiere.

La valutazione del rischio costiero e, in generale, la gestione costiera, sono, quindi, divenuti negli ultimi anni di fondamentale importanza nelle politiche ambientali e di protezione civile.

L'elevato interesse è soprattutto riferibile all'intensivo sfruttamento delle aree costiere sottoposte ad un progressivo aumento della popolazione residente e non, determinando una sempre crescente concentrazione di attività divenute importanti dal punto di vista socioeconomico.

La necessità di affrontare il problema a scala nazionale, regionale e locale ha spinto numerosi paesi Europei, sulla base degli studi di settore promossi dalla DG Ambiente della Commissione Europea e da programmi INTERREG (EUROSION, SANDPIT, BEACHMED, M.E.S.S.I.N.A., CADSEALAND e BEACHMED-e), a costruire banche dati sempre più esaustive comprendenti una quantità di variabili considerate indispensabili per una caratterizzazione ambientale finalizzata alla valutazione dei rischi associati all'area costiera. L'implementazione del sistema di catalogazione è scaturita, in particolare dalla tecnologia GIS che ha certamente fornito una base strumentale valida e condivisa per la gestione dei dati.

Si sono inoltre sviluppati numerosi progetti a carattere nazionale, quali:

- quelli sviluppati dall'APAT :
  - Sviluppo di un sistema informativo geografico costiero (SIGC) a scala nazionale che consente di disporre di informazioni omogenee, aggiornate e soprattutto integrate sulla linea di costa, determinata univocamente, sulla distribuzione geografica e funzionale delle opere di difesa costiera, sulle infrastrutture costiere, sulle caratteristiche fisiche e ambientali delle coste nazionali e molte altre informazioni che le potenzialità dei sistemi GIS consentono di utilizzare in modo integrato ai fini delle analisi costiere funzionali alla programmazione di livello nazionale.
  - Progetto ARCHIMEDE per la raccolta e l'organizzazione di tutti i dati meteomarini misurati a partire dal 1970 dai vari enti di settore.
  - Atlante delle onde nei mari italiani e s.m.i., che costituisce un riferimento per la conoscenza delle caratteristiche del moto ondoso nei nostri mari, fondamentale ai fini dell'interpretazione dei fenomeni e della difesa costiera;

- o Atlante delle opere costiere, in corso di predisposizione, che raccoglie indicazioni sulle varie tipologie di opere di difesa costiera e i relativi criteri per la loro selezione e corretta progettazione.

- quelli sviluppati dall'ICRAM attraverso:
  - o progetti di ricerca interni (Mare e cambiamenti globali: aspetti scientifici e gestione del territorio, 2001-2004);
  - o programmi finanziati dal MATT (2004-06, RISCO) e da altre amministrazioni pubbliche od enti di ricerca (Rischio Versilia, commissionato dalla Provincia di Lucca; RISCO Abruzzo, commissionato per conto della Regione Abruzzo dall'ENEA).

In particolare, è stato messo a punto uno specifico percorso metodologico capace di valutare la Pericolosità Integrata ed il Rischio costiero connesso ai cambiamenti climatici del futuro in funzione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrologiche e di uso del suolo dei settori analizzati.

Principali iniziative regionali

Su iniziativa della Direzione Generale per la Difesa del Suolo sono state sentite le Regioni e le Autorità di bacino sul tema della difesa della costa e sono state richieste informazioni in merito alle esperienze maturate e agli strumenti di tutela già messi in atto.

Dalle riunioni (tenutesi nei giorni 23 febbraio, 16 marzo, 7 giugno 2005) è emerso il seguente quadro delle attività regionali in corso, integrato, in alcune parti, con le conoscenze dell'APAT.

REGIONE LIGURIA

Il Piano Tecnico della Costa, il primo esempio in Italia, si propone di garantire una maggiore stabilità dei litorali più colpiti dall'erosione attraverso un complesso di interventi organici basato su:

- sistemazione dei bacini idrografici e degli alvei dei fiumi con foce a mare per ripristinare un maggio r apporto solido a mare (integrare gli apporti solidi con ripascimenti artificiali anche da fiumi in sovralluvionamento, eliminare ogni prelievo di materiale dai corsi d'acqua, intervenire sui bacini imbriferi cercando di preservare la loro funzione di apporto di materiale ai corsi d'acqua che li attraversano)
- progettazione e sistemazione delle opere di difesa e degli interventi di ripascimento da realizzare o già realizzati secondo criteri adeguatamente definiti per tratti unitari di litorale, tenendo in considerazione tutte le altre componenti descrittive di un ambiente costiero (qualità dei centri rivieraschi, caratteristiche climatiche, peculiarità naturalistiche e paesaggistiche);
- interventi sui porti turistici attivi e quelli in stato di abbandono; recupero dei tratti costieri interessati da abbancamaneti di posidonia, attraverso il loro riutilizzo.

Per il reperimento delle risorse necessarie per gli interventi sulla costa si prevedono specifici Accordi di Programma tra Stato, Regione, Enti locali e operatori turistici.

Nel caso dell'Autorità di Bacino del Magra il PAI impedisce ogni prelievo di inerti; solo per motivi legati alla manutenzione della funzionalità idraulica i sedimenti possono essere ricollocati più a valle o sulla costa.

REGIONE TOSCANA

Il 05/11/2001 con deliberazione n. 1214, la Giunta Regionale ha approvato la proposta di progetto di Piano Regionale di Gestione Integrata della Costa ai fini del Riassetto Idrogeologico.

Il 29/01/2002 il Consiglio Regionale, con deliberazione n. 23, ha approvato il Programma di interventi prioritari di recupero e di riequilibrio del litorale e il piano di investimenti regionali, presentati al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. Il 26/06/2002 è stato sottoscritto dalle Province un protocollo d'intesa per la realizzazione del progetto di piano. Il progetto è riferito al contenuto della Raccomandazione Europea del 30/05/2002 in merito al quale la Toscana ha per prima interpretato e tradotto i principi in termini operativi. E' prevista una prima fase di ripristino dei cicli naturali, cui seguiranno altre fasi di ridefinizione delle politiche socioeconomiche e di governance. La prima fase si sviluppa tramite un monitoraggio delle aree costiere al fine di individuarne le criticità, poi si passa ad un sistema di classificazione e si stabiliscono degli obiettivi da raggiungere, infine si adottano piani e programmi di risanamento di cui al D.Lgs. 152/1999. I contenuti del progetto di piano si basano su alcune argomentazioni fondamentali che sono:

- studio e analisi della dinamica costiera e preservazione del suo equilibrio;
- sviluppo economico nel rispetto dei principi fondamentali dello sviluppo sostenibile;
- garantire l'equilibrio tra ambiente naturale ed aree fortemente antropizzate;
- valorizzare i sistemi naturali nonché garantire la sicurezza degli abitati e delle infrastrutture;
- ricostruire l'integrità degli ecosistemi costieri.

Nel corso degli ultimi anni è stato continuato il monitoraggio delle spiagge toscane, non ancora concluso, che ha implementato il Rapporto sullo Stato dell'Ambiente (RSA) del 1998,. A livello di bacini regionali è stata impostata la formazione dei piani stralcio per ogni piano di bacino regionale. Tali piani prevedono l'elaborazione del quadro conoscitivo, l'individuazione delle problematiche, l'individuazione degli obiettivi di piano, l'individuazione dei risultati attesi, la valutazione della fattibilità economica, la definizione degli strumenti, delle procedure e delle strategie di intervento.
Per la definizione della fascia entro cui può variare fisiologicamente la linea di costa è stata presa la zona in grado di assorbire l'energia di un'onda con un tempo di ritorno di 50 anni.

Nella successiva valutazione del rischio sono stati considerati altri fattori quali i centri abitati, le infrastrutture, i beni, ecc.

La Regione tende a considerare la linea di costa come "linea mobile" dipendente dall'unità fisiografica sottesa al bacino, cercando di evitare la realizzazione di opere di difesa rigide a mare, ma non sempre le Provincie, che sono incaricate per la progettazione e manutenzione degli interventi, seguono questa indicazione. Il principio generale che la Regione ha cercato di adottare è legato alla definizione di una "fascia di tolleranza" della variazione della linea di costa, superata la quale si attivano interventi di ripascimento controllato.

L'Autorità di Bacino dell'Arno ha in fase di predisposizione il Piano della morfodinamica sedimentaria.

REGIONE LAZIO

La Regione ha attivato il Programma regionale di Salvaguardia delle Coste.
L'indice di tale Piano prevede:

- dinamica costiera;
- sistemi di protezione delle coste adottati sulla costa laziale;
- risorse naturali;
- aspetti giuridici e competenze;
- interventi di difesa costiera: programma delle attività progettuali per gli anni 2002/2003/2004.

La L.R. 53/1998 ha introdotto interessanti innovazioni, propedeutiche al progetto di Piano della Costa attuale. L'art. 7 di tale Legge, infatti, stabilisce che le opere di difesa delle coste abbiano per oggetto:

- protezione di abitati e di importanti infrastrutture costiere;
- contenimento di processi erosivi e ricostituzione delle spiagge anche attraverso ripascimenti artificiali;
- rinaturalizzazione della fascia costiera, tutela e ricostituzione della duna litorale.

In base all'art. 18 della stessa Legge si è istituito l'Osservatorio Regionale dei Litorali per il monitoraggio della costa, che ha il compito specifico di controllare i fattori influenti sulla dinamica dei litorali e di realizzare il monitoraggio degli interventi realizzati.

Dal 1991 si è avviata una convenzione con le università per la ricerca di cave marine.

Sullo stesso tema la Regione, in qualità di capofila, ha partecipato al progetto europeo BEACHMED "Recupero ambientale e mantenimento dei litorali in erosione con l'utilizzo di depositi sabbiosi marini", programma INTERREG IIIB MEDOCC, che ha visto la partecipazione di altre regioni europee (Conseil Général de l'Hérault, Generalitat Valenciana, Regione Liguria, Regione Toscana).
Attualmente la Regione Lazio partecipa, sempre in qualità di capofila, al progetto europeo BEACHMED-e INTERREG IIIc MEDOCC (insieme a: Regione Emilia-Romagna, IT; Regione Toscana, IT; Regione Liguria, IT, Conseil Général de l'Héraeult, FR; Service Maritime et Navigation du Languedoc-Roussillon, FR; Generalitat Catalunya, ES; Regione Macedonia Orientale e Tracia, GR; Regione Creta, GR), con l'obiettivo di sviluppare ulteriormente i temi già trattati dal progetto precedente.

L'Autorità di Bacino del Tevere ha in corso di redazione il Piano Stralcio della fascia costiera, per il tratto di competenza (circa 30 km). La stessa AdB ha in corso un progetto per restituire al corso d'acqua, tramite un bypass, parte dei fanghi accumulati nell'invaso di Corbara.

L'irrigidimento della cuspide della foce del Tevere costituisce un "irrigidimento della costa", in quanto protegge l'equilibrio della costa da Ostia a Fiumicino. Si tende anche a tenere in considerazione nel piano stralcio il piano di portualità e programma di sviluppo del litorale della regione.

Gli interventi principali di ripascimento sono stati i seguenti: oltre 2 milioni di mc a Ostia, 450 mila mc a Tarquinia; 2,5 milioni di mc nel sub-pontino. Il sedimento utilizzato è costituito da sabbie relitte prelevate da depositi sottomarini posti tra i 40 ed i 100 m di profondità.

REGIONE CAMPANIA

Le attività dei quattro bacini regionali sono coordinate dalla Regione Campania nell'ambito di uno specifico progetto, allargato anche ai rilievi del settore marino sommerso nell'ambito del Progetto CARG. Il quadro rimane, però, molto frammentario nonostante il tentativo della regione di ricondurre ad un'attività unitaria le iniziative delle Autorità di bacino (AdB).

Il Piano stralcio dell'erosione costiera del tratto meridionale è ormai in fase di adozione (AdB Sinistra Sele). Sono state evidenziate le problematiche in merito al trasporto solido ed al reperimento del materiale per i ripascimenti. Il trasporto solido è molto basso a causa di sbarramenti (Diga Alento) e di prelievi in alveo. Sono in corso la realizzazione di pennelli e ripascimenti. Si hanno grossi problemi per lo smaltimento dei depositi di fanerogame marine ed alghe.

Sul tratto centrale della costa campana è in corso uno studio preliminare sia per le spiagge che per i crolli dei costoni (AdB Destra Sele).

Uno studio sul tratto costiero del Vernotico (AdB Sarno e Campania NO) valuta il trasporto solido longitudinale in 20.000 mc/anno. La presenza di sbarramenti in alveo, le opere marittime (porti banchine) e le attività di cava (valutate nell'ordine di circa 10mc/anno/persona) sono state individuate come le cause responsabili di una significativa variazione del tasso di trasporto solido litoraneo.

Il tratto settentrionale della costa (AdB Liri GV) è oggetto di studi, che hanno evidenziato come gli interventi di difesa idraulica realizzati anche dove non sono necessari, riducono significativamente l'apporto solido in mare. La problematica è stata affrontata dal '93 e si sono creati modelli che hanno permesso di quantificare meglio gli impatti generati dall' asportazione di inerti, dalla realizzazione di dighe, traverse, cave e sottofondi stradali.

Il PAI prevede che non sia asportato nulla nelle fasce A e B. Al momento, è in corso la valutazione delle spiagge sommerse e la redazione del Piano Erosione.

REGIONE CALABRIA

Sono in corso studi ed indagini sulla variazione della linea di costa e sulla velocità di spostamento della battigia, nonché sull'esposizione dei paraggi di diversi tratti di costa.

E' stato eseguito un potenziamento del sistema di monitoraggio in modo da disporre allo stato attuale di 2 boe ondametriche nazionali e 4 regionali.

E' in fase di ultimazione il censimento delle opere esposte a rischio.

La problematica dell'erosione costiera è in parte affrontata nel PAI.

Il problema per il ripascimento delle spiagge lungo le coste della Regione Calabria è il reperimento di cave sottomarine che non sembrano essere disponibili. Si rileva la necessità di definire gli indirizzi generali per regolare le progettazioni di interventi sulla costa. In merito al trasporto solido, le problematiche delle attività estrattive in alveo sono affrontate sia nel Piano Cave che nel Piano delle coste. Vi è, infine, la necessità di rinaturalizzare ampie zone costiere.

REGIONE BASILICATA

Tutti i corsi d'acqua lucani sono sbarrati per l'accumulo di risorsa idrica ad esclusione del T. Cavone. Sono notevoli gli arretramenti in corrispondenza dei F. Bradano, F. Basento, F. Agri e F. Sinni. Sono in corso di affidamento studi sull'interramento degli invasi e in avvio rilievi fotogrammetrici della costa (fascia di 5 km) per la realizzazione di DTM con sonda laser.

REGIONE PUGLIA

La Regione negli "Studi preliminari per la redazione del Piano di Bacino Regionale" affidò al Politecnico di Bari, Dipartimento di Ingegneria delle Acque, all'Università di Bari, Dipartimento di Geologia e Geofisica, e al C.N.R., Istituto di Ricerca sulle Acque, le attività relative agli Studi e ricerche, di cui alla delibera n° 5485 del 14.11.1996, che riguardavano:

- Individuazione delle metodologie di monitoraggio qualitativo (chimico e biologico) di corpi idrici superficiali;
- Messa a punto di modelli di bilancio tra fabbisogni e disponibilità idriche: modelli di bilancio idrologico;
- Esame degli eventi estremi di piena: inondazioni da lame, corsi d'acqua, opere di protezione come canali di gronda, individuazione delle zone a rischio;
- Geofisica relativamente allo studio della dinamica costiera per aree critiche.

La Regione nell'ambito del P.O.R. Puglia 2000 – 2006, ha previsto una serie di azioni di monitoraggio fra cui quella degli interventi di difesa costiera già finanziati e realizzati (Misura 1.3 - Sottoazione 2b dell'area di azione 2 - Difesa delle coste regionali colpite da fenomeni di subsidenza ed erosione dei litorali sabbiosi e dissesto dei litorali rocciosi) e quella dell'evoluzione costiera, basato su riprese aeree ripetute a cadenza stagionale, con successiva restituzione cartografica (Misura 1.3 - Sottoazione 4c dell'area di azione 4 – Miglioramento delle conoscenze di base, adeguamento e ampliamento del sistema di monitoraggio del suolo, dei corpi idrici superficiali, sotterranei e costieri).

Con Delibera di G.R. n. 1411 del 23 ottobre 2001, la Regione, per l'attuazione delle suddette azioni, prevedeva di avvalersi di strutture pubbliche Universitarie e di Ricerca che già collaborano con la Regione per la redazione degli studi preliminari per la redazione dei Piani di Bacino ed in particolare del Politecnico di Bari – Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC), dell'Università degli Studi di Bari – Dipartimento di Geologia e Geofisica (DGG) e dell'Istituto di Ricerca delle Acque (IRSA) del C.N.R., come peraltro previsto nel Complemento di Programmazione.

Le suddette strutture, costituitesi in ATI, hanno firmato una Convenzione con la Regione Puglia con la quale si sono impegnate all'attuazione tecnica ed amministrativa del "Progetto Esecutivo" delle azioni, redatto dall'ATI ed approvato dalla Regione.

Le attività di monitoraggio sono state avviate da due anni e termineranno nel 2008.

La Giunta Regionale, nel luglio 2006, in attuazione della Legge Regionale 23 giugno 2006, n. 17 "Disciplina della tutela e dell'uso della costa", ha assunto una delibera sulla "Pianificazione della Costa Pugliese – Strategia operativo – programmatica nel medio periodo – Schema di convenzione – Approvazione". In questa delibera la Giunta Regionale ha avviato le azioni per disciplinare e pianificare l'uso della costa; deliberando che intende:

“nel breve termine”, salvaguardare e tutelare l'ambiente, e consentire l’accessibilità e la fruibilità a tutti dei beni del demanio marittimo e del mare territoriale, semplificando l'azione amministrativa e integrando i diversi livelli della Pubblica Amministrazione;

“nel medio termine”, con il Piano Regionale delle Coste (PRC), da redigere, attribuendogli la valenza di strumento di disciplina delle attività e degli interventi sulla costa. Il PRC, infatti, deve indicare lo stato della costa pugliese, le strutture ed infrastrutture esistenti, il grado di utilizzazione, il grado di antropizzazione, i rischi geologici e idrologici, i fenomeni di instabilità e di criticità in genere. Il PRC deve essere, per altro, corredato da Norme Tecniche di Attuazione, per restituire le certezze, sinora mancate, nella gestione del territorio costiero, nei processi e nelle procedure per il rilascio delle concessioni delle aree demaniali marittime;

“nel lungo termine”, con la costituzione dell’Osservatorio Regionale delle Coste, quale struttura permanente per il Controllo e la Gestione Integrata del Territorio Costiero.

La Regione ha gia attivato azioni per affrontare “il breve e medio termine”, avviando le attività per la redazione del Piano Regolatore delle Coste (PRC), mentre per il lungo termine, ossia costituzione dell’Osservatorio delle Coste, è indispensabile, sia ai fini di economizzare le spese che aumentare l’efficacia, concentrare e continuare le attività avviate di raccolta dei dati sia da enti che da monitoraggio in situ.

REGIONE MOLISE

La Regione ha attivato con l’università del Molise una convenzione per lo studio delle coste. L’Autorità di Bacino, competente per 31 km di coste, sta avviando la redazione del Piano per la gestione integrata delle coste.

REGIONE ABRUZZO

La Regione è stata tra le prime regioni italiane a riconoscere l’importanza della gestione integrata e sostenibile della fascia costiera evidenziando la possibilità di promuovere e sostenere lo sviluppo di processi integrati di governo. Nel 1997 ha ottenuto dalla CEE il cofinanziamento del Progetto R.I.C.A.MA. (*Rational for Integrated Coastal Area Management*), nell’ambito del programma LIFE. Il progetto R.I.C.A.MA. ha l’intento di rispondere alle esigenze di impostare e impiegare nuovi strumenti metodologici e organizzativi per far fronte alla diffusa erosione della costa, aggravata da infrastrutture antropiche inadeguate e da un caotico sviluppo urbano. Successivamente è stato elaborato il Progetto S.I.CO.R.A. (Supporto Informativo per la gestione della zona COstiera della Regione Abruzzo) orientato alla costituzione di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) che risulti costantemente operativo e che consentirà l’avviamento e lo sviluppo dei processi di governo dell’area costiera, in modo che la P.A. possa fornire risposte efficaci e sostenibili in poco tempo.

Inizialmente è stato operato un monitoraggio delle aree vulnerabili, seguito da uno studio di fattibilità degli interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale. E’ stato quindi predisposto un piano organico per valutare il rischio delle aree vulnerabili.

I livelli del rischio geomorfologico e socioeconomico forniscono le priorità di intervento, anche attraverso il coordinamento con le regioni limitrofe.

Vi è la tendenza all’abbandono degli interventi rigidi a favore dei ripascimenti protetti. Il fabbisogno complessivo ammonta a 100 M€. E’ accertata una generale carenza di trasporto

solido ed in corrispondenza del F. Tronto la realizzazione di un molo ha ulteriormente ridotto l'input di sedimenti.

La Regione nel 2005 ha commissionato all'ENEA, che ha operato in collaborazione con l'ICRAM, uno studio pilota (eseguito presso la foce del Fiume Sangro) per valutare la fattibilità di una più estesa analisi del rischio da sollevamento relativo del livello marino lungo il territorio regionale.

REGIONE MARCHE

Il Piano di Gestione Integrata delle Aree Costiere definisce gli obiettivi, le azioni e gli interventi di:

a) ripascimento e difesa del litorale dall'erosione marina;
b) ottimizzazione delle opere marittime a difesa della linea ferroviaria, anche attraverso il riuso dei tratti di scogliera relitta;
c) armonizzazione della fruizione pubblica con lo sviluppo turistico e ricreativo della zona costiera;
d) tutela e valorizzazione dei tratti di costa emersa e sommersa aventi valore paesistico, naturalistico ed ambientale;
e) monitoraggio delle dinamiche litoranee, delle acque e dell'ecosistema botanico;
f) coordinamento con le Regioni limitrofe.

Il 02/02/05 è stato approvato il Piano della Costa, del quale si riassumono brevemente le informazioni riportate. In esso viene presentato il GIS della variazione della costa dal '900 ad oggi, le caratteristiche dei sedimenti fino a -7m (profondità considerata prossima a quella di chiusura), e viene quantificata la parte di costa protetta con opere di vario tipo, pari al 65% della sua lunghezza. Sono state individuate 27 unità fisiografiche ed i costi previsti per la realizzazione degli interventi nei prossimi 10 anni sono di 89M€ per interventi strutturali e 78M€ per i ripascimenti.

Sono state inoltre individuate: le priorità degli interventi in funzione di macro indicatori economici e ambientali, il riordino delle opere marittime e l'influenza dei porti e dei moli.

Da esperienze pregresse si è notato che la ripulitura dei fiumi dalla vegetazione garantisce un maggiore apporto solido sulla costa.

Le norme dei PAI vietano l'estrazione nelle fasce fluviali. Il materiale estratto nell'ambito di interventi di manutenzione idraulica viene riutilizzato per ripascimenti.

REGIONE EMILIA ROMAGNA

La Regione da parecchi anni affronta il problema "Difesa costiera", analizzando le cause che hanno determinato i fenomeni di arretramento della linea di riva e di ingressione marina, emanando nuove leggi che li contrastano e applicando sistemi di difesa innovativi e conformi alla tutela dell'ambiente. I principali strumenti di conoscenza e di analisi sono stati:

1) Piano Regionale per la difesa della costa, redatto da Idroser nel 1981 e approvato dalla Regione nel 1983;
2) Progetto di piano per la difesa del mare e la riqualificazione ambientale del litorale, redatto da Idroser nel 1996;
3) Documento sullo Stato del Litorale romagnolo all'anno 2000 a cura dell'ARPA.

Oltre ai Piani Costa sono stati realizzati rilievi settoriali da parte di Comuni e Province finalizzati ad interventi particolari.

La Regione ha avviato una prima elaborazione delle Linee Guida per un piano di Gestione Integrata della Zona Costiera (G.I.Z.C.). Tale progetto prevede la costituzione di:

- banca dati della costa;
- evoluzione della linea di riva e cartografia morfodinamica;
- DTM della costa tramite LIDAR;
- catalogo delle infrastrutture;
- distribuzione granulometrica delle sabbie;
- modello digitale integrato del terreno;
- relazione tra subsidenza costiera e ingressione marina;
- analisi storica delle principali mareggiate;
- carte di pericolosità e rischio.

Sono stati individuati gli interventi confliggenti con la salvaguardia delle spiagge, a seguito dei quali sono state definite linee guida per la gestione della costa.

Inoltre, vi è il tentativo di migliorare il trasporto solido dei torrenti romagnoli, unici tributari di sedimento sull'Adriatico, considerato che gli apporti dalla catena appenninica, interrotti nel passato dagli insediamenti abitativi, dai rimboschimenti, dalle opere di difesa idraulica, dall'estrazioni in alveo, sono fondamentali per il ripascimento della costa. Infatti, esiste un sovra alluvionamento del F. Marecchia nelle Marche e una erosione sulla costa romagnola a causa di uno sbarramento a 3km dalla foce del F. Conca.

REGIONE VENETO

La L.R. 34/86 ha destinato alla costa consistenti somme per interventi e studi.

In particolare sono stati studiati i processi evolutivi in tre macroaree (Piave - Tagliamento, Laguna - delta del Po, Brenta - Adige) mentre, in area lagunare, sono stati fatti anche studi da parte del Magistrato alle Acque di Venezia.

Il Piano di tutela delle acque disciplina i prelievi nelle zone soggette a subsidenza (RO) per le quali sono stati realizzati gli argini di prima difesa sulla costa. In merito alla subsidenza e all'eustatismo esistono progetti finalizzati per l'alto Adriatico del CNR/grandi masse (MOSE).

Relativamente ai problemi di subsidenza legati ai prelievi di gas dal sottosuolo (legge speciale), sono stati condotti studi specifici dall' AGIP.

Esiste uno studio dell'assetto costiero del Friuli e Veneto finalizzato alla pianificazione costiera. Contiene valutazioni sul clima meteomarino, processi erosivi, venti, correnti marine, evoluzione morfologica della linea di costa e dei sedimenti di costa negli ultimi 40 anni, trasporto solido, prime mappe di rischio. Per es. alla foce del Tagliamento in Friuli vi è un pennello che danneggia la costa del Veneto in quanto blocca i sedimenti che altrimenti arriverebbero fino alla laguna di Venezia.

Tra le cause principali dell'erosione della costa sono stati individuati il mancato apporto solido legato alla presenza di bacini artificiali nell'entroterra, al prelievo di inerti ed ai prelievi idrici che riducono le portate dei corsi d'acqua e le relative capacità di trasporto solido.

La possibilità di riutilizzare i sedimenti intercettati dai bacini artificiali è piuttosto ridotta, perché spesso questi risultano carichi di metalli pesanti provenienti da scarichi inquinanti.

REGIONE FRIULI V.G.

Con la L.R. n. 16 del 03/07/2002, la Regione ha delegato l'Autorità di Bacino sia alla programmazione sia all'approvazione degli interventi in materia di difesa della costa, che presenta notevoli problemi di erosione.

REGIONE SARDEGNA

Il problema dell'erosione costiera è stato inserito nel programma regionale per la lotta alla desertificazione, regolarmente inviato al Ministero dell'Ambiente il 30 maggio del 2000. La Sardegna ha partecipato attivamente alla realizzazione del progetto EUROSION per il Sistema Informativo dell'Erosione Costiera con l'Università di Cagliari. Si è giunti ad un buon livello di studi e di delimitazione dei rischi, manca però un Piano Regionale di Gestione delle Coste. Un primo passo significativo è stato il Progetto dell'Atlante Ambientale. L'Atlante fornisce, in maniera schematica e sintetica, informazioni legate al territorio attraverso l'uso di indicatori popolati a livello comunale che consentono di visualizzare criticità, opportunità e/o peculiarità ambientali del territorio regionale. Le tavole che costituiscono l'Atlante sono raggruppate in otto diverse tematiche ambientali, tra cui *"Ambiente Marino Costiero"*, individuate secondo le indicazioni della Commissione Europea e le specificità regionali. Con la Carta del Rischio Ambientale nelle Coste della Sardegna si sono poi voluti documentare i caratteri geoambientali, l'entità e la dinamica della trasformazione del contesto costiero, lo stato di antropizzazione e i rischi cui risulta esposto in conseguenza dei processi naturali o delle attività umane. Lo scopo è quello di porre le basi informative per un monitoraggio sistematico e per una gestione integrata degli spazi costieri, in particolare di quelli che, resi già fragili da pregresse trasformazioni, sono soggetti a ulteriori cambiamenti legati a fenomeni naturali (erosione costiera, dissesti in genere, ecc.), o indotti dalle attività umane (inquinamento, urbanizzazione, perturbazioni nei bacini idrografici, ecc.), o alla loro combinazione. Il perseguimento di questo obiettivo ha richiesto la realizzazione di un Sistema Informativo Costiero con il quale mettere in luce le ulteriori potenzialità di sviluppo di attività creatrici di impieghi e di reddito in base all'effettiva portanza dei diversi ecosistemi costieri e alle condizioni di rischio geoambientale cui le diverse aree sono esposte. Questo lavoro costituisce il primo esempio di una cartografia di sintesi a media scala in tema di rischio per le coste dell'Isola. Dall'integrazione di dati geologico-tecnici, geomorfologici, meteomarini e antropici per le varie tipologie costiere, sono stati identificati i tratti esposti al rischio di erosione a breve, medio e lungo termine.

Si evidenziano forti arretramenti della linea di riva dovuti anche alla presenza di oltre 50 invasi e a grandi infrastrutture portuali. A SE di Cagliari è stato effettuato un ripascimento di una spiaggia con sedimenti di natura differente rispetto a quella originale e tutt'ora l'opinione pubblica teme che interventi di somma urgenza possano rivelarsi disastrosi dal punto di vista ambientale.

REGIONE SICILIA

Tra il '70 e l'80 a seguito del boom economico e della forte urbanizzazione della fascia costiera, si sono verificati importanti fenomeni erosivi diffusi lungo tutto il litorale.

L'unica reazione opposta a questa erosione è stata quella di realizzare barriere frangiflutti emerse e pennelli trasversali che hanno protetto l'area immediatamente retrostante

e spostato il fenomeno erosivo sottoflutto, provocando così un inarrestabile fenomeno di costruzione a catena.

Un nuovo approccio in materia di programmazione della difesa delle coste si è avuto a partire dal 2000: sia la piena applicazione della legislazione sulla Valutazione di Impatto Ambientale, sia la pubblicazione di un bando (2 Aprile 2001) nell'ambito del POR Sicilia 2000–2006 (settore "Difesa del suolo e protezione della fascia costiera", nella Misura 1.10 "Tutela integrata delle aree costiere"), contenente in sé le linee guida che permettevano chiaramente di individuare la priorità delle aree da proteggere, le tipologie progettuali da adottare e le stesse fasi progettuali, hanno consentito l'avvio di una nuova politica gestionale.

Tra gli interventi ammissibili venivano considerati quelli a minor impatto ambientale e più specificatamente:

- interventi per la difesa e per la stabilizzazione delle linee di costa contro le azioni erosive del mare, prioritariamente mediante ripascimento delle spiagge erose;
- interventi di recupero delle capacità naturali di trasporto solido costiero;
- interventi di recupero e tutela delle aree dunali;
- interventi di manutenzione dei litorali e delle scarpate sabbiose, emerse e sommerse, fino al ripristino del trasporto solido costiero.

A valle di questa esperienza, lungimirante appare l'iniziativa della Regione Siciliana che, sulla scorta di quanto fatto in altre regioni, sta predisponendo un Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) mirato alla tutela delle coste.

Il progetto è in corso di completamento, non è collegato alle diverse apprezzabili iniziative locali e si basa solo su ventuno ambiti territoriali minimi (unità fisiografiche).

Come detto le province regionali, in tempi successivi e con modalità d'approccio disomogenee hanno redatto studi costieri più o meno approfonditi.

L'evoluzione della costa italiana

L'erosione dei litorali italiani può essere in grande parte ricondotta alla diversificazione (e protezione) nell'uso del suolo diffusasi dopo la seconda guerra mondiale.

La notevole estenzione in epoca storica dei litorali italiani è infatti riconducibile all'ampia deforestazione connessa all'intensificazione delle attività industriali, commerciali ed agricole operata prima dai popoli italici e poi dai romani. Tale attività ha innescato un'accelerazione nei processi erosivi del suolo nelle campagne e nei territori collinari, favorendo il trasporto fluviale di ingenti quantitativi di sedimenti verso il mare. Molte foci fluviali deltizie hanno così beneficiato di una grande disponibilità di sedimenti; quest'ultima ha permesso lo sviluppo di delta ampi e ramificati, ha favorito la strutturazione delle pianure costiere nonché la progradazione rilevante delle spiagge. La recente regimazione dei corsi d'acqua, l'urbanizzazione dei litorali con lo smantellamento e l'irrigidimento degli apparati dunari, un uso del suolo attento a ridurre la perdita di terreno fertile e la stabilizzazione dei versanti hanno fatto mancare questo grande apporto di sedimenti, favorendo la regressione delle spiagge e, quindi, l'innesco di fenomeni erosivi lungo tutta la penisola italiana. La costipazione dei sedimenti litorali connessa all'emungimento dell'acqua per usi irrigui ed alle opere di bonifica che hanno reso salubri e popolabili molte fasce costiere, hanno contribuito a creare vaste aree depresse ed inondabili, oggi sotto il livello del mare.

La linea di costa italiana ha una lunghezza di 8.353 Km di cui 4.862 di coste basse sabbiose o deltizie (APAT, 2006)

Nell'ambito dei lavori della Commissione Interministeriale per lo Studio della Sistemazione Idraulica e della Difesa del Suolo, nota come "Commissione De Marchi", la V Sottocommissione, ha analizzato la situazione nazionale (1968-1969) in relazione al fenomeno dell'erosione (Fig. 1). Dall'indagine condotta risulta che i processi erosivi interessano tutte le foci estuarine o deltizie dei principali fiumi d'Italia e vasti tratti della fascia costiera italiana.

Tali fenomeni hanno iniziato a manifestare la loro gravità a partire dagli anni '50, dopo un lungo periodo di generale stabilità.

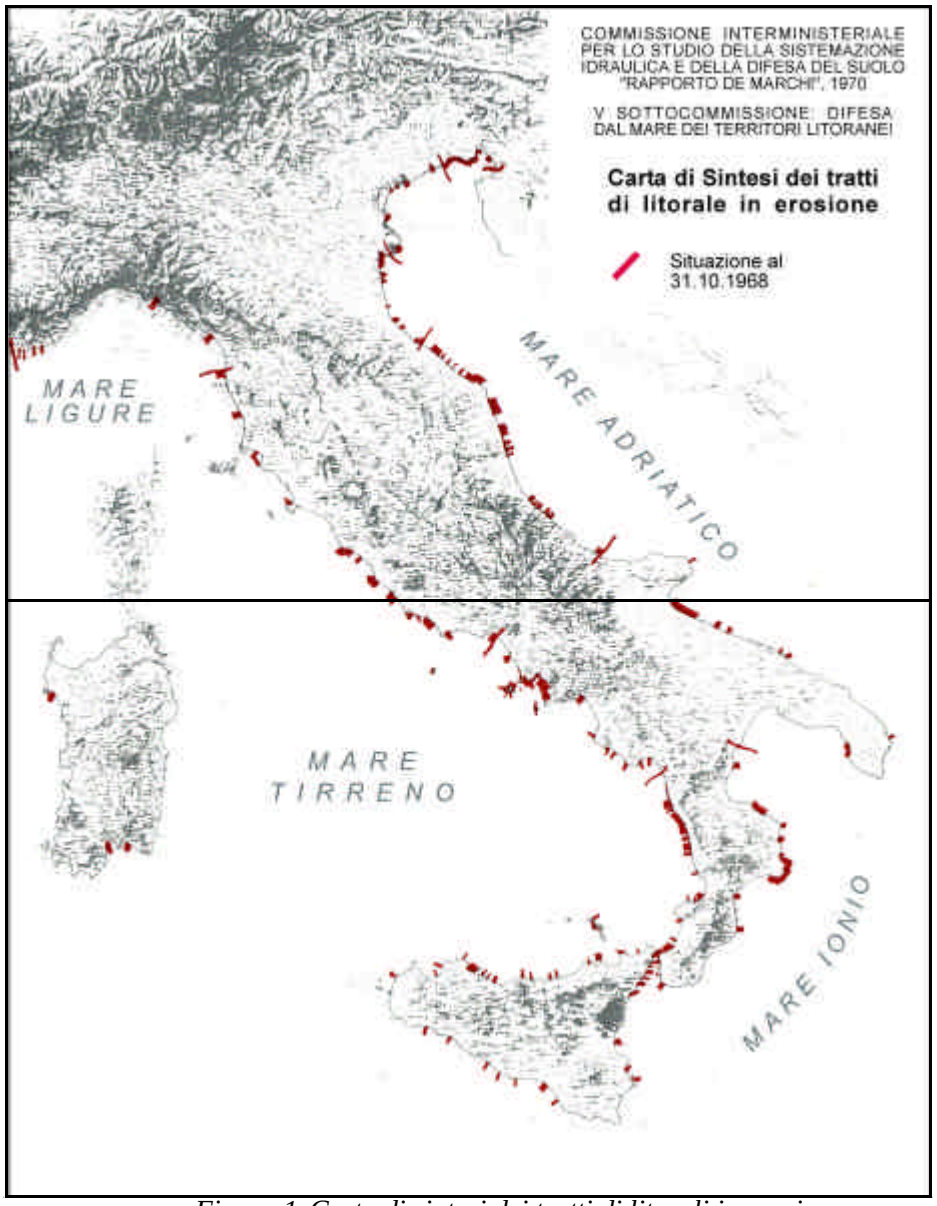

Figura 1. Carta di sintesi dei tratti di litorali in erosione

Dati più recenti, a scala nazionale, sono rappresentati nell'Atlante delle Spiagge Italiane del (C.N.R., M.U.R.S.T., 1997) a scala 1:100.000 in cui sono sintetizzate le ricerche nel periodo 1985-1997. Si tratta quindi di una cartografia redatta dai 15 ai 30 anni dopo quella della Commissione De Marchi.

In tale studio, il fenomeno dell'erosione dei litorali viene trattato in termini di tendenza evolutiva a medio periodo (Fig. 2).

Figura 2. Tendenza evolutiva delle spiagge italiane(Atlante delle spiagge C.N.R.- MURST, 1997)

Da esso risulta un generale aggravamento dei fenomeni erosivi nonostante le attenuazioni prodotte localmente dagli interventi di difesa; per quanto attiene le foci dei maggiori fiumi nazionali emerge il perdurare dell'erosione già segnalata dal Rapporto De Marchi concentrata sulle bocche principali.

Dai dati tratti dall'Atlante delle Spiagge del CNR ed integrati con successive indagini condotte in anni successivi, sui litorali italiani risulta che il 32,5% delle coste basse è in erosione e il 10 % risulta stabile, condizione dovuta alla presenza di opere di difesa.

Nell'ambito della presente attività, la Segreteria Tecnica per la Difesa del Suolo della Direzione Generale per la Difesa del Suolo del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, al fine di avere un ordine di grandezza delle problematiche sull'arretramento costiero in Italia, ha eseguito una elaborazione dei dati vettoriali disponibili riferiti alla linea di costa tracciata sulla base delle tavolette IGMI 1:25.000 e alla linea di costa tracciata sulla base delle ortofotografie aeree del Volo Italia 2000.

L' intersezione delle due linee di costa ha isolato poligoni che rappresentano superfici in arretramento e superfici in avanzamento della costa, nonché le superfici dei porti in avanzamento verso il mare (Fig. 3). Detti poligoni sono stati filtrati in funzione della loro forma (eliminati se inferiori a 10 m di larghezza).

La sintesi regionale è riportata nelle successive tabelle 1 e 2 in cui si evidenziano gli ordini di grandezza dei fenomeni di arretramento e avanzamento della linea di costa e lo sviluppo dei principali porti aggettanti in mare.

Un recente studio dell'APAT - i cui risultati non sono ancora stati pubblicati - pur seguendo una metodologia diversa nei dettagli, giunge a conclusioni analoghe in termini di ordini di grandezza, contribuendo a consolidare la convinzione che il monitoraggio e contrasto dell'erosione costiera a lungo termine costituisca un tema di grande impatto sociale ed economico per il nostro paese.

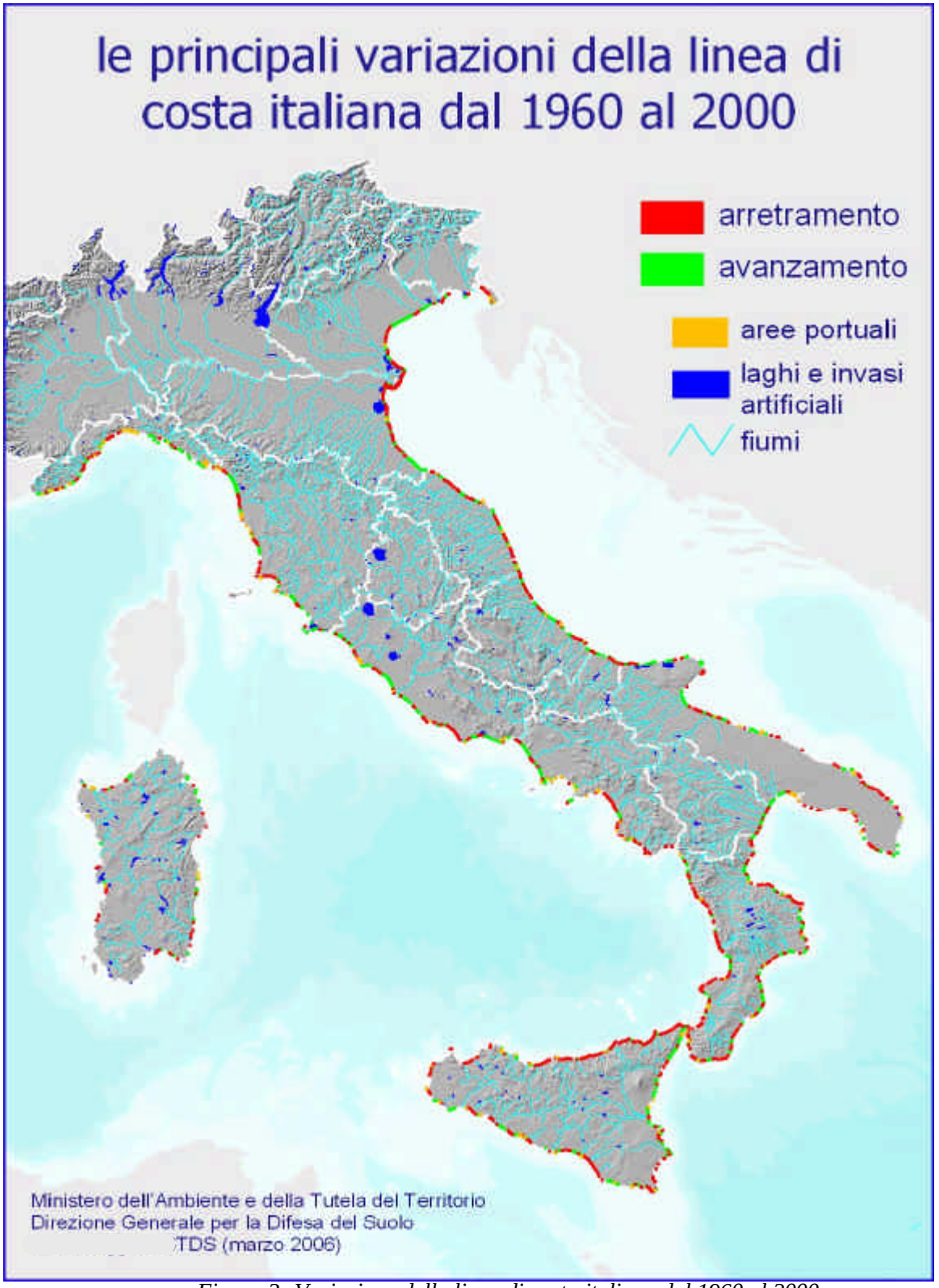

Figura 3. Variazione della linea di costa italiana dal 1960 al 2000.

tab. 1 - ANALISI DELLA COSTA DELL'ITALIA PENINSULARE, SICILIA E SARDEGNA
analisi delle superfici

regione	superficie di costa (kmq)				
	avanzamento	arretramento	bilancio	n. porti	porti
ABRUZZO	1,8	-1,6	0,3	5	0,5
BASILICATA	1,8	-1,5	0,3	1	0,0
CALABRIA	8,4	-12,0	-3,6	15	3,4
CAMPANIA	2,6	-3,7	-1,1	18	1,7
EMILIA ROMAGNA	5,8	-9,5	-3,7	5	0,5
FRIULI VENEZIA G	1,1	-0,8	0,3	1	0,7
LAZIO	4,8	-3,2	1,6	11	1,4
LIGURIA	3,1	-2,2	0,9	16	7,6
MARCHE	2,0	-3,4	-1,4	8	1,1
MOLISE	0,6	-1,2	-0,6	2	0,1
PUGLIA	5,3	-5,4	-0,1	22	3,9
SARDEGNA	1,0	-1,3	-0,2	16	1,8
SICILIA	7,4	-13,0	-5,6	43	3,7
TOSCANA	5,2	-5,6	-0,4	15	1,8
VENETO	4,6	-5,6	-1,0	1	0,3
Totale complessivo	55,6	-70,0	-14,4	179	28,5

(sono escluse le variazioni sul delta del F. Po per +2,5 e -25,3 kmq - STDS, marzo 2006)

tab. 2 - ANALISI DELLA COSTA DELL'ITALIA PENINSULARE, SICILIA E SARDEGNA
analisi dei tratti lineari

regione	linea di costa (km)				
	avanzamento	arretramento	totale costa	avanzamento %	arretramento %
ABRUZZO	55,1	45,2	138,7	40%	33%
BASILICATA	26,8	19,2	65,3	41%	29%
CALABRIA	222,4	310,6	726,4	31%	43%
CAMPANIA	86,3	97,2	420,5	21%	23%
EMILIA ROMAGNA	63,4	62,9	153,3	41%	41%
FRIULI VENEZIA G	26,9	25,5	154,6	17%	17%
LAZIO	134,5	84,9	308,8	44%	27%
LIGURIA	109,8	76,0	406,5	27%	19%
MARCHE	64,9	72,6	189,6	34%	38%
MOLISE	13,8	14,3	37,9	37%	38%
PUGLIA	199,2	199,6	881,2	23%	23%
SARDEGNA	61,2	74,8	1530,4	4%	5%
SICILIA	231,8	373,2	1181,1	20%	32%
TOSCANA	105,5	94,3	367,5	29%	26%
VENETO	67,9	46,2	172,3	39%	27%
Totale complessivo	1469,5	1596,7	6734,2	22%	24%

(sono escluse le variazioni sul delta del F. Po per +6,3 e -32,3 km - STDS, marzo 2006)

Distribuzione delle opere di difesa

Nell'arco degli ultimi 40-50 anni il 15% delle coste italiane naturali è stata interessata da intensi fenomeni erosivi.

L'arretramento della costa ha messo in crisi sia la sicurezza di strade e ferrovie nonché ha pregiudicato l'attività turistico-balneare. Per questi motivi si è incentivato lo sviluppo di tecniche per la progettazione e l'esecuzione di opere di protezione dei litorali, che non sempre hanno risolto i problemi soprattutto nel medio e lungo termine e che spesso hanno contribuito al processo di artificializzazione e degradazione dei vari ambienti costieri.

Il bisogno di comprendere le cause dei cambiamenti dei litorali ha incentivato gli studi sulla dinamica costiera.

Lo studio di caratterizzazione della costa svolto da APAT ha prodotto un catalogo delle opere di difesa realizzate in Italia sino agli anni 1998-99.

Nella tabella 3 e nella figura 4 è schematizzata la distribuzione delle opere di difesa su tutto il territorio nazionale suddivise per le principali tipologie di opere e per incidenza regionale.

	OPERE DI DIFESA							
	RADENTI		SCOGLIERE		PENNELLI		OPERE MISTE	
	n°	%	*n°*	%	*n°*	%	*n°*	%
ITALIA	1778	18.4	3071	30.6	1897	19.7	3353	34.8
LIGURIA	237	24	67	6.7	329	33.3	355	35.9
TOSCANA	89	14.7	126	20.8	50	8.3	340	56
LAZIO	47	10.3	162	35.5	76	16.6	172	37.5
CAMPANIA	191	23.9	178	22.4	114	14.2	317	39.7
BASILICATA	0	0	0	0	0	0	2	100
CALABRIA	174	35.2	126	25.5	97	19.6	97	19.7
PUGLIA	174	17.9	75	7.7	330	33.8	396	40.6
MOLISE	13	12.6	60	58.2	13	12.6	17	16.6
ABRUZZO	41	7.6	439	81.2	26	4.9	35	6.5
MARCHE	60	8	598	79.9	37	4.9	54	7.1
EMILIA R.	11	1.8	333	55.5	100	16.7	156	26
VENETO	289	30.3	53	5.5	263	37	259	27.2
FRIULI V.G.	96	25.4	4	1.4	92	24.4	185	48.9
SICILIA	262	18.2	381	26.6	149	19.1	516	36.1
SARDEGNA	94	16.8	13	2.3	5	0.9	448	79.9

Tab. 3 - Distribuzione delle opere di difesa per regione (APAT, 2006)

Dalla tabella emerge chiaramente che il numero di interventi e le tecniche adottate per la difesa della costa dai fenomeni di erosione è diverso tra le regioni adriatiche, tirreniche e le isole. Le caratteristiche geomorfologiche dei litorali, l'esposizione dei litorali ai fenomeni meteomarini e all'intensità delle mareggiate sono gli elementi che hanno influenzato la scelta del tipo di interventi e le risorse impegnate.

Le regioni adriatiche, dal Molise all'Emilia Romagna, caratterizzate essenzialmente da litorali sabbiosi, presentano una intensa concentrazione di opere rigide distaccate dalla riva, del tipo a scogliera sia emersa che sommersa, e la fascia costiera del nord Adriatico è difesa essenzialmente da pennelli ed da opere radenti o miste. Solo nell'ultimo decennio, per contenere gli effetti negativi prodotti da questo tipo di opere rigide sull'ambiente marino – costiero e per favorire una politica ambientale sostenibile, si è optato per interventi di ripristino dei litorali mediante ripascimenti con sabbie di cave terrestri e marine, morbidi o protetti con opere rigide.

Le coste tirreniche sono difese essenzialmente da scogliere e da opere miste, queste ultime sono opere marittime di difesa che combinano più tipologie di strutture di protezione o opere che dopo l'iniziale progettazione, in seguito a interventi di completamento e prolungamento, allo stato attuale hanno una conformazione non classificabile.

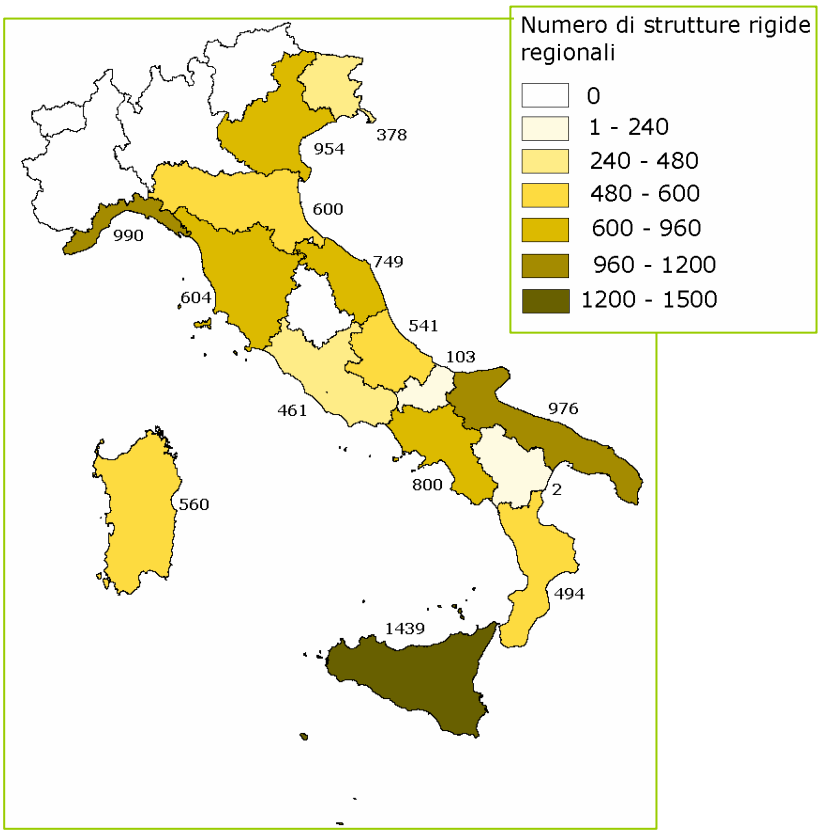

Figura 4. Distribuzione delle opere di difesa per regione(APAT, 2006)

La distribuzione delle opere realizzate per le due isole maggiori, Sicilia e Sardegna, è l'esempio più evidente della diretta relazione esistente tra la natura geomorfologica delle coste e l'impegno di risorse economiche ed amministrative richiesto per contenere i fenomeni di erosione dei litorali. La Sicilia, caratterizzata da costa bassa per circa tre quarti del litorale totale, ha realizzato un numero di opere di difesa tre volte superiore alla Sardegna.

La Sardegna, infatti, è per due terzi caratterizzata da coste alte e rocciose e ciò fa sì che il numero di opere di difesa realizzate sia inferiore a quello delle regioni adriatiche.

Su tutti i tratti delle coste italiane, purtroppo, la pianificazione ed esecuzione degli interventi di protezione è avvenuta per lo più senza tener conto delle dinamiche delle unità fisiografiche costiere di appartenenza, ma piuttosto tenendo conto dei limiti amministrativi di competenza dell'ente esecutore.

Questo approccio e l'urgenza di esecuzione spesso non hanno favorito: l'efficacia dell'intervento, la pianificazione a medio e lungo termine e, in alcuni contesti, la scelta del tipo di intervento più adeguato all'area costiera interessata.

Molti sono i casi di interventi di protezione, specie quelli con strutture artificiali, che oltre a presentare costi rilevanti e limitata durata nel tempo non hanno fornito i risultati attesi. In questo modo si è fatta strada l'esigenza di progettare e programmare gli interventi non con singole opere, ma con un sistema di difesa che consenta di assicurare l'integrità dell'intera unità fisiografica. Un'opera di protezione limitata a un breve tratto di riva in erosione può infatti aggravare i fenomeni erosivi in atto o addirittura innescarne di nuovi sulle coste adiacenti non protette.

Alcune regioni (Liguria, Lazio, Toscana, Marche, Emilia Romagna), stimolate anche da iniziative europee, stanno ripensando alla progettazione e alla sistemazione delle opere di difesa e degli interventi di ripascimento da realizzare o già presenti secondo una metodologia non più disorganica e lasciata all'emergenza, ma studiata adeguatamente per tratti unitari di litorale e coordinata con tutte le altre componenti descrittive dell'ambiente costiero (caratteristiche climatiche, qualità dei centri rivieraschi, parametri naturalistici e paesaggistici), secondo i principi della gestione integrata delle zone costiere.

ASPETTI QUALITATIVI DEGLI AMBIENTI MARINO-COSTIERI

Aspetti qualitativi dei sedimenti marini

L'opzione gestionale prioritaria che costituisce l'uso più "nobile" auspicabile per i sedimenti provenienti dalla movimentazione di fondali marini è data dal loro riutilizzo in interventi di ripascimento (art. 109 Dlgs 152/06). Occorre perciò la massima cautela ambientale e sanitaria nel definire le condizioni per le quali questo uso può effettivamente essere autorizzato.

Il criterio che ad oggi è stato ritenuto il più appropriato per la classificazione dei materiali destinati al mantenimento e/o alla ricostituzione degli arenili è quello dell'applicazione di standard di qualità in termini di concentrazioni limite ammissibili per alcune sostanze.

Questo approccio finora condiviso parte dall'assunto che, in linea di principio, i sedimenti conformi a standard relativi ad alcune sostanze pericolose e prioritarie corrispondano ad una situazione ambientale sufficientemente cautelativa sia nei confronti della salute umana che degli ecosistemi marini.

Le concentrazioni chimiche delle varie sostanze devono essere elaborate considerando numerosi aspetti, quali ad esempio le proprietà di bioaccumulo e biomagnificazione nella catena alimentare, la persistenza nell'ambiente, la cangerogenicità, la tossicità umana ed ambientale (ecotossicità), nonché dati di campo sperimentali forniti dagli Enti di riferimento.

Tali valori non devono essere considerati come vincolanti, ma devono supportare le misure da intraprendere per la tutela del corpo idrico e, in particolare, decadono qualora il superamento dello standard si verifichi in corrispondenza di accertate province geochimiche.

E' noto infatti che la prassi comune prevede che lo studio della qualità chimica dei sedimenti (metalli e composti organici) venga condotto mediante la determinazione del contenuto totale.

A tal riguardo bisogna però sottolineare come i soli valori di abbondanza totale non permettano né di risalire alle singole specie chimiche, né di differenziare l'apporto di origine naturale da quello di origine antropica. Questo è particolarmente vero nel caso dei metalli, che possono essere presenti nei sedimenti marini anche in concentrazioni (totali) assai elevate ma riconducibili a condizioni naturali particolari, come l'affioramento nell'entroterra di specie minerali arricchite in determinati elementi chimici (province geochimiche). In questo caso, infatti, i valori di abbondanze totali, seppure elevati, non sono rappresentativi di una condizione di contaminazione in atto e i metalli risultano presenti sotto forma difficilmente mobilizzabile con le normali variazioni dei parametri chimico-fisici, attese a seguito della movimentazione delle sabbie.

Qualora i risultati delle analisi chimiche (condotte sul sedimento da movimentare) dovessero fornire risultati anomali, di difficile interpretazione, è necessario, al fine di poter escludere fenomeni di contaminazione in atto o pregressi, predisporre delle indagini specifiche più approfondite, utilizzando metodologie analitiche in grado di discriminare le

modalità di ripartizione delle diverse fasi nel sedimento (analisi di estrazione sequenziale), al fine di chiarire la naturalità o meno delle concentrazioni anomale eventualmente osservate.

La definizione di standard per la qualità dei sedimenti si inquadra nel recepimento della Direttiva Comunitaria 2000/60/CE Tale Direttiva prevede il raggiungimento, entro il 2015, di un buono stato di qualità ecologico e chimico di tutti i corpi idrici superficiali e sotterranei, che corrisponde ad una condizione in cui le concentrazioni delle sostanze pericolose non superano un determinato standard di qualità ambientale, cioè una soglia oltre la quale si possono manifestare effetti tossici per la salute umana e per la vita acquatica. Tali standard devono essere fissati oltre che per l'acqua ed il biota, anche per i sedimenti marini. Infatti, a seconda della tessitura, coesione, adesione, profondità ed esposizione all'azione turbolenta dei flussi, possono verificarsi fenomeni di risospensione dei sedimenti, sia a causa di mareggiate che di fenomeni antropici come la navigazione. La risospensione può determinare un intorbidimento delle acque (che è un elemento di disturbo di fitoplancton e fitobenthos) e, nel caso di contaminazione, costituisce un deterioramento della qualità della colonna d'acqua di un corpo idrico che contrasta fortemente con uno degli obiettivi chiave preposti dalla stessa direttiva. Inoltre, gli inquinanti persistenti presenti nei sedimenti possono, a causa del processo di magnificazione biologica lungo la catena alimentare, venire assimilati dagli organismi filtratori causando così non solo il peggioramento delle biocenosi acquatiche presenti, ma anche un pericolo per la salute umana.

Tenuto conto dell'avvenuto passaggio di competenze dallo stato alle regioni (legge 179/2002), per quanto riguarda gli interventi di ripascimento della fascia costiera nonché di immersione di materiali di escavo di fondali marini, nonché della notevole complessità ed eterogeneità litologica e geochimica del territorio italiano, è auspicabile che le Regioni, tenendo in considerazione le "soglie" di attenzione in rapporto alla biodisponibilità degli elementi considerati, propongano dei valori di fondo naturali, validi localmente, basati sulle caratteristiche composizionali dei sedimenti marini.

Le amministrazioni regionali devono inoltre prodigarsi nell'attività di monitoraggio necessaria alla conoscenza della dinamica sedimentaria locale, al fine di comprendere infatti se ed in che modo la contaminazione possa variare nel tempo e nello spazio, attraverso la definizione degli assi di trasporto dei sedimenti e l'individuazione delle province sedimentarie di appartenenza.

La interconnessione delle azioni e delle competenze tra Amministrazioni centrali e regionali viene sottolineata anche nella Raccomandazione del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2002, relativa all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa. La definizione delle possibili destinazioni d'uso in caso di movimentazione dei sedimenti, e in particolare di quelli nativi (cioè dei sedimenti naturalmente prodotti e distribuiti lungocosta localmente), richiede azioni strategiche, coordinate e concentrate a livello locale e regionale, che vanno indirizzate e sostenute da un apposito quadro di riferimento a livello nazionale.

Potenziali impatti sugli organismi marini

Tutte le modificazioni che interessano la fascia costiera, poiché vanno ad incidere su un ambiente estremamente sensibile e con un elevato valore, devono essere attentamente valutate considerando i possibili effetti che esse possono indurre sull'ambiente marino. Sia l'erosione, sia le attività di movimentazione dei sedimenti marini in ambito costiero determinano tutta una serie di cambiamenti sull'ambiente fisico che a loro volta potranno produrre effetti non trascurabili anche sugli organismi marini ivi residenti, in particolare sugli organismi bentonici.

L'ambiente fisico subisce gli effetti dell'erosione principalmente in termini di variazione della natura del fondo, mentre gli effetti delle attività di movimentazione dei sedimenti (dragaggi, ripascimenti, e opere costiere in genere) sono principalmente riconducibili alla variazione delle condizioni idrodinamiche a scala locale, al peggioramento momentaneo della qualità dell'acqua (per aumento della torbidità), alla variazione del tasso di sedimentazione, alle variazioni nella natura del fondo nonché, in caso di movimentazione di sedimento inquinato, immissione di inquinanti nella colonna d'acqua.

Tali cambiamenti, che determinano in definitiva la sostituzione e/o la perdita di habitat, diventano assai rilevanti nel caso siano presenti habitat sensibili (ad es. siti Rete Natura 2000) e/o habitat che ospitano specie di rilevante interesse commerciale, quindi con possibili ricadute sulle economie locali. Infatti, all'alterazione del fondo, su cui sono insediati gli organismi, corrisponderà un'alterazione dei popolamenti e delle risorse trofiche, con possibili effetti anche sulla pesca.

Una indicazione di carattere gestionale potrebbe essere quindi quella di effettuare qualsiasi tipo di movimentazione dei sedimenti nel periodo precedente a quello del reclutamento della specie d'interesse in modo da permettere, dopo un opportuno periodo di assestamento, l'insediamento dei giovanili.

Per minimizzare gli impatti dei lavori costieri (in genere) sulle risorse biologiche e in particolare sulle comunità bentoniche sarebbe opportuno evitare di far coincidere tali attività con quelle fasi (di reclutamento e di riproduzione) in cui gli organismi sono più sensibili al disturbo, applicando quindi il concetto di *environmental windows.*

Lungo la fascia costiera una specie di particolare rilievo è la fanerogama marina *Posidonia oceanica* (specie protetta ai sensi della direttiva habitat). Essa colonizza ampie aree dei fondali mediterranei formando delle vere e proprie praterie sommerse. Le praterie di *Posidonia oceanica* costituiscono per la loro complessità delle comunità delicate e fragili. La loro localizzazione (prossima alla costa) le espone ai danni indotti sia dai fenomeni di erosione, sia dalle attività antropiche che insistono sulla fascia litorale, quali ad esempio la presenza di manufatti e infrastrutture, scarichi (generalmente ricchi di sostanze eutrofizzanti e inquinanti), nonché le attività di pesca a strascico e gli ancoraggi.

La *Posidonia oceanica* è particolarmente sensibile all'aumento della torbidità dell'acqua e alla variazione del tasso di sedimentazione, per l'immissione in sospensione di quantità rilevanti di sedimento. La risposta della pianta è fortemente condizionata dall'intensità e dalla

durata di tali fenomeni; un aumento del tasso di sedimentazione, prolungato nel tempo, può portare al seppellimento della pianta. E' stato osservato come anche modesti seppellimenti possano indurre una significativa mortalità fogliare.

La diminuzione di luminosità generata dall'aumento di sedimenti fini in sospensione determina un calo nella produzione fogliare della prateria cui potrebbe seguire, con il persistere dell'alterazione, la riduzione della densità e la regressione dei suoi limiti. Anche il deficit sedimentario che accompagna i processi erosivi può indurre la regressione dei limiti della prateria.

La perdita o l'arretramento della prateria (anche di un solo metro) può, a sua volta, indurre sul litorale un'erosione consistente, anche di diversi metri.

La *Posidonia oceanica* può inoltre giocare un ruolo importante nei processi di stabilizzazione del sedimento: in particolare, essa può formare estese praterie su "matte" la cui particolare struttura contribuisce a mantenere stabile il sedimento. Un miglioramento dello stato generale di salute della prateria potrebbe addirittura aumentare la protezione della spiaggia stessa, analogamente, il mantenimento e/o il ripristino della spiaggia potrebbe avere un ruolo positivo nell'aumentare la stabilità delle praterie.

Si deduce quindi che prima di ogni intervento sulla fascia costiera e più in generale all'interno dei piani di gestione della costa dovrebbe sempre essere considerata soprattutto la salvaguardia delle praterie di *Posidonia oceanica*.

SUDDIVISIONE DEGLI AMBITI COSTIERI IN UNITÀ FISIOGRAFICHE

Gli spazi costieri costituiscono un ambiente fra i più complessi e fragili: sono entità in continua evoluzione dinamica coinvolte in una molteplicità di usi, dove si possono risentire gli effetti di interventi umani avvenuti anche a parecchi chilometri di distanza. Si tratta di un ambiente delicato e instabile, risultato della continua interazione fra tutto ciò che avviene sull'interfaccia terra-mare e quello che avviene nell'entroterra.

La necessità di suddividere la costa in tratti con caratteristiche omogenee e tra loro assimilabili nasce dall'esigenza di ottimizzare la gestione della fascia costiera sia dal punto di vista ambientale che socio-economico (gestione integrata della fascia costiera, ICZM).

I processi che governano i sistemi costieri sono ormai sufficientemente noti grazie alla ricerca scientifica, ciononostante la loro definizione risulta difficoltosa in funzione del fattore di interazione con le caratteristiche delle aree in esame.

Il fattore scala consente di definire il giusto ambito entro cui un determinato parametro può essere rilevato e monitorato.

La scelta della scala di lavoro appare di primaria importanza: essa va effettuata soprattutto in base alla finalità del lavoro, alle dimensioni dell'area oggetto di studio, ai dati disponibili ed alla variabilità delle caratteristiche della costa nell'ambito dell'area di studio. Le risoluzioni spaziali analizzate possono variare da pochi metri a centinaia di chilometri.

Per definire una programmazione a carattere regionale è necessario individuare quelle forzanti generali che, in termini sociali, politici e strutturali, ci permettono di definire le potenzialità di rischio, al fine di realizzare un documento che possa servire, in una sola volta, da strumento di programmazione e di verifica.

La scala regionale, ovviamente, non permette un dettaglio delle necessità locali e puntuali, ma garantisce una sufficiente base di conoscenza per definire dove indirizzare attenzione e risorse.

Inoltre, è ormai accertato che i parametri morfologici, geomorfologici e sedimentologici svolgono un ruolo paritario a quelli dei più comuni fattori ed indici tecnici ed ingegneristici per la progettazione e realizzazione di opere di difesa costiera ed il loro impiego deve essere combinato per una corretta pianificazione di interventi di difesa costiera.

La necessità di suddividere la costa in tratti con caratteristiche omogenee e tra loro assimilabili nasce dall'esigenza di migliorare la gestione della fascia costiera dal punto di vista ambientale e naturale tenendo conto, dove necessario, delle esigenze socio-economiche localizzate.

Una prima suddivisione della costa italiana peninsulare e della Sicilia e Sardegna è stata operata dalla Direzione Generale per la Difesa del Suolo. Per questa operazione sono state utilizzate le carte batimetriche 1:100.000 dell'istituto Idrografico, i dati della distribuzione delle coste alte e basse dell'Atlante delle Spiagge del CNR, e la distribuzione dei porti principali dell'analisi dell'erosione costiera.

Lo studio è stato rivolto alla definizione dei tratti costieri in cui il trasporto solido, dovuto al moto ondoso e alle correnti litoranee, è confinato. Si è considerato possibile il trasporto di materiale solido oltre gli elementi naturali che non interrompono la linea batimetrica di -10m. Attraverso l'analisi dell'andamento morfologico della costa emersa e della pendenza della costa sommersa sono stati tracciati i limiti naturali delle unità fisiografiche costiere principali, individuandone in tutto 57, di cui n. 8 di rilievo interregionale (Fig. 5).

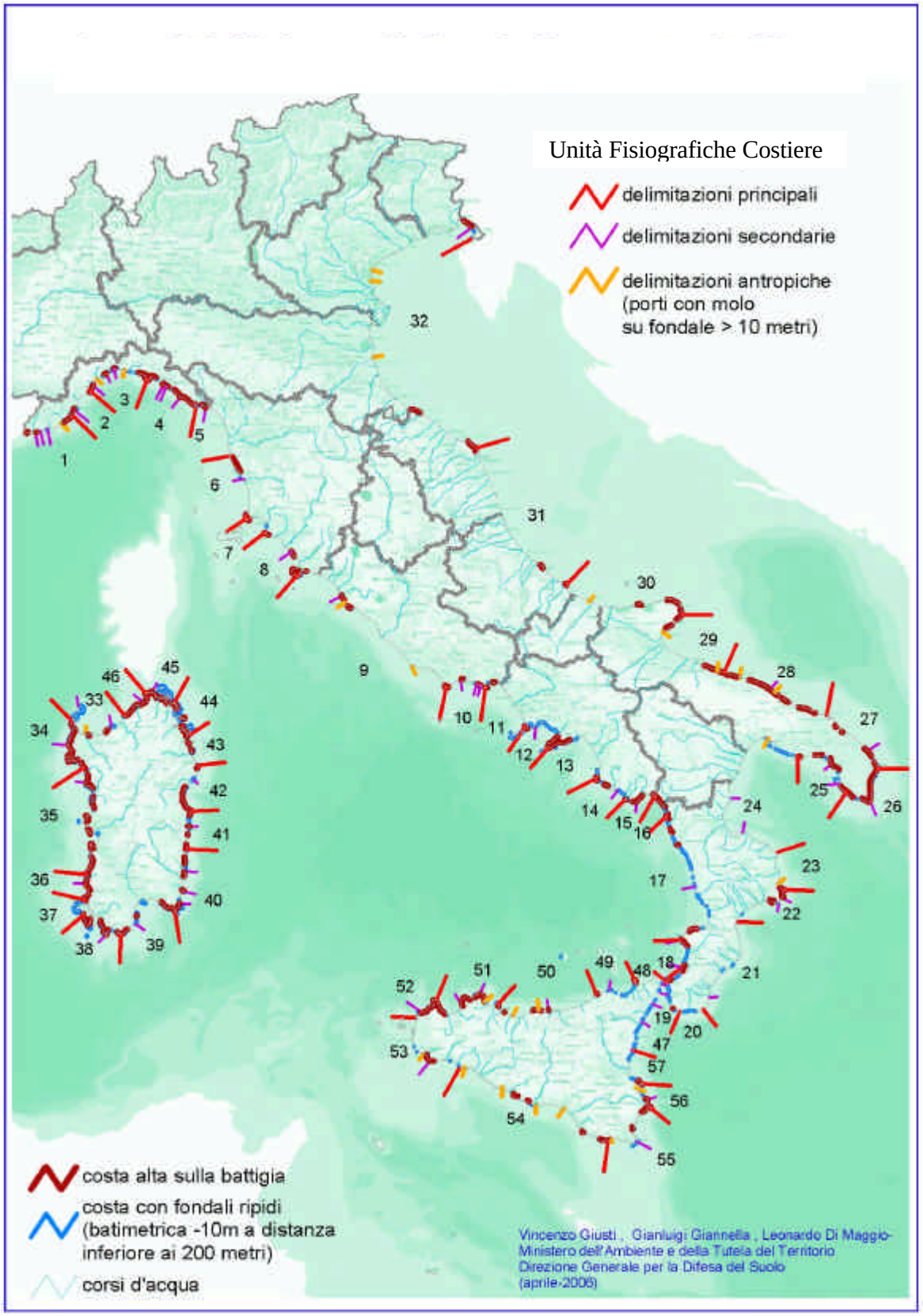

Fig. 5 Principali unità fisiografiche della costa italiana

L'APAT ha proceduto a una suddivisione più dettagliata della costa italiana in unità fisiografiche valutando anche le isole minori ed introducendo alcuni limiti artificiali selezionali per tipologia.

Queste sono riportate nella successiva tabella n.5 - *Elenco Unità Fisiografiche* -

Per Unità Fisiografica s'intende un tratto di costa nel quale i materiali sedimentari presentano movimenti confinati all'interno dei suoi due limiti estremi, e tale che lungo i suddetti limiti gli scambi siano da considerarsi nulli. Si può altresì definire come un'area naturalmente identificabile sulla linea di costa, nella quale fra le diverse caratteristiche fisiche esistono dei rapporti funzionali attraverso cui avvengono scambi di materia e di energia. In particolare i materiali che formano o contribuiscono a formare la costa presentano movimenti confinati all'interno dell'unità stessa.

In sostanza si tratta di un segmento costiero che sottende uno o più corsi d'acqua, con comportamento preponderante in termini di bilancio sedimentario. Le foci fluviali e torrentizie, infatti, non rappresentano il limite tra unità fisiografiche adiacenti poiché generalmente il trasporto litoraneo si alterna sui due lati della foce. Le unità fisiografiche possono avere estensione assai variabile e raggiungono la massima lunghezza nei litorali sabbiosi e dritti.

Il litorale italiano è stato suddiviso in unità fisiografiche morfologiche prescindendo dai limiti amministrativi (confini nazionali, regionali, provinciali e comunali) e considerando paraggi delimitati da promontori aggettanti in modo determinante o da porti le cui strutture esterne raggiungono i –10 m.

La metodologia utilizzata si basa su principi di tipo analitico-descrittivo: partendo dai parametri che caratterizzano i litorali e dallo studio di alcune fra le componenti descrittive di un'unità fisiografica (ossia l'insieme dei fattori che contribuiscono a regolare l'equilibrio di un tratto di costa: la conformazione morfologica emersa e sommersa, il regime degli apporti solidi dei principali corsi d'acqua, l'orientamento della linea di riva) e delle relazioni d'interdipendenza fra le suddette componenti, si è giunti all'individuazione delle unità fisiografiche dal punto di vista morfologico, che costituiscono i litorali della penisola italiana e delle isole maggiori.

Le unità fisiografiche così individuate sono state successivamente classificate secondo i morfotipi riportati nella Tabella 4.

Id	Morfologia	Definizione
01	golfo	ampia rientranza della terra ferma rispetto al mare
04	baia	esigua rientranza della terra ferma rispetto al mare
06	falcata	ampio tratto di costa bassa debolmente arcuata
08	promontorio	tratto di costa sporgente verso mare e con rilievi più o meno accentuati
09	successione di promontori e baie	
12	porto	strutture portuali industriali, commerciali e marine
15	cordone	cumuli allungati paralleli alla linea di riva generatisi per trasporto in sospensione di sedimenti più fini
16	piana alluvionale	pianura costiera generatasi in corrispondenza di foci fluviali

Tabella 4. Classificazione delle unità fisiografiche – APAT -

I parametri considerati sono:
1) morfologia emersa della costa;
2) morfologia sommersa della costa (andamento delle linee batimetriche lungo costa);
3) orientamento della linea di riva;
4) natura litologica della costa.

Morfologia emersa della costa

L'analisi è stata effettuata in base all'osservazione di alcune forme caratteristiche indicanti il verso del trasporto litoraneo, di cui le principali sono:
- dissimmetrie nelle spiagge concorrenti ad un promontorio o ad una punta;
- processi di accumulo o erosione a seguito della costruzione di opere intercettanti il trasporto litoraneo;
- deviazione delle foci fluviali nel verso della deriva litoranea.

La morfologia della costa ha un'importanza fondamentale sulla distribuzione dei sedimenti. Ad esempio lungo una costa frastagliata, caratterizzata da profonde baie separate da promontori, in corrispondenza dei promontori stessi, per effetto sia dell'accentuarsi dell'altezza che della ripidità dell'onda, si ha una concentrazione di energia. In conseguenza si sviluppa un'intensa azione di abrasione marina e il materiale è indotto a scorrere lungo le pareti rocciose. I materiali più grossolani si depositano al piede dei promontori, mentre le sabbie più sottili sono sospinte nella parte più profonda delle baie, dando origine a spiagge protette (*pocket beaches*).

Morfologia sommersa della costa

L'andamento delle linee batimetriche sotto costa dà indicazioni sulla morfologia del fondale marino, evidenziandone l'acclività e la profondità rispetto al lmm. Si è considerato che il trasporto solido lungo costa si interrompa al di sotto della profondità dei 10m, mentre al di sopra di tale profondità, in assenza di ostacoli naturali (barre, promontori rocciosi, truogoli, ecc.) o artificiali (pontili, moli, manufatti industriali, ecc.), i sedimenti possano distribuirsi uniformemente. Dall'andamento delle linee batimetriche si sono definite alcune unità fisiografiche anche per omogeneità di profondità e pendenza: quei tratti di costa in cui la linea di riva risultava mediamente frastagliata, con piccole insenature dell'ordine di pochi metri di larghezza e pareti verticali non degradanti verso mare, e con profondità marine superiori ai 10m, sono stati considerati facenti parte della stessa unità fisiografica.

In alcuni casi i limiti estremi dell'unità coincidono con promontori, capi e punte molto prominenti verso mare, anche in presenza sottocosta di fondali inferiori ai 10m.

Orientamento della linea di riva

Sono stati confrontati fra loro i vari tratti costieri, a seconda del loro orientamento al propagarsi delle onde e dei venti. La diversa conformazione dei tratti di costa può infatti dare origine a zone esposte o ridossate ai mari e ai venti.

Natura litolgica della costa

La natura dei terreni che costituiscono il tratto di costa in esame è importante poiché può dare informazioni sull'energia del moto ondoso presente nell'area in oggetto. Infatti laddove si hanno coste alte costituite da ammassi rocciosi senza formazione di piccoli depositi di materiale sciolto, si ha energia di moto ondoso elevata. E' anche vero che il moto ondoso in questi tratti di costa erode al piede le scarpate, e tende a conferire, a lungo termine, un andamento rettilineo alla linea di riva ("azione rettilineante del mare").

Elevata energia di moto ondoso si ha anche su spiagge costituite da materiali sciolti quali ghiaie e ciottoli: in queste zone vi è un'energia tale che non vi è sedimentazione di frazioni più sottili ovvero qualora presenti nel sedimento costituente il tratto di costa in esame, esse vengono asportate dalle correnti di trasporto litoraneo.

Aree a bassa energia si hanno prevalentemente lungo tutti quei litorali in cui gli apporti di sedimenti (foci fluviali) sono cospicui e i depositi lungo la costa sono costituiti da spiagge sabbiose. Tali spiagge restano generalmente stabili fin quando non intervengono cause esterne che ne cambiano il loro equilibrio (scarsi apporti fluviali, opere antropiche).

Il metodo di analisi utilizzato si basa sullo studio della cartografia circa l'andamento delle linee batimetriche e delle isoipse lungo costa, la morfologia e l'orientamento della linea di riva, e il tipo di costa. I dati utilizzati sono in formato cartaceo e digitale.

Le informazioni cartografiche utilizzate derivano dalle carte nautiche, da ortofoto in formato digitale (voli relativi agli anni 1994,'98 e '99), dalle tavolette topografiche I.G.M.I. in scala 1:25000, dall'Atlante delle Spiagge Italiane in formato cartaceo e digitale in scala 1:100000, e da varie ricerche e studi prettamente di sedimentologia costiera in formato cartaceo.

La suddivisione dei litorali italiani in Unità Fisiografiche Morfologiche, elencate in Tabella 5, comprende tutto il territorio italiano peninsulare (da Cap Martin in Francia a Punta Madonna in Slovenia), la Sicilia, la Sardegna e le altre isole maggiori (Elba,Giglio, Ponza, Ischia, Capri, Stromboli, Lipari, Ustica, Favignana, Pantelleria, Lampedusa, Asinara e S. Pietro) escludendo le isole più piccole.

Complessivamente sono state individuate 330 unità:

- 131 unità fisiografiche morfologiche lungo i litorali del territorio peninsulare;
- 45 unità lungo i litorali della Sicilia;
- 57 unità lungo i litorali della Sardegna (compresa l'isola di S.Antioco);
- 23 unità lungo i litorali dell'Isola d'Elba (Arcipelago Toscano);
- 9 unità lungo i litorali dell'Isola del Giglio (Arcipelago Toscano);
- 7 unità lungo i litorali di Ponza (Isole Pontine);
- 7 unità lungo i litorali di Ischia (Isole Partenopee);
- 8 unità lungo i litorali di Capri;
- 4 unità lungo i litorali di Stromboli (Isole Eolie);
- 5 unità lungo i litorali di Lipari (Isole Eolie);
- 6 unità lungo i litorali di Ustica;
- 5 unità lungo i litorali di Favignana (Isole Egadi);
- 8 unità lungo i litorali di Pantelleria;
- 4 unità lungo i litorali di Lampedusa (Isole Pelagie);
- 7 unità lungo i litorali dell'Asinara;
- 4 unità lungo i litorali dell'Isola di S.Pietro.

Elenco Unità Fisiografiche – (APAT 2006)

Tabella 5

Nome_UF	Limite 1	Limite 2	Morfologia	Id_Morf	Id_UF	Lunghezza km
Punta Salippi	Punta Salippi	Punta Maestra Fornelli	Promontorio	O8	ASI001-00	5,57
Cala Scombro di Fuori	Punta Maestra Fornelli	Punta Tumbarino	Successione promontori e baie	O9	ASI002-00	8,66
Asinara ovest	Punta Tumbarino	Punta Grabara	Successione promontori e baie	O9	ASI003-00	17,17
Porto Mannu	Punta Grabara	Punta dello Scorno	Falcata	O6	ASI004-00	8,55
Cala d'Oliva	Punta dello Scorno	Punta Trabuccato	Successione promontori e baie	O9	ASI005-00	17,21
Reale	Punta Trabuccato	Punta Barbarossa	Golfo	O1	ASI006-00	31,74
Fornelli	Punta Barbarossa	Punta Salippi	Promontorio	O8	ASI007-00	6,59
Capri ovest	Punta dell'Arcera	Punta Carena	Successione promontori e baie	O9	CAP001-00	4,65
Capri sud	Punta Carena	Punta Ventroso	Successione promontori e baie	O9	CAP002-00	3,13
Marina Piccola	Punta Ventroso	Punta di Tragara	Golfo	O1	CAP003-00	3,86
Capri est	Punta di Tragara	Punta della Chiavica	Successione promontori e baie	O9	CAP004-00	2,67
Capo Tiberio	Punta della Chiavica	Punta del Capo	Promontorio	O8	CAP005-00	1,55
Marina Grande	Punta del Capo	Porto di Marina Grande	Golfo	O1	CAP006-00	2,75
Capri nord	Porto di Marina Grande	Punta Trasete	Falcata	O6	CAP007-00	2
Anacapri	Punta Trasete	Punta dell'Arcera	Promontorio	O8	CAP008-00	1,97
Nisporto	Capo Vita	Punta Falconaia	Successione promontori e baie	O9	ELB001-00	11,33
Portoferraio	Punta Falconaia	Punta Falcone	Golfo	O1	ELB002-00	12,5
Monte Enfola	Punta Falcone	Capo d'Enfola	Promontorio	O8	ELB003-00	7,84
Procchio	Capo d'Enfola	Punta della Crocetta	Golfo	O1	ELB004-00	14,88
Marciana Marina	Punta della Crocetta	Molo porto Marciana Marina	Porto	12	ELB005-00	0,93
S. Andrea	Molo porto Marciana Marina	Capo S. Andrea	Promontorio	O8	ELB006-00	7,74
Zanca	Capo S. Andrea	Punta Polveraia	Promontorio	O8	ELB007-00	3,77
Colle d'Orano	Punta Polveraia	Punta Nera	Promontorio	O8	ELB008-00	3,68
Pomonte	Punta Nera	Punta Fetovaia	Promontorio	O8	ELB009-00	8,23
Seccheto	Punta Fetovaia	Capo di Poro	Falcata	O6	ELB010-00	9,63
Marina di Campo	Capo di Poro	Capo di Fonza	Golfo	O1	ELB011-00	9,58
Lacona	Capo di Fonza	Capo Stella	Golfo	O1	ELB012-00	7,96
Golfo Stella	Capo Stella	Punta Morcone	Golfo	O1	ELB013-00	12,19

Capoliveri	Punta Morcone	Punta Calamita	Promontorio	O8	ELB014-00	5,35
Punta dei Ripalti	Punta Calamita	Punta dei Ripalti	Golfo	O1	ELB015-00	3,56
Monte Calamita	Punta dei Ripalti	Capo Calvo	Promontorio	O8	ELB016-00	4,43
Capo Calvo	Capo Calvo	Capo Focardo	Successione promontori e baie	O9	ELB017-00	5,12
Porto Azzurro	Capo Focardo	Punta dello Stendardo	Golfo	O1	ELB018-00	5,19
S. Caterina	Punta dello Stendardo	Punta delle Cannelle	Successione promontori e baie	O9	ELB019-00	3,63
Ortano	Punta delle Cannelle	Capo Ortano	Successione promontori e baie	O9	ELB020-00	3,56
Monte Fico	Capo Ortano	Molo porto di Rio Marina	Promontorio	O8	ELB021-00	2,99
Rio Marina	Molo porto di Rio Marina	Capo Pero	Falcata	O6	ELB022-00	4,51
Cavo	Capo Pero	Capo Vita	Promontorio	O8	ELB023-00	6,12
Favignana porto	Punta Calarossa	Punta Faraglione	Successione promontori e baie	O9	FAV001-00	11,38
Favignana nord ovest	Punta Faraglione	Punta Sottile	Promontorio	O8	FAV002-00	5,75
Favignana ovest	Punta Sottile	Isola Galera	Promontorio	O8	FAV003-00	5,92
Favignana sud	Isola Galera	Punta Fanfalo	Golfo	O1	FAV004-00	11,93
Favignana est	Punta Fanfalo	Punta Calarossa	Promontorio	O8	FAV005-00	4,05
Giglio est	Punta Torricella	Punta Castellari	Golfo	O1	GIG001-00	4,24
Giglio porto	Punta Castellari	Punta del Lazzaretto	Golfo	O1	GIG002-00	3,36
Giglio nord est	Punta del Lazzaretto	Punta del Morto	Promontorio	O8	GIG003-00	5,05
Giglio nord	Punta del Morto	Punta del Fenaio	Promontorio	O8	GIG004-00	1,04
Campese	Punta del Fenaio	Punta Faraglione	Golfo	O1	GIG005-00	5,19
Giglio ovest	Punta Faraglione	Punta di Mezzo Franco	Promontorio	O8	GIG006-00	2,18
Cala dell'Allume	Punta di Mezzo Franco	Punta Penna	Promontorio	O8	GIG007-00	4,45
Giglio sud ovest	Punta Penna	Punta di Capel Rosso	Promontorio	O8	GIG008-00	4,95
Giglio sud est	Punta di Capel Rosso	Punta Torricella	Promontorio	O8	GIG009-00	3,59
Forio	Punta Caruso	Punta Imperatore	Falcata	O6	ISC001-00	7,58
Ischia sud ovest	Punta Imperatore	Punta S. Angelo	Successione promontori e baie	O9	ISC002-00	6,71
Ischia sud	Punta S. Angelo	Capo Grosso	Falcata	O6	ISC003-00	3,84
Ischia sud est	Capo Grosso	Punta S. Pancrazio	Falcata	O6	ISC004-00	3,57
Ischia Castello	Punta S. Pancrazio	Castello d'Ischia	Promontorio	O8	ISC005-00	5,83
Casamicciola	Castello d'Ischia	Punta di Monte Vico	Falcata	O6	ISC006-00	11,35
Ischia nord	Punta di Monte Vico	Punta Caruso	Promontorio	O8	ISC007-00	3,13
Lampedusa est	Punta Sottile	Capo Grecale	Promontorio	O8	LAM001-00	7,32
Lampedusa nord	Capo Grecale	Punta Parise	Promontorio	O8	LAM002-00	14,11
Lampedusa ovest	Punta Parise	Capo Ponente	Promontorio	O8	LAM003-00	1,39
Lampedusa sud	Capo Ponente	Punta Sottile	Promontorio	O8	LAM004-00	21,74

Lipari porto	Punta Crepazza	Promontorio Monte Rosa	Golfo	O1	LIP001-00	8,83
Lipari est	Promontorio Monte Rosa	Punta Castagna	Falcata	O6	LIP002-00	7,58
Lipari nord	Punta Castagna	Punta Legno Nero	Promontorio	O8	LIP003-00	3,94
Lipari ovest	Punta Legno Nero	Punta Palmeto	Promontorio	O8	LIP004-00	5,14
Lipari sud ovest	Punta Palmeto	Punta Crepazza	Falcata	O6	LIP005-00	10,48
Pantelleria nord	Punta Spadillo	Punta S. Leonardo	Promontorio	O8	PAN001-00	10,99
Porto Pantelleria	Punta S. Leonardo	Punta della Croce	Porto	12	PAN002-00	3,51
Sesi	Punta della Croce	Punta Fram	Promontorio	O8	PAN003-00	4,93
Pantelleria ovest	Punta Fram	Punta delle Tre Pietre	Falcata	O6	PAN004-00	6,56
Scauri	Punta delle Tre Pietre	Punta del Rosso di Nica	Falcata	O6	PAN005-00	4,3
Pantelleria sud	Punta del Rosso di Nica	Punta Limarsi	Promontorio	O8	PAN006-00	8,19
Dietro Isola	Punta Limarsi	Punta Tracino	Promontorio	O8	PAN007-00	11,06
Pantelleria nord ovest	Punta Tracino	Punta Spadillo	Promontorio	O8	PAN008-00	7,62
Mentone	Cap Martin (Francia)	Capo Mortola	Golfo	O1	PEN001-00	9,09
Ventimiglia	Capo Mortola	Capo S. Ampeglio	Falcata	O6	PEN002-00	11,03
Imperia	Capo S. Ampeglio	Capo Mele	Successione promontori e baie	O9	PEN003-00	60,5
Albenga	Capo Mele	Capo Noli	Golfo	O1	PEN004-00	41,36
Spotorno	Capo Noli	Bergeggi	Golfo	O1	PEN005-00	6,8
Bergeggi	Bergeggi	Capo di Vado	Promontorio	O8	PEN006-00	3,48
Vado Ligure	Capo di Vado	Molo sopraflutto porto di Savona	Golfo	O1	PEN007-00	10,57
Savona	Molo sopraflutto porto di Savona	Molo sottoflutto porto di Savona	Porto	12	PEN008-00	5,03
Varazze	Molo sottoflutto porto di Savona	Molo sottoflutto Voltri	Successione promontori e baie	O9	PEN009-00	28,03
Genova	Molo sottoflutto Voltri	Molo sottoflutto Fiera	Porto	12	PEN010-00	45,28
Nervi	Molo sottoflutto Fiera	Punta Chiappa	Golfo	O1	PEN011-00	26,6
Portofino	Punta Chiappa	Punta Portofino	Promontorio	O8	PEN012-00	9,34
Chiavari	Punta Portofino	Punta di Sestri	Golfo	O1	PEN013-00	29,5
Sestri Levante	Punta di Sestri	Punta Manara	Promontorio	O8	PEN014-00	3,7
Riva Trigoso	Punta Manara	Punta Baffe	Baia	O4	PEN015-00	5,17
Torre Punta Baffe	Punta Baffe	Punta di Moneglia	Promontorio	O8	PEN016-00	3,1
Moneglia	Punta di Moneglia	Lemeglio	Golfo	O1	PEN017-00	3,35
Deiva Marina	Lemeglio	Punta di Monte Grosso	Falcata	O6	PEN018-00	10,02
Levanto	Punta di Monte Grosso	Punta del Mesco	Successione promontori e baie	O9	PEN019-00	11,74
Cinque Terre	Punta del Mesco	Punta S. Pietro	Successione promontori e baie	O9	PEN020-00	28,25
La Spezia	Punta S. Pietro	Punta di Maralunga-Lerici	Golfo	O1	PEN021-00	40,75

Lerici	Punta di Maralunga-Lerici	Punta Bianca	Promontorio	O8	PEN022-00	10,74
Viareggio	Punta Bianca	Diga della Vegliaia (porto di Livorno)	Falcata	O6	PEN023-00	73,8
Livorno	Diga della Vegliaia (porto di Livorno)	Molo sud porto di Livorno	Porto	12	PEN024-00	21,62
Antignano	Molo sud porto di Livorno	Torre del Boccale - Calafuria	Promo ntorio	O8	PEN025-00	14,45
Castiglioncello	Torre del Boccale - Calafuria	Punta Castiglioncello	Promontorio	O8	PEN026-00	14,69
Cecina	Punta Castiglioncello	Torre Populonia	Falcata	O6	PEN027-00	55,86
Piombino	Torre Populonia	Portovecchio di Piombino	Promontorio	O8	PEN028-00	18,36
Follonica	Portovecchio di Piombino	Punta Ala	Golfo	O1	PEN029-00	41,02
Castiglione della Pescaia	Punta Ala	Talamone	Piana alluvionale	16	PEN030-00	53,27
Giannella	Talamone	Torre S. Liberata	Cordone	15	PEN031-00	19,46
Porto S. Stefano	Torre S. Liberata	Punta Lividonia	Promontorio	O8	PEN032-00	7,39
Argentarola	Punta Lividonia	Capo d'Uomo	Promontorio	O8	PEN033-00	10,08
Isola Rossa	Capo d'Uomo	Punta di Torre Ciana	Promontorio	O8	PEN034-00	8,04
Avoltore	Punta di Torre Ciana	Punta Avoltore	Baia	O4	PEN035-00	4,8
Isolotto	Punta Avoltore	Punta La Rocca	Baia	O4	PEN036-00	4,77
Port'Ercole	Punta La Rocca	Cala Galera	Promontorio	O8	PEN037-00	4,1
Feniglia	Cala Galera	Torre di S. Pancrazio	Cordone	15	PEN038-00	8,04
Montalto Marina	Torre di S. Pancrazio	Molo sottoflutto porto di Civitavecchia	Falcata	O6	PEN039-00	63,27
Civitavecchia	Molo sottoflutto porto di Civitavecchia	Molo sopraflutto porto di Civitavecchia	Porto	12	PEN040-00	4,92
Torre Marangone	Molo sopraflutto porto di Civitavecchia	Capo Linaro	Promontorio	O8	PEN041-00	8,98
Ostia Lido	Capo Linaro	Capo d'Anzio	Piana alluvionale	16	PEN042-00	110,38
Sabaudia	Capo d'Anzio	Capo Circeo	Falcata	O6	PEN043-00	52,71
Terracina	Capo Circeo	Punta dello Stendardo	Falcata	O6	PEN044-00	56,79
Formia	Punta dello Stendardo	Torre del Fico	Golfo	O1	PEN045-00	19,15
Castel Volturno	Torre del Fico	Capo Miseno	Falcata	O6	PEN046-00	78,19
Pozzuoli	Capo Miseno	Porto di Pozzuoli	Golfo	O1	PEN047-00	18,36
Bacoli	Porto di Pozzuoli	Isola di Nisida	Golfo	O1	PEN048-00	11,16
Marechiaro	Isola di Nisida	Capo Posillipo	Promontorio	O8	PEN049-00	6,55
Posillipo	Capo Posillipo	Castel dell'Ovo (Napoli)	Golfo	O1	PEN050-00	7,88
Napoli	Castel dell'Ovo (Napoli)	Molo sud darsena di Levante (Napoli)	Porto	12	PEN051-00	18,54
Torre del Greco	Molo sud darsena di Levante (Napoli)	Molo sopraflutto Torre Annunziata	Golfo	O1	PEN052-00	19,85
Pompei	Molo sopraflutto Torre Annunziata	Molo sottoflutto Castellammare di Stabia	Golfo	O1	PEN053-00	11,57

Sorrento	Molo sottoflutto Castellammare di Stabia	Punta del Capo	Promontorio	O8	PEN054-00	17,31
Massa Lubrense	Punta del Capo	Punta Campanella	Promontorio	O8	PEN055-00	12,37
Nerano	Punta Campanella	Punta Germano	Promontorio	O8	PEN056-00	18,6
Positano	Punta Germano	Capo Sottile	Baia	O4	PEN057-00	8,36
Praiano	Capo Sottile	Capo di Conca	Promontorio	O8	PEN058-00	5,64
Amalfi	Capo di Conca	Capo d'Orso	Baia	O4	PEN059-00	14,48
Vietri sul Mare	Capo d'Orso	Molo sottoflutto porto di Salerno	Golfo	O1	PEN060-00	9,65
Salerno	Molo sottoflutto porto di Salerno	Porticciolo Masuccio Salernitano	Porto	12	PEN061-00	4,74
Agropoli	Porticciolo Masuccio Salernitano	Punta Tresino	Golfo	O1	PEN062-00	48,95
Castellabate	Punta Tresino	Punta Licosa	Promontorio	O8	PEN063-00	12,05
Ogliastro	Punta Licosa	Punta d'Ogliastro	Promontorio	O8	PEN064-00	4,41
Acciaroli	Punta d'Ogliastro	Torre La Punta	Falcata	O6	PEN065-00	16,17
Ascea	Torre La Punta	Torre del Telegrafo	Falcata	O6	PEN066-00	13,05
Palinuro	Torre del Telegrafo	Capo Palinuro	Falcata	O6	PEN067-00	18,42
Marina di Camerota	Capo Palinuro	Punta Zincalo	Promontorio	O8	PEN068-00	16,89
Monte di Luna	Punta Zincalo	Punta degli Infreschi	Promontorio	O8	PEN069-00	5,65
S. Giovanni a Piro	Punta degli Infreschi	Punta del Monaco	Golfo	O1	PEN070-00	10,65
Sapri	Punta del Monaco	Punta di Mezzanotte	Golfo	O1	PEN071-00	21,63
Maratea	Punta di Mezzanotte	Torre di Caino	Golfo	O1	PEN072-00	21,48
Praia a Mare	Torre di Caino	Capo Scalea	Golfo	O1	PEN073-00	16,95
Diamante	Capo Scalea	Capo Bonifati	Falcata	O6	PEN074-00	38,17
Paola	Capo Bonifati	Capo Suvero	Falcata	O6	PEN075-00	74,8
S. Eufemia	Capo Suvero	Porto di Vibo Valentia	Golfo	O1	PEN076-00	39,21
Tropea	Porto di Vibo Valentia	Capo Vaticano	Promontorio	O8	PEN077-00	34,41
Ioppolo	Capo Vaticano	Torre Ioppolo	Promontorio	O8	PEN078-00	8,3
Nicotera	Torre Ioppolo	Porto di Gioia Tauro	Golfo	O1	PEN079-00	20,39
Gioia Tauro	Porto di Gioia Tauro	Capo Barbi	Golfo	O1	PEN080-00	9,15
Palmi	Capo Barbi	Torre Rosci	Falcata	O6	PEN081-00	9,1
Bagnara Calabra	Torre Rosci	Promontorio di Scilla	Falcata	O6	PEN082-00	12,39
Scilla	Promontorio di Scilla	Punta Pezzo	Promontorio	O8	PEN083-00	8,28
Villa S. Giovanni	Punta Pezzo	Molo porto Villa S. Giovanni	Promontorio	O8	PEN084-00	30,6
Reggio Calabria	Molo porto Villa S. Giovanni	Molo porto Reggio Calabria	Promontorio	O8	PEN085-00	30,6
Pellaro	Molo porto Reggio Calabria	Punta Pellaro	Promontorio	O8	PEN086-00	30,6
Riace	Punta Pellaro	Porto Salvo	Promontorio	O8	PEN087-00	17,48
Melito	Porto Salvo	Capo Spartivento	Promontorio	O8	PEN088-00	28,5
Locri	Capo Spartivento	Punta Stilo	Promontorio	O8	PEN089-00	79,71
Squillace	Punta Stilo	Le Castella	Golfo	O1	PEN090-00	90,01
Le Castella	Le Castella	Capo Rizzuto	Golfo	O1	PEN091-00	9,71
Isola Capo Rizzuto	Capo Rizzuto	Capo Cimiti	Falcata	O6	PEN092-00	12,19

Monte Perrotta	Capo Cimiti	Capo Colonna	Promontorio	O8	PEN093-00	11,88
Crotone	Capo Colonna	Molo sopraflutto Crotone	Falcata	O6	PEN094-00	12,93
Trebisacce	Molo sopraflutto Crotone	Punta Alice	Falcata	O6	PEN095-00	42,65
Capo Trionto	Punta Alice	Porto di Sibari	Falcata	O6	PEN096-00	70,87
Sibari	Porto di Sibari	Capo Spulico	Golfo	O1	PEN097-00	36,1
Metaponto	Capo Spulico	Molo nord darsena nuova (Taranto)	Golfo	O1	PEN098-00	87,53
Taranto	Molo nord darsena nuova (Taranto)	Capo S. Vito	Porto	12	PEN099-00	30,54
Pulsano	Capo S. Vito	Torre dell'Ovo	Falcata	O6	PEN100-00	40,59
Porto Cesareo	Torre dell'Ovo	Torre Inserraglio	Falcata	O6	PEN101-00	59,41
Gallipoli	Torre Inserraglio	Porto di Gallipoli	Falcata	O6	PEN102-00	29,51
S. Giovanni	Porto di Gallipoli	Punta del Pizzo	Golfo	O1	PEN103-00	12,84
Ugento	Punta del Pizzo	Capo S. Maria di Leuca	Promontorio	O8	PEN104-00	49,95
Tricase	Capo S. Maria di Leuca	Capo d'Otranto	Promontorio	O8	PEN105-00	51,35
Otranto	Capo d'Otranto	Porto di Otranto	Promontorio	O8	PEN106-00	7,24
S. Cataldo	Porto di Otranto	Capo di Torre Cavallo	Falcata	O6	PEN107-00	88,6
Torre Cavallo	Capo di Torre Cavallo	Isole Pedagne Grandi	Falcata	O6	PEN108-00	3,56
Brindisi	Isole Pedagne Grandi	Punta Riso	Porto	12	PEN109-00	20,25
Punta Penne	Punta Riso	Punta Penne	Promontorio	O8	PEN110-00	7,16
Ostuni	Punta Penne	Porto di Monopoli	Falcata	O6	PEN111-00	96,43
Mola di Bari	Porto di Monopoli	Molo sopraflutto Bari	Falcata	O6	PEN112-00	60,31
Bari	Molo sopraflutto Bari	Molo sottoflutto Bari	Porto	12	PEN113-00	11,86
Molfetta	Molo sottoflutto Bari	Porto di Molfetta	Falcata	O6	PEN114-00	26,55
Manfredonia	Porto di Molfetta	Torre Proposti	Golfo	O1	PEN115-00	137,53
Pugnochiuso	Torre Proposti	Testa del Gargano	Promontorio	O8	PEN116-00	8,69
Vieste	Testa del Gargano	Vieste	Falcata	O6	PEN117-00	10,98
Peschici	Vieste	Peschici	Promontorio	O8	PEN118-00	26,94
Lesina e Varano	Peschici	Molo sopraflutto Termoli	Falcata	O6	PEN119-00	94,83
Vasto	Molo sopraflutto Termoli	Punta Penna	Falcata	O6	PEN120-00	36,38
Pescara	Punta Penna	Promontorio Monte Conero	Falcata	O6	PEN121-00	208,63
Monte Conero	Promontorio Monte Conero	Molo antemurale est porto di Ancona	Promontorio	O8	PEN122-00	16,4
Ancona	Molo antemurale est porto di Ancona	Molo sopraflutto nuova darsena (Ancona)	Porto	12	PEN123-00	6,9
Rimini	Molo sopraflutto nuova darsena (Ancona)	Chioggia	Piana alluvionale	16	PEN124-00	306,53
Chioggia	Chioggia	Malamocco	Cordone	15	PEN125-00	19,59
Venezia	Malamocco	Porto di Lido	Cordone	15	PEN126-00	16,83
Jesolo	Porto di Lido	Lignano Sabbiadoro	Piana alluvionale	16	PEN127-00	78,95

Grado	Lignano Sabbiadoro	Porto di Monfalcone	Cordone	15	PEN128-00	72,2
Monfalcone	Porto di Monfalcone	Faro della Vittoria (Trieste)	Golfo	O1	PEN129-00	36,46
Trieste	Faro della Vittoria (Trieste)	Punta Sottile	Porto	12	PEN130-00	35,84
Istria	Punta Sottile	Punta Madonna (Slovenia)	Promontorio	O8	PEN131-00	29,7
Ponza est	Punta dell'Incenso	Punta Frontone	Golfo	O1	PON001-00	5,92
Ponza Porto	Punta Frontone	Punta Madonna	Porto	12	PON002-00	4,58
Ponza sud est	Punta Madonna	Punta della Guardia	Promontorio	O8	PON003-00	3,67
Chiaia di Luna	Punta della Guardia	Capo Bianco	Baia	O4	PON004-00	4,65
Ponza ovest	Capo Bianco	Capo Bosco	Promontorio	O8	PON005-00	4,2
Cala Feola	Capo Bosco	Punta del Papa	Baia	O4	PON006-00	4,89
Ponza nord	Punta del Papa	Punta dell'Incenso	Promontorio	O8	PON007-00	4,48
Castelsardo	Castelsardo	Punta li Canneddi	Falcata	O6	SAR001-00	27,84
Costa Paradiso	Punta li Canneddi	Punta li Francesi	Falcata	O6	SAR002-00	32,84
Vignola	Punta li Francesi	Capo di Monte Russu	Golfo	O1	SAR003-00	11,08
Monte Russu	Capo di Monte Russu	Promontorio Monte Bianco	Baia	O4	SAR004-00	10,25
Capo Testa	Promontorio Monte Bianco	Capo Testa	Baia	O4	SAR005-00	14,92
S. Teresa di Gallura	Capo Testa	Punta Marmorata	Successione promontori e baie	O9	SAR006-00	21
Porto Liscia	Punta Marmorata	Punta Sardegna	Successione promontori e baie	O9	SAR007-00	43,42
Palau	Punta Sardegna	Capo d'Orso	Baia	O4	SAR008-00	11,97
Arzachena	Capo d'Orso	Capo Ferro	Successione promontori e baie	O9	SAR009-00	39,23
Porto Cervo	Capo Ferro	Punta Capaccia	Successione promontori e baie	O9	SAR010-00	19,48
Porto Rotondo	Punta Capaccia	Capo Figari	Golfo	O1	SAR011-00	62,73
Olbia	Capo Figari	Capo Ceraso	Golfo	O1	SAR012-00	70,49
Costa Dorata	Capo Ceraso	Capo Coda Cavallo	Successione promontori e baie	O9	SAR013-00	29,05
S. Teodoro	Capo Coda Cavallo	Punta d'Ottiolu	Golfo	O1	SAR014-00	22,87
Siniscola	Punta d'Ottiolu	Capo Comino	Successione promontori e baie	O9	SAR015-00	34,35
Orosei	Capo Comino	Capo Monte Santu	Golfo	O1	SAR016-00	70,26
Arbatax	Capo Monte Santu	Capo Bellavista	Falcata	O6	SAR017-00	23,49
Quirra	Capo Bellavista	Capo Ferrato	Successione promontori e baie	O9	SAR018-00	92,11
Costa Rei	Capo Ferrato	Punta de is Cappuccinus	Golfo	O1	SAR019-00	20,42
Villasimius	Punta de is Cappuccinus	Capo Carbonara	Promontorio	O8	SAR020-00	16,33

Capo Boi	Capo Carbonara	Capo Boi	Golfo	O1	SAR021-00	15,04
Quartu S. Elena	Capo Boi	Capo S. Elia	Golfo	O1	SAR022-00	39,63
Cagliari	Capo S. Elia	Molo porto di Cagliari	Porto	12	SAR023-00	8,8
Sarroch	Molo porto di Cagliari	Punta Zavorra	Golfo	O1	SAR024-00	24,13
Pula	Punta Zavorra	Capo di Pula	Promontorio	O8	SAR025-00	11,62
S. Margherita	Capo di Pula	Capo Spartivento	Promontorio	O8	SAR026-00	24,02
Capo Spartivento	Capo Spartivento	Capo Malfatano	Baia	O4	SAR027-00	15,18
Teulada	Capo Malfatano	Capo Teulada	Golfo	O1	SAR028-00	36,68
Cala Piombo	Capo Teulada	Punta di Cala Piombo	Golfo	O1	SAR029-00	10,47
Porto Pino	Punta di Cala Piombo	Punta del Menga	Falcata	O6	SAR030-00	14,17
Palmas	Punta del Menga	Capo Sperone	Golfo	O1	SAR031-00	45,76
Isola S. Antioco	Capo Sperone	Scoglio Mangiabarche	Promontorio	O8	SAR032-00	25,09
Calasetta	Scoglio Mangiabarche	Calasetta	Promontorio	O8	SAR033-00	7,11
Portoscuso	Calasetta	Capo Altano	Baia	O4	SAR034-00	60,71
Fontanamare	Capo Altano	Scoglio Pan di Zucchero	Golfo	O1	SAR035-00	20,36
Pan di Zucchero	Scoglio Pan di Zucchero	Cala Domestica	Promontorio	O8	SAR036-00	9,14
Buggerru	Cala Domestica	Capo Pecora	Golfo	O1	SAR037-00	16,64
Costa Verde	Capo Pecora	Capo della Frasca	Falcata	O6	SAR038-00	53,07
Oristano	Capo della Frasca	Capo S. Marco	Golfo	O1	SAR039-00	69,79
Sinis	Capo S. Marco	Capo Mannu	Piana alluvionale	16	SAR040-00	29,4
Is Arenas	Capo Mannu	Torre Pittinuri	Falcata	O6	SAR041-00	20,35
Capo Nieddu	Torre Pittinuri	Capo Nieddu	Falcata	O6	SAR042-00	7,23
Bosa	Capo Nieddu	Capo Marargiu	Falcata	O6	SAR043-00	38,74
Punta Poglina	Capo Marargiu	Punta Poglina	Falcata	O6	SAR044-00	27,43
Alghero	Punta Poglina	Capo Galera	Golfo	O1	SAR045-00	33,74
Punta Giglio	Capo Galera	Punta Giglio	Promontorio	O8	SAR046-00	4,3
Porto Conte	Punta Giglio	Capo Caccia	Baia	O4	SAR047-00	20,64
Capo Caccia	Capo Caccia	Puntetta della Ghisciera	Promontorio	O8	SAR048-00	13,1
Porto Ferro	Puntetta della Ghisciera	Torre Bianca	Baia	O4	SAR049-00	13,06
Capo dell'Argentiera	Torre Bianca	Capo dell'Argentiera	Falcata	O6	SAR050-00	10,78
Porto Palmas	Capo dell'Argentiera	Capo Mannu	Falcata	O6	SAR051-00	13,61
Isolotto dei Porri	Capo Mannu	Punta Scoglietti	Falcata	O6	SAR052-00	32,27
Capo Falcone	Punta Scoglietti	Capo Falcone	Promontorio	O8	SAR053-00	8,36
La Pelosa	Capo Falcone	Punta Negra	Promontorio	O8	SAR054-00	5,34
Stintino	Punta Negra	Molo sopraflutto Porto Torres	Golfo	O1	SAR055-00	28,23
Porto Torres	Molo sopraflutto Porto Torres	Molo sottoflutto Porto Torres	Porto	12	SAR056-00	2,73
Platamona	Molo sottoflutto Porto Torres	Castelsardo	Golfo	O1	SAR057-00	34,17
Mortelle	Capo Peloro	Acqualadroni	Falcata	O6	SIC001-00	10,91
Milazzo	Acqualadroni	Capo Milazzo	Falcata	O6	SIC002-00	39,11

Oliveri	Capo Milazzo	Capo Tindari	Baia	O4	SIC003-00	37,32
Patti	Capo Tindari	Capo Calava	Baia	O4	SIC004-00	13,93
Brolo	Capo Calava	Capo d'Orlando	Falcata	O6	SIC005-00	17,63
S.Stefano di Camastra	Capo d'Orlando	Capo Cefalu	Falcata	O6	SIC006-00	76,99
Termini Imerese	Capo Cefalu	Capo Zafferano	Falcata	O6	SIC007-00	64,5
Monte Catalfano	Capo Zafferano	Capo Mongerbino	Promontorio	O8	SIC008-00	3,94
Ficarazzi	Capo Mongerbino	Molo sud porto di Palermo	Golfo	O1	SIC009-00	15,39
Palermo	Molo sud porto di Palermo	Punta Arenella	Porto	12	SIC010-00	12,13
Arenella	Punta Arenella	Punta di Priola	Promontorio	O8	SIC011-00	5,2
Mondello	Punta di Priola	Capo Gallo	Golfo	O1	SIC012-00	7,83
Sferracavallo	Capo Gallo	Punta del Passaggio (Isola delle Femmine)	Successione promontori e baie	O9	SIC013-00	11,06
Carini	Punta del Passaggio (Isola delle Femmine)	Torre Muzza	Baia	O4	SIC014-00	11,26
Punta Raisi	Torre Muzza	Punta Molinazzo	Promontorio	O8	SIC015-00	11,23
Terrasini	Punta Molinazzo	Porto di Terrasini	Baia	O4	SIC016-00	2,19
Capo Rama	Porto di Terrasini	Capo Rama	Successione promontori e baie	O9	SIC017-00	5,72
Monte Palmeto	Capo Rama	Citta' del Mare	Golfo	O1	SIC018-00	4,66
Castellammare del Golfo	Citta' del Mare	Punta Cala Bianca	Falcata	O6	SIC019-00	26,18
Scopello	Punta Cala Bianca	Punta Solanto	Successione promontori e baie	O9	SIC020-00	25,18
S. Vito Lo Capo	Punta Solanto	Capo S. Vito	Promontorio	O8	SIC021-00	5,09
Castelluzzo	Capo S. Vito	Punta del Saraceno	Golfo	O1	SIC022-00	19,06
Erice	Punta del Saraceno	Molo sud porto Trapani	Promontorio	O8	SIC023-00	26,57
Trapani	Molo sud porto Trapani	Porto di Marsala	Falcata	O6	SIC024-00	46,33
Marsala	Porto di Marsala	Molo sopraflutto Mazara del Vallo	Promontorio	O8	SIC025-00	32,7
Mazara del Vallo	Molo sopraflutto Mazara del Vallo	Capo Granitola	Falcata	O6	SIC026-00	12,94
Selinunte	Capo Granitola	Capo S. Marco	Falcata	O6	SIC027-00	36,15
Sciacca	Capo S. Marco	Porto di Sciacca	Falcata	O6	SIC028-00	6,33
Porto Empedocle	Porto di Sciacca	Molo sopraflutto Porto Empedocle	Successione promontori e baie	O9	SIC029-00	60,04
Licata	Molo sopraflutto Porto Empedocle	Molo sopraflutto porto Licata	Successione promontori e baie	O9	SIC030-00	52,62
Gela	Molo sopraflutto porto Licata	Capo Scaramia	Golfo	O1	SIC031-00	81,28
Scicli	Capo Scaramia	Porto di Pozzallo	Falcata	O6	SIC032-00	37,33
Pozzallo	Porto di Pozzallo	Isola delle Correnti	Golfo	O1	SIC033-00	31,43
Portopalo	Isola delle Correnti	Capo Passero	Promontorio	O8	SIC034-00	10,52

Noto	Capo Passero	Capo Murro di Porco	Golfo	O1	SIC035-00	67,36
Siracusa	Capo Murro di Porco	Capo S. Panagia	Promontorio	O8	SIC036-00	28,44
S. Panagia	Capo S. Panagia	Punta Magnisi	Baia	O4	SIC037-00	16,35
Augusta	Punta Magnisi	Capo S. Croce	Golfo	O1	SIC038-00	37,25
Monte Tauro	Capo S. Croce	Capo Campolato	Promontorio	O8	SIC039-00	11,11
Brucoli	Capo Campolato	Punta Castelluzzo	Successione promontori e baie	O9	SIC040-00	12,02
Catania	Punta Castelluzzo	Molo sottoflutto porto Catania	Falcata	O6	SIC041-00	27,04
Acireale	Molo sottoflutto porto Catania	Puzzillo	Promontorio	O8	SIC042-00	27,12
Taormina	Puzzillo	Capo Taormina	Promontorio	O8	SIC043-00	27,41
Ali Terme	Capo Taormina	Punta S. Ranieri	Falcata	O6	SIC044-00	50,2
Messina	Punta S. Ranieri	Capo Peloro	Promontorio	O8	SIC045-00	19,05
Carloforte	La Punta	Punta delle Colonne	Falcata	O6	SPI001-00	15,56
S. Pietro sud	Punta delle Colonne	Punta Spalmatore	Successione promontori e baie	O9	SPI002-00	7,79
S. Pietro ovest	Punta Spalmatore	Capo Sandalo	Golfo	O1	SPI003-00	9,22
S. Pietro nord	Capo Sandalo	La Punta	Successione promontori e baie	O9	SPI004-00	17,79
Stromboli nord est	Punta della Lena	Punta Labronzo	Promontorio	O8	STR001-00	3,28
Stromboli ovest	Punta Labronzo	Punta delle Chiappe	Promontorio	O8	STR002-00	2,87
Ginostra	Punta delle Chiappe	Capo Monaco	Promontorio	O8	STR003-00	4,53
Stromboli est	Capo Monaco	Punta della Lena	Promontorio	O8	STR004-00	4,78
Ustica sud est	Capo Falconara	Punta dell'Arpa	Promontorio	O8	UST001-00	4,4
Ustica sud	Punta dell'Arpa	Punta Cavazzi	Promontorio	O8	UST002-00	2,05
Ustica ovest	Punta Cavazzi	Punta dello Spalmatore	Promontorio	O8	UST003-00	1,26
Torre Spalmatore	Punta dello Spalmatore	Punta di Megna	Promontorio	O8	UST004-00	2,32
Ustica nord ovest	Punta di Megna	Punta Gorgo Salato	Promontorio	O8	UST005-00	2,4
Ustica nord est	Punta Gorgo Salato	Capo Falconara	Promontorio	O8	UST006-00	2,71

FABBISOGNO ECONOMICO PRELIMINARE PER LA DIFESA DI BENI A RISCHIO DI EROSIONE

Il rischio potenziale di erosione della costa italiana è stato individuato facendo riferimento ai tratti costieri risultati in erosione dal bilancio eseguito dalla Segreteria Tecnica per la Difesa del Suolo prendendo in considerazione l'intervallo tra il 1960 e 2000.

Nel presente lavoro è stato verificato quali beni ed infrastrutture sarebbero esposte a rischio di erosione costiera se l'attuale linea di riva arretrasse di 20 m rispetto alla sua attuale posizione, andando ad interessare aree urbane, strade, ferrovie ed altre opere che insistono sulla costa.

In questo modo, ipotizzando un proseguimento del processo erosivo, i beni così individuati sarebbero in tempi brevi, se non lo sono già, esposti a pericolo e dovrebbero essere protetti con interventi specifici.

Per una valutazione sommaria delle opere di difesa urgenti sono stati stimati i costi per chilometro lineare di opere rigide aderenti e non, ripascimenti per una larghezza di 20 m e opere miste tra le prime.

I costi unitari sono stati stimati sulla base dei prezzari e delle esperienze attuali.

Nella tabella 6 è riportata la lunghezza di costa esposta a rischio potenziale di erosione per regione e i relativi fabbisogni calcolati sulla base dei costi unitari stimati.

regioni	lunghezza di costa a potenziale rischio	fabbisogno per opere strutturali (scogliere e altre opere rigide)	fabbisogno per ripascimento (20m di larghezza)	fabbisogno medio (opere rigide + ripascimento)
ABR	19,3	€ 86,9	€ 77,2	€ 125,5
BAS	0,4	€ 1,8	€ 1,6	€ 2,6
CAL	115,4	€ 519,2	€ 461,5	€ 750,0
CAM	35,6	€ 160,4	€ 142,6	€ 231,7
EMR	24,8	€ 111,7	€ 99,3	€ 161,3
FVG	9,5	€ 42,7	€ 38,0	€ 61,7
LAZ	35,3	€ 158,8	€ 141,2	€ 229,4
LIG	48,1	€ 216,4	€ 192,4	€ 312,6
MAR	37,1	€ 167,1	€ 148,5	€ 241,3
MOL	3,7	€ 16,5	€ 14,6	€ 23,8
PUG	43,3	€ 194,7	€ 173,1	€ 281,2
SAR	11,9	€ 53,8	€ 47,8	€ 77,7
SIC	119,0	€ 535,5	€ 476,0	€ 773,5
TOS	20,4	€ 91,7	€ 81,5	€ 132,5
VEN	16,0	€ 71,9	€ 63,9	€ 103,8
totale	**539,8**	**€ 2.429,0**	**€ 2.159,1**	**€ 3.508,6**

costi medi per opere di difesa rigide e morbide rispettivamente 4,5M€/km e 4M€/km.

Tabella 6. Lunghezza di costa (Km) valutata a rischio potenziale di erosione per regione e relativi fabbisogni calcolati in milioni di euro

La stima innanzi riportata deve essere considerata solo orientativa, in quanto l'esatta quantificazione del fabbisogno economico potrà essere desunta solo a valle della redazione dei Piani di Difesa della Costa a scala regionale.

PARTE II

PREMESSA

Il Piano di Difesa delle Coste (PDC) è lo strumento fondamentale per pianificare e gestire la costa, governando l'equilibrio dinamico costiero tra energia del mare e materiale sedimentario, attraverso la riqualificazione degli ambienti naturali con l'obiettivo di produrre effetti nel lungo periodo.

A tal fine occorre considerare sia il ripristino del trasporto solido dei fiumi, sia il definitivo abbandono di ulteriori irrigidimenti della linea di costa evitando per quanto possibile opere rigide a mare ed eccessivi insediamenti sulle coste, considerando la dinamicità dell'ambiente costiero, e dando peso agli aspetti del monitoraggio e della continua manutenzione.

Il punto di partenza per una corretta gestione e difesa delle coste richiede la definizione di alcuni fattori caratterizzanti il territorio:

- l'uso del suolo e ricognizione dei problemi,
- gli aspetti sedimentologici e geomorfologici della fascia emersa e sommersa,
- la qualità delle acque,
- gli aspetti paesaggistici, soprattutto delle "aree libere",
- gli aspetti insediativi, la loro evoluzione temporale e le tendenze in atto,
- le spiagge e i ripascimenti, intesi come manutenzione costante e sostenibile che evitano l'emergenza,
- i giacimenti sedimentari
- la portualità, intesa come sviluppo economico, impatto tecnico-costruttivo e urbanistico.

Le attività vanno svolte secondo criteri, metodi, standard e modalità di coordinamento e di collaborazione tra i soggetti pubblici competenti al fine di garantire omogeneità di condizioni di salvaguardia della vita umana, del territorio degli abitati e dei beni, nonché omogeneità di modalità di utilizzazione delle risorse e dei beni e di gestione dei servizi connessi.

Il PDC persegue le finalità di:

- proteggere le coste e gli abitati dall'erosione e dall'invasione delle acque marine;
- disciplinare le attività estrattive lungo i corsi d'acqua, al fine di prevenire abbassamento degli alvei ed erosione delle coste;
- contenere i fenomeni di subsidenza dei suoli, anche mediante operazioni di disciplina degli emungimenti e di ristabilimento delle preesistenti condizioni di equilibrio delle falde sotterranee;
- individuare e quantificare delle situazioni, in atto e potenziali, di degrado del sistema fisico, nonché delle relative cause;
- pianificare la realizzazione di opere di protezione, consolidamento e sistemazione dei litorali marini mediante opere di ricostituzione della spiaggia sommersa, dei cordoni dunali e rinaturalizzazione della costa;
- caratterizzare l'eventuale utilizzo di opere rigide unicamente al fine funzionale di supporto protettivo degli interventi di ripascimento;
- pianificare l'impiego dei materiali litoidi disponibili in ambito fluviale, lacuale e marittimo e le relative fasce di rispetto, in funzione del buon regime delle acque e della tutela dell'equilibrio geostatico e geomorfologico dei terreni e dei litorali.

Il piano deve essere redatto tenendo conto dei dettami della legge 183/89 e relative disposizioni attuative per ogni unità fisiografica costiera individuata e contenere in particolare la perimetrazione dei tratti costieri a rischio di alluvione e/o erosione/frana.

Il PDC avrà valenza di piano di bacino e pertanto le relative Autorità di Bacino dovranno esprimere il loro parere di conformità, adeguando eventualmente e per quanto possibile il Piano di Bacino alle prioritarie finalità di equilibrio dinamico del tratto di litorale sotteso.

Attualmente, le norme nazionali vigenti in materia di competenze e di progettazione per la difesa delle coste sono:

- il D.L.vo 112/98 relativo al trasferimento alle regioni delle funzioni di programmazione, pianificazione e gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri;
- il D.Lvo 96/99 relativo al trasferimento dalle regioni alle province delle funzioni di programmazione, pianificazione e gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri di cui al D.L.vo 112/98;
- il Codice della navigazione marittima e relativo regolamento.

Inoltre sono da ricordare le Istruzioni tecniche per la progettazione e la esecuzione di opere di protezione delle coste (Del. Cons. Sup. LLPP n. 151 del 28/06/91).

Al fine di perseguire la sostenibilità ambientale dello sviluppo economico lungo le coste italiane e garantire il bene naturale anche alle generazioni future, occorre:

- pianificare e programmare la difesa della costa a scala di unità fisiografica in modo da:
  - preservare la naturalità delle coste per consentire la loro funzionalità nel tempo e per salvaguardare le zone riconosciute a pericolo di erosione;
  - riequilibrare il bilancio sedimentario all'interno dell'unità fisiografica costiera, tra i sedimenti apportati dai corsi d'acqua, quelli erosi dalle spiagge, quelli trasportati sui fondali e quelli trattenuti dalle opere antropiche, le quali costituiscono, comunque, elementi di interferenza con la dinamica naturale dei sedimenti;
- riconoscere l'influenza dei cambiamenti climatici sui fenomeni naturali per mitigarne gli effetti;
- intendere la difesa della costa come una fase fondamentale della "gestione integrata delle zone costiere", attuabile con azioni strategiche concertate a livello regionale e sostenuta da indirizzi, criteri generali e norme di livello nazionale.

Perché detti principi si possano attuare, si rende necessario definire e condividere le "unità fisiografiche costiere principali" favorendo la collaborazione fra i soggetti nazionali, regionali e locali competenti in materia di coste e aumentare la coesione tra le Regioni con esperienze diverse.

Nell'ambito di dette unità fisiografiche, le Regioni, sulla base di indirizzi e criteri generali nazionali, dovranno predisporre i Piani per la Difesa della Costa (PDC), regionali e interregionali, al fine di individuare organicamente gli squilibri, tutte le azioni di riequilibrio compatibili e le misure di salvaguardia e di tutela che regolino l'uso della costa.

Nel seguito del documento sono quindi riportati gli indirizzi generali per la redazione del Piano di Difesa delle Coste approfondendo alcuni aspetti particolarmente rilevanti.

PIANIFICAZIONE PER LA DIFESA DELLA COSTA

Azioni preliminari del piano

Per definire una programmazione a carattere regionale è necessario individuare quelle forzanti generali che in termini sociali, politici, tecnici e strutturali ci permettono di individuare le diverse potenzialità di erodibilità e/o di alluvionabilità delle aree costiere al fine di realizzare un documento che possa servire, in una sola volta, da strumento di programmazione e di verifica.

Il primo passo per la programmazione della difesa della costa è la scelta della scala di lavoro, che va selezionata in base alle finalità, alle dimensioni dell'area, alla variabilità delle caratteristiche della costa. Il fattore di Scala Spaziale (SS) consiste nel definire il giusto ambito entro cui un determinato indicatore può essere rilevato e monitorato.

In particolare, per le coste basse (spiagge, ecc.), la parte sommersa è intesa fino alla profondità di chiusura della spiaggia: tale tratto comprende la zona di frangimento, le barre e i truogoli che andranno adeguatamente rilevati. Per la parte emersa, le coste basse sono definite dalla battigia, dalle berme e dalle scarpate nonchè dalla spianata di spiaggia fino al piede del primo cordone dunare. Tale limite nella maggior parte dei casi è stato cancellato dall'urbanizzazione costiera, quindi il limite, verso terra, degli studi di coste basse è il piede della prima opera antropica: muro del lungomare, perimetrazione esterna, lottizzazioni etc.

Per le coste alte, la parte sommersa è intesa fino alla profondità di chiusura; la parte emersa comprende la falesia, l'eventuale deposito di crollo al piede, una fascia sommitale dal ciglio di larghezza pari alla sua altezza e comunque non inferiore a 300m.

Per le falesie "morte" cioè quelle coste alte delimitate al piede da una spiaggia, geomorfologicamente formata, la definizione di riferimento è quella delle coste basse.

La normativa nazionale individua la scala regionale come base per la redazione del Piano di Difesa della Costa (PDC) che dovrà comprendere tutte le Unità Fisiografiche (UF) afferenti alla costa regionale. Qualora un'unità fisiografica interessi il territorio di più regioni il PDC per quell'unità dovrà essere elaborato di concerto tra le regioni interessate. Potranno altresì essere elaborati stralci del PDC per una UF o gruppi di UF limitrofe. Le Regioni devono redigere materialmente il piano. E' indubbio che il rilevamento dei dati, soprattutto in quelle regioni che presentano un'estensione territoriale costiera maggiore, debba essere eseguito con il contributo degli enti territoriali locali sovracomunali (Province, Autorità di Bacino) che devono assicurare il monitoraggio del proprio territorio garantendo l'implementazione delle banche dati sulla base di standard riconosciuti a livello nazionale.

Le attività per la redazione del piano saranno articolate in tre fasi corrispondenti a diversi livelli di approfondimento:

1. Fase conoscitiva: con riferimento all'UF raccolta delle informazioni esistenti e rilevamento dei dati morfologici (topografia, batimetria, linea di costa mediante rilievi stagionali, ecc.), meteomarini (onde, correnti, livello del mare, vento, ecc.), sedimentologici ed idrologici, sulle opere costiere, sullo stato dell' antropizzazione e del dissesto del litorale, sui bacini idrografici afferenti all'UF, sull'ecosistema marino

costiero, sulla disponibilità di sedimenti e materiali per gli interventi di conservazione dei litorali.

2. Fase di perimetrazione: individuazione dei tratti costieri soggetti a pericolosità di erosione/frana, valutazione dei livelli di pericolosità e definizione delle conseguenti misure di salvaguardia;
3. Fase di programmazione: programmazione delle azioni per la conservazione, difesa, recupero e valorizzazione della fascia costiera e quantificazione del fabbisogno economico.

Di seguito viene descritta più approfonditamente ciascuna fase.

Fase conoscitiva

La scala tecnica di riferimento per la raccolta delle informazioni e per la successiva produzione di studi è la scala dell'Unità Fisiografica (regionale o interregionale).

La regione deve predisporre il documento di base in cui introdurre tutte quelle informazioni che contribuiranno a formare il primo livello conoscitivo del piano.

Il piano deve tener conto delle dinamiche in atto nei settori delle politiche urbane, dei flussi di merci, delle politiche costiere, dei flussi turistici, delle attività portuali, che dovranno svilupparsi in maniera sostenibile per l'ambiente costiero.

Il piano dovrà indicare, per ogni Unità Fisiografica, lo sviluppo temporale degli interventi esistenti sul tratto costiero con una dettagliata ricostruzione cronologica degli stessi.

A questo livello il piano dovrà contenere tutti i vincoli già esistenti sul tratto costiero di ogni Unità Fisiografica, come anche la definizione di alcuni fattori caratterizzanti il territorio:

- rappresentazione dei dati e informazioni raccolte nell'attività conoscitiva e loro elaborazione ai fini del piano;
- definizione della tipologia di costa (morfologia generale, spiaggia emersa e sommersa, batimetria, granulometrie dei sedimenti);
- descrizione della costa e tipologia dei beni a rischio;
- clima meteo-marino e caratteristiche degli eventi estremi, regime delle correnti, dei venti e del livello del mare, rappresentativi di ogni tratto dell'UF. Per queste tematiche si farà riferimento prioritario alla rete Ondametrica Nazionale e alla rete Mareografica Nazionale;
- valutazione dei fenomeni meteo-marini accaduti e del danno occorso;
- qualità delle acque;
- uso del suolo;
- apporto sedimentario dei corsi d'acqua maggiori;
- interventi di difesa, loro sviluppo cronologico e valutazione dell'efficienza;
- portualità, sia come impatto economico, che tecnico-costruttivo e urbanistico;
- opere presenti lungo i bacini idrografici sottesi;
- elementi paesaggistici, soprattutto delle "aree libere";
- patrimonio ambientale e i beni culturali di interesse rilevante;
- aspetti insediativi, loro evoluzione temporale e tendenze in atto;
- aree su cui insistono insediamenti produttivi e/o industriali, impianti tecnologici di rilievo, in particolare quelli definiti a rischio ai sensi di legge;
- infrastrutture a rete e le vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale;
- aree sede di servizi pubblici e privati, di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive ed infrastrutture primarie.

In questa prima fase di indagine i diversi elementi caratterizzanti l'Unità Fisiografica dovranno essere individuati su cartografia a scala opportunamente prescelta in funzione delle dimensioni dell'area e comunque non inferiore a 1:25.000.

Andrà predisposto a livello regionale un GIS adeguatamente strutturato ed architettato perché possa essere possibile una continua implementazione dei dati.

Per la redazione di questa parte del Piano di Difesa della Costa, le Regioni potranno utilizzare le informazioni, i dati e gli elaborati già in possesso delle Pubbliche Amministrazioni, degli Enti Pubblici e degli Istituti di Ricerca, che dovranno renderli disponibili.

Fase di perimetrazione

L'individuazione delle possibili situazioni di pericolosità di erosione dipendenti dalle condizioni sedimentarie, morfologiche, antropiche e meteomarine di un tratto di costa bassa viene effettuata attraverso metodologie capaci di calcolare l'evoluzione del fenomeno erosivo, lento o rapido, anche associato ad eventi meteomarini intensi, in funzione della concomitanza dei seguenti fattori scatenanti i processi di arretramento della linea di riva:

- la diminuzione del trasporto solido dei corsi d'acqua all'unità fisiografica a cui consegue una variazione dell'equilibrio morfodinamico litoraneo;
- la modifica morfologica della spiaggia sommersa, sintomo iniziale della instabilità dei sedimenti la cui regressione progressiva verso riva attiva lo scivolamento della sabbia verso i fondali;
- la presenza di opere costiere che interferiscono con le dinamiche sedimentarie e relative modifiche del flusso delle correnti.

Ad aggravare i processi erosivi si somma la probabilità di accadimento di eventi meteomarini intensi che accelerano gli eventuali processi geomorfologici già innescati sulla spiaggia sommersa favorendo il rapido scivolamento della sabbia verso i fondali.

Il calcolo più significativo sull'evoluzione del fenomeno erosivo deve essere basato sulla valutazione della variazione dei volumi dei sedimenti della spiaggia attiva e relative modificazioni morfologiche misurate nel tempo.

Per l'attività di perimetrazione delle aree a pericolosità da frana si potranno utilizzare - a corredo delle informazioni disponibili presso le strutture tecniche regionali – le perimetrazioni delle aree a pericolosità da frana dei PAI, le informazioni archiviate dal Gruppo nazionale per la difesa delle catastrofi idrogeologiche del Consiglio nazionale delle ricerche (GNDCI-CNR), nell'ambito del progetto Aree vulnerate italiane (AVI) e Vulnerabilità delle aree costiere, i cui risultati sono presentati sinteticamente in rapporti regionali editi a cura del GNDCI-CNR.

Particolare importanza va data a questa fase, poiché consentirà la perimetrazione di tratti costieri a pericolosità/rischio di erosione/frana sulle quali saranno applicate le misure di salvaguardia previste dalla norma al fine di non incrementare il rischio.

Il primo obbiettivo del PDC, una volta definite le Unità Fisiografiche, è quello di perimetrare i tratti di costa interessati da condizioni di pericolosità/rischio di erosione e di invasione del mare nell'ambito di ogni unità fisiografica individuata.

Per ogni unità fisiografica si valuteranno:

- analisi storiografica delle linee di riva e dei fondali;
- caratterizzazione della dinamica litoranea e del trasporto dei sedimenti – con riferimento agli apporti sedimentari dei corsi d'acqua afferenti alla UF - mediante modelli matematici e valutazione dell'erosione;
- analisi delle pressioni antropiche, con evidenza delle "invarianti" fisiche (infrastrutture, abitati, aree di pregio ambientale);
- caratterizzazione geomorfologico - sedimentologica della spiaggia emersa e sommersa, sino alla profondità di chiusura della stessa;
- stima dei movimenti verticali (subsidenza ed eustatismo);
- studio localizzato degli eventi meteomarini estremi con stima dei tempi di ritorno del moto ondoso e dei livelli del mare;
- stima delle aree soggette ad allagamento.

La perimetrazione ottenuta verrà riportata su una cartografia GIS a scala non inferiore al 10.000 con tutti i parametri utili.

Per quanto attiene la valutazione del rischio di erosione dipendente da tali fenomeni, si fa riferimento alla sua formulazione ormai consolidata in termini di rischio totale introdotta dal Landslide Hazard Zonation, UNESCO (1984) e richiamata dal DPCM 29/09/1998.

Nell'espressione di maggior semplicità tale analisi considera il prodotto di tre fattori: pericolosità (H) o probabilità di innesco del processo erosivo delle coste basse o processo geomorfologico delle coste alte; valore degli elementi (E) a rischio (intesi come persone, beni localizzati, patrimonio ambientale); vulnerabilità (V) degli elementi a rischio (che dipende sia dalla loro capacità di sopportare le sollecitazioni esercitate dal processo erosivo, sia dalla velocità del processo stesso). Si può far riferimento a tale formula solo per la individuazione dei fattori che lo determinano, senza tuttavia porsi come obiettivo quello di giungere ad una valutazione di tipo strettamente quantitativo. Risulta quindi:

$$R = H \times E \times V$$

Per gli scopi dei presenti criteri generali sono da considerarsi come elementi a rischio innanzitutto l'incolumità delle persone e inoltre, con carattere di priorità, almeno:

- agglomerati urbani esistenti;
- aree su cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo, in particolare quelli definiti a rischio ai sensi di legge;
- infrastrutture a rete e le vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale;
- patrimonio ambientale e i beni culturali di interesse rilevante;
- aree sede di servizi pubblici e privati, di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive ed infrastrutture primarie.

Sulla base dei risultati dell'attività conoscitiva e degli studi elencati, sulla cartografia della UF saranno identificati tratti costieri, caratterizzati da tre diversi livelli di pericolosità di erosione/frana della costa o effetti di eventi meteo marini estremi, per i quali la definizione della caratterizzazione dovrà essere codificati con successivi studi.

P3) tratti ad alta pericolosità di erosione/frana ;
P2) tratti a moderata pericolosità di erosione/frana;
P1) tratti a bassa pericolosità di erosione/frana.

Con riferimento ad esperienze di pianificazione già effettuate, è possibile definire quattro classi di rischio a gravosità crescente, secondo le classificazioni di seguito riportate.

Le diverse situazioni sono aggregate in quattro classi di rischio a gravosità crescente (1=moderato/a; 2=medio/a; 3=elevato/a; 4=molto elevato/a), alle quali sono attribuite le seguenti definizioni:

- *moderato R1*: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- *medio R2*: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- *elevato R3*: per il quale sono possibili danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- *molto elevato R4*: per il quale sono possibili danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche e la perdita di vite umane.

Fase di programmazione

Detta fase si sostanzia in analisi ed elaborazioni documentali e grafiche, sufficienti ad individuare le tipologie di interventi da realizzare per la mitigazione o rimozione dello stato di rischio a cui sono sottoposti i beni esposti non delocalizzabili e per i quali non si può consentire l'arretramento della linea di riva oltre un limite predefinito.

Il PDC dovrà contenere, per tutta l'UF di riferimento, l'individuazione e la definizione tecnica ed economica, con gli opportuni studi, indagini ed elaborati grafici di tutti gli interventi strutturali e non strutturali di mitigazione del rischio, elencandone le priorità, nonché i vincoli definitivi all'utilizzazione territoriale definendo le eventuali necessarie misure di delocalizzazione di insediamenti.

Gli interventi andranno sottoposti a monitoraggio, non trascurando gli aspetti della qualità delle acque e dei sedimenti.

La Regione dovrà provvedere a mettere in rete i dati del PDC, con tutte le successive implementazioni. Nello stesso sito andranno resi consultabili in linea sia i progetti eseguiti lungo la costa, sia il piano di monitoraggio sia i risultati del monitoraggio stesso. Stessa diffusione sarà data anche alla procedura di VAS a cui andrà sottoposto il PDC. A loro volta

le province daranno medesima diffusione ai dati di base da loro raccolti ai fini dell'implementazione del PDC da parte della Regione.

In questo contesto, il ruolo delle Regioni è quello di pianificare, programmare progettare e attuare gli interventi. Le Amministrazioni Centrali avranno il compito di garantire la coerenza dei piani di difesa della costa regionali con gli indirizzi generali per la difesa della costa.

Il PDC viene sottoposto allo strumento della VAS secondo la normativa vigente.

Tutti i dati raccolti e impiegati dalla Regione per l'implementazione del PDC nelle sue tre fasi saranno trasmessi al Ministero dell'Ambiente e all'APAT per la costituzione di un archivio generale sulle coste e l'aggiornamento dello stato di attuazione dei piani..

LE MISURE DI SALVAGUARDIA DI RIFERIMENTO

I tratti costieri a pericolosità/rischio di erosione e le aree a pericolosità/rischio di frana individuati e perimetrati sono sottoposti, con provvedimento delle regioni, a vincolo temporaneo costituente misure di salvaguardia, ai sensi dell'art. 17, comma 6-bis, della legge n. 183/1989. Nel caso le misure di salvaguardia siano adottate in assenza del Piano Difesa Coste, tali misure resteranno in vigore sino all'approvazione del piano medesimo.

Nella predisposizione delle misure di salvaguardia si dovrà tenere conto della tutela e conservazione del patrimonio ambientale e dei beni culturali.

I tratti costieri a pericolosità/rischio di erosione/frana si articolano in diversi livelli. Nei casi in cui non sia possibile attribuire ad un tratto costiero un determinato livello di pericolosità, verrà applicata la norma più restrittiva. Per detti tratti costieri sono indicati i seguenti indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia.

a) tratti costieri a pericolosità/rischio di erosione/frana "molto elevato".

In tali tratti sono consentiti esclusivamente: gli interventi di difesa volti alla messa in sicurezza dei tratti costieri su cui sono sottoposti a rischio i beni, approvati dall'Autorità competente, tali da migliorare significativamente le condizioni di stabilità, da non aumentare il rischio di erosione/frana nella unità fisiografica e da non pregiudicare la possibile attuazione di una sistemazione definitiva.

Sono altresì consentiti i seguenti interventi a condizione che essi non aumentino il livello di rischio comportando significativo indebolimento della stabilità e della qualità dei tratti costieri e non precludano la possibilità di eliminare le cause che determinano le condizioni di rischio:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 31 della legge n. 457/1978, e senza aumento di superficie o volume, interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio;
- la manutenzione, l'ampliamento o la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico riferiti a servizi essenziali e non delocalizzabili senza eccessivi aumenti di superficie e volume, , e risultino essere comunque coerenti con la pianificazione degli interventi d'emergenza di protezione civile.

I progetti relativi agli interventi ed alle realizzazioni in queste aree dovranno essere corredati da un adeguato studio di compatibilità che dovrà ottenere l'approvazione dell'Autorità competente.

b) tratti costieri a pericolosità/rischio di erosione/frana "elevato".

In tali tratti sono consentiti esclusivamente:

- interventi di cui alla precedente lettera a) nonché quelli di ristrutturazione edilizia, a condizione che gli stessi non aumentino il livello di rischio e non comportino significativo

indebolimento della stabilità e della qualità della costa ovvero che le superfici destinate ad uso abitativo o comunque ad uso economicamente rilevante siano realizzate a distanze compatibili con il limite massimo di erosione;

- interventi di ampliamento degli edifici esistenti unicamente per motivate necessità di adeguamento igienico-sanitario, purché siano compatibili con le condizioni di rischio che gravano sul tratto costiero;
- manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi purché siano compatibili con le condizioni di rischio che gravano sul tratto costiero.

A tal fine i progetti dovranno essere corredati da un adeguato studio di compatibilità che dovrà ottenere l'approvazione dell'Autorità competente.

GIACIMENTI STRATEGICI DI SEDIMENTI

I "Giacimenti strategici di sedimenti" possono essere definiti come quantità di sedimenti di "appropriate" caratteristiche, disponibili per i ripascimenti. Si rinvengono sia al largo (depositi di sabbie relitte) sia vicino alla costa (aree litoranee).

Depositi di sabbie al largo

Si tratta di giacimenti strategici di sedimenti, localizzati in mare aperto (oltre la profondità di chiusura della spiaggia attiva), generalmente caratterizzati da sedimenti di buona qualità e da grandi cubature di materiale. Le sabbie relitte al largo possono essere affioranti sul fondo marino o essere ricoperte da sedimenti pelitici di deposizione recente. Il loro utilizzo è da preferire in caso di interventi che richiedano volumetrie significative di sabbie. E' inoltre auspicabile l'impiego di depositi in cui la copertura pelitica, eventualmente presente, sia di dimensioni ridotte. In ogni caso, il dragaggio delle sabbie deve sempre essere accompagnato da specifiche attività di monitoraggio, al fine di verificare l'evoluzione spaziale e temporale della plume di torbida generata dalla movimentazine dei sedimenti, nonché le variazioni dell'idrodinamica locale.

Altre aree di possibile utilizzo-prelievo di sedimenti possono essere:

1. Aree costiere. In zone portuali e laddove si riscontrino accumuli di materiale a terra direttamente connessi alla erosione di zone limitrofe o comunque accumuli di materiale disponibile di adeguata qualità il cui dragaggio sia funzionale alle attività del contesto.

Il prelievo di materiale da aree marine litoranee è consentito esclusivamente per finalità di ripascimento degli arenili o di ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero e comporta l'impiego di piccole quantità di materiale. Le attività di prelievo devono essere condotte in modo tale da conservare il profilo di spiaggia emersa e sommersa esistente in precedenza ad eccezione degli accumuli sabbiosi intercettati dalle infrastrutture. In ogni caso, le sabbie dovranno essere prelevate oltre la profondità di chiusura della spiaggia attiva. In caso di presenza di praterie di Posidonia oceanica, specie protetta ai sensi della direttiva habitat, il prelievo di sabbie da aree litoranee potrà essere condotto solo dopo aver verificato, tramite studi opportuni, che il prelievo di sabbie non interferisca con lo stato di conservazione della prateria.

2. Aree fluviali. Laddove si riscontri un indesiderato accumulo di materiale retrostante alle opere di imbrigliamento e/o di rigatura, previa verifica analitica delle conseguenze idraulico ambientali di tali prelievi per il contesto minimo del bacino idrografico di riferimento e della connessa Unità Fisiografica.

Nell'ottica di un fondamentale coordinamento nazionale delle politiche di protezione costiera, è necessario, ai fini di un utilizzo razionale ed ambientalmente compatibile dei giacimenti strategici di sabbie in mare aperto, pianificare l'utilizzo di tale risorsa, rendendola funzionale alle reali esigenze territoriali nel tempo.

Tutti i prelievi dai giacimenti strategici e i loro usi, andranno inquadrati in un “Piano di Gestione dei Sedimenti” (PGS) regionale per le isole maggiori o interregionale da includere nel PDC. Anche il PGS deve essere quindi reso coerente da una visione strategica e sostenibile a scala nazionale.

Per la gestione di questi Piani andranno osservate le vigenti normative e raccomandazioni in materia di dragaggi con particolare riferimento al “Manuale per la Movimentazione dei Sedimenti Marini” recentemente elaborato congiuntamente da ICRAM e APAT su incarico del MATT.

INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA

Introduzione

Per costa si intende una fascia di territorio di ampiezza variabile a contatto con il mare, la cui azione morfologica contribuisce in modo determinante a modellare la conformazione della costa, svolgendo una triplice azione di erosione, trasporto e accumulo dei sedimenti costieri.

L'ambiente costiero costituisce un sistema dinamico, in continua e incessante trasformazione.

Con il termine dinamica costiera si indica il complesso dei fenomeni che determinano l'evoluzione della fascia costiera nel tempo. Tale dinamica, solitamente indotta da processi naturali, può essere fortemente influenzata dagli interventi antropici.

La conformazione del litorale nei nostri mari è il risultato di un complesso equilibrio su cui influiscono numerosi fattori sia marini che continentali:

- apporti fluviali;
- azione del mare;
- trasporto eolico;
- fenomeni endogeni di sollevamento e abbassamento del settore costiero;
- variazioni del livello marino;
- interventi antropici sui corsi d'acqua o sul litorale;

ecc…

La descrizione dell'evoluzione della linea di costa richiede l'analisi delle dinamiche sia fluviali che marine, in un'ottica di unitarietà del bacino idrografico e degli ambiti costieri sottesi (unità fisiografiche).

L'interpretazione dei fenomeni connessi alla dinamica costiera necessita dell'approfondimento dei seguenti tre temi fondamentali:

- La morfologia costiera, ovvero la conformazione della costa (alta o bassa, rocciosa o sabbiosa), della spiaggia emersa e sommersa, dell'unità fisiografica, del complesso degli interventi antropici di tipo insediativo, industriale o ai fini di protezione del litorale. Qualunque opera marittima infatti introduce una modifica della naturale dinamica litoranea e interferisce con il regime di trasporto litoraneo dei sedimenti.
- L'esposizione del paraggio ai fattori meteo-marini, quali il moto ondoso, il vento, le variazioni odierne del livello del mare e le correnti.
- Il bilancio sedimentario costiero, che tiene conto del trasporto solido litoraneo longitudinale e trasversale e di tutti gli apporti dalla terraferma e dal mare nell'ambito di ogni unità fisiografica.

L'erosione costiera è l'asportazione di materiale in area litoranea e può avvenire sia per cause naturali che per cause antropiche.

L'erosione naturale si nota prevalentemente lungo i litorali maggiormente esposti al moto ondoso, costituiti da sedimenti facilmente erodibili, da apporti fluviali di modeste entità, dove i fondali si approfondiscono rapidamente e il clima del moto ondoso è caratterizzato da una accentuata frequenza di eventi intensi.

Le cause antropiche sono riconducibili ad una alterazione da parte dell'uomo del naturale equilibrio della fascia litorale mediante una riduzione della quantità di materiale apportato e una alterazione nel trasporto dei sedimenti, tra le quali si ricordano:

- l'attività estrattiva dagli alvei fluviali; realizzazione di dighe, strade di fondovalle, canalizzazioni fluviali ecc., diminuendo così l'apporto solido fluviale recapitato alle spiagge;
- l'emungimento delle falde ed estrazione di petrolio e gas naturali dalle fasce costiere con la conseguente subsidenza dei litorali e diminuzione dell'energia dei corsi d'acqua;

- lo smantellamento dei cordoni dunali;
- la realizzazione incontrollata di opere costiere.

Le presenti indicazioni propongono le linee necessarie per la tutela e la salvaguardia dell'ambito costiero attraverso l'acquisizione e la conoscenza delle informazioni relative alla dinamica costiera e ai principali parametri meteo-marini che caratterizzano il sito.

Nella fattispecie, sono descritte le principali problematiche riguardanti la fascia costiera e la strumentazione e la modellistica per l'acquisizione e l'interpretazione dei fenomeni fisici.

Le indicazioni suggeriscono, infine, possibili metodologie di intervento per la stabilizzazione della costa attraverso la realizzazione di opere di difesa, o ricostruzione valutando il loro impatto sull'ambiente e sulle aree limitrofe anche a lungo termine.

Le coste alte e i relativi rischi di frana non vengono trattate nel presente documento, che riguarda solamente le specifiche tecniche di analisi delle coste basse.

I contenuti del presente lavoro sono stati in larga parte tratti dalle "Istruzioni tecniche per la progettazione e l'esecuzione di opere di protezione delle coste" del Consiglio Superiore per i Lavori Pubblici (Delibera n°151, Assemblea Generale 28 Luglio 1991), documento che in questi anni ha costituito un approvato riferimento per l'attività di cui si tratta.

Studi propedeutici

Il primo passo dell'iter progettuale è l'individuazione delle necessità del progetto, che scaturiscono dai risultati dei relativi studi socio-economici, da un'analisi costi-benefici ottenibili dalla realizzazione del progetto e dall'applicazione delle metodologie dell'ingegneria finanziaria.

E' dunque possibile passare alla fase successiva, relativa al completamento delle conoscenze di base in tutti i campi di interesse per lo sviluppo dell'attività progettuale.

L'acquisizione dei dati di base avviene nei quattro settori principali:

- Geomorfologico: topografia, batimetria, aerofotogrammetria, geologia, sedimentologia, geotecnica, analisi delle cave.
- Meteomarino: venti, onde, correnti, marea, oceanografia.
- Territoriale: traffico marittimo e stradale, aspetti sociali ed economia.
- Ambientale: dinamica costiera, biologia, aria, acqua, rumore, paesaggio.

Tra gli studi propedeutici alla progettazione si ricordano:

- Definizione del settore di traversia
- Analisi storiografica della linea di riva
- Rilievo topo-batimetrico della spiaggia emersa e sommersa
- Sedimenti costieri
- Oscillazioni del livello marino
- Regime dei venti
- Regime del moto ondoso
- Analisi del trasporto litoraneo, analisi degli apporti fluviali
- Analisi dell'azione eolica
- Analisi degli apporti solidi fluviali
- Bilancio dei sedimenti

Sulla base dell'evoluzione del litorale, dedotta a partire da una indagine storica degli effetti provocati da interventi operati sul litorale stesso, dovrà formularsi una previsione sull'evoluzione futura della spiaggia. A tal fine andranno svolte specifiche indagini sulla linea di riva, sulla topografia della spiaggia emersa e sommersa, nonché sui sedimenti di cui è costituita. L'andamento della linea di riva dovrà essere confermato e sostenuto da opportuni modelli matematici.

A tale scopo, è indispensabile la raccolta di una grande e diversificata mole di dati, estesa ad un numero di anni sufficientemente lungo, riguardanti i parametri ambientali e fisici e le eventuali interferenze con il trasporto solido litoraneo (opere fluviali, opere di difesa costiera, porti, ecc…).

Bilancio dei sedimenti

Il trasporto dei sedimenti è determinato dalle onde e dalle correnti, principalmente quelle generate dal moto ondoso stesso. Alle onde è dovuto il sollevamento delle particelle mentre il loro spostamento è dovuto alle correnti. Il trasporto più intenso avviene nella zona dei frangenti e rimane in essa contenuto: la profondità che limita a mare tale zona è circa pari al doppio dell'altezza d'onda significativa massima annuale (frequenza minore di 12 ore/anno) e può essere valutata con formule empiriche desunte su base morfologica da spiagge con sabbie quarzose. Bisogna però considerare che anche a profondità doppie rispetto alla precedente si possono verificare processi di trasporto solido.

Lo studio della tendenza evolutiva di un litorale viene svolto considerando, per ogni unità fisiografica, il bilancio costiero riferito ad un periodo di tempo sufficientemente lungo. Il bilancio dei sedimenti può essere applicato anche ad aree di controllo facenti parte di una unità fisiografica. e fornisce utili indicazioni sullo stato attuale e futuro del litorale stesso, ponendo soprattutto in evidenza l'importanza relativa delle voci di bilancio attive e passive.

Le voci che intervengono nel bilancio sono:

- apporti e asporti dovuti al trasporto litoraneo longitudinale e trasversale;
- apporti fluviali;
- erosione di formazioni rocciose;
- compensazione della subsidenza;
- trasporto eolico;
- produzione carbonatica;
- ripascimenti ed escavazioni artificiali;
- altri apporti e asporti specifici.

Il trasporto solido costiero, dovuto alle correnti che si sviluppano lungo costa, può essere scomposto in due componenti di moto: trasporto solido trasversale, in direzione perpendicolare alla linea di battigia (cross-shore), dovuto alle correnti di ritorno e alle asimmetrie del moto ondoso, e trasporto solido longitudinale, in direzione parallela alla linea di battigia (long-shore), prodotto dalla corrente litoranea generata dal frangimento delle onde.
Il trasporto solido longitudinale influisce sull'evoluzione a lungo termine della morfologia costiera, mentre il trasporto solido trasversale è la principale causa dei fenomeni evolutivi a breve termine (dovuti principalmente alle mareggiate).

L'arretramento del profilo della spiaggia, legato alle onde di burrasca, è piuttosto rapido mentre i processi di ricostruzione del profilo di spiaggia, indotti dall'azione continua del moto ondoso, sono più lenti.

La conformazione del profilo trasversale di una spiaggia, dipendendo dalle caratteristiche del moto ondoso, ha una variabilità stagionale.
Si dice che una spiaggia è in equilibrio se la posizione della battigia si mantiene costante nel tempo, sia pure considerando le oscillazioni stagionali; il bilancio è in pareggio se gli allontanamenti di materiale equivalgono agli apporti. La spiaggia è instabile se predomina la tendenza erosiva o di accrescimento.

Morfologia costiera

In Italia si possono distinguere due diverse tipologie di morfologia costiera: coste alte per il 37% del totale e coste basse per il restante 63% del totale.

Per costa alta si intende un tipo di costa morfologicamente accidentata e articolata con pareti subverticali parallele alla linea di riva (valloni, rias, falesie).
Per costa bassa si intende una superficie più o meno ampia ed arcuata (falcata) a debole pendenza (lido), con eventuale presenza di sistemi dunali e/o accumuli sabbiosi che possono subire movimenti ad opera del moto ondoso e dei venti.
La conformazione della costa dipende strettamente dall'andamento del rilievo continentale retrostante e dalle vicende geologiche che questo ha subito nel tempo.

La spiaggia

Con il termine spiaggia si indica un deposito costiero costituito da sedimenti marini incoerenti (sabbie e/o ciottoli), attuali o recenti, esteso verso terra fino al limite raggiunto dalle onde di tempesta (dune costiere o primi affioramenti rocciosi) e verso mare fino alla profondità di chiusura, dove il movimento dei depositi sabbiosi a causa del moto ondoso può considerarsi nullo.
La spiaggia può suddividersi in emersa, intertidale e sottomarina. Il limite superiore della spiaggia emersa è posto al piede della prima duna costiera, dove si esauriscono gli effetti delle onde; il limite inferiore corrisponde al livello medio di alta marea ed è marcato da una cresta detta berma ordinaria. La berma di tempesta si sviluppa sulla spiaggia emersa ed è un accumulo irregolare di sedimenti dovuto a mareggiate di forte intensità. Si indica come spiaggia intertidale la parte compresa tra il livello medio delle alte maree ed il livello medio delle basse maree. Essa inizia con un pendio liscio, più inclinato della parte inferiore, detto battigia. La spiaggia sottomarina si estende invece tra il limite inferiore della zona intertidale e la profondità di chiusura. Il profilo è regolare o ondulato da una o più barre, separate da solchi o truogoli allungati, circa paralleli alla riva, che si formano per effetto delle correnti locali generate dal moto ondoso.
Le dune costiere, che costituiscono un serbatoio di sabbia in grado di rifornire le spiagge nelle fasi di massima azione del moto ondoso, rappresentano il limite superiore della spiaggia emersa e sono il risultato di lenti processi di accumulo ad opera del vento. La formazione delle dune è subordinata alla disponibilità di sabbie in quantità sufficiente e di barriere naturali o artificiali che ne consentano l'intrappolamento.

Subsidenza ed eustatismo

Esistono fenomeni a scala regionale che influenzano l'ampiezza della fascia costiera: si tratta della subsidenza del terreno e dell'eustatismo del livello marino.

La subsidenza è un fenomeno a lungo termine di lento abbassamento del terreno; è legato al naturale sviluppo delle pianure alluvionali e acuito dall'estrazione di acqua e idrocarburi dal sottosuolo.
Con il termine eustatismo si indicano invece le modificazioni a lungo termine, sia positive che negative, del livello del mare.

Erosione e accrescimento

L'ampiezza della fascia costiera e la sua natura litologica dipendono dall'apporto di sedimenti alla foce da parte dei corsi d'acqua. Il volume di sedimenti che raggiunge la foce dipende dall'intensità dell'erosione superficiale nel bacino imbrifero e dai processi di trasporto solido lungo la rete idrografica.

L'erosione idraulica superficiale è un processo estremamente complesso, influenzato da molteplici fattori: il regime climatico, la capacità erosiva delle precipitazioni, la morfologia del bacino, la litologia dei terreni affioranti, la granulometria dei sedimenti, la copertura vegetale, l'uso del suolo, la lunghezza e densità della rete idrografica. Il trasporto dei sedimenti da parte della corrente fluviale avviene secondo due modalità:

- trasporto di fondo del materiale grossolano (circa il 5-10% del trasporto solido totale);
- trasporto in sospensione della frazione fine (circa il 90% del trasporto solido totale).

Allo sbocco in mare di un corso d'acqua la velocità della corrente fluviale si attenua rapidamente fino ad annullarsi, ne consegue che la frazione più grossolana di sedimenti fluviali (sabbie e ciottoli) si deposita nell'area di foce e alimenta il trasporto litoraneo; la frazione fine resta invece in sospensione e si espande in mare come un pennacchio torbido.
I sedimenti che costituiscono le spiagge provengono quindi essenzialmente dall'erosione degli affioramenti rocciosi costieri e dall'apporto solido dei corsi d'acqua; si tratta di materiale sciolto che viene suddiviso a seconda della dimensione degli elementi costituenti in ciottoli, ghiaie, sabbie, limi e argille.
Il profilo trasversale della spiaggia presenta una selezione granulometrica con sedimenti grossolani verso riva e sedimenti più fini al largo.
La pendenza del fronte della spiaggia è correlata alle dimensioni dei sedimenti che la costituiscono e all'energia con cui le onde frangono a riva.
A sedimenti grossolani corrisponde un profilo della spiaggia più ripido; viceversa a granuli più fini corrisponde un profilo meno acclive.
La forza esercitata dal mare sulla matrice detritica di fondo è costituita da una componente che tende a sollevare il granulo e da un'altra che tende a trascinarlo.
Le correnti capaci di trascinare granuli sul fondo sono dette trattive; le forze che si oppongono alla messa in movimento sono la forza di gravità e l'attrito tra i granuli.

Rilievi topografici e batimetrici

Lo studio della morfologia delle spiagge è importante per la conoscenza dei fenomeni connessi alla dinamica dei sedimenti lungo costa (es. presenza di barre e truogoli), per la valutazione delle eventuali modificazioni indotte dalle opere, sia nello spazio che nel tempo, per fornire dati necessari all'impiego dei modelli fisici e matematici.

I rilievi topografici e batimetrici sono eseguiti secondo sezioni perpendicolari e parallele alla linea di riva e devono riguardare sia la spiaggia sommersa sia la spiaggia emersa (spiaggia attiva). I limiti del rilievo sono la duna costiera, o la prima opera fissa, per la spiaggia emersa e la profondità di chiusura del trasporto solido (generalmente compresa tra - 6.0 e - 10.0 m e fino a – 20 m s.l.m.m.) per quella sommersa. L'interasse tra le sezioni di rilievo deve esse mantenuto costante ed infittito nelle zone di maggiore interesse (es. area sede degli interventi di difesa o di opere preesistenti), su fondali più bassi e dove sono presenti particolari situazioni evolutive.

Tutti i rilievi (batimetrici, topografici e idrografici) dovranno essere collegati planimetricamente e altimetricamente, attraverso livellazione di alta precisione, ad un sistema di caposaldi locali di riferimento collegato a capisaldi ufficiali (I.G.M.I).

Prelievo dei campioni di sedimento

I campioni di sedimento superficiali di fondo della spiaggia sommersa devono essere prelevati lungo sezioni perpendicolari alla linea di riva, generalmente alle profondità di 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0 e 10.0 m.l.m. Ulteriori prelievi devono essere previsti in corrispondenza di variazioni morfologiche o tessiturali significative così da risultare rappresentativi della zona campionata:
Insieme al rilievo della linea di riva dovrà essere effettuato il prelievo dei campioni di sedimento in corrispondenza della spiaggia interna (duna costiera, berme di tempesta) e sulla battigia, lungo sezioni trasversali in allineamento con le sezioni di prelievo dei campioni a mare.

Per tutti i campioni prelevati sulla spiaggia emersa e sommersa saranno eseguite analisi sedimentologiche applicative (analisi granulometriche e dinamico-modali) per la determinazione delle caratteristiche tessiturali (limiti dimensionali di Wentworth), degli indici statistici sedimentologici e dei vettori di transito del materiale prelevato.

Fattori meteo-marini

L'evoluzione dei litorali è governata dall'azione esercitata sui sedimenti costieri da:

- venti;
- moto ondoso;
- correnti litoranee;
- maree e variazioni del livello marino.

Modificazioni dei fattori meteo-marini nel tempo possono influire sull'evoluzione dei litorali: ad esempio cambiamenti del regime dei venti, delle caratteristiche del moto ondoso, dell'intensità e frequenza delle mareggiate possono essere responsabili dell'arretramento di un tratto di costa.

Venti

I venti influenzano l'evoluzione del litorale sia in maniera diretta che indiretta. Hanno azione diretta erodendo le parti emerse, sollevando, trasportando ed accumulando selettivamente sedimenti leggeri a formare le dune costiere, ed azione indiretta sull'acqua del mare agendo come motore delle onde e delle correnti costiere.

Il regime dei venti in una data località costiera può essere definito mediante distribuzioni di frequenza per settori direzionali e campi di velocità, con riferimento a periodi di osservazione pluriennali. Come dati di base per la definizione del regime del vento vanno assunti quelli forniti da stazioni anemometriche presenti nella zona in esame o installate opportunamente.
Gli standard W.M.O. (*World Meterological Organization*) prevedono che il vento sia misurato a quota + 10 m sopra l.m.m. in area priva di ostacoli per almeno 10 volte la quota di misura, evitando di installare gli strumenti sugli edifici.

Moto ondoso

L'azione delle onde è fondamentale per l'evoluzione di un litorale. Il moto ondoso esplica una azione di sollevamento, selezione trasporto e dispersione dei sedimenti di fondo. Si definisce moto ondoso l'insieme di onde che si propagano sulla superficie del mare. Le onde appartenenti ad un certo stato di mare hanno carattere irregolare nel tempo e nello spazio avendo altezze e periodo (o lunghezza) variabili.

I parametri più utilizzati per la caratterizzazione delle onde sono:

- Tp (secondi) periodo di picco;
- Ts (secondi) periodo significativo;
- Tm (secondi) periodo medio;
- Dm (gradi N) direzione media di propagazione;
- Hs (metri) altezza d'onda significativa spettrale;

Le dimensioni delle onde generate dal vento dipendono principalmente dai seguenti fattori:

- velocità del vento
- durata del tempo d'azione del vento
- lunghezza del fetch

Si dà il nome di fetch all'estensione di mare su cui il vento, spirando in direzione costante, genera il moto ondoso.

Nella zona di generazione le onde si mantengono di modeste dimensioni. Nella zona di maturazione le onde sono completamente sviluppate e possono raggiungere le massime dimensioni compatibili con il vento che le ha sollevate.

Quando non subiscono più l'azione dei venti che le hanno generate, le onde si propagano verso la costa sotto forma di treni d'onde lunghe caratterizzate da una ridotta altezza e da un aumento della lunghezza.

Per quanto riguarda i parametri più caratteristici delle onde, i valori usuali sono compresi entro i seguenti intervalli: lunghezza massima tra qualche decina e 100 – 200 m; altezza massima di qualche metro, quasi mai superiore a 20 m; periodo tra 3 e 30 secondi a seconda delle condizioni del mare.

Il comportamento delle onde dipende dalla relazione tra l'altezza e il periodo e la profondità dell'acqua.

All'approssimarsi della riva le caratteristiche dell'onda si modificano per effetto della rifrazione, diffrazione, riflessione e frangimento.

Un fronte d'onda può avere nello stesso istante tratti che procedono a velocità diverse: la parte che incontra prima il fondale viene rallentata, mentre quella in acque più profonde conserva la propria velocità originaria. Il fronte dell'onda tende quindi a ruotare disponendosi parallelamente alle isobate. Tale fenomeno prende il nome di rifrazione.

La spaziatura delle ortogonali d'onda (normali alle linee di cresta) è indicativa della distribuzione dell'energia del moto ondoso in prossimità della costa. Le ortogonali d'onda verso un promontorio si avvicinano tra loro, indicando una concentrazione di energia sulla costa. Verso una baia si allontanano e l'impatto delle onde risulta attenuato.

Il risultato di questa distribuzione di energia è la tendenza del moto ondoso a regolarizzare le coste.

Nonostante il fenomeno della rifrazione, l'angolo di incidenza della cresta delle onde rispetto alla linea di battigia non è mai nullo e dà origine a una componente longitudinale della corrente.

Quando un treno d'onde incontra un ostacolo verticale si osserva che le onde penetrano anche nella regione di ombra geometrica, cioè in quella zona che risulta geometricamente protetta dall'ostacolo. Si verifica pertanto un trasferimento di energia in direzione parallela alle creste d'onda. Questo

fenomeno di diffusione o flusso trasversale dell'energia del moto ondoso prende il nome di diffrazione.
Quando un treno d'onde incontra una parete le onde stesse vengono riflesse. Il coefficiente di riflessione è definito dal rapporto dell'altezza d'onda incidente e di quella riflessa. Nel caso di parete verticale e per opportuni valori della profondità al piede, le onde danno luogo a un moto ondoso stazionario senza apparente propagazione di materia, ma si osserva una serie di oscillazioni di livello intorno a punti che sono fissi o quasi.
Quando invece l'altezza dell'onda raggiunge un certo valore limite, in relazione alla lunghezza dell'onda stessa o alla profondità dell'acqua, le onde subiscono il fenomeno del frangivento, accompagnato da una forte turbolenza, formazione di schiuma e perdita di energia. Il fenomeno del frangimento si mostra in forme diverse in funzione dell'altezza e del periodo dell'onda incidente e della pendenza della spiaggia.. La forma delle onde frangenti è stata suddivisa in tre categorie. Nel frangente di tipo *spilling* la rottura è graduale con schiuma in cresta, nel frangente tipo *plunging* si ha la rottura brusca con massa d'acqua in cascata che si stacca sul fronte del frangente formando spesso una sorta di tubo d'acqua, nel frangente di tipo *surging* si ha una rottura brusca con graduale aumento del livello d'acqua davanti alla cresta, tale da impedire la ricaduta della massa d'acqua.

L'esposizione del litorale al moto ondoso assume un ruolo primario nella dinamica dei sedimenti costieri; le onde sono infatti la principale fonte di energia che modella le linee di costa. E' per questo motivo che bisogna studiarne tutte le caratteristiche. Ciò può essere fatto attraverso la messa in opera di appositi strumenti di misura:

- boe ondametriche direzionali;
- sensori di pressione accoppiati a correntometri direzionali;
- strumenti radar ecc.

Il regime del moto ondoso può essere definito mediante la distribuzione di frequenza per settori direzionali e campi di altezza e periodo d'onda.

Correnti marine

Le correnti marine sono flussi d'acqua che si muovono secondo una direzione prevalente. Possono essere schematicamente suddivise nelle seguenti tipologie:

- Correnti indotte dal moto ondoso: interessano sia la zona dei frangenti sia la fascia esterna e rivestono grande importanza sulla dinamica della spiaggia e sul trasporto dei sedimenti;
- Correnti di marea: hanno importanza nei paraggi interessati da forti escursioni di marea, quando l'effetto dell'oscillazione di lungo periodo è accentuato da particolari condizioni dei fondali e delle coste;
- Correnti generate dal vento: sono l'effetto delle tensioni tangenziali esercitate dal vento sugli strati superficiali del mare;
- Correnti di densità: sono generate dalla differenza di temperatura e salinità delle masse di acqua e sono raramente significative lungo le coste del Mediterraneo.

La misura diretta delle correnti avviene mediante correntometri o sistemi radar.
Le correnti costiere fluiscono approssimativamente parallele alla spiaggia nella zona al largo dei frangenti, mentre in prossimità della riva si sovrappongono al movimento delle onde incidenti verso la spiaggia, la corrente lungoriva, il flusso di ritorno verso il largo (correnti a getto o rip currents), il movimento di espansione lungoriva della testa della corrente a getto.

Maree

Rappresentano oscillazioni del livello marino con periodo approssimativamente compreso tra un'ora e un anno.

Si distinguono in maree astronomiche dovute all'attrazione gravitazionale degli astri (principalmente Sole e Luna) sulla superficie marina e maree meteorologiche, dovute a disuniformità della pressione atmosferica e all'azione del vento.
Il livello si innalza durante il periodo di flusso (marea montante), e si abbassa durante il riflusso (marea discendente).
Per quanto riguarda le maree astronomiche, durante la giornata si susseguono uno o due periodi di innalzamento delle acque, detti di alta marea, e uno o due di abbassamento, detti di bassa marea.
Il dislivello tra un'alta e una bassa marea consecutive è l'escursione di marea. L'escursione di marea nelle diverse zone vicino alla costa è influenzata dalla geometria del bacino; nelle baie, negli estuari, nelle lagune il fenomeno viene esaltato (es. Adriatico settentrionale).
La marea è rilevata mediante mareografi; il tracciato è analizzato in modo da separare le maree astronomiche dalle maree meteorologiche.
Si definisce livello medio del mare la media dei livelli marini nel periodo di misura riferita a un piano convenzionale. Oltre che dai fattori idrodinamici, il livello del mare è influenzato da due principali elementi a lungo termine: il clima e la geodinamica (cambiamenti del campo magnetico, moti convettivi nell'interno terrestre, movimenti tettonici).

Tipologie di intervento

La scelta della tipologia di opera di protezione più idonea deve essere effettuata in funzione del tipo di obiettivo da raggiungere e dopo una attenta analisi della zona di intervento sia dal punto di vista geomorfologico che da quello meteomarino.

Opere radenti

I muri di sponda, le scogliere radenti, le paratie e i rivestimenti sono strutture parallele e aderenti alla linea di costa che vengono utilizzate per limitare l'erosione dovuta all'impatto del moto ondoso e per prevenire inondazioni dovute a forti mareggiate. Rappresentano in genere interventi limitati ai tratti di costa in erosione, e talvolta possono essere realizzati in condizioni di emergenza per difendere opere civili. Frequentemente, queste opere impediscono una normale fruibilità del mare e solo in alcuni casi consentono un facile accesso al pubblico.
Queste strutture non sono particolarmente efficaci in quanto non cambiano il gradiente del trasporto solido litoraneo. L'erosione della spiaggia di fronte alla struttura può continuare e può portare ad un incremento dell'attacco ondoso.
Un ulteriore problema di questo tipo di difesa, è quello di proteggere solo il territorio retrostante e non anche le zone sopra e sottoflutto. In queste zone infatti, si verifica spesso un arretramento considerevole della linea di riva da prevedere in fase progettuale.
I <u>muri di sponda</u> sono strutture di ritenuta verticali o inclinate con la funzione di protezione della zona retrostante dalle onde incidenti. Essi vengono costruiti parallelamente alla linea di riva come rinforzo di una parte del profilo costiero. La costruzione, in calcestruzzo, con il suo stesso peso, provvede alla stabilità e può essere protetta con mantellate di scogli naturali o massi artificiali per ridurre la risalita dell'onda. Vengono utilizzati per proteggere zone di lungomare, strade e case posizionate al limite del profilo naturale della spiaggia. Nella zona immediatamente di fronte la struttura, l'erosione del fondale può essere incrementata a causa delle onde riflesse dal muro. Questa azione determina la formazione di un profilo più ripido del fondale, che consente ad onde sempre maggiori di raggiungere l'opera.

Occorre pertanto prevedere il posizionamento di una protezione, ad esempio in pietrame, al piede del muro, ed un sistema di controllo delle spiagge adiacenti (qualora esistano) con la combinazione di pennelli e ripascimenti. I muri possono avere svariate forme (a gradoni, curve, verticali, ecc) e, per evitare una elevata tracimazione dell'opera, possono terminare con parti ricurve in modo da indirizzare il getto d'acqua verso il mare.
Le scogliere radenti sono difese in massi, naturali o artificiali, poste parallelamente e a ridosso della linea di riva. A differenza dei muri, queste strutture consentono spostamenti relativi ai massi che le compongono che non vanno a pregiudicare la stabilità complessiva della struttura. Le scogliere inoltre, essendo permeabili permettono alle onde incidenti di penetrare al loro interno dissipando in questo modo gran parte dell'energia.
Sono opere relativamente economiche e di veloce realizzazione, e in caso di emergenza, vengono poste a tutela di infrastrutture litoranee. La loro realizzazione viene effettuata mediante trasporto su camion e posa in opera con gru, in modo da formare un incastro più o meno ordinato.
In questo tipo di opera il fenomeno della riflessione del moto ondoso è abbastanza limitato, mentre quello dello scalzamento al piede dell'opera è solamente rallentato.
Le paratie sono opere verticali di tipo leggero e non hanno capacità strutturali di resistere al moto ondoso a meno che non vengano rinforzate adeguatamente. Lo scopo primario di una paratia è quello di sostenere e prevenire lo scorrimento verso il basso di terreno, fornendo una protezione di base da onde con bassa energia. Un sistema di paratie è in genere allineato parallelamente alla costa e progettato per trattenere materiale granulare, come suolo o sabbia ed in grado di opporsi all'erosione indotta dalle onde incidenti.
Le paratie non possono essere considerate una protezione della zona antistante, il cui processo erosivo, se già esistente, continuerà e anzi verrà accresciuto dall'azione di scalzamento di materiale al piede della struttura e dalla maggiore agitazione ondosa prodotta dall'onda riflessa.
Tali interventi, in generale, consentono di mantenere un'adeguata profondità dell'acqua in prossimità della riva e forniscono un accesso diretto delle imbarcazioni.
Le paratie vengono quasi sempre realizzate lungo canali navigabili e in zone industriali dove le imbarcazioni devono essere ormeggiate lungo la costa.
Le paratie sono impiegate anche per proteggere coste alte in erosione, trattenendo il terreno al piede, aumentandone la stabilità e difendendolo dallo scalzamento. In alcuni casi le paratie vengono costruite a supporto di opere di bonifica e trovano ulteriori applicazioni in ambito portuale come temporanea protezione dal moto ondoso in zone dove si costruiscono opere a mare (banchine, dighe, ecc).
Le paratie possono essere costituite da differenti materiali come l'acciaio, l'alluminio, il legname, il calcestruzzo, e possono avere o meno un sistema di ancoraggio caratterizzato da strutture quali pali portanti, barre bloccanti o ancoraggi a vite.
I rivestimenti sono realizzati tramite uno strato di protezione superficiale della scarpata per proteggere la linea di costa e le zone appena retrostanti dall'erosione dovuta alle correnti e al moto ondoso. Possono essere sia permeabili che impermeabili. Tra questi esistono varie tipologie: in rocce naturali (a spigoli vivi o a spigoli arrotondati), con gabbioni, con unità di calcestruzzo armato, sacchi geotessili, rivestimenti con calcestruzzo e con malte varie, ecc…
I rivestimenti sono costituiti da una mantellata esterna di protezione, da un filtro con azione drenante e di trattenimento del suolo sottostante e da una protezione terminale che fornisce la stabilità necessaria contro lo scalzamento al piede. Le differenti tipologie di rivestimento, hanno le seguenti funzioni:

- mitigano gli effetti delle inondazioni marine dovute a consistenti sbalzi di marea;
- favoriscono lo smorzamento dell'incremento della pressione idrostatica generata dall'azione diretta delle onde marine;
- trattengono il materiale fine all'interno della struttura;
- dissipano l'energia delle onde se la superficie esterna è scabra e porosa.

Tutte queste strutture sono costruite lungo un tratto limitato di costa come ultima linea di difesa contro l'attacco ondoso, quando la spiaggia naturale e le dune sono modeste per attenuare l'azione delle onde.
Le considerazioni generali che vanno tenute in conto nel progettare tali opere sono le seguenti:

- la creazione di opere aderenti alla costa è l'ultimo tentativo per risolvere il problema dell'erosione in quella zona specifica;
- i muri e i rivestimenti sono strutture costose che hanno bisogno di una continua manutenzione;
- una protezione che impedisca l'approfondimento al piede dell'opera deve essere comunque realizzata;
- con l'aumentare della riflessione dell'onda sulla struttura, aumenta anche la quantità di materiale eroso a piè d'opera;
- le opere realizzate a una certa distanza dalla linea di riva e con una spiaggia davanti danno migliori risultati che quelli realizzati direttamente sulla battigia;
- i rivestimenti devono essere poco ripidi (almeno 1/3) in modo da attenuare la riflessione ondosa e la loro altezza deve essere tale da non permettere una eccessiva tracimazione.

Inoltre nel progettare una difesa aderente, vanno tenuti in considerazione e sottoposti ad un attento studio, l'evoluzione della linea di riva, la direzione e il bilancio del trasporto solido longitudinale che influenza il tratto di litorale adiacente alla zona sottoposta all'intervento. Se si vogliono mantenere le stesse quantità di sabbia precedenti all'intervento sulle spiagge adiacenti al tratto rivestito, occorrono strutture addizionali come muri d'ala o di raccordo, pennelli o barriere e azioni di ripascimento. Nella stima dei costi si dovrà annoverare anche quello per il danno occorso alle rive adiacenti.

Opere distaccate (barriere frangiflutti, barriere sommerse)
Le difese distaccate sono costituite da barriere posizionate a una certa distanza dalla linea di riva per proteggere un'area costiera dall'azione diretta delle onde. Essendo costruite ad una certa distanza dalla linea di costa forniscono la protezione principale limitatamente alle onde più alte e ripide, cioè più erosive. La dissipazione dell'energia d'onda frangente su di esse crea una zona di bassa agitazione o "d'ombra" sul lato terra, favorendo la sedimentazione di materiali sabbiosi in sospensione che vanno ad arricchire la spiaggia retrostante.
Le opere distaccate possono essere allineate o sfalsate e disposte parallelamente o con un certo angolo rispetto alla linea di costa, dipendente dalla direzione delle onde incidenti e delle correnti costiere.
Gli effetti idraulici e morfodinamici che caratterizzano la presenza di barriere distaccate sono i seguenti:

- riduzione dell'energia delle onde sulla linea di riva attraverso il frangimento e la riflessione sulla barriera;
- l'onda arriverà sulla zona protetta attraverso: la diffrazione dovuta alla presenza dei varchi tra le barriere; la trasmissione dovuta alla porosità della struttura e/o la tracimazione della stessa;
- le onde diffratte e quelle trasmesse attraverso la struttura continueranno a propagarsi fino alla linea di riva ma la capacità del trasporto solido litoraneo nella zona protetta sarà sostanzialmente ridotta;
- la sabbia in movimento lungo la linea di costa è trattenuta dietro la struttura nella zona protetta dalla barriera;
- le correnti litoranee che si formano se c'è un considerevole passaggio d'acqua attraverso la struttura, sopra di essa o attraverso i varchi creano erosione nella zona protetta, dovuta alle correnti di ritorno che si instaurano nei varchi presenti tra le barriere;

- nel caso di onde incidenti normalmente alla costa, l'onda diffratta trasporterà la sabbia dalle spiagge adiacenti alla zona protetta dalla barriera fino a quando la linea di frangimento sarà parallela alla linea di costa e il trasporto solido litoraneo sarà nullo. In questo modo l'apporto di sedimenti su entrambi i lati della zona protetta, genererà un saliente simmetrico o un tombolo;
- nel caso di onde incidenti in modo obliquo si genera un sistema di correnti e di trasporto solido lungo riva che continua a funzionare anche se si crea un saliente consistente. Le onde a tergo della struttura saranno più piccole, ma trasporteranno ancora quantità di sabbia significative.

Quando si intervallano le barriere con varchi per assicurare un sufficiente ricambio di acqua è però importante tener conto della distanza della barriera dalla spiaggia in relazione all'ampiezza del varco o al grado di riduzione dell'energia incidente.
L'efficacia locale di questo tipo di intervento è in genere assicurata nel medio-breve periodo, ma presenta alcuni inconvenienti:
- forte impatto ambientale;
- snaturalizzazione del litorale;
- formazione di specchi acquei con scarso ricambio;
- accentuazione dell'erosione verso i litorali sottoflutto rispetto al settore principale;
- in forti condizioni erosive, il litorale è soggetto comunque ad erosione;
- necessità di manutenzione periodica soprattutto alle testate delle barriere che vengono scalzate dalle correnti di ritorno;
- per effetto della riflessione dell'onda, si genera un approfondimento dei fondali lato mare.

Le barriere distaccate possono essere di diversi tipi: singole (per la protezione di aree localizzate) e segmentate (per la protezione ampie aree), emerse e sommerse, con berma più o meno larga, etc.
Le barriere emergenti hanno sommità più alta del livello del mare, le barriere sommerse sommità al massimo – 1,50 metri al di sotto di esso e le barriere soffolte possono emergere solo in bassa marea.
Il ricorso alle barriere soffolte può costituire un rischio per la navigazione poiché la loro efficacia è strettamente dipendente dalla sommergenza che, per ottenere una buona attenuazione dell'energia, deve essere ridotta. Quindi, per le attività di balneazione e navigazione sono necessarie boe, pali o isolotti di segnalazione ed eventuali varchi di passaggio.

- Barriere emerse e soffolte -

Le *barriere frangiflutti emerse*, assai diffuse lungo i litorali italiani, pur se efficaci per ridurre l'erosione delle spiagge, possono produrre gravi alterazioni all'habitat marino e costiero a seguito dell' intorbidimento e dell'inquinamento dell'acqua. Infatti la ridotta azione del moto ondoso dietro le barriere non consente l'allontanamento di materiale limoso e argilloso e soprattutto delle sostanze chimiche ed organiche inquinanti. Nel periodo estivo, nella zona di bassa agitazione si può osservare la proliferazione di flora algale (eutrofizzazione), a causa di un insufficiente ricambio delle acque, con conseguente inutilizzo dal punto di vista balneare.
Considerevole è anche l'elevato impatto paesaggistico con ovvie limitazioni per lo sviluppo turistico e socioeconomico delle zone costiere interessate.
Per attenuare tali effetti negativi sono stati studiati negli ultimi decenni numerosi provvedimenti correttivi, come ad esempio la creazione di varchi che rendono discontinue le barriere in modo da migliorare la circolazione nella zona interna.
Altri aspetti negativi connessi con l'utilizzo di tali strutture riguardano in primo luogo la possibilità,

spesso concreta, di interferire con il regime dei litorali limitrofi aggravando in tali zone il problema dell'erosione, nonché la necessità di approvvigionamento di idoneo ed abbondante materiale lapideo proveniente da cave che, come è noto, ha come conseguenza il deturpamento del paesaggio.
Quando viene impiegato a difesa di spiagge di grande interesse per la balneazione un sistema di barriere emergenti, sia pure segmentate, adeguatamente distanziate e realizzate con pietrame, si deve tener conto di possibili aspetti negativi:

- durante le mareggiate, le correnti di ritorno verso il largo, che si generano attraverso i varchi, causano il rapido approfondimento dei fondali nei varchi stessi. Il fenomeno risulta pericoloso per la balneazione e per la stabilità delle testate degli elementi della barriera;
- spostamento verso il largo della corrente litoranea.

Le barriere emerse più comuni sono le seguenti:

- Barriere con blocchi artificiali. Una barriera di questo tipo è formata generalmente da una struttura molto simile a quella di una diga foranea di un porto, anche se con una sezione più stretta. È composta da un nucleo interno trapezoidale in pietrame raramente protetto con materiale di pezzatura maggiore e lo strato più esterno viene realizzato disponendo alla rinfusa le unità in cemento armato prefabbricate, di differenti pesi e forme.
- Barriere con massi naturali. Questo tipo di opere è realizzato con pietrame selezionato avente pezzatura idonea all'entità del moto ondoso incidente. Le pietre utilizzate devono avere dimensioni uniformi e generalmente vengono appoggiate inferiormente su un filtro di pietrame o geoterrile adagiato sul substrato.

Esistono tipologie innovative di barriere non utilizzate comunemente e talvolta ancora in fase di sperimentazione. Tra queste si annoverano:

- Barriere Ferran. Barriere costituite da tre file di nove elementi prefabbricati in cemento armato, composti da un palo infisso a sezione triangolare. Lo scopo di tali strutture permeabili è quello di smorzare l'energia dell'onda incidente favorendo il passaggio e la sedimentazione di detriti anche grossolani e mantenendo un ricambio d'acqua sufficiente a mantenere la balneabilità della spiaggia, nonostante il notevole impatto estetico-paesaggistico. Tuttavia, la balneazione, nelle vicinanze dell'opera, può essere pericolosa, anche perché la struttura è spigolosa e può deteriorarsi nel tempo.
- Barriere con tubi Longard. Un tubo Longard è una struttura con un doppio strato in geotessuto estesa per la sua intera lunghezza e riempita idraulicamente con sabbia. Il tubo è abbastanza resistente e costituisce un substrato idoneo per lo sviluppo di organismi bentonici. Dal punto di vista funzionale, il peso stesso del tubo previene il possibile rotolamento ed agisce anche come dissipatore dell'energia delle onde, favorendo la formazione di un ambiente tranquillo lato terra, mentre il problema più comune è quello rappresentato dalle possibili forature.

- *Barriere sommerse* -

Una tipologia alternativa alla precedente è costituita dalle *barriere sommerse*. Queste si basano sul principio che per proteggere una spiaggia è necessario limitare il trasporto d'energia delle onde nelle zone a minore profondità, più facilmente erodibili. In definitiva, se con le tradizionali barriere frangiflutti viene quasi interamente interrotto il flusso di energia verso riva, con le barriere sommerse si determina il frangimento sulla berma in modo da ridurre l'energia trasmessa.
Pur se meno efficaci delle barriere tradizionali, questo tipo di opera garantisce una buona circolazione di acqua ed una sufficiente agitazione ondosa nelle zone costiere, tanto da non alterare sensibilmente l'habitat marino. Anzi si è dimostrato che in talune condizioni queste strutture forniscono un utile substrato per l'attecchimento di comunità bentoniche.

Inoltre la quantità di materiale necessaria per la loro realizzazione è sensibilmente minore rispetto ai tradizionali sistemi a elementi emergenti con varchi e questo comporta una riduzione dei costi di realizzazione e minori interventi manutentori dell'opera. Ovviamente l'impatto di tali opere è minore anche dal punto di vista paesaggistico.
I vantaggi legati ad interventi di difesa di questo tipo sono:

- dissipazione selettiva dell'energia ondosa per frangimento e riflessione parziale;
- creazione di punti fissi nel profilo di spiaggia;
- miglior ricambio delle acque;
- trattenimento dei sedimenti mobilizzati sul fondo, con diminuzione del trascinamento verso il largo e verso riva;
- impatto nullo sul paesaggio costiero.

Pennelli

I pennelli sono strutture perpendicolari o inclinate rispetto alla linea di costa con lo scopo di difendere il litorale dall'erosione ed intercettare il trasporto solido litoraneo. In genere, tali difese possono essere isolate o costituire un sistema in serie.

Particolare attenzione deve essere posta nell'ammorsare bene a terra la radice del pennello, al fine di evitare il suo aggiramento da parte dell'onda. I pennelli consentono una significativa attenuazione dell'energia delle correnti marine generate da moto ondoso ed una parziale riduzione del moto ondoso stesso. Tali opere possono essere di geometria molto variabile, ad andamento spezzato, rettilineo o curvo a seconda del contesto in cui si interviene e generalmente si estendono dal retrospiaggia fino alla prima linea dei frangenti.
Il rallentamento del trasporto litoraneo, indotto da un sistema di pennelli, ha come scopo principale una migliore distribuzione dei sedimenti sul litorale,al fine di riequilibrare o ricostruire una spiaggia. Tuttavia ciò ha ripercussioni dirette e indirette sul regime delle spiagge sottoflutto e quindi vi si può ricorrere solo se queste possono rimanere in equilibrio anche con apporti ridotti, o se non esistono spiagge.
La parte più esposta della struttura è quella di testata, che si trova ad assorbire il primo urto dell'onda. Invece la radice è meno sollecitata perché una parte dell'energia dell'onda va perduta nel frangimento sul fondo.
Quindi si dovrà dimensionare adeguatamente la testata, definendo sia la pendenza che le dimensioni dei materiali utilizzati e anche la curvatura della superficie. Il corpo del pennello, procedendo verso terra può divenire più esile, mentre il manto di protezione può essere asimmetrico con il lato più robusto verso la direzione di provenienza del mare dominante.
Pennelli realizzati in zone dove non è necessario mantenere un apporto di sabbie sottoflutto, possono essere abbastanza alti ed impermeabili in modo da bloccare completamente lo spostamento di materiale sabbioso nella zona d'influenza dell'opera. Dove, invece, sussiste la necessità di mantenere un apporto di sabbia sottoflutto, il pennello può essere costruito abbastanza corto, basso e permeabile in modo da poter consentire la tracimazione delle onde di tempesta o di alta marea e un'aliquota di trasporto solido.
Nel caso di difesa costituita da un sistema di pennelli, la costruzione dovrà iniziare dal primo pennello lato sottoflutto per proseguire poi, in successione, verso il lato sopraflutto.
Fattore molto importante è la spaziatura dei pennelli, che è funzione della direzione prevalente del moto ondoso, della lunghezza del pennello, dell'allineamento previsto per la spiaggia tra pennello e pennello e della portata solida in transito.

I pennelli possono essere realizzati per:

- ampliare una spiaggia intrappolando il flusso litoraneo;
- stabilizzare una spiaggia, soggetta a forti mareggiate o a periodici avanzamenti ed arretramenti, riducendo la velocità di asportazione;
- ridurre la velocità del trasporto lungo riva in un'area, riorientando la linea di spiaggia all'incirca perpendicolarmente alla direzione dell'onda predominante;
- prevenire l'accumulo in un'area sottoflutto.

Se peraltro l'attacco ondoso e' prevalentemente frontale, il trasporto solido litoraneo sarà scarso: in tal caso un sistema di pennelli non assicura la difesa della spiaggia, anzi può risultare dannoso, facilitando l'allontanamento dei sedimenti più fini.

L'impiego dei pennelli è utile anche quando si realizza una spiaggia con versamento artificiale. In tal caso, un sistema di pennelli tende a ridurre l'asportazione di materiale per effetto della deriva litoranea e quindi a limitare la necessità periodica di versamenti.

Infine, i principali fattori che devono essere tenuti in considerazione per la costruzione di un pennello o un sistema di pennelli sono:

- l'adeguatezza dell'apporto naturale di sabbia per garantire che i pennelli agiranno come previsto;
- il ripascimento artificiale in aree in cui l'apporto sabbioso da parte di correnti litorali è insufficiente per riempire il pennello o il campo di pennelli;
- l'accortezza di ammorsare i pennelli alla spiaggia per prevenire l'erosione al fianco;
- la valutazione della distanza alla quale la spiaggia sottoflutto sarà danneggiata dalla riduzione degli apporti di materiale se vengono impostati pennelli;
- la motivazione economica per la scelta dei pennelli nei confronti del solo ripascimento o di altre tipologie di opere.

Tra le strutture principali di pennelli si annoverano: pennelli permeabili, impermeabili, sommersi, compositi e di transizione.

I pennelli compositi spesso hanno segmenti paralleli alla spiaggia aggiunti alla sezione principale, chiamati aste. I pennelli con forma composita, a sperone, inclinati, dentellati, con forma a Z, angolari, con forma a L o con forma a T, sono stati costruiti con lo scopo di far conformare la spiaggia a un equilibrio dinamico più stabile, specialmente in punti specifici.

Essi limitano o reindirizzano lateralmente la corrente che si forma sul lato sopraflutto dei pennelli, riducendo in tal modo l'allontanamento di materiale dalla spiaggia e il passaggio delle sabbie alle celle sottoflutto.

Gli elementi paralleli alla riva riparano la spiaggia locale retrostante, incrementando l'accumulo di sedimenti e riducendo l'altezza dell'onda trasmessa con conseguente riduzione della ripidità del profilo di spiaggia.

Il fenomeno della diffrazione all'estremità dell'opera contribuisce in maniera sostanziale a determinare l'andamento della linea di costa.

Ripascimenti

Il ripascimento artificiale di una spiaggia consiste nel versamento sulla stessa di idoneo materiale di riporto estratto da cave terrestri o marine. Lo scopo dell'intervento è quello di stabilizzare o di ampliare una spiaggia in erosione o la realizzazione di una nuova.

La funzione del ripascimento artificiale è quella di agire sul bilancio dei sedimenti di un tratto di litorale rendendolo positivo o nullo. Il ripascimento può essere effettuato in un'unica soluzione e/o mediante alimentazione periodica con quantità da stabilirsi in base al deficit dei sedimenti lungo il

tratto costiero in esame e alle caratteristiche sia dei sedimenti originari che di quelli costituenti le cave di prestito.
I provvedimenti di ripascimento artificiale, nei casi in cui possono essere applicati, costituiscono generalmente il migliore sistema per ovviare ai problemi di erosione delle spiagge, presentando il notevole vantaggio di non provocare, a differenza degli altri tipi di difesa, sfavorevoli ripercussioni sul regime dei litorali adiacenti che, anzi, non possono che essere favoriti da un incremento degli apporti di sedimenti.
Il limite di questo tipo di intervento è legato alla disponibilità e ai costi economici dei materiali adatti al ripascimento: per tale motivo una possibilità realistica è costituita da un prelievo diretto di materiali sabbiosi dai fondali marini ad una profondità superiore a quella di chiusura del moto ondoso incidente.
E' comunque da ricordare che il rifornimento artificiale della spiaggia non risolve alla radice il problema dell'erosione e che occorrerà ripetere l'intervento con sequenza ciclica a causa delle perdite continue dovute all'azione erosiva del mare.
Da un punto di vista ambientale, l'unico inconveniente da prevedere è l'aumento temporaneo di torbidità delle acque costiere, almeno in fase iniziale, specialmente quando è rilevante la percentuale di sedimenti fini nel materiale di riporto. Va sottolineato inoltre che, nel caso di cave sottomarine di grande estensione, si possono manifestare ripercussioni non trascurabili sulla flora e la fauna della zona.
La scelta del materiale di apporto dovrà essere effettuata tenendo conto delle caratteristiche originarie dei sedimenti costieri. La qualità di progetto del materiale da versare sulla spiaggia dovrà essere stabilita in base alle caratteristiche granulometriche, mineralogiche e aromatiche del materiale originario. In particolare, per spiagge relativamente stabili o in leggero arretramento, sarà opportuno che il materiale di riporto abbia la stessa granulometria del materiale originario, o che sia di poco superiore. I sedimenti con granulometria leggermente più grossa risultano più stabili in condizioni normali ma possono dar luogo a profili di spiaggia più ripidi. L'utilizzo di materiale più fino comporterà invece, sotto l'azione del moto ondoso, la perdita di quantità anche considerevoli di sedimenti subito dopo il ripascimento, che possono risultare inaccettabili.
Le indagini da eseguire per un progetto di ripascimento artificiale, sia che si tratti della realizzazione di una nuova spiaggia, sia del mantenimento o dell'ampliamento di una già esistente, riguardano la dinamica del litorale su cui si interviene, specie la direzione del trasporto solido litoraneo e il deficit di sedimenti.
Il ripascimento di un segmento di spiaggia erodibile, può essere anche ottenuto stoccando adatto materiale al suo limite sopraflutto, utilizzando cioè i naturali processi di trasporto lungoriva per distribuire il materiale.
Per limitare la perdita del sedimento accumulato si può ricorrere all'uso di materiali estratti da cave terresti e di granulometria anche grossolana: si ottiene in tal modo una spiaggia artificiale senza dubbio più stabile e resistente all'azione del mare, ma meno gradevole di quella originaria. In ogni modo l'utilizzo di pezzature superiori ai 2 millimetri (ghiaie), deve essere limitato a siti particolarmente critici e di dimensioni ridotte, la cui salvaguardia ha anche un'importanza per le infrastrutture ubicate a ridosso dell'arenile (strade, linee ferroviarie, ecc). Non va sottovalutato inoltre, l'aspetto turistico-ricreativo e le conseguenti ricadute dal punto di vista economico, in quanto un arenile ricostruito in prevalenza con ghiaia, a causa delle caratteristiche tessiturali e delle variazioni morfologiche cui è soggetto nel tempo, non garantisce la stessa fruibilità di una spiaggia ricostruita con sabbia.
Ad ogni modo il tipo di ripascimento che offre maggiori vantaggi per efficacia, efficienza ed economicità è quello protetto. Il termine ripascimento protetto indica un intervento di difesa costiera realizzato con versamento di sedimento all'interno di opere rigide (barriere, pennelli o entrambe). La presenza di opere rigide, che hanno il duplice scopo di ridurre l'energia associata al moto ondoso e la

velocità delle correnti lungo la riva, permette di limitare le perdite di sedimento dal settore di costa da proteggere. Questa tipologia di protezione necessita inizialmente di un investimento superiore a quello richiesto per il solo versamento di sabbia, ma richiede minori oneri di manutenzione.

I ripascimenti protetti presentano peraltro i seguenti svantaggi:

- la presenza di barriere rigide può modificare la circolazione dei sedimenti con riflessi, nel lungo periodo, sul bilancio sedimentologico della spiaggia, la quale può subire una variazione del profilo originale;
- i pennelli sono soggetti, in presenza di forti mareggiate, a fenomeni di escavazione intorno al piede. Tale fenomeno è assai pericoloso per i bagnanti in quanto, a ridosso delle opere, si possono generare correnti di ritorno verso il largo non trascurabili e approfondimenti del fondale accentuati che persistono anche tempo dopo le mareggiate che li hanno generati;
- la presenza di sistemi di celle costituite da pennelli e barriere soffolte riduce il ricambio delle acque che, aumentando il loro tempo di residenza su bassi fondali, possono subire variazioni delle proprietà fisico-chimiche;
- ridotta fruibilità delle spiagge aventi valenza turistico-ricreativa. L'uso di barriere soffolte rende difficile la navigazione verso costa delle piccole imbarcazioni e genera pericoli per la balneazione dovuti alle correnti indotte dal moto ondoso.

I ripascimenti protetti possono essere applicati ad una vasta gamma di situazioni laddove ci sia una conoscenza approfondita della dinamica sedimentaria, fermo restando che le opere di protezione devono essere progettate per ridurre al minimo il loro impatto sui processi morfodinamici della spiaggia e dell'unità fisiografica in cui si trova. Errori nella progettazione ed ubicazione delle barriere e dei pennelli possono ridurre notevolmente l'efficienza dell'opera o addirittura generare effetti controproducenti sulla stabilità degli arenili e dei fondali limitrofi.

Opere di by-pass

Qualsiasi opera portuale aggettante influenza la dinamica dei sedimenti costieri e intercetta parte del trasporto solido litoraneo. Per ripristinare il naturale trasporto dei sedimenti da un lato all'altro della struttura ad opera delle correnti litoranee si possono utilizzare sistemi di "by-passing".

L'utilizzo del by-pass ha come obiettivo quello di ridurre al minimo le variazioni batimetriche dei fondali adiacenti l'opera e le eventuali variazioni della linea di riva. La soluzione del by-passing, pur essendo semplice dal punto di vista concettuale, è di difficile applicazione a causa della continuità e della puntualità di gestione necessaria nel lungo periodo. Il sistema, infatti, deve operare continuamente, come continuo è il trasporto litoraneo e richiede quindi costi di manutenzione rilevanti.

Per l'effettuazione delle attività di by-passing possono essere adottate due modalità operative:

- metodo per intercettazione
- metodo per accumulo

e due tempistiche operative:

- by-passing continuo
- by-passing periodico

In un sistema ad intercettazione il by-passing viene effettuato da aree in cui il trasporto litoraneo longitudinale si presenta con caratteristiche di continuità.

In un sistema di accumulo il by-passing viene effettuato da un'area relativamente estesa nella quale viene intrappolata e trattenuta una consistente quantità di sedimenti.

Quando la capacità di accumulo è minima in un sistema ad intercettazione a basso volume di immagazzinamento il by-passing viene effettuato con continuità, su una base giornaliera o settimanale a bassa portata.
Quando il trasporto solido è elevato e la variabilità stagionale, o anche legata a singoli eventi, è significativa, è preferibile utilizzare sistemi ad accumulo, nei quali il by-passing è effettuato in modo intermittente o periodico ad intervalli variabili da pochi mesi a qualche anno.
Un sistema ad accumulo consente di effettuare le operazioni di by-passing con una programmazione regolare ed è progettato per valori medi del trasporto litoraneo nel lungo termine, prevedendo operazioni di by-passing solo nel caso di picchi stagionali di trasporto sedimentario.
Questo tipo di approccio progettuale risulta più economico di quello del sistema per intercettazione. In presenza di elevati volumi di sedimenti trasportati, infatti. i sistemi ad accumulo richiedono una capacità massima di movimentazione inferiore e quindi costi di investimento e manutenzione minori.
In un sistema di intercettazione si possono individuare differenti metodologie di movimentazione del materiale impiegato:
sistema 1 stazione di pompaggio fissa a terra con testa dragante nella zona di dispersione
sistema 2 pompa a testa dragante rotante montata in posizione fissa sul molo sopraflutto o un corpo pontile che si diparte da quest' ultimo.
sistema 3 pompa a testa dragante rotante montata in posizione mobile lungo il molo sopraflutto.
sistema 4 sistema fisso montato su pontile
sistema 5 sistema mobile montato su pontile
Tali sistemi presentano vantaggi considerevoli rispetto alla realizzazione del bypass via terra o via mare secondo le tecniche tradizionali. Infatti, oltre alla possibilità di avere un funzionamento continuo, rispetto alla movimentazione via terra l'impatto ambientale è sicuramente minore in termini di inquinamento dell'atmosfera e di danneggiamento delle infrastrutture viarie indotto dal transito degli automezzi pesanti.
Le dimensioni, i tempi di esercizio e le modalità operative degli impianti devono essere dimensionate in funzione della portata solida di sedimento stimata nel settore di spiaggia emersa e sommersa sul quale sorgerà l'opera. Il meccanismo di aspirazione e refluimento del materiale deve essere realizzato limitando il più possibile la risospensione e la torbidità delle acque nell'area.

Dune, argini a mare e foci fluviali
Le dune sono le ultime opere naturali di difesa della costa e rappresentano anche un habitat di importante valore naturalistico e paesaggistico.
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, stabilizzano e trattengono umidità nella sabbia.
Le dune fisse hanno benefici effetti sul retrospiaggia e in generale sull'ambiente costiero perché costituiscono:
- un argine per le acque
- un accumulo di sabbia che alimenta la spiaggia occasionalmente in erosione
- una barriera frangivento che trattiene le sabbie e il salmastro proteggendo il retrospiaggia.

La manutenzione della duna deve comprendere, oltre alle operazioni che ne determinano l'integrità come argine (quota e consistenza del coronamento), anche quelle che ne assicurano la sussistenza come sistema ecologico, a carattere prevalentemente vegetazionale. Fra queste ultime è particolarmente importante:
- mantenere la falda di acqua dolce sottostante, evitando il prelievo da pozzi artificiali limitrofi e facilitando la percolazione delle acque piovane;

- conservare la struttura di barriera naturale, anche e soprattutto nelle sue parti più esposte che fronteggiano il mare, come la zona erbacea che fissa la sabbia (vegetazione colonizzatrice) e quella cespugliosa retrostante (vegetazione schermante).

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

La rinaturalizzazione della fascia costiera, la tutela e la ricostituzione della duna litoranea dovrebbero essere conseguite con interventi e tecniche atti a minimizzare l'impatto ambientale e consentire, nel lungo periodo, l'obiettivo di una generale rinaturalizzazione delle spiagge e ricostituzione degli habitat acquatici in prossimità delle coste. I progetti d'intervento sono predisposti sulla base di idonee misure del moto ondoso, di studi sulla natura geologica e stratigrafica della fascia costiera e sull'habitat costiero e di previsioni sulla evoluzione dei processi litoranei. In particolare, la ricostruzione dei cordoni dunali e la realizzazione di opere realizzate per facilitarne l'attraversamento (quali sentieri e passerelle) dovrebbero essere realizzate per mezzo di tecniche naturalistiche quali palificate, fascinate o altre strutture flessibili in grado di ridurre l'effetto esercitato dal vento e favorire così processi di deposizione delle sabbie.

Gli argini a mare sono il sostituto artificiale delle dune. Essi realizzano praticamente solo il primo dei suddetti benefici essendo in genere, protetti sul lato mare da un rivestimento. 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 la sommità più irregolare.
Particolare attenzione deve essere riservata alle foci fluviali spesso in erosione per la diminuzione di apporti solidi al fondo, che si manifesta con forte arretramento delle parti prominenti (foci) rispetto alle zone concave (aree interfociali).
Le foci, d'altro canto, sono praticamente l'unica fonte di rifornimento delle spiagge alimentate dai corsi d'acqua, sia perché da esse si diffondono gli apporti solidi fluviali e sia perché il materiale proveniente dalla loro erosione va a rifornire le aree interfociali.
Impedire l'arretramento delle foci o addirittura voler recuperare spiaggia con scogliere foranee o con pennelli è estremamente dannoso per l'equilibrio dei litorali. Gli apporti solidi fluviali verrebbero in gran parte intrappolati da tali difese; inoltre una maggior percentuale di essi verrebbe dispersa verso il largo, perché questi manufatti prolungherebbero in qualche modo le foci verso fondali più profondi.
Le difese, inoltre, impedendo l'erosione delle foci, eliminerebbero un'essenziale fonte di rifornimento alle spiagge adiacenti, innescando l'erosione nelle aree interfociali o aggravandola se già in atto.
D'altra parte, proteggere aree con così forte tendenza all'arretramento sarebbe costoso e darebbe, per lo più, modesti risultati.
Ciò vale non solo per gli interventi di tipo «tradizionale» (scogliere, foranee, pennelli ecc.), ma anche per i ripascimenti artificiali. Analoghe negative conseguenze si avrebbero qualora venissero costruiti moli fluviali in prossimità di una foce.
Alle aree di foce, dunque, dovrà essere permesso di evolversi liberamente, a meno che, l'erosione non porti alla distruzione di importanti beni economici, naturali o storico-artistici.
Arretrando, esse si collocheranno su una linea di maggior equilibrio, più facilmente difendibile. A quel punto si potrà eventualmente intervenire con difese che servono ad attenuare la residua tendenza all'arretramento, senza impedire il trasporto dei sedimenti lungo riva.

In tali aree non si dovrà dunque costruire se non ad una opportuna distanza di sicurezza, superiore a quella adottata per le spiagge interfociali.

Progettazione

In Italia i fenomeni erosivi e il problema della difesa delle coste hanno un significato particolare dato l'elevato pregio ambientale delle spiagge che le rende importanti sia dal punto di vista ambientale che economico costituendo una delle principali fonti di attrazione per il turismo. In tale contesto una corretta progettazione di opere di difesa costiera nonché la valutazione degli effetti prodotti dalla realizzazione di nuove strutture sul litorale risulta cruciale.

Prima di procedere alla progettazione di qualunque tipo di opera di difesa costiera è opportuno conoscere in maniera approfondita sia l'assetto fisico che quello urbanistico del sito in esame, conoscere la sua naturale evoluzione nonché la vocazione turistica o industriale, le eventuali vie di comunicazioni e i vincoli territoriali e/o paesaggistici.
Il progetto deve chiarire l'obiettivo che si vuole raggiungere e la filosofia adottata per perseguire tale obiettivo; deve inoltre contenere la definizione esatta e completa delle opere da eseguire, dei materiali da adoperare, le modalità costruttive e le tolleranze ammissibili, lo studio di più varianti esaminate e confrontate sia dal punto di vista tecnico che economico. Il tutto deve basarsi su un'analisi approfondita delle condizioni naturali ed ambientali e delle opportune indagini geologiche e geotecniche. Il progetto deve contenere un programma temporale dei lavori dal quale emergano i punti critici.
La progettazione marittima ha una forte necessità di approfondimenti: si interviene su un ambiente dinamico, quale coste e foci fluviali, quindi le influenze di un intervento possono ripercuotersi in una zona molto più estesa di quella interessata dall'opera.
Negli ultimi anni, sulla base di esperienze non tutte positive, si è consolidata la pratica di provvedere in via preventiva a corredare gli studi con prove su modelli, sia fisici che matematici, che hanno un elevato livello di attendibilità.
La progettazione e la costruzione di opere costiere dovranno comprendere un'adeguata valutazione del moto ondoso, degli studi su modello, degli aspetti geotecnici, della resistenza dei materiali e delle procedure di costruzione.
Il primo passo dell'iter progettuale è l'individuazione delle necessità del progetto, che scaturisce da risultati degli studi socio-economici, da un'analisi costi-benefici ottenibili dalla realizzazione del progetto e dall'applicazione delle metodologie dell'ingegneria finanziaria.
L'acquisizione dei dati di base avviene nei quattro settori principali: morfologico, meteomarino, territoriale ed ambientale.
La progettazione si articola sui seguenti temi fondamentali:

- Studi propedeutici;
- La modellistica;
- La scelta delle tipologie di intervento;
- Monitoraggio e gestione;

Il processo decisionale che si accompagna ad un intervento di difesa costiera alle varie scale spaziali è articolato ed impegnativo sia dal punto di vista tecnico che economico, come si può osservare dalla figura seguente:

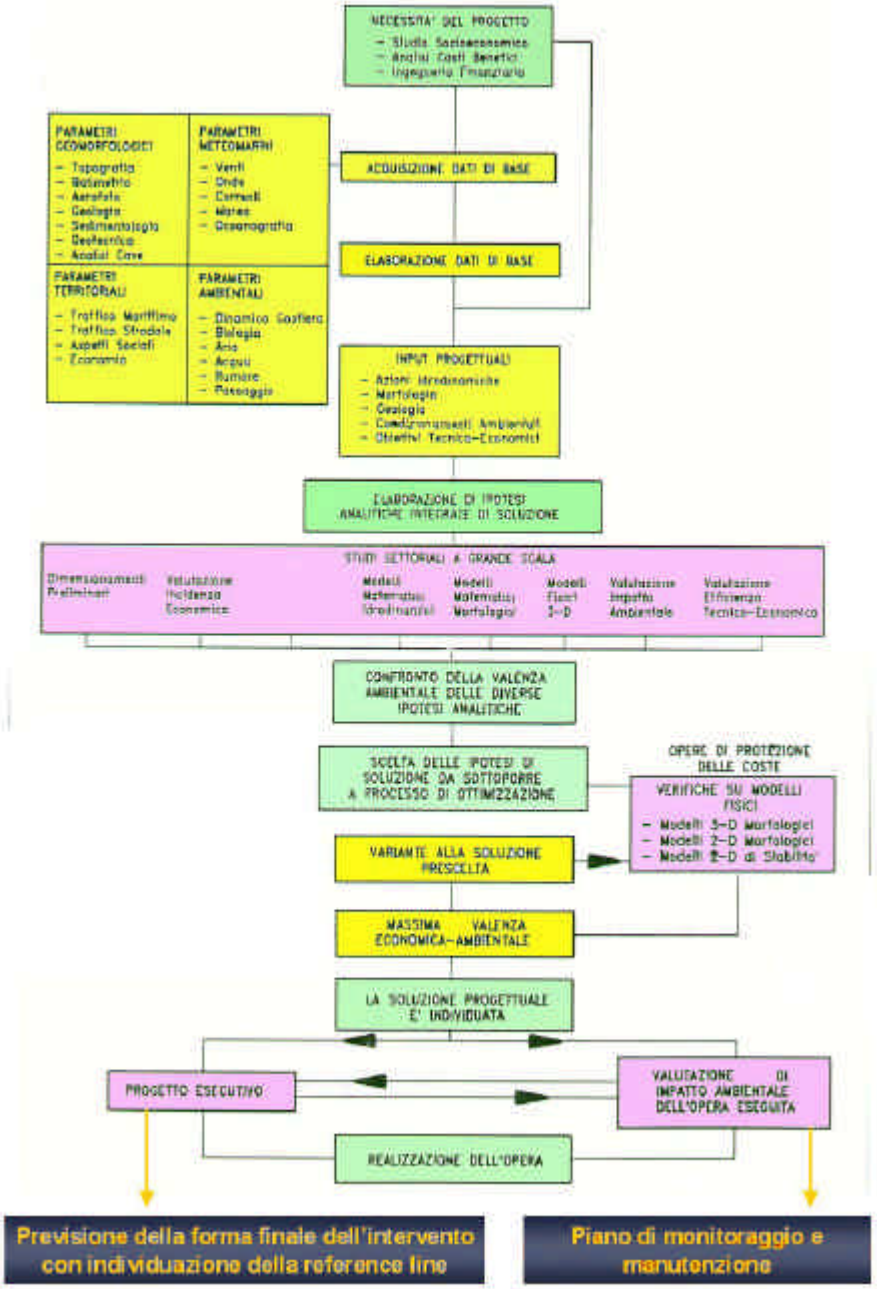

Figura 6. Processo decisionale che accompagna un intervento di difesa costiera

La modellistica

Obbiettivi

Per verificare l'efficienza degli interventi sia dal punto di vista strutturale che da quello idraulico-marittimo dovranno essere utilizzati opportuni modelli matematici e fisici. Adeguate verifiche dovranno essere effettuate anche per l'analisi dell'interferenza delle opere in progetto con i processi di dinamica costiera.

A tale scopo sarà necessaria una fase preliminare per la determinazione del clima ondoso del paraggio e del regime delle correnti costiere che hanno influenza diretta sui fenomeni di trasporto. A partire da tali dati potrà successivamente essere condotta l'analisi del trasporto dei sedimenti costieri e lo studio dell'evoluzione della linea di riva a larga scala.
In presenza di foci inoltre, lo studio dovrà essere volto alla determinazione delle caratteristiche idrologiche ed idrauliche del bacino tributario ed alla valutazione dell'apporto solido terrigeno.
L'indagine a larga scala dovrà essere articolata come segue:

- Clima ondoso al largo e sottocosta ed eventi estremi;
- Regime dei venti;
- Regime delle correnti;
- Dinamica costiera longitudinale: determinazione del trasporto solido con e senza interventi di protezione;
- Dinamica costiera trasversale con e senza interventi di protezione;
- Evoluzione della linea di riva secondo le diverse soluzioni progettuali analizzate;
- Studio morfodinamico ad alta risoluzione.

Modelli matematici

Lo studio dell'interferenza delle opere di difesa con il regime litoraneo potrà essere eseguito mediante l'utilizzo di idonei modelli matematici, sia con riferimento ai processi di dinamica in direzione longitudinale, connessi alle correnti costiere *longshore*, sia a quelli in direzione trasversale alla riva, determinati da correnti di tipo *crosshore*.
Per la corretta interpretazione, gli studi andranno condotti sia con riferimento allo stato attuale (e cioè in assenza delle nuove opere) che a quello di progetto (e cioè in presenza di opere) e l'area oggetto di studio deve essere estesa all'intera linea di costa dell'unità fisiografica.
In relazione alle caratteristiche sedimentologiche del materiale di fondo ed alle caratteristiche del clima ondoso, il modello matematico dovrà consentire la valutazione del trasporto di materiale solido in direzione *longshore* e *crosshore* e la determinazione dei campi di moto connessi alla circolazione costiera.
Sempre mediante l'impiego di un idoneo modello matematico, almeno del tipo "ad una linea", dovrà inoltre essere analizzata la tendenza evolutiva futura del litorale, in presenza ed in assenza delle opere in progetto; la calibrazione del modello dovrà essere effettuata mediante una corretta analisi dell'evoluzione storica della stessa linea di riva, ricostruita attraverso il reperimento di adeguate cartografie riferite all'intera unità fisiografica. In presenza di foci fluviali e/o torrentizie il modello dovrà portare in conto l'apporto solido proveniente dal corso d'acqua.

In generale, le caratteristiche minime dei modelli da utilizzare devono essere le seguenti:

1. il modello di propagazione ondosa dovrà tenere conto dei fenomeni di rifrazione, shoaling e frangimento dovuti al fondale e dei fenomeni di diffrazione e riflessione indotti dalle strutture esistenti. Il modello dovrà altresì essere applicabile alla batimetria reale delle varie aree (sono da

escludersi semplificazioni sul tipo di piano inclinato) e permettere una risoluzione adeguata per valutare le modifiche spaziali soprattutto nei pressi delle opere di difesa;

2. il modello di trasporto solido dovrà essere in grado di simulare e quantificare il trasporto longitudinale e trasversale dei sedimenti (sia come trasporto di fondo che in sospensione) sulla base della batimetria reale dell'area, della distribuzione, tipologia e granulometria dei sedimenti. Il modello dovrà inoltre portare in conto l'apporto sedimentario da parte di corsi d'acqua;
3. il modello di evoluzione della linea di riva, anche del tipo "ad una linea", dovrà consentire la simulazione dell'evoluzione della posizione della linea di battigia nel tempo per litorali sabbiosi, anche in presenza di strutture quali barriere distaccate emerse, pennelli, barriere sommerse, difese aderenti;
4. il modello di evoluzione del profilo trasversale alla costa dovrà essere applicabile al profilo "reale attuale" e al profilo di "progetto" nelle aree ove occorrano ripascimenti. Il modello, inoltre, dovrà essere in grado di tenere in conto la granulometria dei sedimenti attualmente presenti e quelli che verranno utilizzati per il ripascimento e dovrà permettere il confronto quantitativo e l'evoluzione temporale attesa nei due casi sotto l'azione dei termini forzanti meteomarini ordinari ed estremi dell'area considerata.

Modelli di propagazione ondosa

La caratterizzazione del moto ondoso al largo e sottocosta, costituisce uno dei presupposti fondamentali per la determinazione del trasporto solido costiero e l'analisi evolutiva della linea di costa. Lo studio del moto ondoso al largo deve essere effettuato mediante l'utilizzo di un idoneo modello numerico di hindcasting, opportunamente tarato, in cui vengano utilizzati come forzanti i dati anemometrici e/o i dati ondametrici, in numero tale da garantire una rappresentatività statistica delle condizioni climatiche.

La propagazione del moto dal largo a riva dovrà essere eseguita mediante un modello numerico in grado di simulare gli effetti dei fenomeni:

- rifrazione e shoaling dovuti a variazioni del fondale e alle correnti
- trasmissione e riflessione dovuti alla presenza di ostacoli
- interazione con correnti
- generazione e dissipazione di energia del moto ondoso: generazione dovuta al vento; dissipazione dovuta al whitecapping, all'attrito con il fondale, al frangimento e alle interazioni non lineari tra componenti di onde di diversa frequenza.

Lo studio su larga scala dovrà essere riferito almeno all'intera unità fisiografica.

I dati ondametrici forniti dagli ondametri RON (Rete Ondametrica Nazionale), gestiti da APAT, riferiti a un periodo di osservazione di circa 16 anni e, costituiscono una base per la calibrazione dei modelli di simulazione della distribuzione spaziale del clima ondoso a largo.

Modelli di spiaggia

Una immediata estensione dei modelli idrodinamici sono i modelli morfologici che, sulla base dei risultati dell'applicazione dei primi, in termini di azioni idrodinamiche esercitate sui sedimenti di fondo e delle caratteristiche fisiche di questi ultimi, sono in grado di simulare la dinamica dei fondali e del litorale e valutare entità ed estensione dei fenomeni.

- Il *modello numerico di trasporto solido* dovrà consentire la determinazione qualitativa e quantitativa del trasporto solido costiero medio annuo in direzione trasversale e longitudinale, tenendo conto dell'effetto delle infrastrutture marittime e degli apporti solidi fluviali e, allo stesso tempo, dovrà

consentire di riprodurre gli effetti sui sedimenti dei fenomeni di interazione del moto ondoso con le opere presenti (riflessione e diffrazione).
Dovranno essere considerati gli effetti dei ripascimenti artificiali e dei by-pass portuali, utilizzando le informazioni circa la distribuzione, la tipologia e la granulometria dei sedimenti e la batimetria dell'area.

Per studi a piccola scala, nelle aree intorno a porti o ad opere di difesa, sarà necessario impiegare modelli tridimensionali che tengano conto dei fenomeni di:

- propagazione delle onde;
- effetti di stratificazione;
- diffusione e dispersione turbolenta;
- stress del vento;
- batimetria di dettaglio;
- effetti idrodinamici dei fiumi e dei canali di scarico.

- Il *modello numerico di evoluzione della linea di riva* nei litorali sabbiosi, anche del tipo "ad una linea", dovrà consentire la simulazione dell'evoluzione nel tempo della linea di riva, anche in presenza di strutture costiere.
Tale modello deve essere in grado di rappresentare la modificazione subita dalla linea di riva considerando come termini sorgente il variare del trasporto solido litoraneo dovuto ai fenomeni naturali ed all'influenza delle strutture costiere.
In presenza di foci fluviali e/o torrentizie, il modello dovrà tenere in conto l'apporto solido proveniente dal corso d'acqua.
Nella fattispecie dovrà considerare le interazioni con:

- barriere emerse e sommerse
- pennelli
- difese aderenti

fornendo in output la posizione nel tempo del profilo della costa e la quantità di materiale accumulato o eroso.
Gli studi devono essere condotti prima senza le opere di difesa, quindi con le opere nello stato attuale ed infine considerando le opere previste nelle modifiche di progetto. Le simulazioni con i diversi scenari devono essere estese all'intera unità fisiografica.

- Il *modello di simulazione della dinamica dell'evoluzione del profilo trasversale* alla costa dovrà essere applicato al profilo attuale e al profilo di progetto nelle aree ove occorrano ripascimenti. Verranno considerati:

- propagazione del moto ondoso
- variazioni del livello marino e della corrente di longshore
- batimetria di dettaglio

Il modello dovrà inoltre essere in grado di tenere conto della granulometria dei sedimenti attualmente presenti e di quelli che verranno utilizzati per il ripascimento.
Lo studio dovrà permettere di valutare gli effetti della dinamica trasversale sotto l'azione delle forzanti meteomarine estreme (caratteristiche dell'area considerata) sia nella situazione attuale che in quella di progetto.

Modelli Fisici

I modelli fisici bidimensionali e tridimensionali sono la riproduzione in laboratorio di un fenomeno naturale che viene simulato in scala ridotta.

Quando i processi coinvolti non si prestano ad una agevole schematizzazione matematica, a causa della loro complessità, costituiscono spesso uno strumento di conferma e di taratura dei risultati forniti dai modelli matematici.

In particolare, si ricorre al modello fisico in scala ridotta tridimensionale quando è necessario fin dalla fase iniziale studiare fenomeni idrodinamici complessi, che interessano aree di estensione limitata, e sono legati a caratteristiche morfologiche locali o strutturali.

In linea teorica un modello fisico dovrebbe essere una perfetta riproduzione del prototipo, e quindi tutte le principali grandezze coinvolte dovrebbero essere in scala nel passaggio dall'originale al modello.

Di contro, i modelli fisici presentano difficoltà di vario tipo, che possono essere tutte ricondotte alla incapacità di riprodurre esattamente in laboratorio le condizioni presenti in natura. Questi inconvenienti prendono il nome di effetti scala e di effetti laboratorio. Gli effetti scala nascono nei modelli a scala ridotta quando non è possibile scalare tutte le grandezze significative in maniera corretta tra l'originale e il modello. Gli effetti-laboratorio sono causati dal fatto che un'installazione sperimentale non è in grado di riprodurre le stesse condizioni fisiche presenti in natura.

A seconda della natura delle grandezze fisiche che vengono riprodotte in modello si definiscono tre diversi tipi di similitudine: geometrica, cinematica, dinamica.

La similitudine geometrica sussiste quando esiste un rapporto costante tra le dimensioni lineari del prototipo e dell'originale. Ciò implica, ad esempio, che venga adottato lo stesso fattore di scala per le dimensioni orizzontali e verticali. I modelli che non soddisfano la similitudine geometrica sono detti a scala distorta.

La similitudine cinematica comporta la similitudine tra il campo di moto delle particelle nell'originale e nel prototipo; il rapporto tra le componenti dei campi di moto in ~~originale~~ modello e in prototipo deve essere costante, e le traiettorie delle particelle sono in similitudine geometrica.

La similitudine dinamica si ha quando oltre alla similitudine geometrica e cinematica, esiste un rapporto costante tra le forze nell'originale e nel modello.

L'obiettivo principale di chi affronta un problema di modellistica fisica è fare in modo che sia rispettata la similitudine per le forze più importanti, valutando l'effetto del mancato rispetto delle altre condizioni.

Modelli di propagazione ondosa

La tipologia dei modelli fisici che viene utilizzata varia a seconda del settore di applicazione. È infatti necessario distinguere tra i settori applicativi relativi alle opere portuali (dighe, banchine di riva, ormeggi) e quelli relativi alle opere di protezione delle coste e dei fondali (recupero di spiagge soggette ad erosione, pennelli, interventi di ripascimento).

Lo studio del comportamento delle strutture costituenti le opere portuali richiede l'esecuzione di misure volte ad accertare la capacità delle opere stesse di esercitare la loro funzione protettrice senza subire danneggiamenti provocati dall'azione del mare. Tali misure sono per lo più volte ad acquisire informazioni sull'attività ondosa nell'area studiata, sulle forze agenti, sui movimenti indotti in parti strutturali e sulle azioni sui natanti. È quindi di fondamentale importanza che siano riprodotti correttamente i fenomeni di propagazione del moto ondoso incidente. I modelli fisici in scala ridotta in campo idraulico-marittimo per l'analisi dei suddetti fenomeni possono essere di tipo bidimensionale o tridimensionale. I modelli bidimensionali vengono realizzati in bacini, detti

canalette, in cui la lunghezza è molto maggiore della larghezza; i rapporti lunghezza-larghezza normalmente adottati sono superiori a *25*. Ciò consente di ottenere che la propagazione delle onde abbia caratteristiche quasi perfettamente bidimensionali con fronte rettilineo ortogonale alle pareti del canale e di altezza costante.
In tal modo è possibile trascurare gli scambi di energia laterali propri del campo tridimensionale riproducendo le condizioni teoriche impiegate comunemente per il dimensionamento strutturale delle opere costiere.
Con modelli di questo tipo vengono generalmente studiati la tracimazione delle onde sui moli, i profili delle spiagge, la stabilità delle opere a gettata e l'azione delle forze idrodinamiche agenti su opere di tipo particolare quali cassoni forati o elementi galleggianti o sulle opere del tipo a parete verticale.
I modelli tridimensionali vendono realizzati in vasche che devono avere opportune dimensioni e profondità.
Possono differire per la metodologia di riproduzione del fondo che può essere mobile, per simulare il movimento dei sedimenti naturali, oppure, quando non è in esame questo aspetto, fissato rigidamente
I modelli a fondo fisso, vengono realizzati modellando la batimetria del fondale in calcestruzzo al fine di riprodurre correttamente le caratteristiche locali di propagazione del moto ondoso. Vi vengono studiati i fenomeni di agitazione interna dei bacini portuali causati dalle mareggiate più intense ed effettuate analisi di operatività di banchine, pontili, strutture d'accosto, il campo idrodinamico nell'intorno di opere di protezione costiera, le forze esercitate su tali opere. I risultati dell'applicazione dei modelli fisici marittimi dipendono sensibilmente dalle condizioni di input cui vengono sottoposti e cioè dalle caratteristiche dei moti ondosi impiegati durante le esperienze, che possono preliminarmente essere definite con accuratezza attraverso l'utilizzo di opportuni modelli matematici.

Modelli di spiaggia

I modelli a fondo mobile prevedono che il fondale sia costituito da materiale di varia granulometria e peso specifico in dipendenza delle caratteristiche del materiale e della morfologia naturale e delle leggi di riproduzione in scala.

Su questi modelli vengono generalmente studiate l'evoluzione e la stabilità di ridotte estensioni di litorale, gli effetti indotti da strutture portuali o da opere di protezione sull'equilibrio della costa adiacente e la stabilità di interventi di ripascimento.

I modelli in generale vengono impostati per riprodurre in scala ridotta i fenomeni fisici dominanti nel reale, e generalmente richiedono due fasi metodologiche. Dapprima devono essere identificati i fenomeni dominanti e quindi si deve dimostrare la possibilità di riprodurli su modello in scala ridotta.
Il criterio base di similitudine per un modello a fondo mobile è quello della riproducibilità dei profili di equilibrio di una spiaggia sotto l'azione di tipi similari di mareggiate riprodotte in scala.
Nell'impostare modelli a fondo mobile inoltre, per esaminare i fenomeni riproducibili nella realtà, l'esperienza porta a consigliare alcune norme pratiche da tener presenti, ad esempio riguardo alla scala del modello, che deve essere la maggiore possibile per aumentare il grado di attendibilità delle prove (in tal caso il materiale, che riproduce la sabbia della spiaggia prototipo, può agevolmente essere costituito da una sabbia naturale ancorché di granulometria più fine).

Scelta delle tipologie di intervento

Una volta acquisiti i risultati delle indagini tendenti a individuare la dinamica del trasporto solido litoraneo, si è in grado di operare una scelta del sistema più idoneo a contenere i processi evolutivi del litorale. E' da tenere presente che qualsiasi opera a mare costituisce un ostacolo al libero propagarsi

del moto ondoso e al risultante trasporto solido litoraneo. Esistono numerosi esempi di interventi che hanno determinato l' accrescimento nella fascia da proteggere, ma nel contempo hanno prodotto sensibili erosioni nei tratti di litorale limitrofi. Infatti, un'opera di protezione limitata a un breve tratto in erosione può aggravare i fenomeni erosivi in atto o addirittura innescarne di nuovi sulle rive adiacenti non protette, il cui bilancio dei sedimenti dovrà registrare in negativo il mancato apporto di materiale non più eroso nel tratto protetto e quindi sottratto alla naturale dinamica del trasporto litoraneo.

Da ciò scaturisce la necessità di programmare gli interventi non con singole opere, ma con un sistema di difesa che consenta di assicurare l'integrità del litorale nell'intera unità fisiografica. Sul lungo termine un tal modo di operare si rivelerà molto più efficace e economico.
Il sistema di difesa, per risultare efficace, deve assolvere la funzione di controllare l'intensità delle correnti litoranee, longitudinali e trasversali, e del moto ondoso. In tal modo viene ad attenuarsi la causa dell'asportazione dei sedimenti e quindi dell'arretramento della linea di riva.
La scelta del tipo di opere può essere determinata da molteplici fattori:

- l'urgenza;
- il tipo di regime dei trasporti longitudinali e trasversali;
- l'importanza della marea;
- l'importanza del moto ondoso;
- la stabilità morfologica del paraggio;
- la finalità dell'intervento.

L'urgenza porta a scegliere quelle opere che non hanno gravi controindicazioni, che possono essere attuate senza approfonditi studi, e che coinvolgono piccoli volumi di materiale con costi in genere limitati.
L'urgenza, anche la più estrema, non deve essere però addotta a giustificazione di interventi palesemente antieconomici, poiché, per quanto frettolosa, una stima del valore dei beni difesi e dei costi può essere fatta e ciò indipendentemente dalla salvaguardia della vita umana che è garantita assai più da provvedimenti di sgombero che non da opere di difesa.
Si distinguono i seguenti tipi di urgenza:

- estrema: l'intervento deve essere iniziato subito (entro cinque giorni), anche in assenza di un formale progetto;
- media: l'intervento deve essere iniziato entro un anno, ma devono essere programmate ed eseguite indagini necessarie alla corretta progettazione;
- generica: devono essere eseguite tutte le indagini necessarie alla corretta progettazione.

Come tipi di regime del trasporto solido litoraneo possono essere schematicamente individuati i seguenti:

- trasporto litoraneo assente o insignificante rispetto ai movimenti della spiaggia;
- trasporti litoranei importanti ma con deriva mal definita;
- trasporti litoranei importanti e deriva ben definita.

Per l'importanza della marea si distinguono due classi:

- non significativo: escursioni di livello contenute in qualche decina di centimetri;
- importante: escursione di marea dell'ordine di mezzo metro o più e/o possibilità di sovralzo di altezza superiore al metro.

Per l'importanza del moto ondoso si distinguono due classi:

- moderato: mareggiate con altezza significativa inferiore a 2 m;
- significativo: mareggiate con altezza significativa superiore a 2 m.

Infine, per l'instabilità morfologica del paraggio, conviene osservare che essa è inversamente legata alle dimensioni spaziali delle grandi forme caratterizzanti la riva e all'altezza della spiaggia attiva, e direttamente all'erodibilità della costa; si distinguono le seguenti classi:
- insignificante (ad esempio falesie);
- modesta (ad esempio spiagge sottili di grande estensione e spiagge a tasca (pocket beach);
- importante (ad esempio cuspidi fociali e piccole unità fisiografiche con forti trasporti).

Il tipo di regime del trasporto litoraneo è basilare nella scelta della struttura e interessa comunque il regime attuale e non quello passato. L'importanza della marea porta a scegliere strutture la cui risposta funzionale sia poco sensibile alle variazioni del livello del mare, mentre l'instabilità morfologica del paraggio dovrebbe orientare il progettista verso la scelta di strutture con costo iniziale e vita presunta limitati.
Infine è necessario distinguere tra opere di difesa della spiaggia, a cui si richiede la conservazione della spiaggia stessa, dalle opere di difesa della costa, in cui, vedi il caso delle difese parallele, la finalità può essere raggiunta anche a scapito della conservazione di una spiaggia.
In particolare possono darsi le indicazioni seguenti.
I pennelli sono consigliabili dove la deriva litoranea è ben definita e al fine di ridistribuire lungo il litorale gli apporti fluviali in ragione diversa da quella che discende dal regime del moto ondoso e dalla configurazione attuale del litorale (ad esempio per la stabilizzazione di apparati di foce andati in erosione per il ridursi, degli apporti solidi sabbiosi). I pennelli risultano poco sensibili alla marea, ma debbono essere ben radicati a terra e impiegati con prudenza in litorali morfologicamente instabili.
I frangiflutti foranei sono da consigliare dove l'escursione di marea e il trasporto solido sono modesti.
Rivestimenti e soprattutto muri di sponda sono in genere da sconsigliare per la stabilità della spiaggia, ad eccezione di opere di modesto rilievo, che vengono interessate dall'onda solo in condizioni di sovralzo eccezionale.
Frangiflutti foranei e difese radenti non sono consigliabili dove la conformazione della costa è rapidamente variabile.
I ripascimenti artificiali sono invece da consigliare dove il trasporto solido e il moto ondoso sono modesti; si prestano ottimamente sia dove l'escursione di marea è forte, sia dove la morfologia è labile.
Dove il trasporto litoraneo è consistente, i ripascimenti dovranno essere abbinati a pennelli e/o barriere sommerse stabilizzatori, al fine di ridurre gli oneri di manutenzione.
Interventi a difesa delle dune possono consigliarsi dove, per la presenza di forti venti foranei, sono temibili perdite significanti di sabbia e dove, essendo il retrospiaggia basso, sono particolarmente temibili gli effetti del sovralzo.
Il complesso delle indicazioni è riassunto nello schema della tabella 7 dove, al variare della caratterizzazione fisica del paraggio, viene indicato in grado di idoneità di ciascun tipo di intervento; l'idoneità è indicata nel seguente modo:
3: soluzione consigliabile;
2: soluzione idonea;
1: soluzione accessoria;
+soluzione idonea o accessoria per qualche forma del tipo, inefficiente per altre;
0: soluzione inefficiente;
*: soluzione sconsigliabile.

Caratterizzazione del paraggio															
Tipo di intervento	urgenza			trasporto litoraneo					marea		moto ondoso		instabilità morfologica		
	a	B	c	d	e	f	g	h	i	l	m	s	m	n	o
Pennelli	*	1	2	0	*	3	2	3	1	2	2	1	2	1	3
Frangilutti foranei	2	2	2	2	3	+	2	*	2	1	0	3	2	1	0
Difese aderenti	3	+	*	*	*	0	*	*	1	2	1	2	*	1	*
Ripascimenti	1	1	2	3	2	2	1	1	2	2	3	1	2	2	3
Conservazione dune	1	2	2	1	2	0	2	0	2	2	1	2	0	2	2

Tabella 7. Quadro schematico per la scelta del tipo di opera. Fonte: Cortemiglia et al., 1981, modificato

Nello schema si fa esclusivo riferimento a opere di difesa della spiaggia e del retrospiaggia, che sono le più diffuse. La suddivisione delle opere per tipo è schematica: esistono strutture e interventi che hanno caratteristiche proprie di tipi diversi, o risultano dalla combinazione di tipi differenti.
Oltre ai sistemi tradizionali di difesa delle coste è possibile prevedere anche l'utilizzazione di soluzioni progettuali diverse e di tipo innovativo rispetto a quelle precedentemente illustrate.
E' evidente che tali soluzioni potranno essere prese in considerazione solo a fronte di una documentata affidabilità del sistema proposto, su base sperimentale e prototipale, e in presenza di una sensibile riduzione dei fattori di impatto ambientale e dei costi di gestione propri delle soluzioni tradizionali

Monitoraggio e gestione

Per una efficace politica di protezione costiera, è indispensabile che i litorali siano oggetto di un monitoraggio sistematico, idoneo a tenere sotto controllo la loro evoluzione.
Il monitoraggio dell'evoluzione delle spiagge riveste un ruolo fondamentale in ogni politica territoriale in cui sia coinvolta la fascia litorale.
Dato che la spiaggia costituisce l'elemento di maggior valore economico del sistema costiero, ma anche quello più fragile e più soggetto a variazioni morfologiche che ne modificano la funzione protettiva dei territori retrostanti e le potenzialità di utilizzazione a fini turistico ricreativi, lo studio della evoluzione dei litorali è fondamentale per la pianificazione di questa zona densamente popolata, economicamente interessante ma anche complessa e dinamica.
Oscillazioni della posizione della linea di riva e del volume della spiaggia emersa su tempi brevi (dell'ordine compreso fra il giorno e l'anno) intorno a valori relativamente stabili sul lungo periodo sono la conseguenza della discontinuità degli input fluviali e del succedersi dei diversi eventi meteomarini e la loro identificazione e determinazione può consentire di evitare interventi di stabilizzazione del litorale non necessari e spesso dannosi per le spiagge stesse e per i tratti contigui.
Variazioni degli stessi parametri, che dimostrino un trend ben definito su tempi medio/lunghi (dell'ordine degli anni) impongono, al contrario, interventi normativi e strutturali che possono essere

definiti solo sulla base di una esatta quantificazione dei processi, sulla determinazione delle cause e sulla previsione della efficacia delle soluzioni proposte.
Appare quindi evidente che la valutazione dello "stato" del litorale costituisce un punto determinante e qualificante nelle politiche territoriali.

Scala di interesse

Il monitoraggio costiero non può essere eseguito in modo occasionale, ad esempio limitandolo al solo periodo di esecuzione di specifici interventi costieri, ma deve essere opportunamente pianificato e coordinato al fine di poter garantire ai tecnici del settore, dati certi acquisiti con continuità su cui basare le analisi morfologiche e le scelte di intervento.
La pianificazione dei monitoraggi è necessaria anche a causa dell'elevata estensione dei tratti di costa oggetto di studio, generalmente dell'ordine delle decine di chilometri. Infatti se risulta antieconomico poter monitorare tutte le spiagge, con il dettaglio richiesto in fase di studio di interventi specifici, , al contempo è indispensabile controllare tutte le coste basse al fine di poter individuare con sufficiente anticipo eventuali situazioni di crisi.
I monitoraggi dovranno essere pianificati e coordinati, quindi, in funzione di opportune *scale di interesse regionale* (la cui estensione deve coinvolgere almeno l'intera *unità fisiografica*) e *locale* (la cui estensione deve coinvolgere almeno il tratto di litorale che in fase di studio/progettazione risulta suscettibile ad alterazioni morfodinamiche).
La tipologia dei parametri da rilevare e le relative modalità di acquisizione risultano funzione della corrispondente scala di interesse.

L'esecuzione di un monitoraggio locale in assenza di un monitoraggio a scala regionale produce dei risultati di validità limitata e di difficile interpretazione.

Obiettivi del monitoraggio

Gli obiettivi diretti del monitoraggio possono essere schematizzati come segue:

- studio dell'evoluzione costiera a medio/lungo termine per l'impostazione di piani di sviluppo e di gestione;
- analisi del bilancio sedimentario del litorale per lo studio dei rapporti fra input fluviale e dispersione cross-shore e long-shore dei materiali;
- studio dell'evoluzione costiera a breve termine per la valutazione dell'impatto delle opere marittime e dell'efficacia degli interventi di difesa;
- determinazione dell'estensione e della qualità dell'arenile ai fini dell'ottimizzazione degli usi e della determinazione dei canoni demaniali.

Per conseguire tali obiettivi i principali parametri ambientali che devono essere rilevati con i monitoraggi possono essere così distinti:

- *parametri meteomarini*;
- *parametri geo-morfologici*.

A causa della variabilità temporale e spaziale delle forzanti meteomarine che governano la dinamica dei sedimenti, è necessario assicurarsi che i parametri meteomarini vengano acquisiti con una sufficiente regolarità temporale ed omogeneità spaziale affinché possano essere costruite opportune serie storiche di dati, di durata pluriennale, che risultino significative per caratterizzare i vari tratti di costa di interesse da un punto di vista statistico. Parimenti, a causa della intrinseca difficoltà che si incontra nel descrivere i processi fisici che regolano la morfodinamica dei fondali, risulta importante

poter disporre della "evoluzione storica" dei parametri morfologici ed in particolare di quella relativa alla linea di riva ed ai fondali. Infatti partendo dalla serie storica delle forzanti e dalla evoluzione storica della linea di riva e dei fondali, è possibile verificare la congruità dei dati e calibrare i modelli numerici che vengono utilizzati per la previsione dei *fenomeni evolutivi a lungo termine* della linea di riva. Inoltre la definizione in termini statistici delle forzanti consente di studiare, in senso probabilistico, la risposta *a breve termine* della morfodinamica dei fondali o di dimensionare opere a mare.

Per quanto riguarda le *fasi* in cui possono essere suddivise le attività connesse ad un monitoraggio, si evidenzia che generalmente è necessario prevederne almeno due:

- *acquisizione dei dati;*
- *analisi dei dati.*

Le analisi dei dati generalmente differiscono in relazione agli obiettivi del monitoraggio.

Requisiti tecnici di un programma di monitoraggio

Una corretta impostazione dovrà quindi identificare le metodologie di rilievo e di analisi dei dati più idonee senza incorrere in un sovra-campionamento, spaziale e temporale, che rende più costoso il sistema.

Nell'impostazione del monitoraggio si dovrà quindi privilegiare:

- la possibilità di acquisizione dei dati con la tempistica prevista. Ciò è particolarmente importante nel monitoraggio di breve termine, quando devono essere acquisiti dati su sistemi in rapida evoluzione, come le spiagge soggette ad interventi di ripascimento o di stabilizzazione con opere a mare, nei quali le variazioni morfologiche possono essere estremamente rapide;
- l'accuratezza dei dati. Piccole variazioni morfologiche implicano lo spostamento di ingenti volumi di sedimenti e errori modesti nelle misure determinano forti errori nella quantificazione dei processi coinvolti. In aggiunta, l'identificazioni di errori di misura, anche grossolani, è estremamente difficile nella spiaggia sommersa e la variabilità morfologica del sistema, conseguente anche ad una singola mareggiata, rende impossibile la ripetizione della singola misura eventualmente sospettata di errore;
- l'operatività dei sistemi di acquisizione. La necessità di avere misure sinottiche su ampie superfici e in finestre temporali spesso assai ristrette (es. intervallo fra due mareggiate in periodo invernale) impone l'impiego di metodologie collaudate e rapidamente attuabili;
- l'economicità delle procedure. L'elevata frequenza dei rilievi necessaria per un monitoraggio di breve/medio termine e l'estensione temporale dei monitoraggi di lungo periodo, associata all'ampiezza delle zone che spesso è necessario mettere sotto osservazione, impongono la scelta di metodologie di rilievo economicamente sostenibili, anche per evitare che il monitoraggio possa essere interrotto per carenza di risorse finanziarie;
- la velocità di elaborazione. In molti casi è indispensabile poter disporre dei dati e delle loro elaborazioni in tempi estremamente rapidi. Alcuni sistemi di acquisizione (ad esempio dei dati rilevati da satellite) richiedono tempi relativamente lunghi per la fornitura del dato; altri (ad esempio quelli acquisiti con sistemi lidar) hanno tempi di processamento incompatibili con la necessità che talvolta si pone di prendere decisioni rapide in fasi operative di realizzazione dei progetti;
- confrontabilità dei dati. I dati devono essere acquisiti con procedure collaudate e ampiamente adottate, in modo che la loro validità sia universalmente accettata dai soggetti direttamente coinvolti nei processi decisionali. La confrontabilità dei dati consente anche lo scambio fra le

varie esperienze, la valutazione e la comparazione fra diversi problemi esistenti e il confronto fra i risultati raggiunti in diversi interventi.

Nell'analisi dell'evoluzione costiera conseguente ad interventi di riequilibrio, siano essi basati su opere rigide che su ripascimenti artificiali, si richiede una definizione delle condizioni di partenza, non facili da determinare proprio per la variabilità intrinseca del sistema. Il rilievo una tantum della costa, spesso effettuato nel momento zero del monitoraggio, non consente di evidenziare quelle dinamiche che vanno a sovrapporsi ai processi innescati dall'intervento e che possono ostacolare una corretta interpretazione dei dati e la corretta valutazione dell'efficacia dell'intervento. Quando si vanno ad effettuare interventi su litorali per i quali sono note solamente le tendenze di lungo periodo e non la variabilità di breve termine (es. stagionale), è quindi opportuno che il monitoraggio inizi assai prima del momento zero, in modo che possa emergere la variabilità intrinseca del sistema. Altro aspetto fondamentale è la delimitazione della zona da sottoporre a monitoraggio e la definizione della scala dei documenti da produrre.

Per l'analisi delle tendenze evolutive di medio e lungo termine l'entità di riferimento è l'unità fisiografica. E' solo all'interno di essa che si possono analizzare i flussi sedimentari e capire se determinate variazioni morfologiche sono dovute ad oscillazioni del sistema, ma non a perdite nette, o se invece non sono il prodotto di un deficit sedimentario alterato del sistema complessivo.
Monitoraggi impostati per valutare l'impatto di strutture costiere, in genere porti commerciali o turistici, devono avere come zona di studio un tratto di litorale di estensione almeno pari a un ordine di grandezza superiore a quella dell'opera, dato che solo l'impatto istantaneo sui processi costieri si sviluppa per una lunghezza che va da una a tre volte la dimensione maggiore dell'opera.
E' evidente che l'impatto dell'opera può alterare nel breve e medio termine le dinamiche sedimentarie del tratto posto immediatamente sottoflutto, ma questo impatto può propagarsi in tempi più lunghi a tutta l'unità fisiografica. I tempi di analisi dei due processi e la scala spaziale del monitoraggio sono necessariamente diversi.

La rappresentazione cartografica dei parametri che descrivono le variazioni morfologiche intervenute può oscillare fra 1:1.000 e 1:10.000, ma è comunque richiesta una accuratezza planimetrica ed altimetrica del dato digitale di +/-5 cm, in modo da poter effettuare analisi accurate. Tali accuratezze consentono di evidenziare convenzionalmente le variazioni morfologiche nell'intorno delle opere, ma non di effettuare accurate stime del bilancio sedimentario dei litorali. Infatti, per profili attivi di spiagge di ampiezza pari a 1000 m, un caso frequente lungo le coste italiane, l'incertezza risulta essere pari a circa 100 m3 per metro lineare di spiaggia, una quantità analoga a quella che caratterizza ripascimenti del litorale di medie dimensioni.
Per calcolare il bilancio sedimentario di una spiaggia l'area di osservazione deve estendersi dalla duna alla profondità di chiusura relativa ad eventi con tempo di ritorno analogo all'intervallo temporale considerato.

Questo intervallo può essere schematizzato nel seguente modo:

- 3 – 5 anni per valutare l'impatto di opere di difesa,
- 5 – 10 anni per un monitoraggio di medio termine per impostare strategie di difesa,
- 30 anni per valutare trend secolari ai fini della pianificazione costiera.

Le zone di una spiaggia interessate dal monitoraggio
Il monitoraggio della sola linea di riva può sostituire il monitoraggio della spiaggia solo nei seguenti casi:

- quando l'evoluzione morfologica della spiaggia si traduce in uno spostamento parallelo del profilo (condizione realistica solo se l'evoluzione avviene per continui spostamenti, senza variazioni di configurazione lineare, profondità di chiusura e granulometria; questo non è il caso di una spiaggia sottoposta a monitoraggio per ripascimento.)
- quando nel profilo non vi sono punti fissi (falesie, secche rocciose, muri, ecc.).

In definitiva quindi il monitoraggio della linea di riva non può sostituire il monitoraggio della spiaggia in ogni progetto di protezione. Il rilievo di tutta la spiaggia, fino alla profondità di chiusura, è essenziale per definire il bilancio sedimentario e per valutare l'efficacia di progetti di difesa del litorale.
Quando oggetto di studio è la morfologia del fondale (senza interesse per il bilancio sedimentario) i rilievi possono limitarsi al "profilo attivo", che racchiude il sistema delle barre. Lungo le nostre coste questo è generalmente compreso entro l'isobata dei 5 – 6 m.

Tecniche e strumentazione di misura
Moto ondoso e variazioni del livello medio del mare
Due parametri essenziali che devono essere rilevati con regolarità e per molti anni nell'ambito dei monitoraggi sono costituiti dal moto ondoso e dalle variazioni del livello medio del mare. Essi costituiscono le principali forzanti idrodinamiche che controllano il movimento dei sedimenti lungo le coste. Ad esempio, le onde e il sovralzo del l.m.m. che si verificano durante le mareggiate determinano l'erosione della parte superiore del profilo trasversale di una spiaggia causando una ridistribuzione dei sedimenti lungo lo stesso profilo. Le variazioni stagionali del *clima di moto ondoso* causano le variazioni cicliche della posizione della linea di riva. Le correnti longitudinali generate dal moto ondoso frangente possono causare a lungo termine il movimento di ingenti quantità di sedimenti lungo le coste. Lo stabilire un rapporto di causa-effetto tra le forzanti idrodinamiche e le risposte morfologiche delle spiagge costituisce un elemento chiave per l'interpretazione dei fenomeni evolutivi delle spiagge. La conoscenza esatta di questi parametri può condizionare il successo o meno di uno studio o progetto di salvaguardia.

Le caratteristiche del moto ondoso devono essere rilevate utilizzando strumenti direzionali in grado di misurare la direzione di propagazione delle onde la cui conoscenza è di fondamentale importanza per gli studi morfologici. Per poter essere considerate rappresentative di ampi tratti di costa (scala regionale), le misure di moto ondoso devono essere eseguite al largo su fondali elevati (superiori ai 60-70 m ove possibile) e devono essere acquisite con continuità.

Per quanto riguarda le misure mareografiche, anch'esse devono essere eseguite con continuità e preferibilmente all'interno dei porti o in zone naturalmente ridossate al moto ondoso incidente. Inoltre devono essere determinate accuratamente le condizioni al contorno (ad esempio le variazioni negli anni dello zero di riferimento, problematiche di risonanza portuale all'interno degli specchi d'acqua, etc.) dei siti dove sono collocati gli strumenti di misura.
Prima di ogni altra cosa bisogna procedere alla scelta di un sito idoneo per l'installazione della stazione di misura tenendo conto:

- del tipo di strumento che deve essere installato. Nel caso di mareografi a galleggiante è necessario il pozzo di calma e la struttura di supporto;
- dell'area per la quale sono richieste le informazioni di livello del mare e l'uso che si deve fare di tali informazioni.

Nella maggior parte dei casi, la scelta del luogo potrà essere fatta soltanto giudicando quali delle seguenti restrizioni sono più significative e quali possono essere più o meno ignorate:

- L'installazione, una volta completata, deve essere in grado di resistere alle peggiori condizioni di tempo prevedibili. Posizioni che possano essere soggette a danni causati da tempeste dovrebbero essere evitate.
- Il suolo sul quale deve essere costruita l'installazione deve essere stabile, non essere soggetto a cedimenti, a frane e ad erosione costiera. Costruire direttamente sulla solida roccia è l'ideale.
- La profondità dell'acqua deve estendersi almeno 1,5 - 2 metri al disotto della più bassa marea astronomica perché il pozzo di calma sia sempre operativo. Lo sbocco del pozzo deve essere posizionato almeno un metro sotto la più bassa marea astronomica.
- Gli estuari dei fiumi dovrebbero essere evitati. L'acqua che scorre dal fiume si mischia con quella del mare può accadere che penetri nel pozzo di calma acqua con densità diversa da quella rappresentativa dell'area con conseguenti errori di misura. La corrente del fiume può causare un abbassamento del livello nel pozzo e i detriti che galleggiano nel fiume possono essere intrappolati nel pozzo causandone il blocco.
- Aree dove può verificarsi la formazione di barre sabbiose tali che la stazione resti tagliata fuori dal mare devono essere evitate. In modo simile, banchi di sabbia leggermente al di sotto della superficie fra il sito e il mare aperto possono fare in modo che i valori misurati non siano significativi. Le spiagge poco acclivi devono essere evitate per la stessa ragione.
- I promontori scoscesi e gli stretti dovrebbero essere evitati se vi si producono correnti di velocità significativa.
- Dovrebbe essere fatto uno studio sulle imbarcazioni che passano o ormeggiano in prossimità del sito, in quanto ci potrebbe essere il rischio di collisione e di turbolenze che causano movimento di materiale sedimentario.
- Dovrebbero essere fatti accertamenti per determinare se c'è la possibilità che vengano in futuro fatti lavori di costruzione nell'area, che possano indurre cambiamenti sul regime di marea nel sito, ad esempio la costruzione di nuove banchinamenti, dighe, chiuse o grandi fabbriche aventi canali o foci.
- Deve esserci un adeguato accesso al sito, prima di tutto per portare il materiale durante la costruzione, e poi per l'osservazione e per le visite di manutenzione.

Le misurazioni del livello devono essere riferite ad un caposaldo nelle vicinanze chiamato il caposaldo del mareografo. Il caposaldo deve essere collegato alla rete nazionale di livellazione così che le misure possano essere riferite al livello di riferimento nazionale. Le misure devono essere ripetute indicativamente ogni anno per tenere conto delle variazioni di quota che intervengono nella rete dei capisaldi di riferimento.

In Italia sono operative due reti di monitoraggio di riferimento a copertura nazionale gestite dall'APAT, una che riguarda l'ondametria e altra che riguarda la mareografia.

La *rete ondametrica nazionale* (RON) attiva dal luglio 1989, è attualmente costituita da 14 ondametri direzionali localizzati al largo di La Spezia, Alghero, Ortona, Ponza, Monopoli, Crotone, Catania, Ma zara, Ancona, Paola, Capo Comino, Civitavecchia, Punta della Maestra e Palermo. Ogni boa, ancorata su fondali dell'ordine di 100 metri, segue il movimento della superficie dell'acqua e permette di determinare l'altezza e la direzione delle onde.
Dalle serie temporali vengono ottenuti i seguenti principali parametri:

parametri sintetici:

- Hs (m) altezza d'onda significativa spettrale;
- Tp (s) periodo di picco;
- Tm (s) periodo medio;
- Dm (°N) direzione media di propagazione;

parametri spettrali per banda di frequenza:

- densità di energia;
- direzione media di propagazione;
- dispersione direzionale (spread);

Le boe rilevano anche la temperatura superficiale del mare.
Il funzionamento ininterrotto della rete ormai da 16 anni, con un elevato rendimento complessivo in termini di dati archiviati, permette di avere a disposizione una gran quantità di dati validi per elaborazioni scientifiche ed ingegneristiche.

La *rete mareografica nazionale* (RMN) è costituita da 28 stazioni mareografiche dislocate uniformemente lungo le coste italiane ed ubicate prevalentemente all'interno delle strutture portuali: Trieste, Venezia Lido, Ancona, Ravenna, Pescara, Ortona, Isole Tremiti, Vieste, Bari, Otranto, Taranto, Crotone, Reggio Calabria, Messina, Catania, Porto Empedocle, Lampedusa, Palermo, Palinuro, Salerno, Napoli, Cagliari, Carloforte, Porto Torres, Civitavecchia, Livorno, Genova ed Imperia. Ciascuna stazione mareografica è peraltro corredata da una centralina meteorologica che rileva la velocità e la direzione del vento, la temperatura dell'acqua e dell'aria e la pressione atmosferica.
Le stazioni che compongono la RMN sono composte da due strumenti di misura della marea: uno (principale) ad ultrasuoni con guida tubolare del fascio e compensazione di temperatura, ed uno (secondario) a galleggiante per la verifica puntuale delle misure, l'analisi di eventi o fenomeni particolari ed il recupero dei dati nei casi di mancato funzionamento dello strumento principale. I mareografi sono riferiti ad un caposaldo quotato con livellazione di alta precisione, opportunamente verificato, sulla base del più vicino caposaldo IGM. Tutte le stazioni sono dotate di un sistema locale di gestione e memorizzazione dei dati e di un apparato di trasmissione in tempo reale alla sede centrale dell' APAT a Roma.
Il livello della marea astronomica è descritto in termini di fasi e ampiezze di una serie di costituenti armonici di periodo noto. Le fasi e le ampiezze di ogni armonica sono determinate dall'analisi dei dati misurati. Per ogni sito le caratteristiche della marea astronomica possono essere determinate con ragionevole accuratezza sulla base di 30 giorni di misure. Il numero di armoniche che è possibile derivare si incrementa con la lunghezza della serie temporale disponibile.

Rilievi batimerici

La conoscenza delle variazioni del profilo trasversale delle spiagge è importante per controllare le condizioni di equilibrio in direzione ortogonale alla costa. I profili trasversali devono essere rilevati in

concomitanza ai rilievi della linea di riva e devono coprire sia la spiaggia sommersa che la spiaggia emersa.
I rilievi i batimetrici dovranno essere effettuati con cadenza stagionale al fine di consentire la successiva rappresentazione sia dei profili di spiaggia che della variazione stagionale dei fondali. Inoltre, sono da prevedere campagne di misura dopo il verificarsi di eventi eccezionali (mareggiate e condizioni di massima portata fluviale) per stimare i cambiamenti morfologici della spiaggia emersa e sommersa in relazione a tali eventi. Durante l'esecuzione del rilievo a mare si dovrà porre opportuna cura per rilevare con sufficiente dettaglio la presenza di barre sommerse.
Il rilievo della spiaggia sommersa deve raggiungere la "profondità di chiusura" del trasporto solido che risulta funzione del clima meteomarino del paraggio mentre quello della spiaggia emersa deve comprendere la duna costiera, se presente, e comunque deve arrivare fino alla prima struttura esistente o al primo confine catastale.
L'interasse dei profili trasversali di rilievo sarà stabilito in funzione del dettaglio richiesto dallo scopo del monitoraggio (da 300 – 500 m per monitoraggi a scala regionale a 10 m per applicazioni localizzate). I punti lungo il profilo dovranno avere un interasse di 5 m.
Le imbarcazioni da utilizzare per l'acquisizione dei dati dovranno essere equipaggiate per l'impiego e di un sistema integrato SONAR-GPS differenziale ad alta risoluzione.
Il sonar dovrà essere in grado di acquisire dati di profondità con la precisione di +/- 5 cm, mentre il GPS dovrà associare un preciso posizionamento dei punti stessi con una stima dell' errore dinamico inferiore a +/- 1m. I dati di profondità dovranno essere riferiti al livello medio marino e corretti dalle variazioni del livello del mare verificatesi durante l'arco temporale di effettuazione delle misure. Per tali correzioni si dovrà fare riferimento ad un mareografo appositamente installato nell'area da investigare.
I rilievi dovranno essere eseguiti a mare calmo in assenza di vento
Per garantire la ripetibilità delle misure, i profili trasversali devono essere riferiti ad una "linea di base" materializzata sul terreno per mezzo di opportuni caposaldi che devono essere documentati e riconoscibili per l'esecuzione di nuovi rilievi.

Rilievi topografici della linea di riva

Il parametro morfologico più importante a scala regionale è costituito dalle variazioni storiche subite dalla linea di riva. La conoscenza dell'evoluzione storica della linea di riva consente di effettuare numerose analisi quali ad esempio individuare le naturali tendenze evolutive di un litorale, individuare zone soggette ad erosione, calibrare modelli numerici, stimare il bilancio solido della fascia costiera, ecc.
Il rilievo topografico della linea di riva dovrà essere effettuato con prosecuzione a terra dei profili batimetrici fino alla prima opera fissa sul litorale con battute a distanza massima di 10 m e con rilevamenti in continuo della linea di riva con battute a distanza massima di 10 m.
Al fine di garantire che la linea di riva rilevata sia effettivamente rappresentativa di un determinato periodo dell'anno i rilievi devono essere eseguiti nel minor tempo possibile. Per poter eseguire un bilancio dei sedimenti stagionale o annuale è molto importante che i rilievi vengano ripetuti con una cadenza temporale costante.
La linea di riva è soggetta a variazioni di posizione in funzione del valore assunto dalla marea astronomica e meteorologica. Di conseguenza la posizione della linea di riva deve necessariamente essere corretta in funzione dei valori di marea locali registrati durante l'esecuzione dei rilievi e deve essere riferita al l.m.m locale. I rilievi della linea di riva, come tutti i rilievi batimetrici, devono essere riferiti ad una cartografia a scala adeguata e devono essere "agganciati" sia in termini di posizione che di quote ad un idoneo reticolo topografico.

Parametri sedimentologici

Per l'analisi delle parametri fisici dei sedimenti si devono prelevare campioni di sedimento congiuntamente sia ai rilievi batimetrici (alle profondità prestabilite, ponendo particolare attenzione alla presenza di variazioni morfologiche o tessiturali rappresentativi della zona da campionare), sia al rilievo della linea di riva lungo sezioni trasversali in allineamento con le sezioni di prelievo dei campioni a mare (in corrispondenza della spiaggia interna e sulla battigia).

Particolare attenzione va posta ai campionamenti eseguiti in corrispondenza di elementi che influenzano in modo significativo la dinamica dei sedimenti come le opere di difesa (pennelli, barriere distaccate, etc.), opere portuali, foci fluviali, promontori, per poter apprezzare a pieno eventuali fenomeni di migrazione e fuga della matrice detritica.

La misurazione della corrente

Per la maggior parte delle applicazioni ingegneristiche si fa riferimento alle velocità associate al movimento dell'acqua intorno a una strumentazione fissa.

Per ciascuna stazione di monitoraggio dovranno essere effettuate misure dei profili verticali di corrente mediante correntometro del tipo ADCP o equivalente. Ulteriori correntometri fissi (opportunamente scelti sulla base delle caratteristiche del sito e delle migliori tecnologie disponibili) devono essere ubicati, per tutto il tempo delle misure, rispettivamente a monte e a valle delle strutture portuali preesistenti per la misurazione delle correnti in condizioni indisturbate.

Le misure raccolte sul campo dovranno essere integrate dalle informazioni meteorologiche (direzione ed intensità del vento; pressione atmosferica, ecc.).

In presenza di foci fluviali, in concomitanza di ogni campagna di misura, devono essere effettuate misure di portata alla foce, al fine di completare la conoscenza delle condizioni al contorno del campo di misura.

Stima dei costi di realizzazione comprensivi della gestione in relazione al piano di monitoraggio e manutenzione

I costi di costruzione cambiano enormemente a secondo della tipologia di opera di difesa costiera e delle condizioni fisiche, geologiche, geografiche e geomorfologiche del sito su cui si interviene.

Opere di breve durata quali le paratie, la cui costruzione è generalmente provvisionale, o i pennelli si presentano spesso come opere economiche e veloci.

I frangiflutti distaccati possono risultare invece un sistema di difesa antieconomico su spiagge ripide, ove, per disporle ad una certa distanza da riva, diviene necessario costruirli su fondali eccessivi, ma più economica e funzionale su fondali bassi.

Quando vi sono le condizioni per un ripascimento artificiale, lunghe zone di spiaggia possono essere protette a costi relativamente bassi rispetto a quelli di strutture di difesa alternativa, ancorché quando il ripascimento viene protetto con opere complementari quali barriere o pennelli, il costo di tali strutture secondarie può impattare molto sull'importo complessivo del progetto di ripascimento.

Altro elemento di cui tenere conto è che spesso il costo di piccoli progetti risulta elevato a causa degli oneri per mobilizzare l'attrezzatura necessaria, mentre, per grandi progetti lo stesso onere costituisce un'aliquota trascurabile dell'impegno economico di progetto.

Nel quadro economico pertinente ogni singola opera sono da definirsi i seguenti i costi:

- Costi delle analisi preliminari (fisiche, geologiche, geotecniche, batimetriche, ecc) da eseguire nel sito in questione e nell'unità fisiografica.
- Costi della raccolta e delle analisi dei dati caratterizzanti il clima meteomarino della zona.

- Costi dello studio del trasporto solido litoraneo.
- Costi di progettazione (preliminare, definitiva,esecutiva).
- Costo unitario del materiale con stima delle quantità da utilizzare.
- Costi di costruzione.
- Costi di gestione dell’opera.
- Costi di monitoraggio dell’opera in fase di costruzione e in fase di gestione.
- Costi dovuti all’overfilling (stima della perdita dell’aliquota di materiale troppo fine dovuta al moto ondoso e al normale assestamento dell’opera).
- Costi di manutenzione ordinaria e straordinaria, inclusi gli eventuali costi di bypass.
- Costo dello studio del comportamento dell’opera nel tempo.

Bisogna ricordare inoltre che, nel valutare il costo totale dell'opera, non si potrà trascurare la stima dei prevedibili costi di ripristino degli effetti indotti ai litorali adiacenti.