



TAVOLO NAZIONALE SULL'EROSIONE COSTIERA

MATTM-REGIONI

con il coordinamento tecnico di ISPRA



LINEE GUIDA NAZIONALI PER LA DIFESA DELLA COSTA DAI FENOMENI DI EROSIONE E DAGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

VERSIONE 2018

Si prega di citare il seguente documento come segue:

MATTM-Regioni, 2018. *Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018* - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp

***Linee Guida Nazionali
per la difesa della costa dai fenomeni di erosione
e dagli effetti dei cambiamenti climatici
(Versione 2018)***

Coordinamento alla realizzazione del documento:

Dott.ssa Gaia Checcucci – *Direttore Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque (MATTM)*
Dott.ssa Maria Carmela Giarratano - *Direttore Generale per la Protezione della Natura e del Mare (MATTM)*
Dott. Stefano Laporta - *Direttore Generale di ISPRA*
Dott. Massimo Gabellini - *ISPRA*

Elaborazione dei contenuti del documento a cura di:

Per il MATTM: **Leonardo Di Maggio** - *DG per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque - Sogesid*
Rosario Previti - *DG per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque*
Giuseppe Italiano - *DG per la Protezione della Natura e del Mare*
Enrico Iannuzzi - *DG per la Protezione della Natura e del Mare – Sogesid*
Paolo Feliciotti - *DG per la Protezione della Natura e del Mare*

Per ISPRA: **Angela Barbano, Francesco Lalli, Daniela Paganelli, Luisa Nicoletti, Matteo Conti Filippo D'Ascola, Maria Luisa Cassese, Barbara La Porta, Iolanda Lisi, Paola La Valle, Monica Targusi, Stefano Bataloni, Laura Sinapi, Sara Lembo**

Luigi Enrico Cipriani *Regione Toscana. Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile - Coordinamento Gruppo di lavoro "Stato dell'arte e Dinamica costiera"*

Pierluigi Mancuso *Regione Calabria. Dipartimento Infrastrutture, Lavori Pubblici e Mobilità - Coordinamento Gruppo di lavoro "Analisi delle misure di adattamento"*

Paolo Lupino *Regione Lazio. Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo - Area Difesa della Costa - Coordinamento Gruppo di lavoro "Risorsa Sedimenti"*

Giorgio Filomena, Luigi Diotallevi *Regione Marche. Servizio Infrastrutture Trasporti ed Energia - Coordinamento Gruppo di lavoro "Inquadramento Normativo"*

Roberto Montanari *Regione Emilia-Romagna. Direzione Generale Cura del Territorio e dell'Ambiente- Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica - Coordinamento Gruppo di lavoro "Linee Guida Nazionali"*

Si ringraziano per i loro contributi:

Paolo Pacini; Carlo Visca, Valter varani, Nicola Caporale - *Regione Abruzzo*; Bernardino Anzidei, Sonia Pagliaro - *Regione Basilicata*; Italo Giulivo, Michele Palmieri - *Regione Campania*; Giuseppe Iritano - *Regione Calabria*; Luisa Perini, Maurizio Farina, Christian Marasmi, Christian Morolli - *Regione Emilia-Romagna*; Antonio Bratus - *Regione Friuli-Venezia Giulia*; Carlo Cavallo - *Regione Liguria*; Mario Pompei, Andrea Bartoli, Francesca Recanatesi, Stefano Parlani, Mauro Sinigaglia - *Regione Marche*; Anna Maria Silvano - *Regione Molise*; Mario Deriu - *Regione Sardegna*; Aldo Guadagnino - *Regione Sicilia*; Gianfranco Boninsegni – *Regione Toscana*; Carlo Brandini - *Consorzio LaMMA Toscana*; Giulia Buffon - *Regione Veneto*; Giuseppe Fragola - *Autorità di Bacino Fiume Adige*; Lorenzo Sulli, Marcello Brugioni - *Autorità di Bacino Fiume Arno*; Ornella Piscopo - *Autorità di Bacino Campania Centrale*; Manlio Mugnai, Giuseppe Grimaldi - *Autorità di Bacino Campania Sud*; Diego Conte, Massimo Morea, Raffaella Nappi - *Autorità di Bacino Fiumi Liri-Volturno-Garigliano*; Luca Buzzanca, Domenico Denora, Nicola Palumbo - *Autorità di Bacino Puglia*; Paolo Traversa - *Autorità di Bacino Fiume Tevere*; Cinzia Merli, Tommaso Simonelli - *Autorità di Bacino Fiume Po*; Annamaria Correggiari - *CNR-ISMAR*; Enzo Pranzini - *GNRAC*; Umberto Simeoni - *Università di Ferrara*; Francesco Latino Chiocci – *Università di Roma "La Sapienza"*; Nicola Corradi – *Università di Genova*; Giovanni De Falco – *CNR-IAMC*; Attilio Sulli – *Università di Palermo*; Pier Luigi Aminti – *Università di Firenze*; Diego Vicinanza - *Università degli studi della Campania "Luigi Vanvitelli"*; Leonardo Damiani – *Politecnico di Bari*; Paolo De Girolamo - *Università di Roma "La Sapienza"*; Piero Ruol - *Università di Padova*; Eugenio Pugliese Carratelli - *Università di Salerno*

Presentazione

L'erosione delle coste italiane ha raggiunto in molti tratti livelli di grave dissesto e, considerata la rapida evoluzione dei fenomeni di arretramento delle spiagge degli ultimi anni, le prospettive future sono preoccupanti.

Per questo motivo, si rende necessario allargare la collaborazione tra i soggetti che hanno competenza in materia di difesa delle coste e che hanno interessi nello sviluppo economico di questi territori, con l'obiettivo unico di favorire uno sviluppo sostenibile della fascia costiera e la difesa di quella risorsa naturale che rappresenta l'elemento caratterizzante del paesaggio della penisola e delle isole italiane.

Le zone costiere stanno diventando territori di crescente attenzione in quanto qui si concentrano sempre più gli interessi economici generali e risultano in aumento gli insediamenti antropici e produttivi per effetto dello spopolamento delle zone interne.

Nel frattempo, però, lungo i litorali si assiste a un progressivo indebolimento dell'assetto geomorfologico del sistema costiero, causato essenzialmente dalle strategie di sviluppo territoriale adottate in passato che non sono risultate abbastanza prudenti e sostenibili dal punto di vista ambientale e che oggi ci portano a dover intervenire, spesso pesantemente, per cercare di tamponare gli squilibri generati.

Gli scenari di dissesto che si prospettano lungo le coste richiedono di stabilire strategie innovative che tengano conto finalmente di tutti i fattori in gioco, naturali e antropici, a partire dai bacini idrografici fino ai litorali, per cercare di fronteggiare le criticità crescenti lungo le spiagge italiane.

Si dovrà partire con il tracciare i percorsi di sviluppo migliori e maggiormente virtuosi utili ad avviare, sulla base di regole nazionali e condivise, una nuova fase di pianificazione per la difesa delle coste italiane che si dovrà integrare con la pianificazione di bacino per sviluppare finalmente una corretta ed efficace azione di protezione dei litorali.

Il Ministero dell'ambiente già in passato aveva maturato esperienze sul coinvolgimento dei soggetti istituzionali competenti in materia di difesa delle coste e nel 2016 ha dato impulso a una nuova importante fase di collaborazione e condivisione di studi e dati con le Regioni rivierasche sulle problematiche inerenti il fenomeno dell'erosione delle coste italiane.

Un importante risultato è stato ottenuto nel 2017 con la pubblicazione della prima versione delle linee guida nazionali che, con la presente versione, vengono integrate con ulteriori contributi tecnici e conoscitivi.

Questa esperienza ha consentito di acquisire una maggiore consapevolezza sull'importanza di avviare un percorso più allargato e condiviso di tutela e valorizzazione delle coste italiane, anche attraverso un coordinamento delle attività a scala nazionale.

Gaia Checucci

**Direttore Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare**

INDICE

	<i>pag</i>
I. PREMESSA	13
<i>I.1. Motivazioni e quadro di riferimento</i>	13
<i>I.2. Metodo di lavoro e tematiche affrontate</i>	14
	<i>pag</i>
II. PROBLEMATICA EROSIONE E NECESSITÀ DI GESTIONE	16
<i>II.1. Inquadramento ai fini gestionali della problematica erosione costiera</i>	16
<i>II.2. Esperienze e studi nazionali e internazionali</i>	22
<i>II.3. Sedimenti risorsa strategica per la Pubblica Amministrazione ai fini della lotta all'erosione e spiaggia quale prima struttura di difesa del territorio dall'ingressione marina</i>	28
<i>II.4. Impatto ambientale e socio-economico dell'erosione e delle azioni di difesa costiera, anche in presenza di aree marine protette</i>	33
	<i>pag</i>
III. INQUADRAMENTO NORMATIVO	35
<i>III.1. Normativa Internazionale</i>	35
<i>III.2. Normativa Nazionale</i>	39
<i>III.3. Normativa Regionale</i>	42
<i>III.4. Indicazioni in merito a proposte di integrazioni normative volte a favorire una migliore gestione degli effetti della dinamica ed erosione costiera</i>	51
<i>III.4.1. Fascia di rispetto</i>	52
<i>III.4.2. Misure per favorire la gestione dei sedimenti che alimentano la fascia litoranea</i>	54
<i>III.4.3. Ulteriori indicazioni per aggiornamenti normativi relativamente ai dragaggi di sedimenti da depositi sottomarini e alla consegna di aree demaniali per interventi di difesa costiera</i>	54
	<i>pag</i>
IV. LINEE GUIDA	56
IV.1. Indicazioni per la valutazione dei fenomeni erosivi	56
<i>IV.1.1. Introduzione</i>	56
<i>IV.1.2. Definizione degli ambiti costieri</i>	58
<i>IV.1.3. Conoscenza e monitoraggio delle forzanti che contribuiscono al fenomeno dell'erosione costiera</i>	62
<i>IV.1.3.1. Dinamica meteo marina</i>	62
<i>IV.1.3.2. Trasporto solido fluviale</i>	63
<i>IV.1.3.3. Trasporto solido litoraneo</i>	65
<i>IV.1.3.4. Subsidenza</i>	67
<i>IV.1.4. Monitoraggio del fenomeno erosivo alla scala delle unità fisiografiche e sul lungo periodo</i>	68
<i>IV.1.4.1. Coste basse</i>	68
<i>IV.1.4.2. Coste alte</i>	72

<i>IV.1.5 Indicazioni su come valutare il fenomeno erosivo alla scala di dettaglio e pocket beach</i>	73
<i>IV.1.6 Monitoraggio nelle aree marine protette</i>	75
<i>IV.1.7 Monitoraggio degli eventi e degli impatti: costruzione di un catalogo</i>	76
<i>IV.1.8 Gestione dei dati in sistemi informativi e applicazione della direttiva INSPIRE</i>	77
<i>IV.1.9. Bilancio sedimentario</i>	79
IV. 2. Indicazioni per la gestione degli effetti della dinamica litoranea	81
<i>IV.2.1. Introduzione</i>	81
<i>IV.2.2. Indicazioni per l'adozione di una strategia gestionale dei litorali</i>	82
<i>IV.2.2.1 Irrigidimento e resilienza dei sistemi costieri</i>	82
<i>IV.2.2.2 Salvaguardia dei litorali liberi da strutture e opere di difesa</i>	83
<i>IV.2.2.3 Incremento della resilienza dei litorali in relazione al processo erosivo</i>	85
<i>IV.2.2.4 Schema per un approccio gestionale integrato dei litorali</i>	86
<i>IV.2.2.5 Metodi per l'acquisizione/organizzazione di dati ai fini della gestione dei litorali</i>	89
<i>IV.2.2.5.1 Indicazioni per un Sistema gestionale e informativo basato sulle variazioni volumetriche: contenuti e organizzazione dei dati</i>	91
<i>IV.2.2.5.2. Indicazioni per un Sistema gestionale e informativo basato sulle variazioni areali: contenuti e organizzazione dei dati</i>	94
<i>IV.2.3. Indicazioni di buone pratiche gestionali</i>	95
<i>IV.2.3.1 Indicazioni di buone pratiche per una corretta gestione e bilancio dei sedimenti di spiaggia</i>	95
<i>IV.2.3.2 Indicazioni di buone pratiche per la riduzione della subsidenza nei territori costieri</i>	102
<i>IV.2.3.3 Interventi e opere volti alla riduzione delle perdite di sedimenti</i>	106
<i>IV.2.3.4 Indicazioni di buone pratiche per l'alimentazione con sedimenti esterni al sistema litoraneo</i>	111
<i>IV.2.3.5 Buone pratiche per l'alimentazione con sedimenti interni al sistema litoraneo</i>	123
<i>IV.2.4. Caratteristiche e compatibilità dei sedimenti di apporto per il ripascimento delle spiagge</i>	131
<i>IV.2.4.1. Caratteristiche principali da considerare nelle valutazioni di compatibilità</i>	132
<i>IV.2.4.2. Valutazioni colorimetriche dei sedimenti utilizzati ai fini di ripascimento</i>	133
<i>IV.2.5. Indicazioni per l'individuazione di una "linea di costa ottimale" o "spiaggia funzionale"</i>	135
IV.3. Interventi e opere per la difesa costiera: indicazioni per valutazioni e comparazioni economiche e aspetti ambientali	138
<i>IV.3.1. Introduzione</i>	138
<i>IV.3.2. Metodi di valutazione e comparazione economica fra diverse tipologie di interventi</i>	139
<i>IV.3.2.1. Analisi del Beneficio per interventi di difesa dall'erosione costiera</i>	139
<i>IV.3.2.1.1. Valutazioni semplificate del danno per erosione</i>	142
<i>IV.3.2.1.2. Alcuni esempi di valutazione semplificata del rischio per erosione</i>	143
<i>IV.3.2.2. Analisi comparativa economica tra gli interventi di difesa</i>	144

IV.3.2.2.1 Esempio di verifica comparativa mediante calcolo del Valore Attuale Netto	145
IV.3.3. Metodi di monitoraggio e di valutazione degli impatti sull'assetto costiero, di opere e interventi	147
IV.3.3.1. Indagini per la progettazione	149
IV.3.3.2. Monitoraggio di opere di difesa rigida e relativi impatti	149
IV.3.3.3. Monitoraggio degli interventi di ripascimento	150
IV.3.4. Principali aspetti ambientali connessi alla realizzazione delle opere di difesa costiera. Focus su aree marine protette	150
IV.4. I depositi di sedimenti relitti: parametri e metodi di acquisizione dei dati fisici e ambientali ai fini della gestione	156
IV.4.1. Introduzione	156
IV.4.2 Strumenti informativi per la gestione e coltivazione dei depositi sottomarini	157
IV.4.3 Strumenti informativi per la gestione dei dati ambientali dei depositi sottomarini	159
IV.4.4 Indicazioni per un'efficiente coltivazione della risorsa sedimenti nei depositi sottomarini	161
IV.4.4.1. Analisi di compatibilità e interferenza dei dragaggi dei depositi sottomarini	161
IV.4.4.2 Analisi dell'efficacia dei dragaggi e indicazioni per uno sfruttamento conservativo della risorsa sabbia	162
	<i>pag</i>
<hr/>	
V. CONCLUSIONI E PROPOSTE	167
V.1 Considerazioni finali	167
V.2 Proposte di attività volte a favorire il consolidamento del quadro conoscitivo, migliore gestione degli effetti dell'erosione e adattamento dei litorali ai cambiamenti climatici	168
SCHEDA - Sintesi delle indicazioni e buone pratiche gestionali	171
	<i>pag</i>
<hr/>	
ALLEGATI TECNICI	182
ALLEGATO 1 - Stato dell'arte - dinamica dei litorali e fabbisogni di sedimenti a seguito dei fenomeni erosivi	183
ALLEGATO 2 - Opere di difesa e misure di mitigazione dei fenomeni erosivi	198
ALLEGATO 3 - Risorsa sedimenti	246

TAVOLO NAZIONALE SULL'EROSIONE COSTIERA
MATTM-REGIONI
con il coordinamento tecnico di ISPRA

LINEE GUIDA

I. PREMESSA

I.1. MOTIVAZIONI E QUADRO DI RIFERIMENTO

L'obiettivo generale che il MATTM si è proposto con l'istituzione del Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera è quello di definire gli "indirizzi generali" ed i "criteri per la difesa delle coste" così come richiamato dall'art. 88, comma 1, lettera "aa" del D.lgs. 112/98, quale specifico compito di rilievo nazionale.

Considerato che alle Regioni sono attribuite le funzioni afferenti "alla programmazione, pianificazione e gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri" (art.89, comma 1, lettera h, D.lgs. 112/98), il Ministero dell'ambiente ha ritenuto indispensabile avviare il percorso per la definizione degli "indirizzi generali e criteri per la difesa della costa" mediante un confronto tecnico con tutte le Regioni Rivasche.

Infatti, il **Protocollo d'Intesa**, siglato il 6 aprile 2016 dal MATTM e dalle 15 Regioni Rivasche, istituisce il Tavolo Nazionale con il compito di definire le **Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici**, e di formulare proposte per specifiche iniziative di approfondimento e di sviluppo di azioni a livello nazionale e internazionale, in materia di gestione sostenibile della fascia costiera.

Essendo noto che il fenomeno dell'erosione costiera si inquadra all'interno di **processi di dinamica costiera**, riconducibili sia a cause naturali che, in particolar modo, agli effetti di numerose cause di natura antropica che agiscono lungo i bacini versanti (come nel caso di estrazioni in alveo, di invasi artificiali, di rimboschimenti, sistemazioni idrauliche, subsidenza delle aree di pianura per emungimenti, ecc.) o lungo la stessa linea di costa (opere portuali, foci armate, opere di difesa costiera, ecc.), l'obiettivo è quello di esaminare le problematiche per quanto possibile nel loro complesso e di offrire specifiche "linee guida" agli operatori del settore, tenendo conto delle concause e delle possibili azioni di adattamento o prevenzione anche in relazione agli effetti attesi dei cambiamenti climatici a medio e lungo termine. Le indicazioni delle linee guida proposte potranno essere valutate in relazione alle caratteristiche delle realtà locali nel rispetto degli aspetti fisico-ambientali del territorio, nonché degli strumenti normativi, di pianificazione e programmazione vigenti.

Per la stesura delle presenti linee guida, il Tavolo ha tenuto in particolare considerazione il "Documento preliminare per l'individuazione degli indirizzi e dei criteri per la difesa delle coste" prodotto dalla Direzione Generale per la Difesa del Suolo nel novembre 2006 e di tutte quelle attività già in corso in ambito nazionale (Carta di Livorno, CAMP Italia, RITMARE, ecc.) o in ambito europeo (Carta di Bologna, progetti europei quali COASTGAP-MED, MEDSANDCOAST-ENPI, COASTAL Mapping – DG MARE, EUROSION ecc.) così come la normativa tecnica già prodotta dalle Regioni al fine di capitalizzare quanto già fatto in materia e di valorizzare ogni valido contributo per giungere a "linee guida" condivise e realmente efficaci.

Le presenti Linee Guida forniscono un quadro d'insieme e mettono a sistema una serie di esperienze e buone pratiche sviluppate negli ultimi decenni, con particolare attenzione alle azioni di difesa che riguardano il controllo della linea di costa, il riequilibrio del ciclo dei sedimenti, la protezione e l'adattamento delle coste in relazione al contesto fisiografico, il grado di efficacia e durabilità delle diverse soluzioni.

L'applicabilità di tali indicazioni deve comunque essere valutata in relazione alle caratteristiche delle realtà locali nel rispetto degli aspetti fisico-ambientali del territorio, nonché degli strumenti normativi, di pianificazione e programmazione vigenti.

I.2. METODO DI LAVORO E TEMATICHE AFFRONTATE

La chiave di lettura dei fenomeni, l'approccio tematico e il prodotto del Tavolo Nazionale sono orientati principalmente verso gli aspetti gestionali della linea di costa o "interfaccia terra-mare", finalizzato a suggerire un approccio tecnico da adottare nella scelta delle azioni da compiere al fine di conseguire un possibile ottimale controllo o difesa della linea di costa anche in termini di efficacia, durata e migliore rapporto costi/benefici, e per quanto possibile anche in relazione agli effetti attesi dei cambiamenti climatici e dell'innalzamento del livello marino (SLR).

Le Linee Guida vogliono rappresentare uno strumento operativo di ausilio alle decisioni per tutti gli operatori del settore (pubblici e privati) su come intervenire sul territorio costiero, a monte di opportuni approfondimenti di natura tecnico-scientifica necessari ad agire in condizioni e casi specifici per i quali si rimanda o ad esperienze realizzate e a trattazioni specifiche o a studi da effettuare appositamente.

Il metodo di lavoro del Tavolo Nazionale si è sviluppato secondo una sequenza logico-operativa caratterizzata da quattro aree tematiche.

Stato dell'arte, Dinamica dei Litorali e Fabbisogni: ricognizione su stato delle conoscenze, metodi pratici e standard per la valutazione delle criticità (trend erosivi, arretramento della linea di costa, ecc.) e delle esigenze di gestione (valore esposto, scenari, rischi, ecc.) al fine di determinare in forma omogenea i relativi fabbisogni sia in termini di opere che di risorse necessarie. Indicazioni e risultanze relative a questa tematica sono contenute nel Capitolo IV.1 e nell'Allegato 1.

Opere e Interventi di Difesa: ricognizione sulle tipologie di opere e interventi di difesa costiera, metodi pratici e standard per la valutazione dell'efficacia, costi/benefici delle diverse tipologie di opere e interventi. Indicazioni e risultanze relative a questa tematica sono contenute nel Capitolo IV.3 e nell'Allegato 2.

Risorsa Sedimenti: ricognizione sullo stato delle conoscenze e di gestione, metodi pratici e standard per la valutazione della disponibilità della risorsa di sedimenti e per una loro ottimale gestione ai fini della difesa della costa dai fenomeni erosivi. Indicazioni e risultanze relative a questa tematica sono contenute nel Capitolo IV.4 e nell'Allegato 3.

Normative di riferimento: quadro generale delle disposizioni internazionali, nazionali e regionali in materia di difesa e gestione dei litorali, dei sedimenti, del demanio marittimo, e individuazione di possibili integrazioni volte a favorire una più efficace gestione degli effetti della dinamica costiera. Indicazioni e risultanze relative a questa tematica sono contenute nel Capitolo III.

L'analisi delle tematiche sopra descritte e l'insieme delle metodologie individuate nella ricognizione sulle esperienze e sulle buone pratiche sviluppate da diverse Regioni, costituiscono il contenuto tecnico delle **Linee Guida** espresso attraverso indicazioni operative ricondotte in uno schema di "approccio integrato" che si propone come schema di riferimento e orientativo per le azioni di gestione e di contrasto degli effetti dell'erosione costiera. Le indicazioni e lo schema di approccio integrato sono contenuti nel Capitolo IV.2.

Inoltre, si riconosce di particolare importanza la tutela e la salvaguardia degli ecosistemi costieri naturali (apparati dunali, habitat, zone umide costiere). La tutela di questi elementi naturali rappresenta un obiettivo prioritario da tenere presente sia nell'ambito della valutazione degli impatti indotti dalle diverse tipologie di interventi, sia per i servizi ecosistemici che tali risorse e habitat apportano al sistema costiero nel suo complesso, antropizzato o naturale.

Per quanto riguarda le possibili future attività di approfondimenti, studi e ricerche sulla difesa costiera, contemplate all'art. 4 del Protocollo d'Intesa, nel Capitolo V vengono proposti alcuni temi e linee di Azioni,

da sviluppare in continuità con gli obiettivi del Tavolo Nazionale. Essi riguardano il completamento e l'aggiornamento delle conoscenze sull'applicazione di buone pratiche di gestione, utili a comporre e mantenere nel tempo attivo il quadro nazionale sui fenomeni e sulle strategie di risposta al fine di consentire sempre la più efficace e moderna modalità di gestione degli effetti della dinamica costiera e dell'adattamento dei litorali ai cambiamenti climatici.

I lavori sulle quattro aree tematiche tecniche sono state coordinate rispettivamente dalle Regioni Toscana, Calabria, Lazio e Marche, mentre la Regione Emilia-Romagna ha coordinato i lavori per la redazione delle presenti Linee Guida nazionali. Le Regioni coordinatrici hanno comunque operato in collaborazione con le altre Regioni costiere, il mondo accademico e i centri di ricerca, attraverso la condivisione di contributi specifici.

L'ISPRA ha svolto il ruolo di coordinamento tecnico generale delle presenti linee guida, a supporto del Sottosegretario di Stato, delegato dal Ministro dell'Ambiente in materia di coordinamento delle politiche di tutela del mare, e delle Regioni rivierasche. Le due Direzioni Generali del MATTM hanno fornito supporto sulle procedure adottate e sui principi generali di tutela ambientale delle coste. Esse svolgeranno altresì attività di coordinamento per la definizione degli indirizzi e criteri generali per la difesa della costa.

Le informazioni reperite con il "censimento" dei dati e con la ricognizione sulle esperienze delle diverse Regioni opportunamente allineati ai criteri della Direttiva Inspire, saranno condivise tra i soggetti competenti e gli operatori di settore attraverso il Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, che costituirà lo strumento di sintesi e di consultazione, aggiornabile, di tutte le attività in materia di erosione costiera a scala nazionale.

Va sottolineato che, a differenza di quanto indicato nell'Atto di indirizzo tecnico annesso al Protocollo d'Intesa siglato il 6 aprile 2016, nel quale si prevedeva un quarto allegato sul tema normative, nel corso dei lavori si è valutata l'opportunità di includere questi argomenti, sia come inquadramento sia come indicazioni propositive, direttamente nelle Linee Guida e non come allegato

Le attività, avviate nell'aprile del 2015, si sono sviluppate secondo un cronoprogramma che ha visto riunioni plenarie del Tavolo Nazionale, per la consultazione e validazione degli stati di avanzamento dei lavori, incontri di coordinamento con le Regioni coordinatrici delle diverse aree tematiche e incontri tecnici dei gruppi di lavoro corrispondenti alle stesse aree tematiche. A seguito del completamento della prima stesura delle Linee Guida e degli Allegati tecnici, una fase di consultazione "allargata" ha portato alla versione del documento rilasciata a novembre 2016.

Nel corso del 2017, il confronto sui temi di interesse è stato ulteriormente esteso anche al mondo accademico dell'ingegneria costiera, allo scopo di migliorare i contenuti tecnici del documento Linee Guida in particolar modo sul quadro delle esperienze di riferimento, sulla progettazione degli interventi di difesa delle coste, sulle valutazioni nella movimentazione dei sedimenti e sul monitoraggio meteo-marino. Nel periodo febbraio-settembre del 2018, è stata quindi elaborata la presente versione aggiornata delle Linee Guida.

II. PROBLEMATICAZIONE EROSIONE E NECESSITÀ DI GESTIONE

II.1. INQUADRAMENTO AI FINI GESTIONALI DELLA PROBLEMATICAZIONE DELL'EROSIONE COSTIERA

Ogni valutazione e analisi sull'assetto del territorio costiero, compresi il fenomeno erosivo e le opzioni di adattamento, dovrebbe tenere conto delle previsioni di variazione del livello del mare e degli impatti del cambiamento climatico; ciò al fine di decidere in modo corretto se e quali azioni e interventi potranno essere utili, se la loro durata sarà sufficiente o avranno bisogno di manutenzioni e correzioni nel tempo, se siano sostenibili e condivisi dalla società e dai portatori d'interesse. Ai fini di un necessario allineamento della terminologia e dei concetti di “**adattamento**” e “**mitigazione**” è opportuno richiamare quanto internazionalmente riconosciuto (EU, UNFCCC, etc.), ovvero che per adattamento si intende tutto quanto operato per realizzare condizioni in cui territorio e/o strutture antropiche possano resistere alle sollecitazioni indotte da eventi e forzanti naturali (“costruzione” della resilienza), mentre per mitigazione tutto quanto operato per ridurre le cause, in particolare agendo sulla riduzione dei fattori clima alteranti. Spesso il concetto di “mitigazione” viene comunemente associato al danno, ovvero inteso come “mitigazione del danno atteso” dagli effetti del cambiamento climatico. Con questa particolare accezione, sempre con riferimento alla definizione di cui sopra, la “mitigazione” rientra di fatto più propriamente nel concetto di “adattamento”. L'ambito operativo delle presenti Linee Guida rientra in particolare nella sfera di “adattamento e mitigazione del danno atteso”.

Per quanto riguarda la problematica dell'erosione costiera, in queste linee guida si propone un approccio di tipo gestionale per cui è opportuno chiarire cosa si intende per erosione e necessità di gestione, in relazione anche al campo di azione e agli obiettivi che si vogliono raggiungere.

Generalmente, per **erosione costiera** si intende il risultato di un processo, o di una serie di processi naturali o indotti, che modificano la morfologia dei litorali determinando una perdita di superficie del territorio emerso, e quindi anche di volume di sedimento, in un dato intervallo di tempo rispetto al livello medio del mare.

I dati sull'erosione costiera dipendono quindi dalla scala spaziale e temporale di osservazione. La linea di costa di un litorale sedimentario è una linea dinamica di un ambiente tipico di transizione (terra-mare) che risente di fluttuazioni a diverse scale temporali in relazione alle onde (secondi), alla marea (ore, due cicli giornalieri), stagioni o più ampie scale temporali (mesi, anni, secoli) come ad esempio i cambiamenti del livello medio marino. Va sottolineato che un **arretramento della linea di riva** non è necessariamente sintomo, o “sinonimo” di erosione costiera ma tale fenomeno può essere un indicatore che va sempre valutato attraverso indagini geomorfologiche multitemporali.

In genere, le **variazioni morfologiche** sono dovute allo spostamento di materiali, sedimenti, in direzione longitudinale o trasversale alla costa, come risultante delle diverse fluttuazioni, e possono essere positive (accumuli, avanzamenti) o negative (perdite, arretramenti) rispetto ad una precedente linea di riva, in un dato periodo di tempo.

Nel caso degli **spostamenti longitudinali** si può parlare di **perdite e accumuli** che, in relazione ad una determinata scala di osservazione o di gestione, si bilanciano. In questo caso perdite o accumuli sono sito specifici, ma nel complesso di un certo tratto litoraneo, unità fisiografica o sistema litoraneo, non si registrano perdite assolute dal sistema. Questo ha un senso preciso in termini di gestione dei sedimenti,

che rimangono in certo modo disponibili, per la manutenzione dei tratti critici di un determinato ambito costiero.

Nel caso degli **spostamenti trasversali** alla fascia costiera, sedimenti che il moto ondoso e le correnti portano oltre la profondità di chiusura delle spiagge o che il vento e le mareggiate portano nell'entroterra, si tratta di **perdite assolute**, che possono essere bilanciate solo con apporto di sedimenti dall'esterno del sistema litoraneo. In questo ambito ricadono anche le perdite di quota dei litorali dovute alla subsidenza, che determinano un determinato fabbisogno di materiale per recuperare quota e superficie di territorio rispetto al livello di medio mare.

Le **necessità di gestione** degli effetti e di azioni di contrasto all'erosione costiera, scaturiscono dall'interferenza o dalla minaccia d'interferenza del fenomeno erosivo con gli "interessi" antropici localizzati, determinando criticità. Si tratta di infrastrutture, aree insediative, agricole o produttive, in massima parte elementi di tipo "rigido", inseriti generalmente senza particolari accorgimenti in un ambiente fortemente dinamico come quello costiero, che anzi spesso ne hanno modificato l'assetto.



Figura II.1.1 – Proposta di schema per un corretto approccio alla valutazione e gestione dell'erosione costiera

Rilevate e monitorate le variazioni morfologiche e valutate le criticità, occorre quindi stabilire quelle su cui è necessario intervenire secondo una scala di priorità, in funzione del grado di criticità e degli elementi esposti a rischio. Stabilite le priorità si può procedere ad una stima del fabbisogno e ad una verifica delle risorse disponibili rispetto a quelle necessarie. Una minore disponibilità di risorse determina necessariamente una riduzione del numero di azioni/priorità da "ritenere" in una prima fase di interventi.

La pianificazione comprenderà anche interventi/azioni da realizzare in fasi successive e dovrà necessariamente tenere conto degli effetti dei cambiamenti climatici sul tratto o Unità costiera considerata e degli effetti degli interventi che si andranno via via a realizzare. La programmazione di interventi

(annuale o pluriennale) sarà basata sulle risorse effettivamente disponibili, finanziarie e naturali, in un determinato tempo e in funzione della pianificazione di più lungo periodo.

Gli obiettivi della pianificazione e programmazione saranno quindi quelli di individuare e realizzare interventi e azioni per la soluzione o riduzione delle diverse criticità "non accettabili".

Oltre alle procedure di VAS, sui Piani, e di VIA, sui singoli interventi, è da sottolineare l'importanza di una corretta analisi costi/benefici in funzione sia dei costi della fase realizzativa degli interventi sia di quelli della loro successiva manutenzione per "l'intero ciclo di vita", dei costi del monitoraggio del funzionamento degli interventi e degli effetti indotti dagli stessi nel contesto fisico-ambientale in cui sono inseriti e, non da ultimo, il loro grado di reversibilità qualora risultasse eventualmente necessario rimuovere o modificare un'opera o un intervento dopo un certo tempo dalla sua realizzazione.

La pianificazione è un processo cruciale, in cui attraverso analisi e valutazioni sullo stato attuale si viene a definire una visione condivisa (fra Pubbliche Amministrazioni e portatori di interesse) per il futuro, con obiettivi di assetto costiero, di sicurezza e di sviluppo anche in funzione degli effetti attesi dei cambiamenti climatici.

E' opportuno richiamare in questa sede il processo e i principi della Gestione Integrata delle Zone Costiere (GIZC), necessari per operare con una visione unitaria, e integrata appunto, dei vari elementi antropici e naturali che interagiscono sulla costa, in particolare e con particolare enfasi anche affrontando la problematica dell'erosione e dell'adattamento delle coste ai cambiamenti climatici.

Il Protocollo GIZC per il Mediterraneo (della Convenzione di Barcellona), stabilisce un approccio, principi e "indicazioni comportamentali" per le Pubbliche Amministrazioni, i soggetti economici, le imprese, i portatori d'interesse, i cittadini, al fine di raggiungere un buon grado di sostenibilità dello sviluppo delle zone costiere, attraverso un processo di pianificazione integrata.

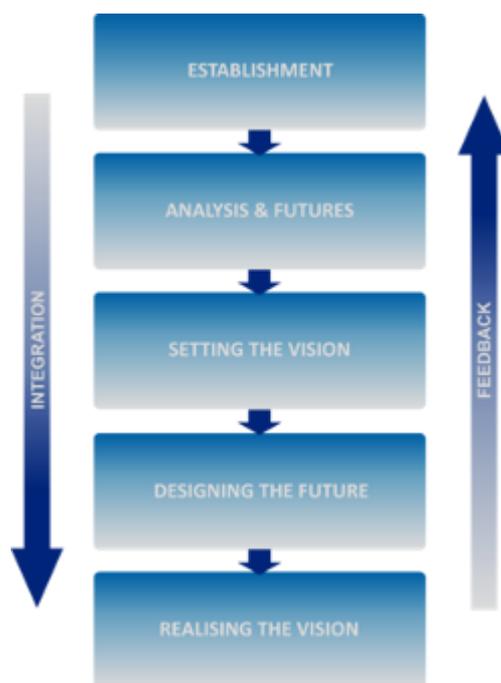


Figura II.1.2 – Schema del processo di GIZC.

http://www.coastalwiki.org/wiki/ICZM_Process_diagram

Al fine di chiarire il concetto di "sostenibilità" nel caso specifico vale la pena ricordare cosa viene inteso per "costa sostenibile", ovvero una zona costiera che sia:

Resiliente: capace di adattarsi alle future incertezze del cambiamento climatico, tra cui l'aumento del livello del mare, il riscaldamento e la siccità; resiliente alla variabilità del clima, come le tempeste estreme, inondazioni, onde, ecc; resiliente ai terremoti e all'erosione; resiliente agli impatti negativi dei processi umani, tra cui la pressione del turismo e dello sviluppo urbano sulla costa.

Produttiva: produttiva finanziariamente in settori economici tradizionali, moderni e futuri; in grado di sostenere le aspirazioni economiche della comunità costiera, di fornire un asset competitivo per l'economia locale ad alto contenuto di valori naturali ed economici, di aumentare il benessere e di ridurre la povertà.

Diversificata: ecologicamente varia, un mosaico di ecosistemi marini e terrestri, di diversi paesaggi rurali e urbani, vecchi e nuovi; una economia varia, in grado di garantire una società aperta e una grande varietà di gruppi sociali, con una distinta caratterizzazione Mediterranea.

Distintiva: mantenendo la specificità culturale delle zone costiere, comprese l'architettura, i costumi e paesaggi, riconoscendo il Mediterraneo come la "culla della civiltà" - fornendo una immagine distintiva di marketing su cui attrarre investimenti.

Attrattiva: mantenendo l'attrattività della costa, non solo per i visitatori, ma anche per la popolazione locale e per gli investitori, per promuovere un ciclo di auto-sostegno di una crescita sostenibile.

Salutare: esente da inquinamento da fonti terrestri e di origine marina, con aria e acque dolci e marine pulite, con un ambiente sano per le persone, per le risorse naturali come la pesca, e per la fauna selvatica.

Quanto sopra dovrebbe essere usato alla stregua di una "check-list" per aiutare ad impostare un piano di gestione integrata, una strategia o un programma. Anche in un piano di gestione dell'erosione costiera o di adattamento ai cambiamenti climatici, tali criteri dovrebbero essere considerati in modo equilibrato, tale da massimizzare i benefici reciproci e ridurre al minimo il rischio di conseguenze negative, per la costa, per l'ambiente e per le attività umane ad essa afferenti.

È importante notare che la GIZC comprende una vasta gamma di questioni e aspetti, ognuno dei quali è importante nel suo proprio merito. Durante tutto il Processo, ogni questione settoriale che è importante nella zona costiera specifica dovrebbe essere presa in considerazione.

Quello tracciato sopra è un “modello di costa” che opportunamente va tenuto in considerazione sia nell’ambito della pianificazione di sistema, o nei piani locali, sia nell’ambito del singolo intervento inquadrato in un determinato Piano, insieme ad un concetto di “trasferibilità” per il quale “la costa non è da considerarsi un’eredità consegnataci dalle generazioni precedenti, della quale possiamo disporre liberamente, ma bensì un prestito concessoci dalle generazioni future verso le quali abbiamo un impegno a restituirlo nelle migliori condizioni possibili”.

E’ importante ricordare che, a monte della decisione di intervenire e in quale modo, su un particolare tratto costiero, ma in generale su qualsiasi territorio, è opportuno valutare diverse opzioni con una visione allargata delle problematiche, dell’assetto territoriale e delle possibili modificazioni delle forzanti per effetto del cambiamento climatico, in un’ottica di costo/beneficio nel tempo, e quindi di sostenibilità, che le scelte che si intendono effettuare avranno per la collettività.

Indicazioni in questo senso sono sistematizzate nel Rapporto EuroSION¹, che qui si ripropongono allo scopo di rappresentare, se pur in modo molto schematico, le diverse opzioni che andrebbero prese in considerazione nel processo decisionale nei ragionamenti a monte di qualsiasi pianificazione, strategia di gestione e adattamento costiero o programma di interventi.

Nell’opzione “do nothing”, o anche “**opzione zero**”, non si prevede alcun intervento di difesa, nessuna attività di gestione degli effetti dell’erosione o della linea di costa, nessuna operazione nell’immediato entro terra. Sono situazioni in cui non vi è interferenza, o minaccia d’interferenza, significativa dell’erosione ed eventuale ingressione marina con elementi antropici o con aree naturali di particolare pregio o funzione, oppure dove tale eventualità può essere accettata lasciando libera manifestazione ai processi dinamici costieri.

Nell’opzione “managed realignment”, o “**riallineamento gestito**”, si prevedono interventi di riassetto del territorio costiero, arretramento di infrastrutture o edifici. Tale opzione presuppone un sufficiente spazio nell’immediato entro terra costiero e l’identificazione di una nuova linea di difesa rispetto a quella precedente.

Nell’opzione “hold the line”, si prevede il “**mantenimento della linea di difesa**” e di costa, con interventi che mantengano o migliorino lo standard di protezione della attuale linea di difesa, opere o ripascimenti di manutenzione. Questa opzione include interventi sul litorale ed immediato entroterra (es. elevazione in quota dell’arenile, strutture longitudinali rilevate, ecc.) che vanno a costituire parte integrante del sistema di difesa costiero.

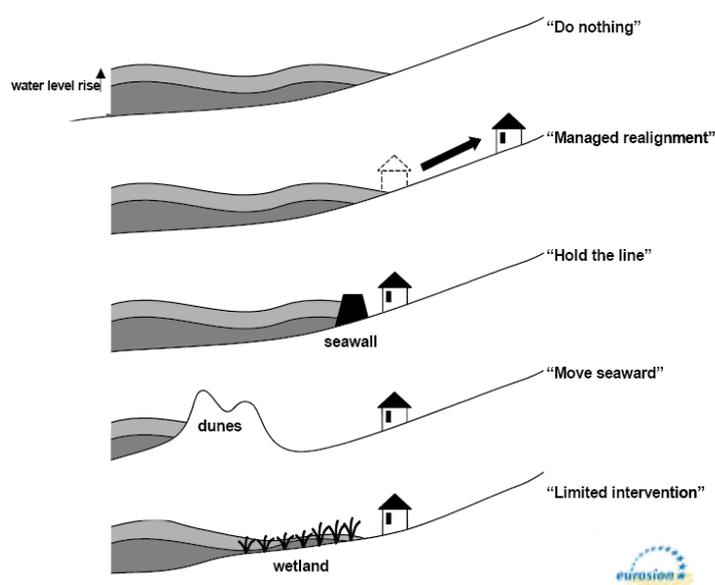


Figura II.1.3 - Schema opzioni di gestione costiera, da progetto EUROSION 2004

¹ EuroSION Project – “A guide to coastal erosion management practices in Europe”, 30 June 2004.

Nell'opzione “move seaward”, si prevede un “**avanzamento della linea di difesa**”, o costruendo nuove difese a mare rispetto alle precedenti o avanzando con ingenti ripascimenti e la costruzione di cordoni dunosi. Questa opzione presuppone la disponibilità di importanti quantitativi di sedimenti, generalmente da fonti esterne al sistema litoraneo.

Nell'opzione “limited intervention”, si prevede di procedere con “**interventi limitati**”, non invasivi, lavorando con i processi naturali nella riduzione dei rischi e permettendo le variazioni costiere. Questa opzione può prevedere una serie di misure, dal rallentamento o arresto dell'erosione e dell'arretramento delle spiagge e delle coste alte, attraverso ripascimenti manutentivi e/o consolidamento delle scogliere, a misure per la sicurezza delle persone e degli elementi naturali o antropici esposti (sistemi di allerta per le inondazioni, manutenzione o ripristino di dune, foreste e zone umide costiere, restrizione dell'edificazione in fascia costiera, ecc.).

In molti casi, **migliorare la resilienza costiera è un mezzo appropriato per promuovere la sostenibilità** (cfr. IV.2.2.3). Questo dovrebbe quindi essere utilizzato come principio guida al momento di formulare gli obiettivi per la gestione delle coste. Buoni esempi di obiettivi resilienti sono il “riallineamento gestito” e “opzione zero”. Ma anche una finalità come “mantenere la linea” potrebbe consentire una certa resilienza, ad esempio attraverso ripascimenti per sostituire le perdite e mantenere una spiaggia “sana”. Spesso non è necessario esigere che la costa debba essere in qualsiasi momento e luogo in una posizione predefinita. Consentendo una certa flessibilità si permetterebbe alla costa di oscillare intorno una posizione media, approccio sicuramente più efficiente. Ad esempio, la definizione olandese della costa² è correlata ad un volume di sabbia intorno alla linea delle medie acque basse. Questa definizione permette la redistribuzione dei sedimenti vicino alla costa senza cambiare la posizione “formale” costa.

È importante rendersi conto che **gli obiettivi possono essere definiti per diversi orizzonti temporali**. Per esempio, garantire la sicurezza contro l'erosione e le inondazioni in occasione di una tempesta ha un tipico orizzonte temporale di giorni: dovrebbe essere sufficiente per resistere ad una tempesta forte sulla costa ogni giorno dell'anno (e soprattutto durante la stagione invernale). Ma per altri obiettivi possiamo trovare un orizzonte temporale da decenni a secoli. Se vogliamo, per esempio, gestire l'erosione costiera in vista dell'innalzamento del livello del mare dovuto al cambiamento climatico, per ogni orizzonte temporale vi è una scala spaziale associata: per la sicurezza “immediata”, garantita giorno per giorno, abbiamo bisogno di fare valutazioni della costa su scale spaziali di metri o centinaia di metri; per l'adattamento all'innalzamento del livello del mare, si definisce una Cella costiera o tratto litoraneo alla scala da decine a centinaia di chilometri.

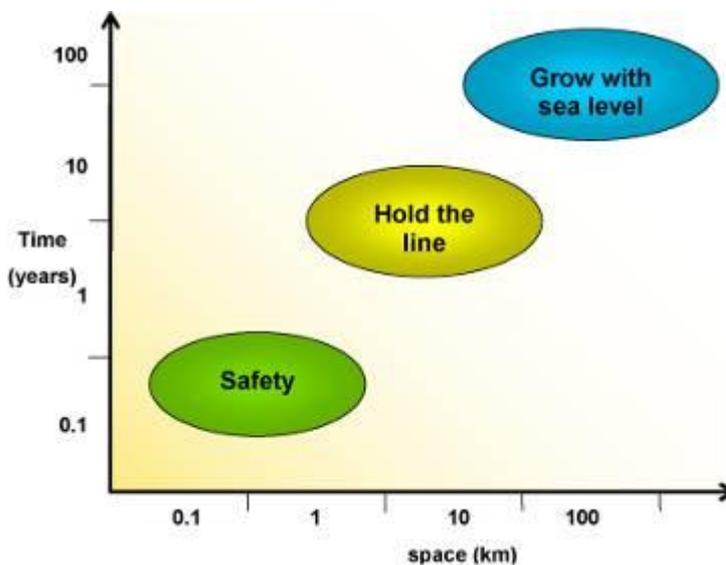


Figura II.1.4 – Rappresentazione grafica dei diversi obiettivi in termini di tempo e spazio, da progetto CONSCIENCE www.conscience-eu.net/.

E' ovvio che le decisioni sulle opzioni adottabili sono sito specifiche, in relazione ad assetto locale, previsioni degli effetti attesi del cambiamento climatico, disponibilità di sedimenti, fattori economici e sociali, che devono far parte di un processo consapevole di tutti i fattori in gioco e “partecipato” e consapevole da

² https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Annual%20Report%20Rijkswaterstaat%202014_tcm21-55951.pdf

parte dei diversi portatori d'interesse, in funzione di un concorso al raggiungimento degli obiettivi, in sintesi un processo di gestione integrata della zona costiera³.

Per quanto riguarda gli scenari dei cambiamenti climatici e gli effetti sui sistemi costieri, è di primaria importanza e riferimento il lavoro portato avanti dal Panel Intergovernativo di esperti sul Cambiamento Climatico (IPCC), che si traduce periodicamente in Rapporti di Valutazione (Assessment Report) aggiornati in funzione a nuovi dati ed elaborazioni che le nuove tecnologie ed osservazioni rendono via via disponibili⁴.

Una volta scelta una o più opzioni a livello locale, o una strategia complessiva a livello costiero nell'ambito della quale diverse opzioni sono considerate, è importante che il processo di valutazione e decisionale non si fermi ma, anzi, continui ad essere alimentato relativamente ai risultati, effetti ed efficacia, che le scelte fatte manifestano sul campo.

A supporto di questo processo che considera la sostenibilità della gestione costiera in funzione delle diverse scelte, è essenziale disporre di un adeguato sistema di conoscenze sui processi evolutivi a breve e lungo termine e di sistemi di monitoraggio che da un lato aggiornino costantemente le conoscenze e dall'altro lato permettano di valutare l'efficacia delle scelte effettuate e degli interventi realizzati in funzione degli obiettivi posti, ponendo le basi per successive azioni di miglioramento, adeguamento o modifica delle strategie.

Infine, è bene sottolineare che le scelte di strategie, opzioni, misure e azioni per la difesa delle coste dall'erosione e ingressione marina dovranno sempre confrontarsi e ove opportuno allinearsi e contribuire ai contenuti, obiettivi e misure della vigente pianificazione di bacino (PAI, Piani costa, ecc.), della Pianificazione di distretto (Piano di Gestione delle Acque, Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni), della pianificazione delle Aree Naturali Protette, dei principali strumenti di pianificazione regionale con diretta incidenza sugli ambiti costieri.

Per quanto attiene in particolare ai Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) risulta utile richiamare in proposito uno schema di quanto adottato a livello nazionale (Figura II.1.5) relativo alle tipologie di misure e di azioni previste, dal quale si evince la correlazione dei temi trattati dalle presenti Linee Guida principalmente con le misure M2 di Prevenzione ed M3 di Protezione, trattate nei PGRA.

TIPOLOGIA MISURE	TIPOLOGIA AZIONI (in sintesi)
Prevenzione (M2)	<ul style="list-style-type: none"> politiche e normative regionali specifiche piani di bacino, territoriali ed urbanistici conoscenze e monitoraggio
Protezione (M3)	<ul style="list-style-type: none"> programmazione opere e interventi manutenzione e gestione
Preparazione (M4)	<ul style="list-style-type: none"> modelli di previsione e allertamento piani di protezione civile informazione a popolazione e formazione
Risposta all'emergenza (M4)	<ul style="list-style-type: none"> ripristino delle condizioni pre-evento assistenza medica e psicologica assistenza finanziaria e legale ripristino ambientale rianalisi esperienze e conoscenze
Ritorno alla normalità e analisi (M5)	

Fig. II.1.5 - Schema tipologia di misure e azioni previste dai PGRA

³ Raccomandazione 2002/413/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa, 30 maggio 2002. Inoltre, UNEP/MAP "Protocollo GIZC per il Mediterraneo", Madrid 2008.

⁴ IPCC 5° Assessment Report https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf - 2014, Synthesis.

II.2. ESPERIENZE E STUDI NAZIONALI E INTERNAZIONALI

Nel **panorama nazionale e internazionale** esiste una consolidata esperienza in ambito accademico, testimoniata da molteplici progetti di ricerca competitivi che hanno consentito un notevole avanzamento nella conoscenza dei fenomeni di dinamica e di difesa delle coste (es. MAST 1-2-3, PROVERBS, DELOS, MICORE, THESEUS, HYDRALAB), nonché degli aspetti più applicativi di questa disciplina (BEACHMED, BEACHMED-e, ResMar, PERLA, CAMP-Italy, COASTANCE, COASTGAP, MAREMED, RICAMA). Le tematiche sono state studiate essenzialmente da due punti di vista, quello geomorfologico e quello ingegneristico, spesso in maniera multidisciplinare. Un riferimento nazionale in questo senso è il lavoro svolto dal Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero (GNRAC)⁵, costituito nel 2005 con il patrocinio del MIUR e del CNR, con la finalità di promuovere e diffondere, anche attraverso la rivista scientifica "Studi Costieri", le conoscenze acquisite sullo stato dei litorali, sulla loro conservazione e sulla loro gestione con un approccio integrato che va dalla geomorfologia e sedimentologia all'idraulica marittima e ingegneria costiera. Nell'ambito della geomorfologia e sedimentologia costiera rilevante è il lavoro fatto negli anni '80 nell'ambito del "Progetto Finalizzato regime e dinamica dei litorali", che ha portato, fra l'altro, alla realizzazione dell'Atlante delle spiagge italiane in scala 1:100.000. L'attività si è sviluppata poi con progetti d'interesse nazionale (PRIN - MIUR) come quelle sulle Dune costiere, sulle Pocket beach, sulla Risposta morfologica e sedimentologica delle spiagge alle opere di difesa. Nell'ambito della ingegneria costiera va ricordata la creazione e gestione della RON, Rete Ondametrica Nazionale⁶, avvenuta alla fine degli anni '80. La rete ondametrica, sostenuta inizialmente dal Ministero dei Lavori Pubblici con il supporto tecnico-scientifico di alcuni esperti, e poi gestita dall'APAT, oggi ISPRA (con ben 15 stazioni), è stato un esempio pionieristico apprezzato e seguito nei paesi marittimi più sviluppati ed oggi, purtroppo, dismessa.

Numerosi sono anche gli studi e i monitoraggi condotti dalle Amministrazioni regionali in relazione ad interventi o allo sviluppo delle basi conoscitive per la formulazione di piani e programmi, che vengono richiamati più avanti nel presente documento.

Un altro riferimento fondamentale è il documento prodotto nel 2006 dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare⁷, che definiva il quadro delle dinamiche in atto sulle coste italiane, dei processi di trasporto solido, dei fenomeni di erosione e subsidenza, di sedimentazione e di innalzamento relativo del livello del mare, con particolare attenzione ai tratti artificializzati relativi ai porti e alle opere di difesa della costa, con lo scopo di fornire indirizzi per la redazione dei piani di difesa delle coste, di studi e ricerche a tal scopo, alle azioni di intervento più opportune ed efficaci.

Fra le iniziative a scala nazionale nel settore marino costiero, inoltre, riveste un ruolo di particolare rilevanza il progetto RITMARE⁸, principale Progetto Bandiera del Programma Nazionale della Ricerca nel settore, finanziato dal MIUR per il quinquennio 2012-2016 e coordinato dal CNR. Articolato in 7 sottoprogetti per la ricerca e innovazione nei sistemi di osservazione dell'ambiente marino e costiero, delle tecnologie marittime e della pesca, delle infrastrutture interoperabili di dati spaziali, delle strutture di ricerca, della pianificazione dello spazio marittimo nella fascia costiera, rappresenta una fonte di dati, informazioni, di supporto tecnologico e modellistico, prezioso per le valutazioni attuali e per le azioni future

⁵ <http://www.gnrac.unifi.it/>; Per un quadro complessivo si richiamano in particolare i numeri monografici "Lo stato dei litorali in Italia" – Studi Costieri n.10 (2006), pp 172, AA.VV. a cura del GNRAC, e "Dinamica e gestione delle dune costiere in Italia" – Studi Costieri n.17 (2010) pp 216, AA.VV. a cura di Roberto Montanari.

⁶ Franco L., Piscopia R., Corsini S., Inghilesi R., L'Atlante delle onde nei mari italiani - Italian Wave Atlas, APAT-Università Roma Tre, Roma 2004

⁷ "Documento preliminare per la formulazione degli indirizzi e dei criteri per la difesa delle coste", MATTM 2006

⁸ <http://www.ritmare.it/>

che il TNEC potrà avviare nel campo dello sviluppo delle conoscenze dei fenomeni, della gestione degli effetti dell'erosione e dell'adattamento ai cambiamenti climatici delle zone costiere.

Vanno infine necessariamente richiamati gli strumenti di pianificazione di livello Regionale e di Autorità di Bacino, realizzati e vigenti, focalizzati o comunque anche comprendenti le zone costiere, come ad esempio i Piani di Gestione delle Coste, Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, Piani Paesistici, Piani di Gestione delle aree protette, Piani di Gestione delle Acque, Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni, ecc., richiamati sia nel Capitolo III.3, sia nell'Allegato 1 alle Linee Guida.

Nel **panorama internazionale ed europeo** la gamma di studi e ricerche nel settore si amplia enormemente. Volendo fornire tre generi di riferimento, da cui è possibile partire per successivi approfondimenti, si possono richiamare "Coastal Erosion and Protection in Europe"⁹, un compendio monografico sui diversi Paesi europei relativamente alla problematica dell'erosione e alle soluzioni adottate per farvi fronte, lo studio "Eurosion"¹⁰ promosso dalla Commissione Europea, e lo studio PESETA del Joint Research Centre dell'Unione Europea, richiamato nel successivo paragrafo II.3, sugli impatti economici in relazione al non adattamento o adattamento del territorio e delle zone costiere ai cambiamenti climatici attesi nei prossimi decenni secondo gli scenari formulati dall'IPCC¹¹.

Lo studio Eurosion del 2004, che rappresenta una pietra angolare nelle politiche europee di settore, oltre a costituire un quadro e un database sullo stato delle coste europee, attraverso l'analisi di circa 60 casi considerati rappresentativi della diversità costiera europea e la valutazione del grado di raggiungimento degli obiettivi che le soluzioni adottate si erano poste in relazione alle problematiche erosive locali, ha formulato indicazioni e raccomandazioni per fronteggiare il fenomeno in modo integrato.

In generale, non vengono proposte soluzioni indiscriminatamente valide per qualsiasi situazione, ma viene richiamata l'importanza di apprendimento dalle esperienze pregresse e introdotta la necessità di applicazione di un concetto di approccio multifunzionale, di sostenibilità e accettabilità delle soluzioni, che necessariamente devono essere sito-specifiche. In sostanza i risultati migliori si possono ottenere combinando in modo integrato diverse opzioni e sistemi di difesa costiera, sfruttando i vantaggi dei rispettivi benefici e mitigando i rispettivi inconvenienti. Progetti d'intervento multifunzionali, che ad esempio rispondono a funzioni socio-economiche oltre che alla protezione costiera e dell'ambiente, sono generalmente più facilmente accettati e praticabili economicamente.

Nello studio si perviene anche ad alcune constatazioni, funzionali nell'ambito del presente documento, e che qui brevemente si riportano:

- **La maggior parte dei problemi erosivi (criticità) è oggi indotta dalle attività umane** e gli effetti dei fronti mare stabilizzati vanno progressivamente a ledere le linee di costa sedimentarie o delle scogliere;
- **Le procedure di Valutazione d'Impatto Ambientale¹² sono generalmente affrontate in modo insufficiente** in relazione agli impatti delle attività umane sull'ambiente costiero, e questo si traduce spesso in un aumento dei costi (successivi, non previsti) dei tentativi di riduzione dell'erosione. Migliori soluzioni si avrebbero trasferendo preventivamente parte di questi costi alle attività di VIA e di VAS, tenendo adeguatamente in considerazione negli studi gli impatti del cambiamento climatico, gli aspetti di adattamento e mitigazione.

⁹ E.Pranzini, A.T.Williams, "Coastal Erosion and Protection in Europe", ed. Routledge 2013, ISBN: 978-1-84971-339-9 (hbk), 978-0-203-12855-8 (ebk)

¹⁰ <http://www.eurosion.org> "A guide to coastal erosion management practices in Europe", 30 June 2004; e la pubblicazione "Vivere con l'erosione costiera in Europa. Sedimenti e spazio per la sostenibilità – Risultati dello studio EUROSION", EC Luxembourg (2007), pp 40, ISBN: 978-92-79-06194-3

¹¹ Intergovernmental Panel of experts on Climate Change

¹² Con riferimento alla Direttiva 85/337/EEC

- **Il costo per la riduzione dell’erosione costiera è principalmente affrontato dai governi centrali e dalle regioni**, raramente anche dalle amministrazioni e comunità locali e quasi mai dai proprietari o concessionari delle aree a rischio o dalle parti eventualmente responsabili dell’erosione costiera;
- **Nella maggior parte dei casi, soluzioni che in qualche misura hanno risolto o mitigato l’erosione a livello locale, hanno indotto problemi erosivi in altri tratti costieri**, anche per chilometri, o hanno generato problemi ambientali.
- **Nonostante la disponibilità di enormi quantità di dati, permangono lacune informative a supporto delle scelte**. La condivisione e la diffusione dei dati costieri, informazioni, conoscenze, esperienze, buone pratiche, spesso non raggiunge in modo efficace i portatori di interesse e le amministrazioni locali competenti, e ciò aumenta la possibilità di decisioni non adeguate.

Lo stesso rapporto introduce inoltre il concetto di **resilienza costiera** (che viene ripreso nel successivo Capitolo IV del presente documento), particolarmente importante alla luce degli effetti attesi dei cambiamenti climatici, in dipendenza di due fattori chiave: **sedimenti e spazi per i processi costieri**. In breve, la resilienza costiera diminuisce come risultato di:

- **Perdita cronica di sedimenti;**
- **Limitazioni imposte agli spazi richiesti dai processi** di: a) arretramento naturale di scogliere e sistemi sedimentari; b) redistribuzione dei sedimenti come risultato dell’arretramento.

Questi aspetti, spazio e sedimenti, devono essere riconosciuti come condizioni fondamentali per una pianificazione costiera sostenibile in generale e per la gestione della linea di costa in particolare. Va innanzitutto tenuto in considerazione lo spazio necessario, da lasciare o da ricreare, per “concedere” ai processi naturali costieri di potersi espletare senza recare danno a strutture antropiche o naturali. A questo proposito un chiaro riferimento viene fornito dal già citato Protocollo GIZC per il Mediterraneo¹³. Accanto a questo aspetto, è di fondamentale importanza individuare e valutare appropriate fonti di sedimenti, “riserve strategiche di sedimenti” (concetto proposto da EuroSION che bene si addice agli scopi del presente documento) definiti come volumi di sedimenti, di appropriate caratteristiche, disponibili per il rifornimento delle zone costiere, sia temporaneamente (per compensare perdite dovute ad eventi severi) che nel lungo termine, identificabili in depositi al largo, nelle zone costiere sopra o sotto il livello del mare, e nell’hinterland. Una volta designate queste riserve strategiche, la loro disponibilità deve essere assicurata da una destinazione ad utilizzo esclusivo per il bilancio costiero.

Infine nel report EuroSION, vengono proposte alcune Raccomandazioni che in questa sede è opportuno richiamare e rilanciare, al fine di rendere meglio gestibili i fenomeni e i rischi connessi all’erosione costiera:

- **Aumentare la resilienza costiera** ripristinando il bilancio sedimentario, assegnando spazi necessari ai processi naturali erosivi e sedimentari (tenendo conto dell’innalzamento del livello del mare -SLR, dei cambiamenti climatici e relativi eventi estremi) e designando riserve strategiche di sedimenti;
- **Internalizzare i costi e i rischi dell’erosione costiera nelle decisioni di pianificazione e di investimenti**. La “responsabilità pubblica” per far fronte ai costi (sistemi di tassazione) potrebbe essere trasferita, per una parte appropriata del costo, sugli investitori;
- **Rendere le risposte all’erosione costiera rendicontabili** attraverso un approccio di pianificazione basato su principi di responsabilità, che possa favorire l’ottimizzazione dei costi di investimento in relazione al valore dei beni a rischio, l’accettabilità sociale delle azioni e lasci aperte altre opzioni per il futuro;
- **Rafforzare le basi conoscitive per la gestione degli effetti dell’erosione e per la pianificazione**, attraverso lo sviluppo di strategie di governance e condivisione dell’informazione, a partire dalle

¹³ Art. 8 “Protezione e uso sostenibile delle zone costiere”

http://www.ambientediritto.it/Legislazione/aree%20protette/2009/prot_med.pdf

“buone pratiche” (compreso l’apprendimento dalle esperienze di non successo), ai diversi livelli istituzionali.

Queste raccomandazioni, sono state riprese da altre importanti iniziative Europee come CONSCIENCE¹⁴ ed OURCOAST¹⁵ e sono entrate nella pratica di diversi Paesi europei.

Nel Mediterraneo, in particolare, sono da richiamare le esperienze spagnola e francese.

In **Spagna** ad esempio, il quadro legislativo sulle coste, sull’ambiente, sulla VIA, sulla ricerca di sedimenti, sulle operazioni di dragaggio e ripascimento, stabilisce l’uso esclusivo delle sabbie dei depositi *offshore* per il ripascimento delle spiagge e il ripristino della morfologia costiera¹⁶.

Questa chiara assunzione consente di evitare qualsiasi malinteso rispetto ad altri eventuali interessi e destinazioni di tali riserve di sedimenti. I depositi sabbiosi sommersi possono essere utilizzati da soggetti pubblici o privati ma solo per lo scopo definito per legge, dietro autorizzazione. Il progetto di ripascimento deve essere approvato da parte del Ministero Ambiente.

Grazie a questo quadro il governo spagnolo, insieme ad alcune Regioni costiere, ed in particolare con **Catalunya e Comunitat Valenciana**, hanno finanziato dall’anno 2000 diversi programmi di studio, ricerca e mappatura della piattaforma continentale mediterranea di fronte alle rispettive coste regionali. Diverse aree di accumulo di sabbia sono state identificate in particolare di fronte alla costa della Comunitat Valenciana, grazie alla sua piattaforma continentale ben sviluppata all’antico approvvigionamento di sedimenti da diversi fiumi (Ebro, Turia, Jucar, ecc). In questo contesto, sono state individuate due specifiche aree di interesse su cui sono proseguiti gli approfondimenti necessari.

In **Francia**, lo Stato e in particolare la Regione **Languedoc-Roussillon** in riferimento alla conoscenza molto parziale del contesto ambientale della zona marina, delle sue risorse alieutiche e degli impatti potenziali legati allo sfruttamento degli stock sedimentari, hanno incontrato difficoltà nel definire la fattibilità dell’utilizzo dei depositi sabbiosi sommersi del largo. Tali difficoltà hanno spinto le Autorità francesi a mettere in opera il progetto ESPEXS¹⁷ su una vasta zona di studio nel Golfo del Leone, che corrisponde ad una delle due zone “APE” preliminarmente investigate durante i progetti “BEACHMED” e “BEACHMED-e” (guidati dalla Regione Lazio), zona poi designata come la più favorevole per l’utilizzo (“APE2”).

Il **progetto ESPEXS** è stato finalizzato a definire nella zona di studio (circa 1.000 km²), le zone più favorevoli allo sfruttamento, eliminando i settori più sensibili dal punto di vista ambientale. Il progetto non intendeva sostituire lo studio d’impatto ambientale o lo studio di fattibilità di un progetto di sfruttamento ma, piuttosto, mirava a fornire gli elementi necessari a supporto delle strutture proponenti e degli attori decisionali in vista di un intervento di sfruttamento. A conclusione del progetto è stata presentata la delimitazione dell’area più favorevole allo sfruttamento, sulla base dell’analisi delle emergenze ambientali, dei conflitti con gli altri usi del mare e dei vincoli presenti, degli impatti delle operazioni previste per lo sfruttamento del deposito sommerso, nonché della concertazione con tutti i portatori di interesse coinvolti nel progetto.

Questa esperienza è emblematica relativamente alla concertazione e condivisione delle conoscenze. Il processo, preventivamente alla decisione di utilizzo, ha permesso la condivisione, valutazione e approfondimento delle conoscenze, valutazione degli impatti ambientali e socio-economici, individuazione e/o definizione di una regolamentazione specifica sul tema e dei procedimenti amministrativi necessari allo svolgimento dell’attività, a garanzia di tale risorsa considerata, legittimamente, strategica.

¹⁴ <http://www.conscience-eu.net/> “Guidelines for the implementation of sustainable coastal erosion management”

¹⁵ <http://ec.europa.eu/environment/iczm/ourcoast.htm> “The challenge of climate change to the European coastal areas”

¹⁶ RD 876/2016 Reglamento General de Costas, Art. 126

¹⁷ Enjeux du Secteur Potentiellement Exploitable, EXPES 2014

Più recentemente, sempre in Francia, il **Comitato Nazionale di Monitoraggio** ha prodotto inoltre un Rapporto¹⁸ contenente indicazioni di **misure di adattamento dei litorali ai cambiamenti climatici**. Tali misure riguardano ambiti quali:

- **Acquisizione delle conoscenze:**
 - realizzazione della rete nazionale degli osservatori costieri – azione prioritaria;
 - diffusione della cartografia nazionale dei tratti costieri – azione prioritaria;
 - diffusione della raccolta nazionale delle referenze sulle conoscenze relative a “dinamica ed evoluzione dei litorali”;
 - azioni di comunicazione sulle conoscenze delle dinamiche sedimentarie e dei fenomeni.
- **Facilitare l’elaborazione di strategie territoriali di gestione integrata della costa:**
 - pianificazione che integri la gestione dei tratti costieri;
 - migliorare egli strumenti per integrare la gestione dei tratti costieri;
 - organizzare la mobilitazione delle finanze pubbliche;
 - comunicare e sensibilizzare;
- **Implementare iniziative sperimentali complessive sui territori e sperimentazioni di ricomposizione spaziale.**

La composizione di tali indicazioni è stata condotta in un processo partecipato allargato a istituzioni centrali, regionali e locali, associazioni e portatori di interesse locali, mondo della ricerca e dell’università, istituti di ricerca pubblici e privati.

Altra esperienza significativa a scala di Mediterraneo è rappresentata dall’iniziativa “**Carta di Bologna – Carta delle Regione Europee per la promozione di un quadro di azione strategico per la protezione e lo sviluppo sostenibile delle coste del Mediterraneo**”¹⁹, promossa dalla Regione Emilia-Romagna, firmata a Bruxelles nel 2013 e che raccoglie attualmente l’adesione di 27 Regioni del Mediterraneo e della Commissione Intermediterranea (CIM) della CRPM²⁰, che rappresenta altre 44 Regioni dell’area mediterranea europea e non europea.

Nell’ambito dell’iniziativa e con un percorso condiviso fra il 2014 e il 2015 con le Regioni aderenti (Tavolo di Coordinamento CdBo in seno alla CIM) nell’ambito del progetto europeo COASTGAP²¹ è stato formulato un Piano di Azione Congiunto²² che prevede l’attuazione, nel periodo 2015-2020 e oltre, di diverse Linee di Azione fra le quali:

- Creazione di un Osservatorio interregionale Europeo per la difesa delle coste del Mediterraneo;
- Studio, valutazione e monitoraggio del fenomeno erosivo costiero a scala mediterranea;
- Ricerca e caratterizzazione dei depositi di sedimenti sottomarini sulla piattaforma continentale;
- Creazione di una infrastruttura interoperabile dei dati spaziali sulle zone costiere;
- Facilitazione dei processi di pianificazione integrata delle coste e dello spazio marittimo;
- Promozione dell’uso sostenibile delle risorse sedimentarie e del territorio costiero;
- Promozione di Ricerca & Innovazione in soluzioni e misure di adattamento delle zone costiere;
- Supporto alla progettazione di interventi integrati di adattamento delle zone costiere;

Il Piano di Azione Congiunto raccoglie inoltre 14 grandi progetti costieri (Major Coastal Projects) e 6 progetti di sistemi di gestione e monitoraggio delle coste regionali, proposti come azioni prioritarie dalle

¹⁸ Rapport du Comité National de Suivi de la Stratégie nationale de gestion intégrée su trait de côte “40 mesures pour l’adaptation des territoires littoraux au changement climatique”, ottobre 2015

¹⁹ <http://www.bolognacharter.eu/>

²⁰ CRPM - Conferenza delle Regioni Periferiche Marittime europee

²¹ Coastal Governance and Adaptation Policies in the Mediterranean <http://www.coastgap.eu>

²² <http://www.bolognacharter.eu/the-joint-action-plan/>

Regioni aderenti alla Carta di Bologna che hanno partecipato alla formulazione del Piano. L'implementazione del Piano e dei Progetti costieri, attualmente in corso, avviene per le Linee di Azione attraverso fondi comunitari (progetti su programmi di cooperazione interregionale e programmi di ricerca e innovazione), e attraverso fondi nazionali per i Progetti Costieri (come nel caso del grande Progetto di ripascimento con sabbie sottomarine realizzato fra marzo e giugno 2016 sui litorali dell'Emilia-Romagna).

Le esperienze sopra illustrate, le indicazioni e gli studi richiamati in questo paragrafo, seppur non esaustivi della produzione nel settore specifico, rappresentano comunque un primo riferimento per gli scopi del presente documento, anche in ragione del fatto che diverse regioni italiane, nell'ambito di progetti di cooperazione europea e altre iniziative, hanno avuto l'opportunità di condividerne i percorsi e di contribuire alla loro realizzazione.

II.3. SEDIMENTI, RISORSA STRATEGICA PER LA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE AI FINI DELLA LOTTA ALL'EROSIONE E SPIAGGIA QUALE PRIMA STRUTTURA DI DIFESA DEL TERRITORIO DALL'INGRESSIONE MARINA

L'importanza della risorsa sedimenti per la difesa della costa dall'erosione e dagli effetti del cambiamento climatico ha assunto negli ultimi anni un valore strategico in particolar modo per quel che riguarda il Mediterraneo.

Nel Nord Europa e negli USA il problema erosivo è stato affrontato con ingenti interventi di ripascimento e tecniche naturalistiche (nature-based solutions) basate sull'uso massiccio di sedimenti, con interventi in alcuni casi dell'ordine di decine di milioni di m³ di sabbia messi in opera²³.

Nel Mar Mediterraneo, caratterizzato da una ridotta piattaforma continentale e da un elevatissimo sviluppo costiero, le difficoltà di rintracciare e gestire considerevoli risorse sedimentarie hanno comportato un significativo ritardo nelle politiche di adattamento costiero a medio e lungo termine. In uno studio europeo sugli impatti economici sulle aree costiere dell'Unione, è stato stimato che, intorno all'anno 2080 per le coste italiane sarebbero necessari quantitativi di ripascimento dell'ordine di 2,5 Mm³/anno, per mantenere le attuali linee di riva²⁴, in relazione agli effetti stimati del solo innalzamento del livello del medio mare, al netto di altri effetti locali come subsidenza ed erosione costiera²⁵.

Per la stima di quest'ultima, in attesa di dati ed elaborazioni di maggior dettaglio, può essere preso in considerazione quanto elaborato dal MATTM (cfr. Tabella II.3.1) che ha stimato in 14,4 Km² l'arretramento netto delle spiagge italiane nel periodo 1960-2000 (su 6.734 Km di costa rilevata alla scala 1:25.000), ovvero un bilancio di variazione della superficie litoranea pari a circa -360.000 m²/anno, ottenuto come differenza delle variazioni positive (+1.387.500 m²/anno) e quelle negative (-1.750.000 m²/anno).

E' da considerare che i maggiori fenomeni erosivi sono intervenuti negli ultimi decenni e quindi con un trend annuo verosimilmente e significativamente più elevato di quanto calcolato su una media quarantennale.

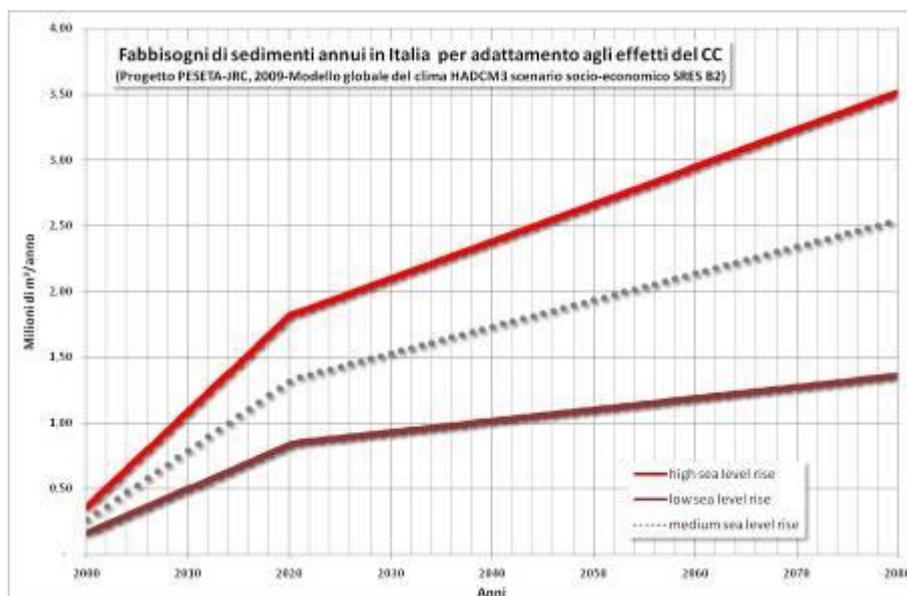


Figura II.3.1 – Fabbisogni di sedimenti in Italia per adattamento ai CC, Studio PESETA 2009

²³ Sand Engine <https://www.rijkswaterstaat.nl/English/about-us/publications/factsheets/index.aspx>

²⁴ "Impacts of climate change in coastal systems in Europe". PESETA-Coastal Systems study, Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2979>

²⁵ Global Warming and Coastal Erosion – K. Zhang, B. Douglas, S. Leatherman (2003)

Il censimento avviato con il TNEC presso le Regioni costiere per il calcolo delle superfici di spiaggia in aumento/diminuzione, non è stato ancora completato ma dall'esame comparato dei dati MATTM 2006 e dei dati parziali ottenuti (7 Regioni su 15) nel periodo 2015-2016, con riferimento alla sintesi di *Tabella II.3.1*, si possono sviluppare alcune considerazioni:

- I dati delle due elaborazioni sono piuttosto discordanti, se presi per ogni singola regione, in quanto risentono di molteplici fattori quali i differenti periodi di osservazione considerati, le diverse scale e metodologie di rilevamento dei dati, la mancata considerazione dei ripascimenti effettuati, ecc.
- A livello nazionale globale i valori esaminati presentano tuttavia un ordine di grandezza analogo (tenendo conto dei ripascimenti effettuati e considerando la parzialità del sondaggio TNEC).

Quanto sopra indica un'evidente esigenza di uniformare, rendere sistematici e migliorare i sistemi di rilevamento delle dinamiche litoranee al fine di poter dimensionare l'entità del fenomeno a livello nazionale e poterne apprezzare le variazioni dello stesso nel tempo.

Una sistematica, uniforme e dettagliata valutazione quantitativa del fenomeno erosivo rientra fra gli obiettivi di azioni future del Tavolo nazionale, ciò al fine di poter individuare le opportune strategie da intraprendere per un adattamento sostenibile dei litorali a livello nazionale.

Volendo tuttavia trasformare, al solo fine di apprezzare gli ordini di grandezza, il dato di perdita in superficie in dato di perdita volumetrico²⁶, si ottiene, per l'erosione costiera su tutta la costa italiana, una perdita netta media e permanente di sabbia stimabile nell'ordine di oltre 2 Mm³/anno.

A prescindere dall'attendibilità di un tale risultato, occorre tuttavia sviluppare delle considerazioni sul come gestire ed interpretare risultati di questo genere.

In effetti, nell'ipotesi teorica di voler contrastare l'erosione con l'obiettivo di mantenere l'attuale linea di riva, occorrerebbe in termini di fabbisogno non solo compensare la perdita netta permanente (verosimilmente attribuibile a perdite per trasporto trasversale "cross-shore" o, laddove presenti, a fenomeni di subsidenza) ma anche "ricollocare" in corrispondenza dei tratti in arretramento quei sedimenti che si sono accumulati nei tratti in avanzamento (effetto prevalente del trasporto longitudinale "long-shore") che risultano corrispondere globalmente²⁷ a circa 10 Mm³/anno.

Tali compensazioni longitudinali non sono peraltro avvertite come necessarie in molti tratti litoranei (ammissibilità di tratti in arretramento) né comunque sarebbe realisticamente possibile operare questa "riequilibratura" ovunque.

²⁶ Considerando una profondità di chiusura media di 5-6 m ed una berma di 1-2 m, si ottiene un'altezza del profilo attivo di circa 7 m ed un'erosione volumetrica di $7 \times 362.500 = 2,54 \text{ Mm}^3/\text{anno}$.

²⁷ Pari all'altezza media del profilo attivo 7m x le variazioni positive della superficie $1,39 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{anno} = 9,71 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ (Progetto PESETA)

Tabella II.3.1 - ELABORAZIONI MATTM 2006 e TNEC 2015 (Superfici di spiaggia in aumento o diminuzione)

Regione	MATTM 2006 (periodo 1960-2000)						Censimento TNEC 2015 (periodi osservazione vari)							
	Superficie in arretramento m2/anno	Superficie in avanzamento m2/anno	Bilancio di superficie m2/anno	Perdita in volume m3/anno	Aumento in volume m3/anno	Bilancio di volume m3/anno	Superficie in arretramento m2/anno	Superficie in avanzamento m2/anno	periodo	Bilancio di superficie m2/anno	Bilancio di volume m3/anno	apporti artificiali medi nel periodo (ripascimenti) m3/anno	Bilancio di volume netto dei ripascimenti m3/anno	Bilancio di superficie al netto dei ripascimenti m2/anno
Liguria	-55.000	77.500	22.500	-385.000	542.500	157.500	-10.000	35.000	2003-2013	25.000	175.000	150.000	25.000	3.571
Toscana	-140.000	130.000	-10.000	-980.000	910.000	-70.000	-159.110	80.725	2005-2010	-78.385	-548.692	80.000	-628.692	-89.813
Lazio	-80.000	120.000	40.000	-560.000	840.000	280.000	-196.743	134.643	2005-2011	-62.100	-434.700	94.927	-529.627	-75.661
Sardegna	-32.500	25.000	-7.500	-227.500	175.000	-52.500	nd	nd				nd		
Campania	-92.500	65.000	-27.500	-647.500	455.000	-192.500								
Basilicata	-37.500	45.000	7.500	-262.500	315.000	52.500	-40.000	15.000	2006-2010	-25.000	-175.000	-	-175.000	-25.000
Calabria	-300.000	210.000	-90.000	-2.100.000	1.470.000	-630.000								
Sicilia	-325.000	185.000	-140.000	-2.275.000	1.295.000	-980.000								
Puglia	-135.000	132.500	-2.500	-945.000	927.500	-17.500	nd	nd				nd		
Molise	-30.000	15.000	-15.000	-210.000	105.000	-105.000								
Abruzzo	-40.000	45.000	5.000	-280.000	315.000	35.000								
Marche	-85.000	50.000	-35.000	-595.000	350.000	-245.000	-28.031	46.131	1999-2012	18.100	126.700	75.462	51.238	7.320
Emilia-Romagna	-237.500	145.000	-92.500	-1.662.500	1.015.000	-647.500	-93.333	90.000	2006-2012	-3.333	-23.333	470.665	-493.998	-70.571
Veneto	-140.000	115.000	-25.000	-980.000	805.000	-175.000	-145.115	239.880	2007-2012	94.765	663.355	374.980	288.375	41.196
Veneto*											82.000	374.980	-292.980	-41.854
Friuli Venezia Giulia	-20.000	27.500	7.500	-140.000	192.500	52.500	nd	nd				nd		
totale	-1.750.000	1.387.500	-362.500	-12.250.000	9.712.500	-2.537.500	-672.331	641.378		-30.953	-216.671	1.246.034	-1.462.704	-208.958

* Regione Veneto: calcolo effettuato con le variazioni volumetriche

In attesa di una stima dettagliata a livello territoriale delle effettive necessità di compensazione, il “fabbisogno” relativo alla ricollocazione longitudinale di questi sedimenti potrebbe essere più realisticamente assunto pari ad un valore intermedio tra l’assenza di qualsiasi compensazione (0,00 Mm³/anno) e la totale compensazione (9,71 Mm³/anno). Questo valore può essere quindi stimato in 4,85 Mm³/anno.

Considerando l’insieme dei sedimenti necessari anche per l’adattamento ai CC, ai diversi orizzonti temporali, si può delineare un primo quadro dei fabbisogni come il seguente (in assenza di interventi ovvero in presenza di solo quelli esistenti):

Tipologia di erosione litoranea	Medio termine 2020 (Mm ³ /anno)	Lungo termine 2080 (Mm ³ /anno)	Modalità di compensazione
Trasporto Trasversale	2,54	2,54	Apporto di sedimenti “esterni”
Trasporto Longitudinale	4,85	4,85	Con movimentazioni longitudinali
Effetti del CC	1,30	2,50	Apporto di sedimenti “esterni”
Totale	8,69	9,89	

A titolo di confronto con altri casi, si consideri che la sola Olanda (400 Km di costa circa) attualmente impegna, per contrastare gli effetti del CC, un quantitativo di sabbia di 4 Mm³/anno e un quantitativo di 8 Mm³/anno per contrastare l’erosione costiera²⁸, per un totale di 12 Mm³/anno.

Da quanto sopra, a prescindere dalle quantità che dovranno essere oggetto di specifici approfondimenti, risulta che una parte significativa dell’erosione costiera può essere compensata, se ne sussistono le condizioni, mediante la movimentazione longitudinale dei sedimenti dai luoghi di accumulo a quelli in erosione. E’ questo il ruolo delle risorse individuate come “Depositi litoranei” ovvero di accumuli naturali (foci fluviali, barre, depositi lagunari, ecc.) ma molto più spesso artificiali (foci armate, moli portuali, ecc.), che tendono a formarsi con continuità e rappresentano quindi una sorta di risorsa rinnovabile. Per quanto riguarda i depositi delle foci fluviali va comunque ricordato che il loro utilizzo può essere preso in considerazione solo qualora gli stessi rappresentino ostacolo ai deflussi di piena del corso d’acqua e determinino un aumento della pericolosità idraulica per il territorio o, nel caso di porti fluviali, rappresentino un pericolo per la navigazione.

Un’ulteriore parte dell’erosione risulta tuttavia compensabile solo con apporti “esterni” al sistema litoraneo ovvero con “immissioni” di quantitativi provenienti da depositi di sedimenti marini relitti (DSMR) o “reimmettendo” quantitativi provenienti dal sistema idrografico che, per diversi motivi, non riescono più ad affluire naturalmente sui litorali o, infine, mobilitando quantitativi di sedimenti dall’entroterra da scavi o da estrazioni da cave.

La ridotta estensione della piattaforma continentale nel Mediterraneo e di conseguenza la ridotta superficie disponibile per i depositi di sedimenti marini relitti (DSMR), comporta l’esigenza di adottare specifiche politiche di tutela per tale risorsa, finalizzate alla sua individuazione e caratterizzazione e ad una corretta e sostenibile gestione dei sedimenti, così come prospettato nell’ambito della “Carta di Bologna 2012”.²⁹

Analogamente, le numerose difficoltà incontrate nelle operazioni di svasso, sghiaimento o sfangamento dei depositi di sedimenti accumulatisi nei bacini artificiali, hanno comportato una sostanziale disattesa dei

²⁸ Rijkswaterstaat Annual Report 2013

²⁹ <http://www.bolognacharter.eu/>

programmi di gestione richiesti dall'art. 114 del D.Lgs. 152/2006 ed una scarsa rimobilitazione di questi accumuli, mentre risulta quanto mai importante favorire questo tipo alimentazione dei litorali.

In un tale quadro, pur stimato e da aggiornare ma che rende comunque un ordine di grandezza dell'arretramento costiero occorso in 40 anni, alla luce dei sempre più frequenti episodi di sommersione delle fasce costiere in ampi tratti in occasione delle mareggiate, è evidente la necessità di una strategia complessiva che, al netto di altre possibili opzioni e politiche territoriali (cfr. Paragrafo II.1), riguardi l'alimentazione e la riduzione delle perdite di sedimenti dalle spiagge. Si sottolinea quindi l'opportunità di **promuovere un equilibrato processo di rialimentazione del sistema litoraneo**, come meglio dettagliato nel successivo Capitolo IV.2, che ricorra a diversi tipi e fonti di risorse sedimentarie, da coordinare con azioni parallele mirate alla riduzione delle perdite del sistema al fine di ridurre nel tempo i fabbisogni.

Allo scopo è anche utile considerare un'integrazione concettuale per quanto riguarda "l'elemento spiaggia": oltre che un ambiente da preservare per le funzioni ecosistemiche, o un bene da conservare per le funzioni turistiche e di sviluppo economico, **la spiaggia è da considerare a tutti gli effetti la prima struttura di difesa del territorio dall'ingressione marina**. Questo concetto non a caso è stato già ripreso anche dai Piani di Gestione del Rischio Alluvioni approvati a fine 2015 (attuazione della Direttiva 2007/60/UE), proprio in considerazione delle azioni volte alla riduzione dei rischi in ambito costiero.

In questo senso si richiama la funzione protettiva svolta dalle strutture naturali (spiagge e dune), che sono in grado di ridurre la pericolosità dei litorali in relazione alle inondazioni da mare. A parità di dimensioni dell'evento, la presenza di una spiaggia con quota adeguata, e ancor di più di un cordone dunale, riduce infatti la probabilità che la mareggiata invada la zona retrostante.

I sistemi litoranei sabbiosi con dune rappresentano elementi caratterizzati da una discreta resilienza nei confronti di questo tipo di eventi, via via maggiore in funzione di un sistema dunoso maggiormente sviluppato. Gli stessi litorali sprovvisti di dune, se adeguatamente mantenuti in ampiezza e quota adeguate agli eventi attesi, anche se non caratterizzati da resilienza intrinseca, svolgono funzioni di barriera all'ingressione marina. Pertanto la conservazione dei litorali sabbiosi ben sviluppati e il contrasto all'erosione delle spiagge in genere, rappresenta una strategia di difesa e di riduzione del rischio di inondazione da mare dei territori costieri.

Porsi in quest'ottica cambia decisamente l'approccio e la considerazione delle attività di manutenzione e di alimentazione della spiaggia, alla stregua di azioni volte a mantenere una **"struttura di difesa", a carattere dinamico, su cui agire con "interventi morbidi"** (nature-based solution) evitando il più possibile irrigidimenti che male si addicono ad un ambiente dinamico, spesso non risolvono il problema locale e immancabilmente generano sbilanciamenti che si ripercuotono nei tratti litoranei limitrofi e determinano conseguentemente la necessità di ulteriori azioni di gestione.

Si ritiene infine opportuno precisare che il ricorso all'uso dei sedimenti deve sempre essere attentamente valutato in relazione alle condizioni specifiche dei territori ed agli impatti che le diverse tipologie di sedimenti possono indurre sul sistema ambientale, e debba essere opportunamente accompagnato dalla definizione di protocolli specifici per la caratterizzazione ed il monitoraggio ex ante, in itinere ed ex post degli interventi.

II.4. IMPATTO AMBIENTALE E SOCIO-ECONOMICO DELL'EROSIONE E DELLE AZIONI DI DIFESA COSTIERA, ANCHE IN PRESENZA DI AREE MARINE PROTETTE

Negli ultimi anni, gli approfondimenti sugli impatti dell'erosione costiera sono stati, necessariamente, strettamente collegati con quelli determinati dagli scenari ipotizzati per i Cambiamenti Climatici (CC). Nel caso delle aree costiere, infatti, gli impatti determinati dal fenomeno dell'erosione vengono amplificati e potenziati dagli effetti determinati dai CC. Gli scenari previsti includono una estremizzazione degli eventi e l'innalzamento del livello del mare, elementi che non possono che lavorare in "sinergia" con l'erosione determinata dalle cause di cui si parla ampiamente nel corso del presente documento.

La zona costiera, in ambito mediterraneo ed in Italia soprattutto, costituisce di per sé una risorsa economica, poiché rappresenta, generalmente, l'area a maggiore densità di insediamenti ed attività antropiche. È proprio l'intensità dell'antropizzazione, che si manifesta principalmente in urbanizzazione e irrigidimento dei litorali, uno dei principali problemi delle fasce costiere e il fattore che determina l'insorgere di criticità in relazione ai fenomeni erosivi e agli episodi di ingressione marina, nel breve e nel medio-lungo periodo (cambiamento climatico e innalzamento del livello marino –SLR).

Si verifica quindi la necessità di confrontarsi con un **consumo di suolo associato allo sviluppo delle attività umane**, peraltro storicamente molto rapido ed intenso proprio lungo le coste, e al contempo con un **consumo di suolo operato dall'erosione**. La perdita di suolo nella fascia costiera, per l'una o l'altra causa, si traduce non solo in perdita di aree di potenziale sviluppo turistico, ma anche e comunque in perdita di habitat e biodiversità, di patrimonio paesaggistico ed ambientale.

In termini complessivi, i beni vulnerabili nelle fasce costiere, generalmente fra le più ricche in termini di biodiversità, sono quindi rappresentati da aree protette o di alta valenza naturalistica, dalle infrastrutture, spesso strategiche (si pensi alla viabilità o agli insediamenti industriali), dagli insediamenti urbani, dai beni archeologici e paesaggistici, da tutte le piccole e grandi attività economiche legate al turismo, balneare e non, dagli allevamenti ittici, frequentemente collocati in ambienti di transizione le cui particolari caratteristiche possono essere messe in crisi dall'erosione.

In questo contesto, può risultare difficile per le amministrazioni competenti stabilire le opportune priorità nella programmazione degli interventi, dovendo privilegiare le categorie di beni ambientalmente rilevanti, ma dovendo anche rispondere agli stakeholder delle attività economiche che si svolgono sui litorali. In tal senso, al fine di ottenere una sempre maggiore condivisione delle scelte, è opportuno individuare forme di comunicazione atte ad ottenere una buona sensibilizzazione e consapevolezza della popolazione sull'argomento "erosione costiera" e di partecipazione nei processi decisionali in merito a soluzioni e interventi. A questo proposito le Raccomandazioni del Parlamento e della Commissione Europea 2002/413/CE e il Protocollo GIZC per il Mediterraneo della Convenzione di Barcellona delle Nazioni Unite, Programma per il Mediterraneo (UNEP/MAP/PAP), hanno introdotto principi e indicazioni di riferimento.

Dal punto di vista di possibili stime quantitative dei danni costieri a livello europeo e nazionale, appare utile prendere a riferimento alcune elaborazioni per una comparazione tra i dati nazionali ed europei.

La Commissione Europea ha elaborato delle stime circa i danni attesi per effetto dei cambiamenti climatici e della subsidenza ed altri rischi naturali che minacciano le coste europee. Sono stati altresì elaborati i costi di possibili politiche di adattamento in grado di ridurre i rischi costieri.

Lo studio PESETA³⁰ ha stimato per i paesi costieri europei i danni derivanti da tali rischi. Per l'Italia sono stati calcolati i seguenti dati di “**danno atteso**” (previsione ECHAM4 B2, con innalzamento medio del livello medio mare, scenario al 2020, con riferimento al grafico nella precedente Figura II.3.1).

DANNO ANNUALE ATTESO PER LE COSTE ITALIANE				
(previsione ECHAM4 B2, con innalzamento medio del l.m.m., scenario 2020)				
	Danni attesi (10 ⁶ €/anno)	Perdita di spiaggia (m ² / anno)	Costi di adattamento (10 ⁶ €/anno)	di cui ripascimenti (10 ⁶ €/anno)
Senza interventi di adattamento	219.2	500.000	-	-
Con interventi di adattamento	6.9		37.9	7.9

A livello nazionale è stato quindi stimato che il rapporto tra la somma dei **Costi di Adattamento + Danni residuali** e dei **Danni Attesi senza adattamento** nel 2020, sarà di circa **0,20** [= 219,2/(6,9+37,9)] ovvero, per ogni milione di euro investito in adattamento se ne risparmiano 5 in mancati danni.

Tali valori appaiono molto sottostimati sia nella valutazione dei Danni stessi (intesi da tale studio solo come danni materiali alle infrastrutture di superficie, senza tener conto dei danni economici per effetto della perdita di arenili), sia nella mancata stima degli attuali trend erosivi strutturali che vanno a sommarsi a quelli per i CC, sia infine nella valutazione dei Costi di adattamento. Ad esempio l'ISPRA³¹ stima che i soli “Interventi di protezione delle coste dall'erosione” sostenuti nel 2009 a livello nazionale, ammontino a oltre 400 M€.

Al di là della precisione delle stime, comunque in difetto, gioco forza influenzate da fattori non precisamente determinabili alla scala di analisi dello studio, l'ordine di grandezza fornisce comunque l'idea dell'importanza della manutenzione e degli interventi di adattamento dei litorali, programmati preventivamente al peggioramento o al manifestarsi conclamato di particolari criticità costiere.

³⁰ Joint Research Center IPCT di Siviglia (2009)

³¹ Strategia per l'Ambiente Marino – Paper Report su Costi del Degrado a livello Nazionale (2013)

III. INQUADRAMENTO NORMATIVO

III.1. NORMATIVA INTERNAZIONALE

A livello internazionale e comunitario non troviamo una normativa specifica che riguarda l'erosione marina e la difesa della costa.

Nel 1987 la Commissione Mondiale per l'Ambiente e lo Sviluppo, nel **Rapporto Brundtland**, elabora il concetto di sviluppo sostenibile come sviluppo che risponda alle necessità del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni. Lo sviluppo sostenibile diviene condizione necessaria affinché non sia irrimediabilmente intaccato il patrimonio di risorse naturali, tentando così, per la prima volta, in nome del principio di equità intergenerazionale, di coniugare sviluppo economico e tutela ambientale.

La **Dichiarazione di Rio**, stilata nel 1992 in occasione della Conferenza delle Nazioni Unite su "Ambiente e Sviluppo", riprende ed amplia il nuovo approccio, aggiungendo altri corollari, quali l'esigenza di partnership mondiale per la salvaguardia dell'ambiente con responsabilità comuni ma differenziate, l'obbligo di informazione e partecipazione del pubblico ai processi decisionali, l'obbligo della preventiva valutazione di impatto ambientale delle principali attività nazionali aventi effetti sull'ambiente e la promozione di strumenti economici per individuare i costi per la tutela dell'ambiente.

A livello comunitario esistono tuttavia convenzioni che esaminano temi di carattere generale come, ad esempio, la tutela del mare, nell'ambito delle quali il problema dell'erosione costiera riveste un ruolo senza dubbio marginale.

Prima tra tutte la **Convenzione di Barcellona** per la protezione dell'ambiente marino e del litorale del Mediterraneo, adottata a Barcellona il 16 febbraio 1976 e modificata il 10 giugno 1995. La Convenzione insieme ai suoi 7 Protocolli, compone un quadro legislativo del Piano di Azione per il Mediterraneo (MAP), che rappresenta uno dei diversi Programmi dell'UNEP sui "Mari Regionali", e quadro programmatico di riferimento, la cui attuazione è realizzata appunto mediante l'adozione di specifici protocolli che concretizzano i principi in essa enunciati.

Il MAP ha inoltre un altro documento legale importante, "Quadro Regionale per l'Adattamento al Cambiamento Climatico per le Aree Costiere e Marine del Mediterraneo", approvato nel febbraio 2016. Con la sua approvazione i paesi del Mediterraneo hanno concordato sugli obiettivi strategici, le indicazioni e le priorità, per gli amministratori e le parti interessate, in materia di cambiamento climatico per le aree marine e costiere.

Esistono inoltre convenzioni che trattano aspetti specifici relativi alle attività di scavo e quindi solo marginalmente coinvolgono il tema in questione nella sua globalità. E' il caso soprattutto del **Protocollo del 1996 alla Convenzione di Londra**

Protocollo GIZC della Convenzione di Barcellona - Art.23 Erosione Costiera:

1. In conformità degli obiettivi e dei principi enunciati agli articoli 5 e 6 del presente Protocollo, le parti, al fine di prevenire e mitigare più efficacemente l'impatto negativo dell'erosione costiera, si impegnano ad **adottare le misure necessarie per preservare o ripristinare la capacità naturale della costa di adattarsi ai cambiamenti**, includendo quelli provocati dall'innalzamento del livello del mare.

2. Nell'esaminare nuove opere o attività nelle zone costiere, comprese le opere marittime e gli interventi di difesa costiera, **le parti tengono in particolare considerazione gli effetti negativi dell'erosione costiera e i costi diretti e indiretti che potrebbero derivarne**. Riguardo alle attività delle strutture esistenti, le parti adottano misure intese a ridurre al minimo gli effetti sull'erosione costiera.

3. le parti s'impegnano a prevenire gli impatti dell'erosione costiera attraverso la **gestione integrata delle attività e segnatamente l'adozione di misure specifiche per i sedimenti costieri e le opere costiere**.

4. **Le parti s'impegnano a condividere i dati scientifici atti a migliorare le conoscenze sullo stato, l'evoluzione e gli impatti dell'erosione costiera.**

del 1972 sulla prevenzione dell'inquinamento dei mari causato dall'immersione dei rifiuti, oppure Direttive europee che riguardano l'individuazione degli ambienti marino costieri ai fini di conservazione come La **Direttiva 92/43/CEE** del Consiglio del 21 maggio 1992, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, che nell'Allegato I – *“Tipi di habitat naturali di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di aree speciali di conservazione”*, individua fra gli altri: 1.1 Acque marine e ambienti a marea; 1.2 Scogliere marittime e spiagge ghiaiose; 2.2 Dune marittime delle coste mediterranee.

In maniera più focalizzata, alla citata Convenzione di Barcellona si affianca il **Protocollo sulla Gestione Integrata delle Zone Costiere del Mediterraneo** (firmato a Madrid il 21 gennaio 2008), ratificato dall'UE il 13 settembre 2010 con Decisione del Consiglio 2010/631/UE e entrato in vigore il 24 marzo 2011. Il Protocollo GIZC ha l'obiettivo di promuovere un quadro comune per la gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo.

Secondo quanto indicato nel **Protocollo GIZC**, per gestione integrata delle zone costiere s'intende *“un processo dinamico per la gestione e l'uso sostenibile delle zone costiere, che tiene conto nello stesso tempo della fragilità degli ecosistemi e dei paesaggi costieri, della diversità delle attività e degli utilizzi, delle loro interazioni, della vocazione marittima di alcuni di essi e del loro impatto sulle componenti marine e terrestri”*.

Nell'ordinamento comunitario il tema dell'erosione costiera emerge a proposito dei numerosi profili di tutela ambientale che esso coinvolge, come ad esempio la **Direttiva 85/337/CE** (modificata dalla **Direttiva 97/11/CE** e dalle successive **Direttive 2011/92/UE** e **2014/52/UE**) sulla *“Valutazione dell'Impatto Ambientale di determinati progetti pubblici e privati”*. In particolare l'Allegato II include tra le opere soggette a VIA il *“recupero di terre dal mare”³²*, *“l'estrazione di minerali mediante dragaggio marino”* e le *“opere costiere destinate a combattere l'erosione e lavori marittimi volti a modificare la costa mediante la costruzione, per esempio, di dighe, moli, gettate e altri lavori di difesa dal mare, esclusa la manutenzione e la ricostruzione di tali opere”*.

Ma la base della politica comunitaria in materia di zone costiere si concretizza in modo organico nel Quinto Programma d'Azione per l'Ambiente che prosegue poi con il Sesto programma d'Azione per l'Ambiente (che copre il periodo compreso tra il 2002 e il 2012), in risposta ad una richiesta del Consiglio Europeo di definire una strategia globale per la Gestione Integrata delle Zone Costiere.

A tal proposito nel 1996 è stato avviato dalla Commissione Europea un **“Programma dimostrativo” sulla GIZC**, comprendente 35 progetti di dimostrazione e 6 studi tematici, finalizzato a fornire informazioni tecniche sulla gestione sostenibile della costa e a stimolare il dibattito tra i vari stakeholders coinvolti.

Sulla base delle esperienze e dei risultati del programma dimostrativo, l'Unione Europea ha poi adottato due documenti che costituiscono oggi i principali riferimenti dell'azione comunitaria in materia:

- la **Comunicazione COM/2000/547** della Commissione al

GIZC, Comunicazione COM/2000/547 – *“...le zone costiere sono soggette ad una serie di problemi biofisici e antropici intercorrelati, il problema biofisico principale è rappresentato da uno sviluppo non mantenuto entro i limiti della capacità di tolleranza dell'ambiente locale. Tra i problemi vi è: **diffusa erosione, spesso aggravata da infrastrutture antropiche inadeguate (incluse quelle erette a difesa delle coste)** e da uno sviluppo eccessivamente vicino al litorale; le opere di ingegneria realizzate in alcune zone portuali hanno contribuito ad accelerare l'erosione del vicino litorale, poiché non hanno preso in debita considerazione le dinamiche e i processi che caratterizzano le zone costiere; anche l'estrazione di gas può provocare erosione costiera”*.

³² La tipologia di opere può essere tradotta anche come *“opere di bonifica”* (in inglese *“Reclamation of land from the sea”*). Non si riferisce pertanto ad operazioni di dragaggio dei depositi sabbiosi sommersi.

Consiglio e al Parlamento Europeo sulla gestione integrata delle zone costiere: una strategia per l'Europa del 27 settembre 2000;

- la **Raccomandazione 2002/413/CE** del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa del 30 maggio 2002.

La Comunicazione della Commissione Europea COM/2000/547, illustra il programma di lavoro comunitario per promuovere la gestione integrata delle zone costiere tramite l'uso di strumenti e programmi comunitari, proponendo agli Stati membri un approccio collaborativo per la pianificazione e la gestione delle zone costiere.

La Raccomandazione 2002/413/CE contiene un invito agli Stati membri ad adottare un approccio strategico per la gestione delle loro coste basato su una serie di azioni di tutela degli ecosistemi litoranei, di sviluppo dell'occupazione e di sviluppo economico-sociale rispettoso dei valori ambientali operato da parte delle comunità locali.

A seguito della Raccomandazione, la Commissione ha adottato altri atti per la tutela dell'ambiente marino, a partire dalla Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo del 24 ottobre 2005 "Strategia tematica per la protezione e la conservazione dell'ambiente marino" (COM/2005/504) e dalla proposta di Direttiva sulla strategia per l'ambiente marino.

GIZC, Raccomandazione 2002/413/CE – *"...È di fondamentale importanza attuare una gestione delle zone costiere sostenibile a livello ambientale, equa a livello economico, responsabile a livello sociale, sensibile a livello culturale, per tutelare l'integrità di questa importante risorsa tenendo conto al tempo stesso delle attività e delle usanze tradizionali locali che non costituiscono una minaccia per le zone naturali sensibili e per lo stato di preservazione delle specie selvatiche della fauna e della flora costiere".*

Infine, nel 2007 la Commissione Europea ha predisposto la "Relazione al Parlamento europeo e al Consiglio: Valutazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa" (COM/2007/308). La valutazione prende avvio dalle singole relazioni e contributi sulle strategie nazionali per promuovere la gestione integrata delle zone costiere inviate dagli Stati membri costieri entro febbraio 2006.

I documenti visti finora si limitano ad alcune enunciazioni di principio e non affrontano nello specifico la tematica in questione attraverso la fissazione di vere e proprie normative di dettaglio.

Vi sono però altri documenti che completano il quadro vigente, in particolare disciplinano il problema della prevenzione dei rischi di erosione in area costiera:

- la proposta di Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per la protezione del suolo (COM/2006/232 del 22 settembre 2006) e modifica la **Direttiva 2004/35/CE** (Direttiva sulla responsabilità ambientale in materia di prevenzione e riparazione del danno ambientale). Tale proposta, dopo aver premesso che l'erosione costituisce uno degli otto principali problemi che affliggono i suoli in Europa, prevede l'obbligo da parte degli Stati membri di individuare le aree di rischio di erosione causata dall'acqua e dal vento (art. 6, paragrafo 1).
- la **Direttiva 2007/60/CE** del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2007 relativa alla "Valutazione e gestione dei rischi da alluvione". Per le aree costiere prevede l'adozione di specifici piani di gestione del rischio in funzione del livello: basso, medio o alto. La direttiva contiene previsioni

Direttiva 2008/56/CE - *"...Le acque costiere, compresi il fondale e il sottosuolo, costituiscono parte integrante dell'ambiente marino e, in quanto tali, dovrebbero a loro volta rientrare nell'ambito di applicazione della presente direttiva, nella misura in cui aspetti specifici dello stato ecologico dell'ambiente marino non siano già trattati nella direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque o in altra normativa comunitaria, onde assicurare la complementarietà evitando nel contempo inutili sovrapposizioni" [...] "Data la natura transfrontaliera dell'ambiente marino, gli Stati membri dovrebbero cooperare per garantire che le relative strategie siano elaborate in modo coordinato per ogni regione o sottoregione marina"...*

che riguardano il tema dell'erosione costiera sotto l'aspetto "precauzionale", con lo scopo di anticipare il possibile danno alla fascia costiera attraverso un'analisi scientifica del rischio. Il processo di formulazione, attuato a livello nazionale attraverso il *D.lgs.* 42/2010, ha portato a dicembre 2015 all'adozione dei primi Piani di Gestione del Rischio Alluvioni, comprendenti anche le zone costiere.

Altre direttive che interessano l'ambiente marino-costiero, come la **Direttiva 2008/56/CE** che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino, danno indicazioni sulla necessità di integrazione e complementarietà dei diversi strumenti e di visione unitaria.

III.2. NORMATIVA NAZIONALE

Con riferimento alla normativa italiana la prima Legge in materia di difesa delle spiagge è stata la n. 542 del 14 luglio 1907 *“Legge per la difesa degli abitati dall’erosione marina”*, abrogata con **L. 18 febbraio 2009 n. 9** *“Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 22 dicembre 2008, n. 200, recante misure urgenti in materia di semplificazione normativa”*.

La **Legge 31 dicembre 1982 n. 979** concernente *“Disposizioni per la difesa del mare”* introduce il Piano delle coste che *“...indirizza, promuove e coordina gli interventi e le attività in materia di difesa del mare e delle coste dagli inquinamenti e di tutela dell’ambiente marino, secondo criteri di programmazione e con particolare rilievo alla previsione degli eventi potenzialmente pericolosi e degli interventi necessari per delimitarne gli effetti e per contrastarli una volta che si siano determinati”*. Il Piano, a scala nazionale, approvato definitivamente dal C.I.P.E., è predisposto *“di intesa con le Regioni”*.

Relativamente al territorio costiero emerso, al di là della generica individuazione della fascia costiera dei primi 300 m come bene da sottoporre a vincolo paesaggistico, fissata dalle **Legge 8 agosto 1985 n. 431** (*Legge Galasso*), non esistono in Italia, contrariamente a quanto succede in altri paesi, indirizzi o misure di tutela attiva che permettono di contrastare la sempre crescente domanda di trasformazione del suolo costiero.

L'articolazione delle competenze in materia di difesa delle coste ha subito una lenta, ma importante, evoluzione nel corso del tempo. Con le prime attribuzioni di poteri alle Regioni, si ebbe solo un parziale passaggio di competenze sancito dal Decreto del Presidente della Repubblica **DPR n. 616 del 24 luglio 1977**, art. 69 comma 6: *“Le Regioni possono altresì provvedere alle opere destinate alla difesa delle coste interessanti il rispettivo territorio previa autorizzazione dello Stato”*.

In tale circostanza, in materia di costa, attraverso lo strumento della delega da un lato è stata conferita alle Regioni la facoltà di provvedere alle opere destinate alla difesa della costa, anche se previa autorizzazione dello Stato (art. 69, 5 comma), il quale conserva le funzioni amministrative concernenti *“le opere di preminente interesse nazionale per la sicurezza dello Stato e della navigazione, nonché per la difesa delle coste”* (art. 88), dall’altro sono state delegate alle Regioni le *“funzioni amministrative sul litorale marittimo, sulle aree demaniali immediatamente prospicienti, sulle aree del demanio lacuale e fluviale, quando l’utilizzazione prevista abbia finalità turistiche e ricreative. Sono escluse dalla delega le funzioni esercitate dagli organi dello Stato in materia di navigazione marittima, di sicurezza nazionale e di polizia doganale”* (art. 59)

La **Legge del 18 maggio 1989 n. 183** oggi abrogata (*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*), volta ad assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi, all’art. 3 lett. g) prevedeva che **l’attività di programmazione deve curare la 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 sistemi dunosi, mentre all’art. 10 comma 7 prevedeva la delega alle Regioni, delle funzioni amministrative statali relative alla difesa delle coste, con esclusione delle zone comprese nei bacini di rilievo nazionale, nonché delle aree di permanente interesse nazionale per la sicurezza dello Stato e della navigazione marittima.

Questa legge è stata superata e sostituita dal **D.lgs. 3 aprile 2006 n. 152** (*Norme in materia ambientale*) e s.m.i. che all’art. 56, comma 1 lettera g), prevede che *“le attività di programmazione, di pianificazione e di attuazione relativi alla difesa del suolo riguardano anche la 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”, all’art. 63 prevede l’istituzione dell’Autorità di bacino distrettuale e all’art. 65 lett. h) stabilisce che il Piano di Bacino deve contenere anche le indicazioni delle opere di protezione, **consolidamento e sistemazione dei litorali marini** che sottendono il distretto idrografico, e all’art.56 lett d. esplicita che "Le attività di programmazione, di pianificazione e di attuazione degli interventi [riguardano] in particolare: [...] d) la disciplina delle attività estrattive nei corsi d'acqua, nei laghi, nelle lagune ed in mare, al fine di prevenire il dissesto del territorio, inclusi erosione ed abbassamento degli alvei e delle coste”

Con il **Decreto legge 5 ottobre 1993 n. 400** (“Disposizioni per la determinazione dei canoni relativi alle concessioni demaniali marittime”) convertito in Legge 4 dicembre 1993, n. 494, all’art. 6 viene prevista la **delega alle Regioni delle funzioni amministrative nella materia concessoria** (rilascio e rinnovo), per l’esercizio della quale è prevista la **“predisposizione di un Piano di utilizzazione delle aree del demanio marittimo”**, acquisito il parere dei Sindaci dei comuni interessati e delle associazioni regionali di categoria.

Con il **Decreto Legislativo n.112 del 31 marzo 1998** (*Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni e agli Enti locali, in attuazione del capo I della Legge n.59 del 15 marzo 1997*), all’art. 89, comma 1, lettera h: “Sono conferite alle Regioni e agli Enti locali tutte le funzioni relative alla programmazione, pianificazione e gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri”. L’art. 70, comma 1, lettera a) di tale norma prevede che: *“Tutte le funzioni amministrative non espressamente indicate nelle disposizioni degli articoli 68 e 69 sono conferite alle regioni e agli enti locali e tra queste, in particolare: i compiti di protezione ed osservazione delle zone costiere”*.

La piena attuazione del Decreto Legislativo n.112 del 31 marzo 1998 ha consentito di superare una situazione operativa complessa in quanto, anche dove era affermata la competenza regionale, rimaneva in ogni caso il parere vincolante di strutture dello Stato per l’esecuzione di lavori su proprietà demaniale marittima.

Con la **Legge n. 179 del 31 luglio 2002** (*Disposizioni in materia ambientale*) la competenza sulla costa è attribuita in maniera definitiva alla Regione, in particolare nell’art. 21 (*Autorizzazione per gli interventi di tutela della fascia costiera*) si afferma: *“per gli interventi di tutela della fascia costiera l’autorità competente è la Regione”*.

L’art. 109 del D.lgs. 152/2006 disciplina l’immersione in mare di materiali di escavo di fondali marini o salmastri o di terreni litoranei emersi; lo stesso decreto legislativo, nell’allegato IV, punto 7 inserisce l’obbligo di sottoporre a Verifica di assoggettabilità di competenza delle regioni le *“opere costiere destinate a combattere l’erosione e lavori marittimi volti a modificare la costa, mediante la costruzione di dighe, moli ed altri lavori di difesa del mare”*.

L’art. 114, comma 2 del D.lgs. 152/2006 assicura il mantenimento della capacità di invaso e la salvaguardia sia della qualità dell’acqua invasata sia del corpo ricettore attraverso un progetto di gestione di ciascun invaso che regolamenti le operazioni di svasso, sghiaimento e sfangamento delle dighe.

Il **D.lgs. 23 febbraio 2010 n. 49** *“Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni”* recepisce la Direttiva europea relativa alla gestione del rischio alluvioni e dispone di procedere alla perimetrazione delle aree soggette a inondazioni marine per ridurre le conseguenze negative per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l’ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali derivanti dalle stesse inondazioni/alluvioni. Il processo per la redazione e adozione della prima generazione di Piani di Gestione del Rischio Alluvioni è giunto a compimento nel dicembre 2015.

La Legge **28 dicembre 2015, n. 221**, all’art. 117 c.2-quater introduce l’obbligo di predisporre “il programma di gestione dei sedimenti a livello di bacino idrografico, quale strumento conoscitivo, gestionale e di programmazione di interventi relativo all’assetto morfologico dei corridoi fluviali.

Si ritiene inoltre opportuno citare il riferimento normativo del 6 agosto 2015. In vista dell'adozione della disciplina relativa alle concessioni demaniali, il **DL 19 giugno 2015 n. 78, convertito in legge 6 agosto 2015 n. 125** all'art. 7 comma 9-septiesdecies, prevede che *“In previsione dell'adozione della disciplina relativa alle concessioni demaniali marittime, le regioni, entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore della legge di conversione del presente decreto, operano una ricognizione delle rispettive fasce costiere, finalizzata anche alla proposta di revisione organica delle zone di demanio marittimo ricadenti nei propri territori. La proposta di delimitazione è inoltrata al Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e all'Agenzia del demanio, che nei centoventi giorni successivi al ricevimento della proposta attivano, per gli aspetti di rispettiva competenza, i procedimenti previsti dagli articoli 32 e 35 del codice della navigazione, anche convocando apposite conferenze di servizi”*.

Il decreto legislativo n.201/2016 pone tra le sue finalità quella di istituire un quadro per la pianificazione dello spazio marittimo per promuovere la crescita sostenibile delle economie marittime, lo sviluppo sostenibile delle zone marine e l'uso sostenibile delle risorse marine, assicurando la protezione dell'ambiente marino e costiero mediante l'applicazione dell'approccio ecosistemico e tenendo conto delle interazioni terra-mare. Pur escludendo dal suo ambito di applicazione le acque costiere o parti di esse che rientrano nelle pianificazioni urbane e rurali disciplinate da vigenti disposizioni di legge (e a condizione che ciò sia indicato nei piani di gestione dello spazio marittimo), il decreto impone di tener conto delle interazioni terra-mare. In particolare, all'art.4, comma 2, lettera c), il decreto prevede espressamente che si debba tenere conto *“delle interazioni terra-mare, anche mediante il ricorso agli elementi contenuti negli altri processi di pianificazione, quali la gestione integrata delle zone costiere o le pratiche equivalenti, formali o informali”*. Ulteriore riferimento alla GIZC è senz'altro ravvisabile all'art.5, comma 3 laddove si prevede di *“includere ed armonizzare”* le previsioni dei piani di gestione dello spazio marittimo con i piani ed i programmi esistenti.

Le linee guida contenenti gli indirizzi e i criteri per la predisposizione dei piani di gestione dello spazio marittimo di cui al DPCM del 1° dicembre 2017 fanno ampio riferimento alla Gestione Integrata delle Zone Costiere; a tale riguardo si richiamano i punti 3, 8.1, 13 e 13.1 e Allegato 4.

Infine, si ritiene opportuno citare uno degli ultimi riferimenti normativi, il Decreto 15 luglio 2016, n. 173. *“Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”* (attuazione dell'art. 109 del D.Lgs. 152/06) che stabilisce all' Art. 1 comma b *“i criteri omogenei per tutto il territorio nazionale, per l'utilizzo di tali materiali ai fini di ripascimento...in funzione del raggiungimento o mantenimento degli obiettivi di qualità ambientale dei corpi idrici marino costieri e di transizione.*

III.3. NORMATIVA REGIONALE

Il relazione alle funzioni attribuite, dallo Stato alle Regioni, afferenti alla programmazione, pianificazione gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri (*D.lgs.* 112/98), le Regioni si sono dotate nel tempo di strumenti sempre più articolati a rispondere alle esigenze di protezione e gestione dei litorali e alle politiche comunitarie e statali in materia. Si riportano brevemente le principali norme e disposizioni regionali, in materia di pianificazione, difesa e gestione costiera, con alcuni commenti a cura delle Regioni stesse.

ABRUZZO

- LR 23 settembre 1997 n°108 **“Azione di sostegno ai Comuni per le opere di difesa costiera ed attività di ricerca applicata di supporto alla programmazione di pianificazione regionale in materia di difesa della costa.”**
- D.G.R. n. 964 del 13/11/2002, con la quale è stato approvato lo Studio di Fattibilità denominato: **“Gestione integrata dell’area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili”**;
- D.G.R. n.759 del 21/12/2003: PAR – FAS 2007-2013 **“LINEA DI AZIONE IV.2.1.a - RIDUZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DA FENOMENI ALLUVIONALI, FRANOSI ED EROSIVI DELLE DIVERSE FASCE DEL TERRITORIO REGIONALE (MONTAGNA INTERNA, PEDEMONTANA E COSTIERA)”**, nei Comuni di Martinsicuro, Alba Adriatica, Roseto degli Abruzzi, Silvi, Pescara, Francavilla al Mare, San Vito Chietino, Rocca San Giovanni/Fossacesia e Casalbordino;
- D.G.R. n. 476 del 11/07/2011, con la quale si è preso atto dell’integrazione allo Studio di Fattibilità riguardante il tratto di litorale compreso tra la foce del torrente Vibrata ed il molo Nord del Porto di Giulianova;
- Deliberazione Consiglio Regionale dell’Abruzzo n.36/3 del 13.06.2006 Programma pluriennale degli interventi di straordinaria manutenzione periodo 2005-2010
- D.G.R. n.303 del 23/04/2015, Interventi difesa della costa nei Comuni di Alba Adriatica, Silvi, Montesilvano, Pineto, Francavilla al mare, Ortona;
- D.G.R. n. 260 del 28/04/2016, Interventi difesa della costa nei Comuni di Città S. Angelo, Ortona, Montesilvano, Pineto, Silvi, Francavilla, Pescara e Martinsicuro;
- D.G.R. n. 307 del 29/04/2014 - CIPE 79/2012, fondi ex PAIn, Interventi di riduzione del rischio erosione della fascia costiera nei Comuni di Ortona, Martinsicuro, Alba Adriatica, Casalbordino, Fossacesia e Pescara;
- D.G.R. N.199 18/04/2017, Interventi urgenti di difesa della Costa nei Comuni di Vasto, Casalbordino, Montesilvano, Rocca San Giovanni, Roseto, Martinsicuro, Pescara e Silvi;
- D.G.R. n.34 del 02/02/2017: MASTERPLAN Abruzzo Interventi di Difesa della Costa nei Comuni di Casalbordino, Francavilla al Mare, Giulianova, Pineto, Silvi e Ortona;
- D.G.R. n. 841 del 27.12.2017: Aggiornamento della **“Analisi di rischio delle aree vulnerabili della fascia costiera”**

BASILICATA

- Legge Regionale 13 novembre 2009, n. 39 **“Disciplina delle funzioni in materia di difesa della costa”**; lo strumento previsto dalla norma è il **“Piano Regionale per la Gestione delle Aree Costiere (PRGC)”**, rispondente alla necessità di collocare le azioni regionali di difesa della costa in una più appropriata cornice di pianificazione che, superando la logica dell’emergenza, contenga un programma di interventi coordinato ed organico di medio e lungo termine
- D.G.R. n° 222 del 8.03.2016 **“Adozione Progetto di Piano Regionale per la Gestione delle Coste (PRGC)”**;
- D.C.R. n. 940 del 16.02.2005 di adozione del **“Piano di utilizzazione delle Aree Demaniali Marittime”** (Piano dei Lidi); oggetto di varianti per dare risposta alle numerose richieste di revisione da parte di operatori balneari e dei Comuni;
- In attuazione della funzione programmatica in tema di conservazione della biodiversità, la regione Basilicata ha adottato numerosi provvedimenti che riguardano la definizione delle misure di tutela e conservazione di habitat e specie ricadenti nei SIC e l’approvazione dei Piani di Gestione delle Aree SIC e ZPS; tra questi, la D.G.R. n. 904 del 07.07.2015 e la D.G.R. n. 166 del 24.02. 2016 sono gli atti con cui la

Regione ha approvato rispettivamente i piani di gestione per i Siti Natura 2000 dell'arco Ionico lucano e della costa di Maratea individuando azioni specifiche di tutela che le altre pianificazioni riferite alla costa devono rispettare e sviluppare, nel convincimento che anche il turismo deve prevedere politiche di sviluppo indirizzate verso la protezione del capitale naturale;

- Per dare concretezza all'esercizio complesso della Gestione Integrata delle Aree Costiere, si è reso necessario intervenire sulla norma vigente per riorganizzare la governance delle funzioni in materia di difesa e tutela della costa e di utilizzo delle aree del demanio marittimo.; a tal fine la Giunta Regionale con D.G.R. n. 565 del 24.05.2016 ha approvato il Disegno di Legge di "Disciplina delle funzioni in materia di difesa della costa e per l'esercizio di funzioni amministrative sulle aree del demanio marittimo" che intende, tra l'altro, stabilire che la funzione di cui sopra, relativamente alla organizzazione delle aree demaniali marittime per fini turistico-ricreativi, si estrinsecherà nella definizione di:
 - a) criteri generali, contenuti nel PRGC, per la redazione dei piani comunali di utilizzo delle aree del Demanio marittimo (PUAD) tesi ad armonizzare l'uso pubblico del demanio marittimo sia con lo sviluppo turistico e ricreativo della zona costiera che con la conservazione della biodiversità
 - b) linee di indirizzo per le procedure ad evidenza pubblica per il rilascio delle concessioni demaniali;
 - c) delegare ai Comuni, in attuazione all'art. 42 del D.Lgs. n. 96/1999, le funzioni amministrative previste dall'art. 105 comma 2 del D.Lgs. n. 112/1998, nello specifico il rilascio di concessioni di beni del demanio o della navigazione interna, del demanio marittimo o di zone del mare territoriale per finalità diverse da quelle di approvvigionamento di fonti di energia così come contemplato al punto f) del comma 2 sopra richiamato, compreso l'approvazione del PUAD.

Il Disegno di Legge di "Disciplina delle funzioni in materia di difesa della costa e per l'esercizio di funzioni amministrative sulle aree del demanio marittimo" è attualmente all'attenzione della Commissione Consiliare competente.

- D.G.R. n. 128 del 15 febbraio 2016 di approvazione della proposta di revisione organica delle zone di demanio marittimo ai sensi dell'art. 7 comma 9 septiesdecies del D.L. del 19 giugno 2015 n. 78.
- Piano Stralcio per il Bilancio Idrico e per il Deflusso Minimo Vitale (PSBI), Autorità di Bacino di Basilicata, vigente dal 09/11/2005. L'aggiornamento del DMV è stato approvato dal Comitato Istituzionale con delibera n. 10 del 16/05/2016;
- Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico, approvato dal Comitato Istituzionale dell'AdB Basilicata con delibera n.26 del 15/12/2001; l'ultimo aggiornamento è stato approvato con delibera 11 del 21/12/2016. Si è in attesa del DPCM di approvazione del secondo aggiornamento 2016 e del primo aggiornamento 2017 del PAI, per i bacini dell'ex AdB Basilicata, a seguito di adozione da parte della Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale con delibera n.5 del 14 dicembre 2017.
- Piano di Gestione delle Alluvioni – I Ciclo del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, approvato con delibera n.2 del 3 marzo 2016 dal Comitato Istituzionale integrato con i componenti designati dalle regioni ricadenti nel Distretto Idrografico.

CALABRIA

- LR n.9/89 "Misure di protezione delle coste in attesa dell'applicazione del piano urbanistico regionale"
- Legge regionale n. 10/2005 – art.10, "Provvedimento generale, recante norme di tipo ordinamentale e finanziario"
- Delibera n. 1158 del 27 Dicembre 2005 della Giunta regionale - In esecuzione dell'art. 10 della Legge regionale n. 13/2005, la Delibera ha affidato all'Autorità di Bacino (ABR) il compito della redazione del "Piano di gestione integrata delle coste", per la cui approvazione è necessario il parere vincolante della competente commissione permanente del Consiglio regionale. Il "Piano" è, a tutti gli effetti, un Piano Stralcio del Piano di Bacino e, dunque, rientra in un quadro di pianificazione integrata per la valorizzazione e tutela delle risorse acqua e suolo.
- Documento Programmatico per il "**Piano di Gestione Integrata delle coste in Calabria**" redatto dalla Segreteria Tecnica dell'ABR e approvato con Delibera del Comitato Istituzionale dell'ABR n. 1/06 del 16.02.2006 - Con tale Delibera si demandano al Segretario Generale della stessa ABR tutti gli adempimenti ed i provvedimenti tecnico-amministrativi necessari per dare attuazione a quanto previsto dallo stesso Documento.

- Delibera di Comitato Istituzionale n.02/2014 – Autorità di Bacino Nazionale - Adozione di Piano di Bacino Stralcio di erosione costiera (PSEC).
- Delibera di Comitato Istituzionale - n. 1/2014 - 22 luglio 2014 - Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI-Calabria). Approvazione **“Master Plan per gli interventi di Difesa e di Tutela della Costa”** - Nel 2013, con lo scopo di superare le problematiche legate all'eccessiva frammentazione dei finanziamenti e alla realizzazione di opere con effetti limitati a scala locale, in collaborazione con il Dipartimento Lavori Pubblici, le Province ed il Genio Civile OO.MM., l'ABR ha avviato un'azione congiunta finalizzata all'individuazione delle principali criticità esistenti sulla base di dati scientifici e alla predisposizione del **“Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria”**, da realizzare nelle n. 21 macro-aree di analisi in cui è stato suddiviso l'intero territorio costiero calabrese. Il suddetto Master Plan è uno strumento dinamico, in continua evoluzione, che ha l'obiettivo di esaminare lo stato dei fenomeni in atto lungo le coste calabresi e di indicare, in prima analisi, gli interventi prioritari per la messa in salvaguardia delle infrastrutture e delle strutture maggiormente esposte a rischio e, a medio-lungo termine, alla programmazione di una strategia condivisa improntata alla tutela e alla conservazione del territorio e all'effettivo riequilibrio del trasporto solido litoraneo.

CAMPANIA

- LR 07 febbraio 1994 n° 8 Piano stralcio difesa della costa
- LR 1/2012
- DGR n.67/2004 **“Procedure tecnico-amministrative per la fascia costiera [...]”**
- DGR n.4459/2002 **“Linee guida per la PTR”**
- DGR n. 5490 del 15/11/2002 - Assessorato ai Trasporti e Viabilità, Porti, Aeroporti e Demanio Marittimo Linee Programmatiche per lo sviluppo del sistema integrato della Portualità turistica
- per AdB Liri-Garigliano e Volturno: Piano Stralcio Erosione Costiera (PSEC) – adottato dal Comitato Istituzionale con del. n°3 del 18.07.2012, approvato con D.P.C.M. del 15.02.2013 e pubb. su G.U. 146 del 24-06-2013
- per ex Autorità interregionale del Fiume Sele, Norme di Salvaguardia approvate con Delibera dal Comitato Istituzionale n.34 del 13.12.2010 e pubblicate - sul BURC n.83 del 27.12.2010
- per ex Autorità regionale Destra Sele, Norme di Salvaguardia approvate con Delibera dal Comitato Istituzionale n.75 del 26.11.2013 e pubblicate sulla GURI n.2 del 03.01. 2014
- per ex Autorità regionale Sinistra Sele, Piano Stralcio Erosione Costiera (PSEC) adottato, dal Comitato Istituzionale con Delibera n. 52 del 21.12.2006 pubblicato sul BURC n.29 del28.05.2007 ed approvato dal Consiglio Regionale attestato n. 173/2 del 02.02.2011 – D.G.R. 2327 del 2007
- per ex AdB Regionale Sarno, Piano Stralcio per la Difesa delle Coste (PSDC) adottato, con Delibera di Comitato Istituzionale n.10 del 05.09.2012 (pubblicazione sul BURC n.60 del 20.09.2012) ed approvato con Delibera di Giunta Regionale n.572 del 19.10.2012 (pubblicazione sul BURC n.68 del 29.10.2012, quale proposta al Consiglio Regionale);
- per ex AdB Regionale Nord Occidentale, Piano Stralcio per la Difesa delle Coste (PSDC) adottato con Delibera di Comitato Istituzionale n.285 del 23.07.2009 ed approvato con Delibera di Giunta Regionale n.417 del 25.03.2010, integrata dalla Delibera di Giunta Regionale n. 507 del 04.10.2011, BURC n. 74 del 05/12/2011.

EMILIA-ROMAGNA

- LR 7/1979 – **“Interventi della Regione Emilia-Romagna per la difesa della costa adriatica ai fini ambientali, turistici e di protezione degli insediamenti civili e produttivi”**. Per il perseguimento degli obiettivi del proprio statuto, la Regione Emilia-Romagna promuove la realizzazione di un Piano progettuale per la Difesa della Costa, a fini ambientali, turistici, di protezione degli insediamenti civili e produttivi e di salvaguardia economica complessiva delle aree interessate. Nel quadro delle proprie competenze, trasferite o delegate, la regione esercita le funzioni di vigilanza sugli interventi interessanti i bacini imbriferi tributari delle spiagge emiliano-romagnole anche al fine di prevederne le conseguenze sull'equilibrio costiero e sull'assetto territoriale.
- LR 17/2004 Art. 29 – **“Interventi ed opere di difesa della costa”**. L'Art.29 della LR 17/2004 (legge finanziaria regionale) stabilisce che la Regione promuove con propri indirizzi la gestione integrata della

zona costiera e provvede al finanziamento, progettazione e realizzazione degli interventi e delle opere di difesa della costa aventi le finalità di difesa dei centri abitati costieri e delle infrastrutture dai fenomeni di ingressione ed erosione marina; del contenimento dei processi erosivi del litorale; della tutela e valorizzazione dei tratti costieri con elementi di naturalità e ricostruzione delle dune litorali; della riqualificazione dei tratti costieri protetti da scogliera. Gli interventi vengono programmati e finanziati con mezzi statali e regionali, nel rispetto degli equilibri di bilancio e delle disposizioni recate dalla legge regionale 15 novembre 2001, n. 40 (Ordinamento contabile della Regione Emilia-Romagna) e possono essere realizzati anche attraverso i Comuni quali soggetti attuatori.

- D.C.R. 20 gennaio 2005, n.645 - "**Linee Guida per la Gestione Integrata Zone Costiere**". Strumento di riferimento per la gestione dei litorali regionali formulato secondo un processo partecipativo dei diversi settori e degli Enti ai diversi livelli di governo. Adottato successivamente negli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica di Province e Comuni afferenti all'area costiera.

FRIULI VENEZIA GIULIA

- LR 29 aprile 2015 n°11. - "**Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque**". Conferma alla Regione la funzione di difesa del suolo per la realizzazione degli interventi di difesa e di conservazione delle coste a esclusione dei centri abitati costieri (art. 7) e specifica che i Comuni eseguono le opere di difesa dei centri abitati costieri, nonché gli interventi di ripascimento degli arenili, fatte salve le competenze statali e regionali in materia di porti (art. 15).
- DGR n. 2278/2014 LR 16/2002 - approvazione del progetto di **piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)** dei bacini idrografici dei tributari della Laguna di Marano - Grado, ivi compresa la laguna medesima, del Torrente Slizza e del Levante.
- LR 16/2002, art 14, comma 3. adozione del **piano stralcio per l'assetto idrogeologico** dei bacini idrografici dei tributari della laguna di marano - grado, ivi compresa la laguna medesima, del torrente slizza e del levante (pair).
- LR 21 aprile 2017, n. 10 - **Disposizioni in materia di demanio marittimo regionale e demanio stradale regionale**, nonché modifiche alle leggi regionali 17/2009, 28/2002 e 22/2006.
- D.P.Reg 74/2018 - Approvazione del Piano regionale di Tutela delle Acque, previa deliberazione della Giunta Regionale n. 591/2018.

LAZIO

- L.R. 11 Dicembre 1998, n. 53 (1) - **Organizzazione regionale della difesa del suolo** in applicazione della legge 18 maggio 1989, n. 183. Disciplina la pianificazione e gestione degli interventi di difesa della costa regionale, prevedendo anche l'individuazione e l'utilizzo di depositi marini di sabbia sulla piattaforma continentale per il ripascimento dei litorali.
- D.G.R. n. 965 del 28 Marzo 2000 - Approva lo schema per la Convenzione da stipulare tra Comune e Concessionari al fine di garantire la partecipazione di quest'ultimi alle spese di manutenzione delle spiagge oggetto di interventi di difesa dall'erosione marina, come previsto dall'art. 33 della L.R. n. 53/98.
- D.C.R. n. 17 del 04/04/2012 - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI). Approva il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) che affronta, quale piano stralcio di settore, la problematica relativa alla difesa del suolo, e il suo specifico ambito di competenza è particolarmente indirizzato alla pianificazione organica del territorio mediante la difesa dei versanti e la regimazione idraulica.
- L.R. n. 1 del 5 Gennaio 2001 - **Norme per la valorizzazione e lo sviluppo del litorale del Lazio**. Promuove lo sviluppo economico e sociale della zona costiera laziale approvando un programma di interventi di recupero e valorizzazione del litorale regionale. Sottolinea l'esigenza di un piano generale di ricostituzione delle spiagge in erosione e di mantenimento dei settori litoranei.
- Determinazione dirigenziale n. G05071 del 27/04/2015 - **Programma di attività per le linee guida del piano di difesa integrata delle coste**. Approva il programma di attività regionali necessarie alla predisposizione delle Linee Guida a supporto del processo di pianificazione degli interventi di difesa sulla costa laziale (Piano di difesa integrata delle coste).

LIGURIA

Le problematiche riguardanti l'erosione della costa sono state affrontate dalla Regione Liguria fin dalla redazione del **PTC della Costa** e dall'approvazione della L.R. 13/1999 e del **Piano di utilizzo delle aree demaniali marittime** (D.C.R. 18/2002).

In ottemperanza alla l.r. 13/1999 "**Disciplina delle funzioni in materia di difesa della costa, ripascimento degli arenili, protezione e osservazione dell'ambiente marino e costiero, demanio marittimo e porti**" sono stati emanati indirizzi e criteri relativi alle competenze della Regione in materia di difesa costiera, in particolare:

- Criteri generali per la progettazione e l'esecuzione delle opere di difesa della costa e degli abitati costieri e di ripascimento degli arenili (D.G.R. 222/2003 aggiornati ed integrati con DGR 429/2009))
- Criteri generali da osservarsi nella progettazione degli interventi di ripascimento stagionali" (DGR n.222/2003 aggiornati ed integrati con DGR 1446/2009))
- Criteri generali per il monitoraggio delle opere di difesa della costa e degli abitati costieri e di ripascimento degli arenili (D.G.R. 1793/2005)

In tutti gli strumenti normativi e pianificatori viene messa in evidenza la necessità di indirizzare gli interventi sul territorio e, in particolare, sulle spiagge al fine di evitare l'eccessivo irrigidimento della fascia costiera riconoscendo alla capacità dissipativa delle spiagge una funzione essenziale nella difesa della costa dall'erosione.

Tale principio è stato poi recepito in uno strumento pianificatorio più ampio che riguarda la gestione integrata della fascia costiera recependo i principi formulati dalla Commissione Europea confluiti poi nella ratifica del Protocollo sulla Gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo nell'ambito della Convenzione di Barcellona, approvato a Madrid nel gennaio 2008.

Tale strumento è il **Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero** (PTAMC), i cui indirizzi metodologici sono stati approvati dalla Giunta Regionale con **D.G.R. n. 1799/2009**.

Il PTAMC viene redatto per Unità Fisiografiche, individuate dalla suddetta Delibera, che ricalcano sostanzialmente le Unità fisiografiche già indicate sul PTC della Costa.

MARCHE

- La Legge Regionale 17 maggio 1999, n. 10, nel dettagliare il conferimento delle funzioni a livello regionale, ha coerentemente confermato alla Regione "**la programmazione, la pianificazione e la gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri**", nonché "la determinazione dei canoni di concessione per l'utilizzo del demanio idrico" (art. 51), mentre ha conferito ai Comuni la progettazione e l'esecuzione degli interventi di costruzione, la bonifica e la manutenzione dei porti di rilievo regionale ed interregionale nonché delle opere a servizio dell'attività portuale (art. 61), le funzioni amministrative concernenti il rilascio di concessioni di beni del demanio marittimo, lacuale e fluviale (art. 31), la generalità delle funzioni non espressamente riservate (dalla medesima legge o da precedenti leggi) alla Regione, alle Province e alle Comunità montane, salvo diversa previsione relativa a singole materie o settori (art.3);
- La Legge Regionale n. 15 del 14 luglio 2004 prevede che la Regione adotta il **Piano di gestione integrata delle aree costiere**;
- Con Delibera del Consiglio regionale n. 169 del 2 febbraio 2005 è stato approvato il Piano di Gestione Integrata della Costa;
- Con delibera del Consiglio regionale n. 120 del 20 gennaio 2015 è stata approvata la variante al suddetto piano al fine di contenere i ripetuti danneggiamenti ad alcuni centri abitati e alle infrastrutture derivanti dai fenomeni erosivi e contestualmente salvaguardare l'ambiente e la fascia costiera;
- Con Delibera di Giunta Regionale n.1628 del 27/12/2016 sono state approvate le Linee Guida per la predisposizione del nuovo Piano di gestione Integrata delle zone Costiere della Regione Marche (Piano GIZC) la cui approvazione, in prima adozione, è prevista entro la fine del 2018
- Con D.G.R. n. 1233 del 24 settembre 2018 - BUR n. 85 del 11/10/2018 - la Giunta Regionale ha adottato la proposta di "**Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere** (Piano GIZC)"³³

³³ <http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica-Genio-Civile/Difesa-della-costa#Piano-GIZC-2018>

MOLISE

- Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico del bacino regionale dei fiumi Biferno e minori adottato dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale con Delibera n. 3 in data 23 maggio 2017;
- Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico del bacino interregionale del fiume Trigno adottato dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale con Delibera n. 3 in data 23 maggio 2017;
- Progetto di **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)** del bacino Interregionale del fiume Saccione adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 99 del 29.09.2006;
- Progetto di **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)** del bacino interregionale del fiume Fortore (Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 102 del 29.09.2006.
- Delibera di Giunta Regionale n. 772 del 31/12/2015 "Approvazione definitiva di 61 Piani di Gestione dei relativi siti ricompresi nella rete Natura 2000 del Molise.
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 16 marzo 2017 " Designazione di 60 zone speciali di conservazione (ZSC) della regione biogeografica mediterranea insistenti nel territorio della Regione Molise. (17A02433) (GU Serie Generale n.81 del 06-04-2017).

PUGLIA

- Legge Regionale della Puglia n. 17 del 10/04/2015 - La legge regionale della Puglia n. 17/2015 disciplina l'esercizio delle funzioni amministrative connesse alla gestione del demanio marittimo e delle zone del mare territoriale conferite dallo Stato ai sensi dell'articolo 117 della Costituzione, individuando le funzioni trattenute in capo alla Regione e quelle conferite ai comuni.
- Il **Piano Regionale delle Coste** - Il Piano Regionale delle Coste, approvato con Delibera della Giunta Regionale della Puglia n. 2273 del 13/10/2011, contiene al suo interno i risultati di varie attività di studio, tra cui: 1) il riordino e aggiornamento delle informazioni e delle conoscenze tecnico-scientifiche delle dinamiche fisiche in atto sul territorio costiero pugliese; 2) la definizione del quadro conoscitivo dei caratteri ambientali e delle dinamiche urbanistico-amministrative e la catalogazione e organizzazione razionale dei dati esistenti; 3) la definizione delle politiche di fruizione delle aree demaniali del litorale, da attuare nel rispetto dei vincoli ambientali ed urbanistici, nonché della sicurezza dei cittadini; 4) i criteri e gli indirizzi per la redazione dei Piani Comunali delle Coste, strumento di assetto, gestione, controllo e monitoraggio del territorio comunale costiero.
- Legge Regionale della Puglia n. 17 del 14/06/2007 - L'art. 8 della Legge Regionale della Puglia n. 17 /2007 stabilisce che l'istruttoria e il rilascio dell'autorizzazione di cui all'articolo 109, commi 2, 3 e 5, del d.lgs. 152/2006 e all'articolo 21 della legge 31 luglio 2002, n. 179, nel rispetto della normativa tecnica nazionale e delle linee guida regionali, è delegata, con decorrenza dal 1° luglio 2007, alla provincia competente per territorio.
- Delibera di Giunta Regionale della Puglia n. 410 del 10/03/2011 - Con deliberazione di Giunta Regionale 410 del 10 marzo 2011, la Regione Puglia ha approvato le "**Linee Guida per la individuazione di interventi tesi a mitigare le situazioni di maggiore criticità delle coste basse pugliesi**". Tali linee guida dispongono che gli tutti gli interventi tesi a mitigare le situazioni di dissesto ed in generale di erosione delle coste basse pugliesi, devono essere coerenti con gli "Studi propedeutici per la predisposizione del Piano Stralcio della Dinamica delle Coste" (approvati dal Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino della Puglia in data 29/11/2010).
- Determina Dirigenziale del Dirigente del Servizio Demanio e Patrimonio della Regione Puglia n. 229 del 22 giugno 2015 - Con Determina Dirigenziale del Dirigente del Servizio Demanio e Patrimonio della Regione Puglia n. 229 del 22 giugno 2015 sono state approvate le "**Linee Guida per la Gestione delle Biomasse Vegetali Spiaggiate**" nella Regione Puglia. Al fine di individuare quale sia la più idonea opzione di gestione delle Biomasse Vegetali Spiaggiate applicabile nelle aree costiere della Regione Puglia, sono stati preliminarmente individuati i macrotipi costieri pugliesi. A ciascun macrotipo così individuato vengono associate le opzioni di gestione delle BVS descritte nelle stesse Linee Guida.

SARDEGNA

- L.R. 25 novembre 2004 n°8: Norme urgenti di provvisoria salvaguardia per la pianificazione paesaggistica e la tutela del territorio regionale;
- Piano Paesistico Regionale, approvato con DGR n. 36/7 del 5 settembre 2006
- Legge regionale 12 giugno 2006 n°9 - Conferimento di funzioni e compiti agli enti locali. Conferimento di competenze in materia di demanio marittimo, ed in particolare alla elaborazione ed approvazione dei **Piani di Utilizzo dei Litorali** (art. 41), in materia di protezione dell'ambiente naturale, protezione e osservazione delle zone costiere (art. 44), conferimenti di competenze su aree protette e siti natura 2000 (art. 47);
- DGR n. 53/32 del 20.12.2013 Programma Azione Coste Sardegna (PAC) Strumento che classifica le aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale, suddividendo il litorale costiero regionale nelle due tipologie di "coste rocciose" e "spiagge"
- Delibera G.R. 40/13 del 06/07/2016 **Indirizzi urgenti per la gestione della fascia costiera**. Regolamentazione che consente agli enti locali e alla pluralità di soggetti che operano nei litorali di impostare le necessarie azioni di gestione con modalità rispettose dell'ambiente. Gli argomenti trattati riguardano:
 - prescrizioni inerenti l'asportazione della Posidonia e la pulizia delle spiagge dai rifiuti
 - comportamenti per la preservazione di ambienti di pregio quali dune e stagni costieri temporanei;
 - ormeggio delle imbarcazioni in prossimità delle spiagge e preservazione dei fondali soprattutto in presenza di praterie di Posidonia
 - Linee guida per la gestione integrata delle spiagge;
- DPCM 27/10/2016 (GURI del 6/2/2017 BURAS del 23/2/2017) - Approvazione definitiva del PGRA. In attuazione alle previsioni del D. Lgs 23 febbraio 2010, n. 49 e alla Direttiva Alluvioni sono state prodotte le mappe delle inondazioni costiere. Gli scenari di inondazione, ottenuti attraverso l'applicazione di un modello speditivo a scala regionale, sono il risultato della prima fase di attuazione della Direttiva Alluvioni.

SICILIA

- L.R. 12/06/1976, n. 78 - Provvedimenti per lo sviluppo del turismo in Sicilia. All'articolo 15 viene definita, tra l'altro, una sorta di fascia di rispetto: ' le costruzioni debbono arretrarsi di metri 150 dalla battigia; entro detta fascia sono consentite opere ed impianti destinati alla diretta fruizione del mare, nonché la ristrutturazione degli edifici esistenti senza alterazione dei volumi già realizzati' "
- Legge Regionale n. 6/2001, art. 130 Predisposizione del Progetto di Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico e per le Unità Fisiografiche per l'erosione costiera.
- Relazione generale del PAI e delle Unità Fisiografiche.
- Legge Regionale n. 15 del 29/11/2005: Disposizioni sul rilascio delle concessioni di beni demaniali e sull'esercizio diretto delle funzioni amministrative in materia di Demanio marittimo.
- Decreto del Presidente della Regione 1 giugno 2004: Classificazione dei porti di categoria II, Classe III ricadenti nell'ambito del territorio della Regione siciliana
- Legge regionale n. 3 del 17/03/2016 - artt. 39 e 40 - Disposizioni in materia di demanio marittimo che modificano in un'ottica di conformazione ai principi del Diritto comunitario l'art. 4 della Legge n. 15/2005
- Decreto dell'Assessore del Territorio e dell'ambiente -Demanio Marittimo regionale n. 319 del 5/08/2016. Adempimenti attuativi delle procedure di revisione della fascia costiera demaniale. Approvazione delle linee Guida per la redazione dei Piani di utilizzo delle aree demaniali marittime da parte dei comuni costieri.

TOSCANA

- DGR n.1214/2001 "Approvazione del Progetto di Piano regionale di gestione integrata della costa ai fini del riassetto idrogeologico"

- L.R. n. 80 del 28/12/2015 "Norme in materia di difesa del suolo, tutela delle risorse idriche e tutela della costa e degli abitati costieri" che all'art. 17 stabilisce che la Regione esercita tutte le funzioni amministrative, di programmazione e pianificazione, indirizzo e controllo in materia di tutela della costa (non riservate allo Stato o ad altri enti), tra cui in particolare anche le funzioni di progettazione e realizzazione delle opere di difesa della costa ed il rilascio delle autorizzazioni di cui all'art. 109 del D.Lgs. 152/2006 e all'art. 21 della l. 179/2002;
- Delibere Documento operativo per il recupero e riequilibrio della fascia costiera in attuazione dell'art. 18 della L. R. 80/2015, che rappresenta lo strumento di programmazione regionale degli interventi per il recupero e riequilibrio della fascia costiera: DGR 433 del 10 maggio 2016 per l'anno 2016, DGR 335 del 3 aprile 2017 per l'anno 2017 e DGR 1224 del 9 novembre 2017 per l'anno 2018;
- Linee Guida per le modalità di rilascio delle autorizzazioni di cui all'art. 17 comma 1 lettera e) e f) della L.R. 80/15 approvate con DGR 304 del 26 marzo 2018.
- Linee Guida sulle attività di monitoraggio della costa approvate con DGR 1069 del 1 ottobre 2018, di cui all'art. 19 della L.R. 80/2015.

VENETO

- DGRV n. 1019 del 23/3/2010 - **“Direttive tecniche per la caratterizzazione e valutazione di compatibilità delle sabbie destinate al ripascimento dei litorali nella regione del Veneto. Aggiornamento delle direttive.”** - La DGRV 1019/2010 definisce a livello regionale, ai sensi dell'art. 21 della Legge 179/2002, la procedura volta ad ottenere l'autorizzazione al ripascimento, oltre a stabilire direttive tecniche circa la caratterizzazione e valutazione di compatibilità delle sabbie destinate al ripascimento, nonché alla movimentazione di materiali provenienti da escavo di fondali di ambienti marini o salmastri e di terreni emersi; in via temporanea ed in attesa degli approfondimenti necessari le medesime Direttive si applicano anche per gli interventi di riconfigurazione ambientale e morfologica in ambito costiero.

La valutazione tecnica di compatibilità dell'utilizzo delle sabbie costituisce parte integrante della procedura di autorizzazione dei ripascimenti, intendendosi peraltro ricompresa in quella di valutazione di impatto ambientale (V.I.A.) ove prevista dalla Legge Regionale 26.03.1999 n. 10.

Non rientrano nell'ambito di applicazione delle presenti Direttive i modesti movimenti di materiali, comunque non superiori a 5.000 mc, effettuati dagli operatori, pubblici e privati, per sistemazioni stagionali degli arenili, purché nell'ambito della medesima spiaggia e previa autorizzazione del Genio Civile competente per territorio.

- DGRV n.1215 del 17/07/2014 **“Approvazione criteri generali da osservare nella progettazione ed esecuzione degli interventi di ripascimento manutentivo e bypass degli arenili, nonché per la ricostruzione delle morfologie costiere.”** - In linea di principio la disciplina approvata con DGRV 1215/2014 individua degli ambiti entro i quali la movimentazione dei sedimenti possa seguire una procedura autorizzativa semplificata rispetto quanto stabilito dalla DGRV 1019/2010, ciò al fine di rendere praticabile la manutenzione ordinaria degli arenili nei tempi e nei modi che il rapido evolvere degli stessi rende necessari.

Nel dettaglio la delibera approva i criteri da applicarsi alla progettazione degli interventi stagionali di ripascimento manutentivo degli arenili, come definiti ai punti 4.15 e 4.17 dell'Allegato A, e di ricostruzione di morfologie costiere come definite punto 4.18 dell'Allegato A, e forniscono le indicazioni necessarie a valutare gli stessi ai fini della loro approvazione da parte della Regione.

Viene altresì disciplinata la caratterizzazione ambientale dei sedimenti che in tale contesto vengono movimentati, differenziando la procedura rispetto alla normativa vigente per il solo caso in cui vi sia unicamente movimentazione di sabbia all'interno della medesima spiaggia e, più precisamente, all'interno della medesima cella litoranea, come definita al punto 4.8 dell'Allegato A.

Per quanto riguarda gli interventi di ripascimento che non rispondano ai requisiti che definiscono il “ripascimento manutentivo”, la disciplina resta definita dalla vigente normativa regionale.

- DGRV n. 898 del 14/06/2016 **“Gestione Integrata della Zona Costiera - Studio e monitoraggio per la definizione degli interventi di difesa dei litorali dall'erosione nella regione Veneto” Adozione linee guida”**

La DGRV n. 898/2016 prende atto dei contenuti del documento tecnico elaborato nell'ambito delle attività di cui alla Delibera n. 2541 del 11/12/2012, adottandoli come "linee guida" per il dimensionamento degli interventi di difesa dall'erosione costiera.

La fase conoscitiva dello studio mira a fornire una descrizione aggiornata dello stato dell'intero litorale del Veneto, in termini multidisciplinari (ambientali, sociali, morfologici, antropici, etc.) e una stima accurata del bilancio sedimentario, basata sulla conoscenza delle dinamiche naturali e delle azioni di difesa della costa sin qui adottate.

Viene valutato il recente trend evolutivo del litorale, al fine di formare un quadro utile alla pianificazione, gestione e monitoraggio degli interventi del prossimo decennio.

Nella seconda parte viene fissata una strategia di intervento unica per l'intera Regione, individuando le tipologie di intervento più adatte in un'ottica di gestione del territorio su scala regionale e più idonee ad una gestione integrata della zona costiera, nel rispetto dei vincoli ambientali.

Al tal fine sono analizzati individualmente i tratti di litorale morfologicamente omogenei, valutando anzitutto le criticità e le priorità di intervento, per giungere alla definizione di idonee ipotesi progettuali in ciascun tratto. Vengono tra l'altro fissati per ogni cella litoranea i parametri di calcolo per la progettazione degli interventi (clima meteo marino, livello del mare, caratteristiche "al largo" delle mareggiate di progetto) che saranno di riferimento per le attività comprese nella relazione tecnica di cui alla parte II, punto 1.1.2 delle Direttive approvate con DGRV 1215/2014.

III.4. INDICAZIONI IN MERITO A PROPOSTE DI INTEGRAZIONI NORMATIVE VOLTE A FAVORIRE UNA MIGLIORE GESTIONE DEGLI EFFETTI DELLA DINAMICA E DELL'EROSIONE COSTIERA

Le numerose opere di difesa costiera presenti lungo le coste italiane, e non solo italiane, sono una realtà. Esse rappresentano una risposta ad uno squilibrio che si è venuto a creare tra la cronica riduzione di sedimenti derivanti dal sistema dei corsi d'acqua nell'ultimo secolo e la crescente pressione antropica che si è sviluppata dagli anni 60 lungo le coste italiane.

Negli ultimi decenni per cercare di "aiutare" i sistemi costieri sono stati messi in campo interventi cosiddetti di "difesa morbida" (ripascimenti artificiali) spesso associati a costruzione di opere rigide; tali interventi richiedono ingenti risorse economiche per la realizzazione e la manutenzione che spesso non sono sufficienti a restituire al sistema quella capacità naturale di adattarsi ai cambiamenti (resilienza).

I cambiamenti climatici in atto prevedono un aumento della temperatura media da 1 a 3.5°C entro il 2100 ed il conseguente aumento del livello degli oceani con conseguenze tanto più marcate sui litorali quanto maggiore è il loro livello di antropizzazione e di squilibrio territoriale. È necessario quindi ricorrere all'adozione di un approccio strategico e preventivo nella gestione dei rischi costieri, un approccio che tenga in considerazione l'evoluzione naturale dei litorali e garantisca un'urbanizzazione al di fuori delle aree a rischio e della fascia dinamica.

Tra le azioni da intraprendere a livello istituzionale per **migliorare la conoscenza della vulnerabilità del "sistema costa", aumentarne la resilienza, controllare maggiormente l'uso del suolo della fascia costiera**, è necessario accettare compromessi sostenibili e mettere in campo strumenti di compensazione e mitigazione del costruito esistente.

Si evidenziano di seguito tre elementi da tenere in considerazione:

1. la dividente demaniale, attualmente rappresentata nel Sistema Informativo del Demanio Marittimo (SID), probabilmente non assolve più in molti casi al dettato dell'art. 28 del codice della navigazione; questo il motivo per cui il legislatore, con le disposizioni di cui alla legge 6 agosto 2015, n. 125, ha ritenuto di chiedere alle regioni una *"...ricognizione delle rispettive fasce costiere, finalizzata anche alla proposta di revisione organica delle zone di demanio marittimo..."*;
2. l'art. 55 del codice della navigazione – anticipando un controllo della zona costiera oltre il demanio marittimo – sottopone le "nuove opere in prossimità del demanio marittimo, entro una zona di trenta metri dalla linea demaniale, all'autorizzazione del capo del compartimento";
3. la direttiva alluvioni (2007/60) richiede la perimetrazione delle aree che possono essere interessate da alluvioni, anche marine, secondo scenari di scarsa, media ed elevata probabilità di accadimento. Il recepimento nazionale, avvenuto attraverso il D.Lgs. 49/10 fa riferimento a scenari con scarsa probabilità o eventi estremi, alluvioni poco frequenti con tempi di ritorno compresi tra 100 e 200 anni e alluvioni frequenti con tempi di ritorno compresi tra 20 e 50 anni. Le misure per contrastare il fenomeno sono già indicate negli strumenti di programmazione dei distretti idrografici (**Piani di Gestione del Rischio di Alluvione – PGRA**), recentemente approvati.

In relazione a quanto sopra si ritiene che, in una proiezione temporale ampia come quella che si sta prospettando, sia necessaria una "vision" che proponga ai settori regionali competenti in materia l'inserimento di specifiche azioni negli strumenti di programmazione riguardanti la fascia costiera.

Tali integrazioni, che di seguito si propongono, permetterebbero un miglioramento dell'ecosistema costiero e del turismo verso una maggiore sostenibilità, assieme al raggiungimento degli obiettivi di protezione delle coste dall'erosione, considerando inoltre che le azioni di maggiore successo sono quelle in cui viene posta una particolare attenzione alla concertazione con tutti gli stakeholders sia pubblici che privati.

Le basi di tali proposte di integrazioni possono essere sintetizzate nei seguenti riferimenti normativi:

- art. 8 del “Protocollo sulla gestione integrata delle zone costiere del mediterraneo” che, di fatto, tratta di una sorta di “**fascia di rispetto**” costiera che potrà essere rappresentata in gran parte dalle zone costiere di cui ai punti precedenti (l'art.8 definisce una zona costiera di inedificabilità per nuove opere della larghezza minima di 100 metri dalla “linea delle più alte acque invernali”);
- programmi di **gestione dei sedimenti** delle aste fluviali (Collegato ambientale 2016 - L. 221/15) con l'obiettivo, in un ampio arco temporale, di incrementare un costante ripascimento naturale al “sistema costa”;
- Il DL 133/2014 definisce prioritari gli interventi integrati per la riduzione del rischio idrogeologico e per il recupero degli ecosistemi (costieri) nella misura non inferiore al 20% degli interventi di difesa del suolo.
- Il DPCM 28/05/2015 individua le infrastrutture verdi con obiettivi strategici per il contrasto del dissesto idrogeologico costiero come cordoni litorali e zone umide litoranee.

In relazione a quanto sopra evidenziato e a quanto esposto in merito al quadro normativo internazionale, nazionale e regionale, si propongono le seguenti indicazioni per integrazioni dei quadri normativi, al fine di favorire una migliore gestione degli effetti della dinamica costiera.

III.4.1. FASCIA DI RISPETTO

La normativa nazionale definisce e disciplina delle fasce litoranee che si affiancano (demanio marittimo e zona dei 30 metri di cui all'art.55 del CdN) e si sovrappongono (precedenti fasce e aree geografiche di cui alla direttiva alluvioni 2007/60/CE). Al fine di *‘fondere’* in una unica denominazione le tre fasce litoranee e uniformarsi così ai principi di cui all'art.8 del “Protocollo sulla gestione integrata delle zone costiere del mediterraneo”, è denominata “fascia di rispetto” l'involuppo delle seguenti zone:

- Il demanio marittimo;
- La zona di 30 metri dal demanio marittimo definita dall'art.55 del Codice della navigazione;
- La zona definita dal Tr100 di cui alla direttiva alluvioni 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 – D.Lgs. 219/2010”.

L'art. 8 del Protocollo ICZM tratta nello specifico dell'istituzione di una zona litoranea con larghezza minima di 100 metri in cui non è permesso edificare. Lo stesso articolo prevede delle deroghe per progetti di pubblico interesse e situazioni particolari come ad esempio: limiti geografici, vincoli locali connessi alla densità della popolazione.

Sarà compito di ogni Regione definire e attuare sul proprio territorio costiero le misure di dettaglio per l'istituzione di zone soggette a divieto edilizio, in attuazione all'art.8 del protocollo ICZM, così come definito dalla ratifica UE del suddetto Protocollo (DECISIONE DEL CONSIGLIO 2010/631/UE del 13 settembre 2010).

Le proposte per individuare una “fascia di rispetto” che ne garantisca una ‘tutela attiva’ per contrastare la sempre crescente domanda di trasformazione del suolo costiero sono:

- Sistemi premianti per favorire l'adattamento del costruito esistente ai cambiamenti meteo-climatici;
- Modifiche al sistema fondale dei manufatti esistenti per diminuire l'interferenza con il moto ondoso e la dinamica litoranea;
- Individuazione di aree con elementi a rischio (immobili, manufatti,...) presenti all'interno del demanio marittimo o in prossimità dello stesso;

- Adozione di meccanismi per l'acquisizione di superfici al demanio pubblico e la delocalizzazione/arretramento degli elementi a rischio;
- Attivazione di progetti pilota su tratti di litorale (anche limitati), attraverso incentivi economici/urbanistici, in cui possa essere ripristinata la capacità naturale della costa di adattarsi ai cambiamenti climatici, includendo quelli provocati dall'innalzamento del livello del mare. I progetti pilota avranno anche lo scopo di rendere visibile, al pubblico ed ai portatori d'interesse, la possibilità di un ri-equilibrio costiero tra "antropico e naturale". Tali interventi non devono contrastare con le regole relative agli ambiti costieri di riferimento per la realizzazione di interventi di difesa della costa; dovrà comunque essere definita la compatibilità nell'ambito costiero di riferimento in modo da non rappresentare causa di squilibrio nei tratti costieri contermini;
- Regolamentazione degli interventi su manufatti esistenti o nuovi all'interno della fascia di rispetto secondo la seguente casistica:

	Possibile casistica	Codice della Navigazione	Direttiva alluvioni	INTERVENTI su MANUFATTI (tutele attive)
LINEA DI BATTIGIA - LINEA DI BATTIGIA				
Distanza dalla Linea di Battigia	1	Demanio marittimo	Tr20	"Ristrutturazione" - Dopo l'intervento l'opera deve risultare di facile sgombero e non interferire con l'equilibrio dinamico.
	2	Demanio marittimo	Tr100	
	3	Demanio marittimo		"Ampliamenti" - <i>Con riqualificazione dell'esistente:</i> Dopo l'intervento l'opera deve risultare di facile sgombero e non interferire con l'equilibrio dinamico; - <i>Senza riqualificazione dell'esistente:</i> l'opera deve essere a carattere stagionale.
	4	Fascia art.55	Tr20	
	5		Tr20	
	6	Fascia art.55	Tr100	"Nuovo" - l'opera deve essere a carattere stagionale
	7		Tr100	"Nuovo" "Ampliamenti" "Demolizione con ricostruzione" - non interferente con l'equilibrio dinamico
	8	Fascia art.55		Parere tecnico

N.B.1: Nelle more della completa attuazione della legge n.125/2015 precedentemente citata, le "tutele attive" sopra proposte si intendono attuabili sui tratti di litorale ove ci sia rispondenza tra la definizione dell'art.28 e il SID.

N.B.2 La fascia di rispetto dovrà essere coordinata con le fasce di inondazione fluviale previste dal PAI e dal PGRA nonché con le misure di salvaguardia individuate dal DPCM 29 settembre 1998

N.B.3: Facile sgombero: opere le cui strutture possono essere effettuate con montaggio di parti elementari che possono essere ricostruite altrove con semplice rimontaggio e senza che la rimozione stessa comporti la distruzione parziale o totale del manufatto

ESEMPIO: "Ampliamento" - Manufatto esistente ricadente sia all'interno del demanio marittimo sia del perimetro Tr20. Il proprietario/concessionario chiede di effettuare un ampliamento. Nel caso in cui non venga effettuata una riqualificazione di tutto il manufatto, l'ampliamento dovrà essere a carattere stagionale (l'ampliamento dovrà essere rimosso al termine della stagione turistico-balneare).

Tipologie di interventi:

- Ristrutturazione = si intende "ristrutturazione/riparazione che coinvolge più del 50% delle strutture portanti" o la "demolizione con ricostruzione" di manufatti esistenti (si intende la demolizione di un manufatto esistente e la ricostruzione della stessa volumetria sullo stesso sedime);
- Ampliamenti = ampliamenti di manufatti esistenti;
- Nuovo = costruzione di nuovi manufatti.

III.4.2. MISURE PER FAVORIRE LA GESTIONE DEI SEDIMENTI CHE ALIMENTANO LA FASCIA LITORANEA

Indicazioni possibili di integrazioni normative utili a favorire la gestione dei sedimenti e a migliorare l'alimentazione della fascia litoranea possono essere sintetizzate come di seguito:

- favorire il ripascimento naturale, la gestione e il ripascimento artificiale della fascia litoranea tenendo in considerazione che i sedimenti rappresentano una risorsa strategica e va quindi prevista una destinazione prioritaria/esclusiva per operazioni di alimentazione della fascia costiera;
- utilizzare i sedimenti provenienti dai corsi d'acqua afferenti a bacini idrografici o sub-bacini, per l'alimentazione della fascia litoranea (es.: priorità di finanziamento per interventi che utilizzano sedimenti provenienti dalle aste fluviali, invasi e opere idrauliche) anche con riferimento all'art. 114, comma 2 e all'art. 117, c. 2-quater del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. e ad eventuali norme regionali di settore inerenti la realizzazione delle opere di manutenzione straordinaria e ordinaria dei corsi d'acqua e dei grandi invasi;
- introdurre sistemi premianti che agevolino la "rimessa in circolo" nella dinamica costiera dei sedimenti provenienti da:
 - ambiti portuali (es.: gestione consortile della manutenzione ordinaria delle imboccature portuali, incentivando la corretta applicazione del DM 173/2016);
 - tratti costieri sovra-sedimentati;
 - scavi eseguiti per interventi in campo civile/edile lungo la fascia litoranea.
 - by pass di sedimenti

III.4.3. ULTERIORI INDICAZIONI PER AGGIORNAMENTI NORMATIVI RELATIVAMENTE AI DRAGAGGI DI SEDIMENTI DA DEPOSITI SOTTOMARINI E ALLA CONSEGNA DI AREE DEMANIALI PER INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA

Vengono indicate di seguito due proposte di adeguamento dell'attuale normativa nazionale che potrebbero risolvere alcune problematiche affrontate dalle Regioni nella gestione della fascia costiera:

- D.Lgs. 152/06 - Inserimento della tipologia di intervento "dragaggio dei sedimenti da depositi sottomarini" nella parte seconda (Allegati III o IV) del D.Lgs. 152/06 ai fini dell'utilizzo di sedimenti *offshore* per ripascimenti;
- Codice della Navigazione – In riferimento agli interventi di difesa della costa, l'interpretazione dell'art.34 del CdN (Destinazione di zone demaniali marittime ad altri usi pubblici) va letto in coerenza con quanto stabilito dal *D.lgs.* 112/98 nel combinato disposto dall'art 104, comma 1, lettera pp, e art.105. Ad oggi, in molte parti d'Italia, l'applicazione da parte delle Capitanerie di Porto del cosiddetto istituto di consegna delle aree demaniali marittime nei confronti delle Regioni quando devono realizzare interventi di difesa della costa, comporta inutili aggravii di tempi e conflitti di competenza. Nonostante qualche passo in avanti sia stato percorso con la Circolare 24/3/2011 del MIT, si ritiene opportuno un definitivo chiarimento normativo.

In riferimento alla prima proposta (D.Lgs. 152/06), si evidenziano lacune normative a livello nazionale sull'utilizzo dei depositi sommersi. Allo stato attuale tale tipologia può ricondursi:

- Allegato II “Progetti di competenza statale” al punto 12 “...- *Interventi per la difesa del mare: sfruttamento minerario piattaforma continentale*”;
- Allegato III “Progetti di competenza delle regioni e delle province autonome di Trento e di Bolzano” alla lettera “s) *Cave e torbiere con più di 500.000 m³/a di materiale estratto o di un'area interessata superiore a 20 ettari*”;
- Allegato IV “Progetti sottoposti alla Verifica di assoggettabilità di competenza delle regioni e delle province autonome di Trento e Bolzano” al punto 2 la lett. “h) *estrazione di sostanze minerali di miniera di cui all'art. 2, comma 2, del regio decreto 29 luglio 1927, n. 1443, mediante dragaggio marino e fluviale*”.

Tale dubbio di interpretazione per i depositi di sabbia *offshore* deve essere risolto in quanto le suddette specificazioni non si riferiscono specificatamente all'estrazione di sabbia *offshore*/relitta, determinando di fatto una lacuna normativa e apre a diverse interpretazioni.

Considerato che negli ultimi anni è cresciuto l'interesse per l'utilizzo di sabbie marine *offshore* per contrastare l'erosione costiera, considerato altresì che il dragaggio di sedimenti marini determina effetti anche permanenti sull'ambiente, come ad esempio quelli osservati sulla morfologia del fondo, è fondamentale inserire il dragaggio di sedimenti *offshore* per il ripascimento di litorali in erosione tra le opere necessarie di valutazione di impatto ambientale.

In questo specifico ambito, e in mancanza di specifici riferimenti normativi, la Regione Lazio ha deciso di assimilare i “depositi di sabbia relitta” a “cave e torbiere con più di 500.000 m³/a di materiale estratto o di un area interessata superiore a 20 ettari” così come previsto dalla lett. s dell'Allegato III del *D.lgs.* 152/2006 e ss.m.ii. e pertanto anche i depositi di sabbia relitta dovranno essere assoggettati alla procedura di valutazione di impatto ambientale di competenza regionale.

Su richiesta e in accordo con la Regione Lazio, ISPRA nell'ambito del progetto INTERCOAST (POR FESR Regione Lazio), ha sviluppato un percorso metodologico “sito specifico” relativo agli studi di impatto ambientale legati a dragaggi di sabbie *offshore*/relitte ripetuti nel tempo. Tale percorso è stato messo a punto per il sito pilota di Montalto Di Castro.

Anche altre regioni costiere impegnate in questo tipo di attività hanno, inoltre, palesato l'esigenza di disporre di uno strumento autorizzativo a lungo termine per lo sfruttamento di questi depositi che potrebbe nel contempo garantire una più esaustiva valutazione degli effetti ambientali.

IV. LINEE GUIDA

IV.1. INDICAZIONI PER LA VALUTAZIONE DEI FENOMENI EROSIIVI

IV.1.1. INTRODUZIONE

Come si può evincere dalle informazioni contenute nell'Allegato 1 le Regioni italiane, negli ultimi decenni, hanno sviluppato notevoli capacità di valutazione e gestione del fenomeno dell'erosione costiera che hanno permesso di elaborare un quadro di riferimento nazionale di notevole spessore. Tuttavia, al fine di progredire verso un sistema di analisi del fenomeno il più uniforme possibile a scala nazionale, che consenta di elaborare valutazioni solide dal punto di vista scientifico e di mantenere un costante aggiornamento, è opportuno che si stabiliscano alcuni requisiti di monitoraggio e di gestione dei dati che possano essere uniformemente adottati da tutte le Regioni italiane.

Il presente capitolo è stato elaborato tenendo conto della bibliografia sul tema, a cui si rimanda per approfondimenti specifici, partendo da alcuni principi di base utili per una corretta osservazione e interpretazione del fenomeno erosivo.

In generale, per quanto riguarda l'osservazione e l'interpretazione dei fenomeni, si può affermare che in funzione di un più efficace supporto ai processi decisionali relativamente a scelte di azioni e interventi di difesa e adattamento, in chiave di sostenibilità, è necessario **operare con una visione più possibile allargata e integrata dei sistemi costieri e delle forzanti in gioco.**

L'ambiente costiero è infatti, un ecosistema dinamico in cui processi naturali e di origine antropica si sommano e interagiscono modificandone le caratteristiche geomorfologiche, fisiche e biologiche e, in questo contesto, i litorali sabbiosi sono i territori maggiormente soggetti a queste evoluzioni e anche i più vulnerabili. La continua movimentazione dei sedimenti a opera del mare (correnti, maree, moto ondoso) sottopone i territori costieri a continui cambiamenti, riscontrabili anche nell'arco di una sola stagione, che si evidenziano con variazione della posizione della linea di riva e di superfici territoriali emerse e sommerse. L'azione del mare viene contrastata principalmente dall'apporto fluviale di materiale detritico, ridistribuito dalle correnti indotte dal moto ondoso a ripascimento naturale dei litorali. Per contro, tutti quegli interventi, come opere idrauliche e marittime, che costituiscono uno sbarramento al progressivo apporto di sedimenti alla foce dei fiumi e un ostacolo al loro flusso litoraneo, determinano un ammanco di sedimenti in ingresso e in distribuzione nel processo di alimentazione naturale dei litorali.

Un aspetto particolarmente importante quando si esaminano processi erosivi "cronici", ovvero quelli legati alle fluttuazioni delle forzanti che si sviluppano su **scale temporali lunghe** (trasporto solido, subsidenza, innalzamento del livello del mare), è che i fenomeni vanno analizzati in modo integrato con le varie dinamiche. Ad esempio, tassi elevati di subsidenza, o di innalzamento del livello del mare, determinano una richiesta elevata di apporto sedimentario dai fiumi, che, se non soddisfatta, innesca processi di arretramento irreversibili. Alle **scale temporali brevi**, invece, sono i processi meteo marini (venti, onde e correnti) a giocare un ruolo determinante nell'equilibrio delle coste.

Nella valutazione dei fenomeni erosivi, pertanto, tutti questi fattori devono essere conosciuti e opportunamente monitorati.

Va inoltre sottolineato che anche le finalità per le quali le Regioni devono effettuare una valutazione del fenomeno erosivo possono essere diverse e richiedere quindi scale di osservazione e metodologie di analisi diverse a seconda dell'ambito di riferimento, ovvero:

1. in ambito di **pianificazione territoriale a scala regionale**: è necessario predisporre un quadro conoscitivo che inquadri il fenomeno nella sua complessità, dimensione areale e temporale, individuazione delle aree a rischio e dei fattori predisponenti/incidenti (subsidenza, trasporto solido, ecc.), determinazione della interferenza del fenomeno con altri processi (per esempio perdita di habitat) a scala di Unità Fisiografica costiera.
2. in ambito di **pianificazione degli interventi e di progettazione a scala locale**: serve un monitoraggio di dettaglio, valutazione del bilancio entrate/perdite alla scala delle Unità gestionali costiere.

Attraverso queste Linee Guida si vuole offrire un'indicazione metodologica su come impostare un quadro conoscitivo e su come gestire le attività di monitoraggio costiero (la raccolta e l'analisi dei dati), con particolare riferimento a:

- Conoscenza di base e classificazione dei tratti costieri, al fine di individuare i punti critici
- Conoscenza delle forzanti che influiscono sul fenomeno dell'erosione costiera
- Conoscenza storica dei fenomeni
- Monitoraggio del fenomeno erosivo
- Gestione dei dati

Nei paragrafi successivi vengono evidenziati i parametri principali e i relativi metodi di misura, e si offrono alcune informazioni generali per la definizione di alcuni indicatori chiave per il monitoraggio del fenomeno erosivo. A qualunque scala venga effettuata la valutazione dei processi evolutivi in aree costiere, tuttavia, le attività di osservazione e analisi vanno supportate da una fase di ricognizione di dati storici e descrittivi del contesto territoriale, ambientale, socioeconomico e di gestione, come indicato nel seguente schema di sintesi.

SCHEMA CONOSCITIVO DI BASE PER LE AREE COSTIERE		
Sistemi	Elementi da valutare	Dati di supporto
Uso del suolo, delle aree marine prospicienti la riva ed evoluzione a scala decennale	<ul style="list-style-type: none"> - Urbanizzazione - Infrastrutture marittime e terrestri - Insediamenti produttivi e industriali - Impianti tecnologici - Aree sede di servizi pubblici e privati - Aree libere 	<ul style="list-style-type: none"> - Corinne LandCover - Dati catastali - Dati demanio marittimo - Immagini satellitari o foto aeree, storiche e attuali e rilievi lidar
Attività socio-economiche terrestri e marittime	<ul style="list-style-type: none"> - Densità di popolazione - Tipo e incidenza delle attività degli insediamenti produttivi e industriali - Tipo traffico marittimo e entità dei flussi - Strutture turistico ricreative e flussi turistici - Concessioni demaniali 	<ul style="list-style-type: none"> - Dati ISTAT, MISE, MIT - Dati confederazioni di settore
Patrimonio ambientale e i beni culturali	<ul style="list-style-type: none"> - Localizzazione e estensione - Aree di tutela - Vincoli 	<ul style="list-style-type: none"> - Dati MATTM, MIBAC - Mappe tematiche di delimitazione
Strumenti di pianificazione e tutela vigenti	<ul style="list-style-type: none"> - Norme di gestione e tutela, Vincoli - Ente preposto alla pianificazione, alla gestione e attuazione 	<ul style="list-style-type: none"> - Piani di gestione: PAI, PTC, PGRA, PUA, etc.

IV.1.2. DEFINIZIONE DEGLI AMBITI COSTIERI

Ai fini dell'analisi della dinamica litoranea e della valutazione di azioni di adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici, viene introdotta una organizzazione degli ambiti costieri secondo una gerarchizzazione a cui associare il livello di attenzione per gli studi dei fenomeni idrodinamici e per la progettazione di interventi anche in relazione al loro reciproco grado di interferenza.

Essi sono da ritenersi ambiti nazionali di riferimento e vengono definiti unità fisiografiche costiere, distinguendosi in tre ordini gerarchici: le unità fisiografiche costiere principali, secondarie e gestionali, ovvero rispettivamente ambito costiero di 1° ordine, di 2° ordine e di 3° ordine. Con la definizione di unità fisiografica costiera principale si vuole conservare un riferimento "all'ambito costiero naturale" in quanto ambito originario; questa differisce rispetto a quella secondaria solo per la presenza di "limiti artificiali importanti".

La logica di questa gerarchizzazione degli ambiti costieri è basata sul concetto che piccole opere o fenomeni locali possono avere influenza ad una scala di unità gestionale costiera, mentre grandi opere e importanti fenomeni idrodinamici possono avere influenza a scala di unità fisiografica costiera principale o secondaria. Pertanto, mentre le unità fisiografiche costiere principale e secondaria sono ambiti dedicati prevalentemente alla pianificazione per la difesa della costa, le unità costiere gestionali sono ambiti minimi in cui si effettuano studi specifici per la progettazione di interventi di difesa della costa, di opere marittime o di attività di gestione dei sedimenti che possono determinare interferenze nella dinamica costiera limitatamente a tale ambito.

Sono previste ulteriori suddivisioni delle unità costiere gestionali o sub-unità gestionali che vengono definite e denominate dalle Regioni (ovvero ambiti costieri di 4° ordine) in base alle proprie esigenze di studi, monitoraggi, manutenzioni e attività di gestione ordinaria della costa. L'insieme delle attività ordinarie operate su questi ambiti costituiscono l'attuazione della programmazione gestionale regionale e del governo regionale della costa a scala di unità fisiografica costiera.

Nella tabella sottostante sono sintetizzate le definizioni elencate in questo paragrafo associate ad altre definizioni in gran parte equivalenti e a elementi, parametri e ambiti di riferimento.

Unità fisiografica costiera	Gerarchia degli ambiti costieri	Definizioni equivalenti	Elementi di delimitazione	Tempi di ritorno per la profondità di chiusura	Ambito di riferimento
Principale	1° ordine	UF principale	Elementi naturali	TR 100 anni	Pianificazione stralcio di bacino
Secondaria	2° ordine	Macro-cella	Elementi naturali e grandi porti	TR 50 anni	Pianificazione stralcio di bacino, progettazione grandi porti
Unità Gestionale	3° ordine	Cella, Macrocella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singolari	TR 10 anni	Interventi di difesa della costa, progettazione di porti di medie e piccole dimensioni e di opere marittime, attività di gestione dei sedimenti
sub-unità gestionale	4° ordine	Micro-cella, Cella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singolari, limiti gestionali	TR 2-5 anni	Statistiche, manutenzioni ordinarie, gestione ordinaria e stagionale

Unità Fisiografica Costiera Principale (UFCP)

Esteso tratto di costa, sotteso a uno o più bacini idrografici, nei quali i sedimenti subiscono movimenti lungo costa sostanzialmente confinati all'interno dei due limiti estremi, costituiti da elementi morfologici

naturali (promontori, ecc.), attraverso i quali gli scambi siano da considerarsi scarsamente significativi anche per eventi con lunghi tempi di ritorno. E' compresa anche la spiaggia emersa dalla linea di riva fino all'apparato dunale ove presente, o fino alle prime strutture antropiche rigide continue, e la spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso. Tale tratto di costa viene considerato settore territoriale di riferimento per la pianificazione di bacino sulla difesa delle coste. L'unità fisiografica principale può essere costituita da una o più unità fisiografiche secondarie. L'unità fisiografica principale può avere estensione interprovinciale o interregionale, in tal caso tutte le pianificazioni previste devono essere armoniche e condivise.

Unità Fisiografica Costiera Secondaria (UFCS)

Tratto di costa, sotteso a uno o più bacini idrografici, identificabile in base a specificità morfologiche, idrografiche ed infrastrutturali, che lo contraddistinguono rispetto ai tratti contigui. I limiti possono essere costituiti, oltre che da elementi morfologici naturali, anche da opere marittime di grandi dimensioni che interrompono gran parte del trasporto solido litoraneo (grandi porti, ecc. con opere aggettanti oltre la profondità di chiusura di riferimento). Questi tratti di costa sono contraddistinti da un bilancio sedimentario proprio, naturale o condizionato da opere antropiche, anche rispetto ad eventi con tempi di ritorno medi. E' compresa anche la spiaggia emersa dalla linea di riva fino all'apparato dunale, ove presente, o fino alle prime strutture antropiche rigide continue, e la spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso. Tale tratto viene considerato, nel caso di una sua grande estensione, settore territoriale di riferimento minimo per la pianificazione di bacino sulla difesa delle coste o per l'analisi a media scala della dinamica sedimentaria litoranea in caso di progettazione di grandi opere marittime. L'unità fisiografica secondaria è costituita da una o più unità gestionali costiere. L'unità fisiografica secondaria può avere estensione intercomunale o interprovinciale, in tal caso tutte le pianificazioni e azioni previste devono essere armoniche e condivise.

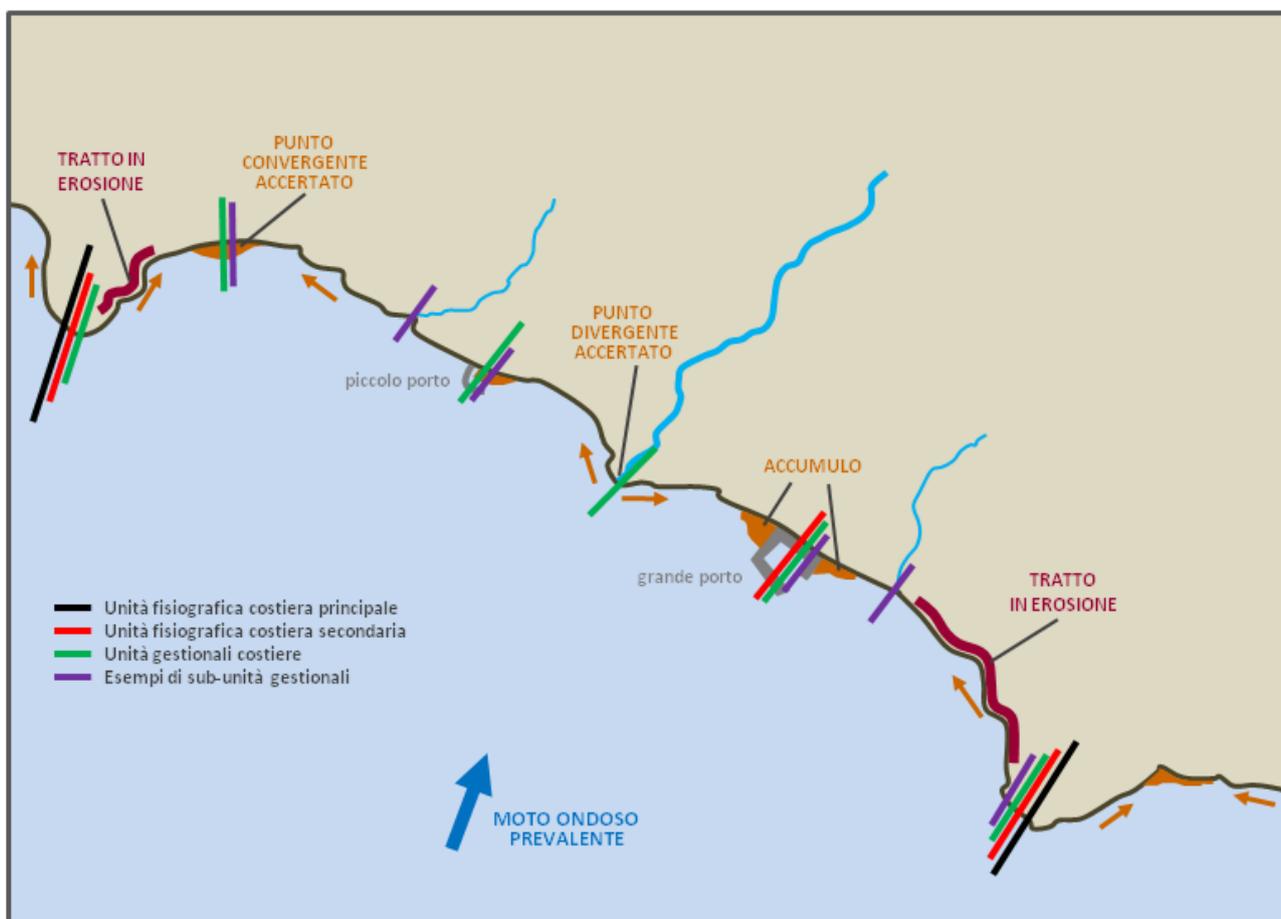
Unità gestionali costiere (UGC)

Tratti di costa identificabili in base a specifiche caratteristiche geomorfologiche, sedimentologiche e idrodinamiche i cui limiti possono essere costituiti, oltre che da opere marittime interferenti di medie dimensioni o da elementi morfologici naturali, anche da punti singolari di trasporto solido che risultino accertati e fissi (punti di convergenza, punti di divergenza, punti di perdita dei sedimenti come fosse e canyon sommersi)³⁴. Questo tratto di costa è caratterizzato da un bilancio sedimentario proprio anche per eventi con "tempi di ritorno brevi" e rappresenta l'unità territoriale di riferimento minima per l'analisi della dinamica sedimentaria litoranea. E' compresa anche la spiaggia emersa dalla battigia fino all'apparato dunale, ove presente, o fino alle prime strutture antropiche rigide continue che hanno sostituito il sistema dunale, e la spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso. In relazione agli effetti manifestati o attesi della dinamica sedimentaria costiera, le programmazioni delle azioni previste devono essere armoniche e condivise tra tutti gli Enti territoriali ricadenti nell'unità gestionale costiera.

Le unità gestionali costiere possono essere suddivise in ulteriori unità gestionali (sub-unità gestionali) ai fini del monitoraggio locale dello stato dei litorali, dei fenomeni erosivi, dei tratti critici e degli accumuli di sedimenti.

³⁴ L'identificazione delle Unità gestionali può essere eseguita utilizzando una o più metodologie tra le seguenti:

- Analisi morfologica sugli accumuli su strutture aggettanti, su deviazioni di foci fluviali, ecc.
- Analisi del trasporto litoraneo dei sedimenti, attraverso modellistica numerica, che tenga conto delle modalità di incisione sulla costa del moto ondoso prevalente, attraverso osservazioni sperimentali in sito mediante l'utilizzo di appropriati traccianti.
- Analisi sedimentologica relativamente ai parametri tessiturali
- Analisi petrografica e mineralogica relativamente all'origine dei sedimenti.



Schema esemplificativo della proposta di suddivisione degli ambiti costieri (le delimitazioni dei vari ambiti costieri che ricadono su un unico punto sono state disegnate adiacenti tra loro per opportunità grafica, in realtà dovrebbero essere sovrapposte)

Apparato dunale

Elemento morfologico delimitato dalla spiaggia emersa che si sviluppa verso l'entroterra a partire dal piede esterno della duna. L'apparato dunale è costituito da rilievi sabbiosi accumulati dal vento a formare cordoni disposti anche in più fasce e distribuiti parallelamente alla linea di riva, e può essere caratterizzato dalla presenza di vegetazione.

Spiaggia emersa

Fascia di litorale costituita da depositi incoerenti, attuali e recenti, delimitata verso il mare dalla linea di riva (isoipsa tracciata in corrispondenza del livello medio del mare) e verso terra dall'apparato dunale o dagli affioramenti della costa rocciosa o di depositi ghiaiosi alluvionali.

Spiaggia sommersa

Fascia di litorale costituita da depositi terrigeni incoerenti, delimitata verso il mare dalla profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso e verso terra dalla linea di riva. La spiaggia sommersa rappresenta la fascia di litorale lungo la quale avvengono normalmente i fenomeni connessi con la dinamica costiera: l'erosione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti ad opera del moto ondoso.

Profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso³⁵

Profondità limite della spiaggia sommersa rispetto al livello medio del mare alla quale il trasporto solido originato dal moto ondoso è nullo. Si distinguono profondità di influenza riferite al moto ondoso con tempo di ritorno lungo (TR 100 anni), con tempo di ritorno medio (TR 50 anni) e con tempo di ritorno breve (TR 10 anni). Può essere determinata con un'analisi statistica del moto ondoso e con ipotesi fisiche sul trasporto solido.

Tempi di ritorno di riferimento (TR 10 - 50 - 100 anni)

Il tempo di ritorno di riferimento rappresenta indicativamente la frequenza di accadimento di un evento meteo-marino di determinata intensità. Nello specifico viene definito “tempo di ritorno lungo” quello pari a 100 anni (generalmente utilizzato per la progettazione dei porti); “tempo di ritorno medio” quello pari a 50 anni, “tempo di ritorno breve” quello pari a 10 anni.

Analisi specifiche sui tempi di ritorno di riferimento, effettuate tenendo conto degli effetti dei cambiamenti climatici, potrebbero condurre a valori di intensità maggiori dei fenomeni meteo-marini.

Adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici a scala di unità fisiografica costiera

L'adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici può essere definito come “l'adattarsi a contesti, condizioni o ambienti generati dai cambiamenti climatici” per ridurre gli effetti dannosi.

Il processo di adattamento avviene attraverso l'attivazione di una serie di azioni che favoriscono il raggiungimento degli obiettivi prefissati o il mantenimento di uno stato prefissato, come desunto dalla “Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici” del MATTM.

Per una più efficace risposta agli effetti sulle aree costiere, le azioni sono attivate a scala minima di unità gestionale costiera (UGC) o unità fisiografica secondaria (UFCS).

Tra le azioni principali da attivare si riportano:

- La diffusione della conoscenza degli impatti e della consapevolezza sulle conseguenze
- La condivisione e concertazione delle azioni
- La ricerca per approdare ad azioni resilienti, flessibili, reversibili, a basso rapporto costi/benefici, integrate
- L'adattamento che può essere incrementale, trasformazionale, preventivo, pianificato
- La mitigazione complementare all'adattamento
- La precauzione di fronte alle incertezze scientifiche
- La integrazione delle azioni per l'adattamento nelle politiche esistenti
- L'adozione di misure che utilizzano processi naturali con effetti positivi sull'ambiente e sui servizi degli ecosistemi.

³⁵ Per la definizione della profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso si può fare riferimento alla formula proposta da Hallermeier (1981): $d_c = 2,28 H_{12} - 68,5 (H_{12}^2/gT_p^2)$, dove H_{12} rappresenta l'altezza d'onda significativa (H_{m0}) stimata a largo e superata non più di 12 ore l'anno (anno tipico, possibilmente non inferiore ai 10 anni) e T_p l'associato periodo di picco. Hallermeier R. J., “A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate”, Coastal Engineering, Vol. 4, 1981, pp. 253-277.

IV.1.3. CONOSCENZA E MONITORAGGIO DELLE FORZANTI CHE CONTRIBUISCONO AL FENOMENO DELL'EROSIONE COSTIERA

Come sottolineato in premessa, accanto al monitoraggio dell'assetto e della dinamica litorale è indispensabile approfondire la conoscenza delle altre forzanti e, in particolare di:

- clima meteo-marino
- trasporto solido fluviale e litoraneo
- subsidenza

IV.1.3.1 Dinamica meteo marina

Il monitoraggio sistematico delle forzanti idrodinamiche in ambito marino (venti, onde, maree e correnti) è funzionale non solo alla difesa costiera, ma anche ad altri settori quali navigazione, pesca, sicurezza ambientale, turismo, energia rinnovabile, solo per fare alcuni esempi.

I fattori meteo marini (o idrodinamici) sono:

- **Venti:** che oltre a generare le onde trasferendo alla superficie del mare parte della propria energia, sono artefici della movimentazione di ingenti volumi di sedimento sulla spiaggia emersa e sulla duna.
- **Onde al largo e sotto costa:** che rappresentano le forzanti più significative per il fattore erosione costiera. Esse determinano infatti un grande trasferimento di energia sotto costa che si traduce in movimentazione di sedimento.
- **Correnti long-shore e cross-shore generate dal moto ondoso:** che contribuiscono alla movimentazione del sedimento di fondo e in sospensione.
- **Maree:** che determinano variazioni che incidono sulla dinamica idro-sedimentaria.

Per ciascun fattore sono diversi i parametri da monitorare e da elaborare, secondo metodi e standard riconosciuti dalle organizzazioni internazionali (OMM-Organizzazione Mondiale per la Meteorologia, IOC-Intergovernmental Oceanographic Commission, etc.).

SISTEMI OSSERVATIVI FISSI		
Fattori	Parametri	Sensori attualmente in uso
correnti	Velocità , direzione, pressione	Stazioni correntometri
	Velocità , direzione	ADCP
	Velocità , direzione	Traccianti
onde	Altezza H, periodo T, direzione D	Boa ondometrica
	Altezza H, periodo T	Ondametri non direzionali
	Altezza H, periodo T, direzione D	Radar
maree	Livello del mare	Mareografo - idrometro
	Pressione atmosferica	Barometro
	Temperature di aria e acqua	Termometro

Per il rilievo dei fattori meteo-marini si impiegano anche sistemi radar e satellitari.

La raccolta di dati osservativi deve essere integrata con opportuna modellistica meteo marina, necessaria ad elaborare previsioni dello stato del mare, previsione per i sistemi di allertamento e per la re-analisi di eventi accaduti.

In particolare la raccolta di dati storici necessari per le analisi e le progettazioni dovrà essere basata su dati di rianalisi della modellistica meteo marina, forniti da enti pubblici italiani o internazionali (ECMWF, NOAA, Servizio Meteo Nazionale, ISPRA) o da società private, integrati e verificati con tutti i dati osservativi disponibili: ondometri, radar basati a terra, satelliti, etc.

Tale modellistica dovrebbe essere accoppiata a quella morfodinamica al fine di elaborare l'evoluzione temporale del profilo di spiaggia e l'analisi dei rischi in corso di evento.

Per la modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere potrà essere utile riferirsi, dove applicabile, al documento ISPRA: la modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere³⁶.

Condizione ottimale per poter descrivere al meglio il clima meteo-marino, gli scenari e i trend evolutivi in una determinata area, è la disponibilità di monitoraggi continui e prolungati nel tempo con reti a diverse scale di osservazione (bacino e locale), in grado di fornire set di dati utili ad elaborare analisi e statistiche su livelli estremi di acque alte, innalzamento del livello del mare e altre manifestazioni del cambiamento climatico, elementi del quadro conoscitivo per la pianificazione e programmazione territoriale.

Nel sottolineare l'importanza della conoscenza dei dati meteo-marini, si vuole dunque evidenziare la necessità di dotarsi da parte degli Enti competenti, ove non già presenti, di reti ondometriche e correntometriche, i cui dati sono fondamentali per una corretta progettazione e gestione delle opere di difesa costiera.

IV.1.3.2. Trasporto solido fluviale

I sistemi fluviali rappresentano la rete naturale principale attraverso la quale avviene il trasferimento dei sedimenti dalle zone di produzione sui versanti alle zone di deposito come le pianure alluvionali e, soprattutto, i litorali. La quantità di sedimenti sabbiosi che viene rilasciata dalla foce di un fiume è il risultato di complessi fenomeni idrologici ed idraulici che continuamente interagiscono con la dinamica geomorfologica del bacino di appartenenza ma che sono influenzati anche dalle varie attività antropiche dirette o indirette.

La comprensione di tali fenomeni è requisito essenziale per qualunque attività di gestione dei litorali, e può essere perseguito solo attraverso un'adeguata conoscenza della quantità (e qualità) e della distribuzione nello spazio e nel tempo degli apporti sedimentari dei corsi d'acqua. A tale scopo è necessario disporre di un **quadro conoscitivo del sistema** (bacino idrografico) e di **strumenti di analisi e valutazione**, diretta e indiretta, del trasporto solido fluviale.

³⁶ <https://www.certifico.com/component/attachments/download/7399>

SCHEMA CONOSCITIVO DI BASE		
Informazione	Dati necessari	Valutazioni
evoluzione dell'uso del suolo e della copertura vegetata a scala decennale	immagini satellitari o foto aeree	dinamica evolutiva delle aree di potenziale erosione, su base GIS
inquadramento morfologico e morfodinamico degli alvei	foto aeree storiche e attuali e rilievi lidar	evoluzione dell'alveo e delle morfologie; definizione dei tratti di erosione e accumulo
variazioni del profilo dei corsi d'acqua principali	rilievi topografici, anche con tecnica lidar, ripetuti nel tempo	evoluzione delle quote, pendenze, ecc.
inquadramento sedimentologico dei materiali d'alveo	raccolta dati pregressi e campionamenti	evoluzione caratteristiche granulometriche e sedimentologiche
Inquadramento climatico	Regime delle piogge e delle precipitazioni nevose	Definizione di trend
Inquadramento idrologico	Rilievi idrometrici e modelli	Caratterizzazione idraulica del corso d'acqua
Banche dati dei suoli, banche dati geologiche e banche dati derivate	Parametri erodibilità	Quantificazione o stima qualitativa erodibilità areale e connettività al reticolo principale
Banche dati della aree in dissesto da frana	Estensione delle aree in frana, tipologia di movimento	Stima dei volumi di sedimento derivate da sorgenti localizzate

Ai fini del monitoraggio è importante ricordare che il trasporto solido di un corso d'acqua consiste di tre componenti fondamentali:

1. Il **“wash load”** che comprende tutti quei sedimenti fini, provenienti dal dilavamento dei versanti e dal ruscellamento superficiale (limi, argille e modeste frazioni di sabbia fine e finissima), trasportati in sospensione fino al livello di base.
2. il **trasporto solido in sospensione**, materiale fine del letto (generalmente sabbia fine e media) risospeso in condizioni di portata superiore alla portata critica per quelle granulometrie.
3. Il **trasporto solido al fondo**, ovvero i sedimenti più grossolani che si spostano mantenendo un contatto continuo con il fondo oppure attraverso sporadici ed intermittenti salti di breve durata e distanza.

Il trasporto solido al fondo è generalmente il principale parametro da considerare per la stima del trasporto solido utile al ripascimento naturale dei litorali. Tuttavia va considerato che nei casi di regime torrentizio, in cui le velocità sono elevate, come per esempio in Calabria o nella costa orientale della Sardegna, i torrenti sono in grado di portare sabbie e ghiaie fino al mare nel corso di un unico evento di piena.

MISURE DIRETTE DI PORTATE E TRASPORTO SOLIDO AL FONDO		
Informazioni necessarie	Strumenti di misura	Valutazioni
misure di taratura delle portate liquide alle sezioni di monitoraggio (da eseguire durante la piena nei corsi d'acqua principali)	correntometri standard o in associazione ai profilatori Doppler (ADCP)	Ricostruzione del profilo di corrente e della sua evoluzione nel tempo
livello idrometrico	asta idrometrica	Ricostruzione del livello e della sua evoluzione in corso di evento
misura delle portate in sospensione	Campionatori, tipo quelli a bottiglia	Determinazione del volume in sospensione a mare e della sua variabilità nel corso di evento

misura delle portate solide al fondo	campionatori , quali a titolo di esempio, il sistema Helly-Smith (H-S) standard; trappole sedimentarie	Determinazione del volume di materiale grossolano alla foce
--------------------------------------	---	---

L'alternativa per la valutazione del trasporto solido, spesso difficile da monitorare, è rappresentata dall'uso di modelli idraulici che tengono conto di vari fattori tra i quali lo sforzo di taglio, la potenza della corrente, la portata, la pendenza, le caratteristiche geometriche della sezione considerata e la granulometria dell'alveo³⁷. Naturalmente i modelli idraulici, per fornire numeri attendibili, necessitano di una conoscenza delle condizioni geoidrologiche dei bacini e di una taratura locale.

IV.1.3.3. Trasporto solido litoraneo

L'identificazione della direzione del trasporto solido prevalente, e possibilmente la quantificazione dei volumi in transito nei due sensi e del valore risultante (netto) costituiscono un elemento fondamentale per l'interpretazione dei fenomeni di accumulo e di erosione e per la valutazione dell'interferenza delle strutture portuali con la dinamica costiera, dell'efficacia e dell'impatto delle opere di difesa, e della durabilità degli interventi di ripascimento artificiale.

Informazioni sulla direzione risultante possono essere ottenute con l'**analisi morfologica del litorale**, identificando accumuli sedimentari ad un lato di strutture aggettanti (che viene quindi interpretato come "sopraflutto", erosione dal lato opposto "sottoflutto") ma anche con l'analisi del profilo della spiaggia emersa, con pendenza maggiore sopraflutto che non sottoflutto. Anche la quota della berma sui due lati può indicare il senso del trasporto litoraneo.

Una particolare attenzione deve essere posta in quest'analisi, dato che strutture non perfettamente perpendicolari a riva possono indurre insabbiamenti opposti per i fenomeni di diffrazione all'apice dell'opera e di riflessione sui suoi lati.

Strutture che si spingono oltre la profondità di chiusura possono consentire anche una stima del volume intrappolato nel tempo e quindi del trasporto medio annuo.

Punti di convergenza e di divergenza possono essere identificati anche attraverso l'analisi dei tassi storici di spostamento della linea di riva.

L'identificazione del senso del trasporto litoraneo, ed anche delle zone di alimentazione (foci fluviali e falesie facilmente erodibili), può essere anche fatta con **indagini mineralogiche e petrografiche**, confrontando la composizione di sedimenti prelevati lungo costa e nell'asta terminale dei corsi d'acqua. I metodi di analisi e di confronto sono abbondantemente descritti in letteratura e la gran parte dei litorali italiani è stata oggetto di questa tipologia d'indagine. Gli studi più antichi sono particolarmente importanti, perché in molti casi sono stati effettuati prima che il ripascimento artificiale dei litorali con sedimenti non autoctoni modificasse la mineralogia e la petrografia delle spiagge italiane.

Un altro sistema utilizzato si basa sull'**analisi granulometrica dei sedimenti** (tessitura) e fa riferimento a modelli di erosione – trasporto – sedimentazione che prevedono come Media (Mz), Classazione (σ_i) ed Asimmetria (Sk_i) dei sedimenti si modifichino lungo la direzione di trasporto in modo differenziale in funzione delle diverse condizioni di energia del moto ondoso. Il confronto fra i risultati di questi modelli e quelli ottenuti con la modellistica fisica ne conferma la validità. Anche in questo caso i recenti ripascimenti

³⁷ Gomez e Church (1989) Inserire citazione

artificiali potrebbero aver modificato le caratteristiche granulometriche dei sedimenti e da un lato vanificare l'attendibilità dello studio, ma potrebbero anche aiutare le indagini tramite l'analisi della loro dispersione lungo costa.

E' certamente la modellistica numerica che consente la più affidabile identificazione delle direzioni del trasporto litoraneo e la quantificazione dei volumi che annualmente (ma anche in occasione di singoli eventi meteo marini) si muovono lungo la costa. E' evidente che quest'analisi si deve basare su dati meteo marini affidabili, su rilievi batimetrici attuali e su dati granulometrici relativi a tutto il fondale analizzato. La modellistica numerica consente inoltre di valutare l'efficacia e l'impatto delle opere nelle diverse configurazioni proposte e di analizzare interventi di mitigazione di eventuali impatti negativi. Permetterà inoltre di stimare il tempo di vita dei ripascimenti artificiali e l'areale di distribuzione dei sedimenti immessi nella cella sedimentaria.

I più recenti progressi nel campo della **modellistica della circolazione e del trasporto solido litoraneo** permettono di delineare un quadro di conoscenze e di metodi molto più robusto che in passato. Questi includono:

1. Le **conoscenza di dettaglio del clima meteo-marino**, tramite la combinazione delle tradizionali misure *in situ* (boe e ondometri) e di avanzati modelli numerici di ricostruzione del moto ondoso. I modelli meteo-marini, calibrati e validati sulle misure, e forzati da ricostruzioni dei campi meteorologici ottenuti tramite analisi e rianalisi di dati globali e successivi downscaling di dettaglio, si rivelano estremamente affidabili (con correlazioni superiori al 90%), e permettono di valutare sia le caratteristiche dei singoli eventi meteo-marini (estremi e non solo), sia di ricostruire il clima meteo-marino per un periodo di tempo sufficientemente lungo (30-50 anni) in modo da valutare anche segnali di cambiamento climatico. È importante considerare che la climatologia tradizionale, basata sulla valutazione di pochi parametri mediati (quali Hs, Tp, direzione media, ecc.) va ormai superata in funzione di una più approfondita climatologia spettrale ottenuta con tecniche quali PCA (Principal Component Analysis), e permette di analizzare gli effetti di stati di mare complessi (stati di mare incrociato, onde a cresta corta, ecc.).
2. La **modellazione avanzata del complesso dei fenomeni idrodinamici e morfodinamici** avviene tramite modelli accoppiati di moto ondoso, idrodinamica litoranea, trasporto solido ed evoluzione dei fondali. Tale modellazione tiene conto dell'effetto delle modulazioni dei singoli gruppi d'onda e non più attraverso rappresentazioni semplificate (quali onde regolari energeticamente equivalenti). Inoltre tale modellazione è normalmente tridimensionale, permette di valutare l'impatto degli eventi meteo-marini sia sul profilo di spiaggia emersa che sommersa, l'evoluzione delle forme di fondo e gli eventuali fenomeni di alluvionamento causati dal set-up e dal *run up* d'onda. Un limite di questo approccio è dato dalle notevoli necessità computazionali che esso richiede e che, nonostante il notevole progresso dei calcolatori, esso è ancora confinato alla valutazione di eventi o, al massimo, di poche stagioni, e difficilmente può essere esteso a scale temporali più ampie (quali quelle di interesse climatologico) anche per la difficoltà di disporre di dati di monitoraggio frequenti per la calibrazione dei modelli (in alcuni casi pre e post-mareggiata, o almeno con frequenza stagionale).
3. La **modellazione di evoluzione della linea di riva** a scala da stagionale a climatologica avviene ancora tramite tradizionali modelli del bilancio di sedimenti. Tuttavia, rispetto al passato, le metodologie di riduzione dell'incertezza usate in molti campi della modellistica ambientale, che prevedono anche l'applicazione di tecniche di assimilazione dei dati, può migliorare sostanzialmente la qualità di questi modelli e renderli molto più affidabili come strumenti finalizzati a migliorare la gestione dei litorali e la programmazione degli interventi. In questo caso è importante disporre di dati di monitoraggio della linea di riva e di transetti sufficientemente frequenti nel tempo, per ridurre gli errori inevitabilmente

presenti nel modello. Inoltre questi modelli possono trarre un grande beneficio da studi relativi all'impatto delle onde sulla costa, comprese le interazioni tra moto ondoso e strutture (e quindi in presenza di riflessione e diffrazione). Infatti questi fenomeni alterano sensibilmente il trasporto solido litoraneo a scala locale. La valutazione di questi effetti può essere effettuata a parte tramite modelli avanzati.

Il quadro sopra indicato richiede il superamento della visione sostanzialmente “offline” della modellistica idrodinamica e di trasporto solido, effettuata attraverso studi di limitata estensione spaziale e temporale e finalizzati al progetto delle singole opere, per arrivare a un insieme di procedure con cui intraprendere un'attività di morfodinamica operativa. In altre parole è ormai possibile stimare l'impatto delle singole mareggiate in tempo reale, studiarne di volta in volta gli effetti e confrontare le modifiche stimate dai modelli con quelle realmente avvenute. Questo porta nel tempo a migliorare il quadro delle conoscenze di un dato litorale, sia a scala locale che a scala di unità fisiografica, e di realizzare modelli sempre più affidabili ed efficienti.

IV.1.3.4. Subsidenza

La subsidenza rappresenta un elemento di forte criticità per le piane costiere, soprattutto dove le quote sono prossime o sotto il livello del mare e dove i sistemi dei cordoni litorali si presentano frammentati. E' un fenomeno naturale che può essere accentuato in modo importante dall'azione antropica (es. emungimenti di fluidi dal sottosuolo) con aumenti marcati dei tassi a scala locale e su area vasta. Le criticità sono particolarmente accentuate laddove i tassi di subsidenza non vengono compensati dall'apporto di sedimenti della rete idrografica e del trasporto lungo costa.

Il monitoraggio del fenomeno deve essere pertanto sviluppato a partire da un quadro conoscitivo approfondito e mirato a discriminare le singole componenti: quelle geologiche (naturali) e quelle antropiche.

SCHEMA CONOSCITIVO E DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA

Informazione	Dati necessari	Valutazioni
caratterizzazione geologica e geomorfologica della piana costiera	Bibliografia e cartografia geologica	Quantificazione delle componenti tettoniche e di quelle per compattazione dei depositi quaternari e olocenici. Creazione del quadro di riferimento per la progettazione della rete di monitoraggio
Ricerca dati storici di monitoraggio della subsidenza	Livellazioni o altro	Ricostruzione del trend evolutivo del fenomeno
creazione di una rete di monitoraggio 'integrata': tassi di velocità di abbassamento del suolo e singole componenti	Rilievi satellitari InSar: offrono una panoramica areale del fenomeno e permettono di monitorare serie temporali che ormai superano i 20 anni. Stazioni GPS: forniscono una lettura in continuo delle tre componenti di spostamento (x,y, z) del punto in cui si trova la stazione ricevente. Le livellazioni, come alternativa alle precedenti, ove siano disponibili serie storiche temporali importanti e che si ritiene utile proseguire.	monitoraggio superficiale
	Assestimetri ancorati a profondità variabili in relazione all'intervallo stratigrafico di cui si vuole indagare la compattazione. Campionamento indisturbato e analisi di laboratorio per la valutazione dei parametri di porosità e di consolidazione. Indagini geotecniche in situ.	monitoraggio profondo e acquisizione dati geotecnici, finalizzati soprattutto a quantificare il grado di compattazione della successione stratigrafica e a valutare la potenziale compressibilità residua

IV.1.4. MONITORAGGIO DEL FENOMENO EROSIIVO ALLA SCALA DELLE UNITÀ FISOGRAFICHE E SUL LUNGO PERIODO

IV.1.4.1. Coste basse

La spiaggia si estende dal piede della duna, o dalla base di manufatti, fino alla profondità di chiusura e qui avvengono continui scambi sedimentari *onshore* e *offshore*. E' per questo che lo stato di salute di un litorale deve essere valutato in base alle variazioni di volume complessivo di questo corpo sedimentario più che su continui, e spesso opposti, spostamenti della linea di riva. Anche la duna in realtà fa parte di questo ambito e, in particolare nelle zone in erosione, il suo volume deve essere oggetto di un attento monitoraggio.

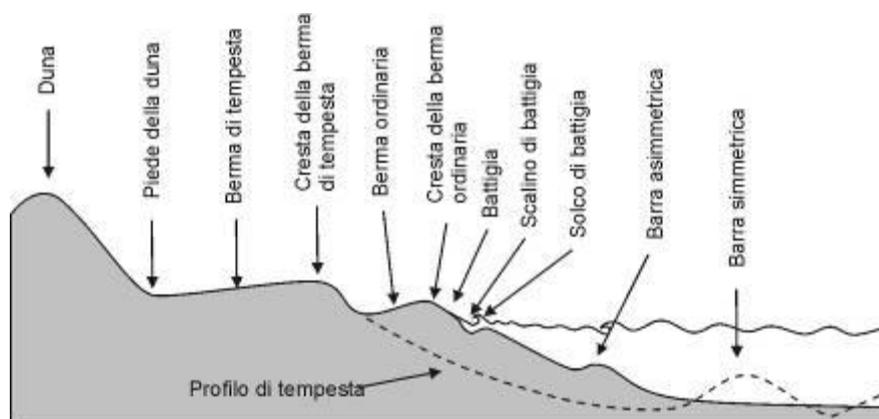


Figura IV.1.4.1.1 - Sezione tipo di una spiaggia³⁸

Erosione o progradazione di un litorale non sono altro che sinonimi di “bilancio sedimentario negativo o positivo”. Per questo motivo a monte di un monitoraggio della dinamica litoranea è opportuno che sia sviluppata un’attenta conoscenza della morfologia e geologia costiera, anche attraverso la rappresentazione cartografica degli elementi chiave del sistema costiero che permetta di evidenziare il trend evolutivo storico legato alle dinamiche naturali.

La **spiaggia emersa** rappresenta una minima parte della spiaggia nel suo complesso (spesso neppure il 10%) e le sue variazioni a breve e medio termine (ore – mesi) non necessariamente sono il risultato di quelle variazioni dello stock sedimentario che da sole possono indicare le reali tendenze evolutive di un litorale.

L’accuratezza con cui queste variazioni sono misurabili è di circa 100 m³ per metro lineare di costa (10 cm di spessore su di una profondità di chiusura ipoteticamente posta ad 1 km da riva) e la frequenza dei rilievi per un monitoraggio deve tener conto di questo. Anche se esperienze condotte in aree campione indicano come un rilievo ogni 10 anni sia sufficiente per rilevare variazioni effettive nello stock sedimentario, diverse cadenze dei rilievi possono essere decise, da parte delle Regioni, in funzione di condizioni locali, di realizzazione di particolari opere, o della frequenza degli interventi di ripascimento, da tenere opportunamente registrati, determinando necessità di rilievi ogni 5-6 anni e in alcuni casi anche più frequenti, con accuratze di misura delle variazioni anche, con opportuni accorgimenti, di 30 m³ per metro lineare di spiaggia.

³⁸ Pranzini E. (2004) - La forma delle coste. Zanichelli, Bologna, Pp. 245.

**SCHEMA RIASSUNTIVO DI CONFRONTO FRA METODOLOGIE
PER IL RILIEVO DELLA SPIAGGIA EMERSA**

Metodo	Accuratezza	Densità di rilievo	Tempistica*	Note
Stazione Totale	1-5 cm	Sez. 50 m	3	Necessita inquadramento tramite poligonale
GPS geodetico	3-5 cm	Sez. 50 m	10	La modalità NRTK grazie all'uso di stazioni di correzione permanenti via GSM consente l'utilizzo di un solo ricevitore senza l'uso della "base" riducendo molto i tempi e i costi.
Laser Scanner fisso	2-5 cm	DTM 0.25x 0.25 m	1	Solo per zone limitate. Necessita GCP rilevati con GPS.
Laser Scanner da Quad	10 cm	DTM 0.25x 0.25 m	10	Necessita spiagge accessibili
Laser Scanner da Drone	5 cm	DTM 0.25x 0.25 m	10	Difficile corretta ripetibilità del dato. Problemi di compensazione.
Lidar aereo	10 cm	DTM 0.25x0.25 m	50	Solo per aree estese
AUV Drone - Fotogrammetria	10 cm	DTM 0.25x0.25 m	20	Necessita punti di appoggio (GCP)

* Tempi di rilievo km/giorno

Il **rilievo batimetrico della spiaggia sommersa** può essere effettuato con strumentazione di tipo multibeam o con singlebeam su rotte tanto più ravvicinate quanto più forte è la variabilità spaziale della morfologia. Confronti effettuati nell'ambito del Progetto BEACHMED-e³⁹ indicano che con barre parallele a riva una spaziatura di 100 m è sufficiente a descrivere con buona accuratezza la morfologia del fondale. In presenza di cuspidi e barre festonate la spaziatura deve tenere conto della loro periodicità.

Nelle pocket beach più piccole sono necessari almeno 5 profili ortogonali a riva, con una riduzione negli eventuali punti di convergenza delle rotte.

E' evidente che rilievi multibeam danno un'informazione spaziale migliore, ma non sempre il maggior costo è giustificato, anche perché il rilievo dei fondali più prossimi a riva richiede comunque rotte molto ravvicinate o un'acquisizione obliqua con un'accuratezza leggermente inferiore.

I rilievi con Lidar marino consentono una buona descrizione delle morfologie di fondo, ma l'accuratezza nei dati batimetrici non è ancora tale da consentire valutazioni volumetriche affidabili.

Sono in corso studi per valutare l'accuratezza del rilievo batimetrico effettuato con drone (metodologia fotogrammetrica e multi spettrale) per profondità inferiori ai 3,5 m.

In entrambi gli ultimi due casi è determinante la trasparenza dell'acqua marina.

³⁹E. Pranzini and L. Wetzel, (2008), Beach Erosion Monitoring - Results from BEACHMED-e/OpTIMAL Project. Nuova Grafica Fiorentina. 230 pp – <http://www.beachmed.eu>

**SCHEMA RIASSUNTIVO DI CONFRONTO FRA LE METODOLOGIE
DI RILIEVO DELLA SPIAGGIA SOMMERSA**

Metodo	Accuratezza	Tempistica*	Note
Singlebeam	10 cm	10	Dati riferiti a sezioni distanziate 100 m.
Multibeam	10 cm	5	Difficoltà di rilevare basse profondità. Copertura funzione della profondità.
Interferometrico	15 cm	10	Copertura in funzione della profondità. Difficoltà calibrazione.
Satellite	50 cm	50	Bassissima precisione. Necessità punti verità. Massimo 10 m profondità. Utilizzabile nello studio delle dinamiche costiere.
AUV (Drone)	20 cm	10	Bassa precisione. Necessità punti verità. Massimo 2/3 m profondità. Tecniche multi-spettrali e/o fotogrammetriche corrette da distorsione acqua.
ALB (Lidar batimetrico)	20 cm	50	Risente della trasparenza delle acque. Non ancora disponibile stabilmente in Europa. Rileva anche la spiaggia emersa.

* Tempi di rilievo km²/giorno

Anche in questo caso valgono le considerazioni fatte per i precedenti schemi riassuntivi delle metodologie di rilievo, ovvero che ogni metodologia può essere adatta a diverse esigenze di monitoraggio in termini di precisione richiesta, estensione dell'area da investigare, tempi e costi di realizzo e che la Tabella vuole essere solo uno schema riassuntivo ed è perciò solo indicativa.

Per **linea di riva** si intende l'isoipsa "zero" (luogo nel quale terra, acqua ed atmosfera s'incontrano), che è rilevabile indipendentemente dal livello istantaneo del mare. Indicatori indiretti, come la linea d'acqua, il limite superiore del *run up* (limite bagnato/asciutto), linea dei detriti, o altro non sono indicatori attendibili ed oggettivi.

Ai fini della gestione del litorale è spesso presa come indicatore dello stato di una spiaggia, cosa in prima approssimazione accettabile se i rilievi sono stati effettuati in condizioni meteo-marine simili, possibilmente dopo un lungo periodo di calma alla fine dell'estate.

Data la variabilità intrinseca di una spiaggia, rilievi estremamente frequenti sono costosi ed inutili a meno che non siano programmati in modo da poter ottenere una "linea di riva media" rappresentativa di un certo periodo (es. mese, stagione, anno). In questo caso il videomonitoraggio consente di acquisire un elevato numero di immagini consentendo di estrarre una linea di riva media la cui posizione non è quindi condizionata dalla marea astronomica.

Il confronto fra coppie di rilievi effettuati a distanze temporali diverse mostra come il tasso medio di spostamento (m/anno) sia tanto maggiore quanto più ravvicinati nel tempo sono i due rilievi; ciò perché la variabilità intrinseca della linea di riva diventa dominante sulla effettiva tendenza evolutiva del litorale.

Tenuto conto dei tassi di spostamento annuali che caratterizzano le spiagge italiane, è opportuno che l'accuratezza del rilievo sia almeno pari a 50 cm.

Dato che per molti aspetti della gestione del litorale (per es. il Piano di utilizzo degli arenili) è l'estensione areale della spiaggia emersa quello che interessa, la linea di riva dovrà essere rilevata in continuo (per es. un punto ogni 5 – 10 m) o lungo transetti molto ravvicinati. Ciò in particolare nelle spiagge caratterizzate dalla presenza di cuspidi.

**SCHEMA RIASSUNTIVO DI CONFRONTO DELLE METODOLOGIE
DI RILIEVO DELLA LINEA DI RIVA**

Metodo	Precisione	Tempistica*	Note
Stazione Totale	5 cm	10	Necessita inquadramento tramite poligonale
GPS geodetico	5 cm	20	La modalità NRTK grazie all'uso di stazioni di correzione permanenti via GSM consente l'utilizzo di un solo ricevitore senza l'uso della "base" velocizzando molto i tempi e costi.
Sistemi AUV (droni)	10 cm	20	Necessita punti di appoggio (GCP) e post-elaborazione. Vantaggio ottenimento di DTM della spiaggia e dei primi fondali. Estrazione della linea di riva da DTM.
GPS solo codice	30 cm	20	Necessita post-elaborazione dati con correzioni da stazioni permanenti.
Video sistemi	50 cm	1	Solo per zone limitate e montata su edificio. Consente più riprese giornaliere.
Aerofotogrammetria tradizionale	1 m	50	Necessita punti di appoggio (GCP= ground control point) ed elaborazione fotogrammetrica digitale con correzione livelli marea e pressione atmosferica. L'interpretazione da parte dell'operatore può influenzare l'accuratezza.
Immagini satellitari	1 m	100	Convenienza solo per aree estese. Possibilità di GCP per l'aumento dell'accuratezza. Possibilità di ripresa con mare mosso e di copertura non coeva della stessa zona. Necessita post-elaborazione dati per estrazione automatica della linea di riva e la correzione dei livelli marea e pressione atmosferica.

* Tempi di rilievo km/giorno

Ogni metodologia elencata può essere adatta a diverse esigenze di monitoraggio in termini di precisione richiesta, estensione dell'area da investigare, tempi e costi di realizzo. Lo schema riportato vuole essere solo riassuntivo e orientativo. Le precisioni riportate si riferiscono ad elaborazioni e tecniche effettuate al massimo della loro potenzialità. Come indicatore univoco della linea di riva viene generalmente scelto il Vertical Datum 0 del sistema nazionale di coordinate. Per l'Italia la quota zero IGM (Istituto geografico Militare).

Altro elemento essenziale nel monitoraggio è quello relativo alle **caratteristiche tessiturali dei sedimenti** che formano la spiaggia emersa e sommersa. Queste, oltre che fornire indicazioni sui processi in atto (direzione di trasporto, energia del moto ondoso, tendenza evolutiva) sono determinanti per definire le caratteristiche dei sedimenti da utilizzare per eventuali ripascimenti.

INDICAZIONI DI MASSIMA PER LE ANALISI GRANULOMETRICHE

- Un campione rappresentativo del sedimento di spiaggia, di almeno 200 g (peso superiore per materiali grossolani) viene essiccato, pesato e quindi sottoposto a setacciatura per via umida attraverso un setaccio con luce netta 0.0625 mm, al fine di separare la frazione sabbioso/ghiaiosa.
- La frazione così ottenuta, dopo successiva essiccazione e pesatura, viene sottoposta ad analisi granulometrica mediante setacciatura a secco per 10 minuti con setacciatrice meccanica con intervallo di 1/2 phi.
- Ciascuna frazione granulometrica viene quindi pesata con bilancia di precisione. Vengono quindi calcolate le percentuali e le percentuali cumulative di ciascuna frazione granulometrica e quindi costruiti gli istogrammi di frequenza e le curve cumulative in scala log-probabilistica.
- Dalle curve granulometriche vengono ottenuti i valori del 5°, 16°, 25°, 50°, 84° e 95° percentile da utilizzare per il calcolo dei parametri statistici di Folk e Ward (1957): Media (Mz), Classazione (σ_1) ed Asimmetria (Sk_1). Si deve calcolare anche la Dimensione del 1° percentile e la percentuale di frazione fine - intesa come quella avente dimensioni inferiori a 0.063 mm o 4 phi.
- Nel caso in cui la percentuale di frazione fine superi il 5% si dovrà valutare l'opportunità di estendere le analisi anche alle frazioni siltose e argillose.

Infine, un ulteriore strumento di monitoraggio e valutazione delle spiagge per l'individuazione dei punti critici e delle priorità di intervento è la **definizione di indicatori di rischio**, la cui determinazione si basa sui metodi di monitoraggio proposti, e che possono essere sintetizzati nella tabella seguente.

INDICATORI DI RISCHIO COSTIERO E MONITORAGGI

Indicatori	Metodo di misura/analisi	valutazioni
Tassi di spostamento della linea di riva e del piede duna (ove esistente)	Utilizzo del tool DSAS (Digital Shoreline Analysis System) per l'analisi degli spostamenti a partire dalle linee di riva acquisite con tecniche: GPS, Lidar, Aerofoto, ecc. Rilievi su transetti	Si individuano i punti più critici per deficit sedimentario o per erosione e il loro spostamento nel tempo
Ampiezza della spiaggia e variazione nel tempo	Calcolata attraverso il tool DSAS (Digital Shoreline Analysis System) per la misura lungo transetti Rilievi spiaggia emersa su transetti	Si individuano i punti più critici per le infrastrutture retrostanti
Pendenza e quota della spiaggia	Da dati lidar o profili topo-batimetrici	Si individuano i punti più critici soprattutto per il fenomeno di ingressione marina
Variazioni volumetriche	Confronto tra dataset Lidar e/o multibeam e/o profili topo-batimetrici	Si individuano i punti più critici per deficit sedimentario in modo quantitativo

Il campionamento dovrebbe avvenire secondo un progetto che tenga conto della variabilità spaziale (longitudinale, trasversale e verticale) e temporale

IV.1.4.2. Coste alte

La metodologia riportata di seguito fa riferimento al Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero, redatto dalla Regione Liguria per un ambito costiero caratterizzato per lunghi tratti da coste alte rocciose⁴⁰.

⁴⁰ Regione Liguria (2011) Piano di tutela dell'Ambiente marino e costiero. Ambito costiero 15 – Unità fisiografiche Golfo del Tigullio, Baia del Silenzio e Riva Trigoso. Art. 41 Legge Regionale n. 20/2006. Relazione generale. 63 pp.

Si tratta di uno studio a carattere di dettaglio (scala 1:5.000) finalizzato alla valutazione della suscettibilità e del rischio da frana in ambiente di costa alta.

Per la definizione delle fasce di suscettività al dissesto, sulla base delle perimetrazioni dei corpi franosi costieri già cartografati dai Piani di Bacino per l'assetto Idrogeologico (PAI) e attraverso ulteriori analisi di fotointerpretazione e specifici sopralluoghi, viene individuato l'areale di falesia attiva, intesa come costa alta in cui il fattore morfogenetico principale è costituito dal moto ondoso.

In prima battuta vengono individuate due classi di "falesia attiva":

- la prima comprende le frane attive e quiescenti cartografate sulla base delle informazioni riportate sui Piani di Bacino, comprensive del ciglio di coronamento, il cui accumulo può essere mobilitato dall'azione del moto ondoso;
- la seconda, determinata tramite rilevamento diretto, riguarda la fascia di costa alta rocciosa la cui evoluzione morfologica è direttamente correlata al moto ondoso.

Le aree in **frana attiva** o quiescente il cui accumulo può essere mobilitato dall'azione del moto ondoso sono inserite in fascia FAA, suscettività al dissesto molto alta.

Le aree di **falesia attiva**, la cui evoluzione morfologica è correlata all'azione del moto ondoso, vengono inserite, in prima analisi, in fascia FAB, dal piede al ciglio della falesia stessa.

In relazione a queste ultime è possibile, sulla base delle caratteristiche morfometriche della falesia e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, effettuare la zonizzazione in classi a differente grado di suscettibilità nei confronti di fenomeni di rottura in roccia quali scivolamenti planari, scivolamenti di cunei e ribaltamenti⁴¹. Hanno importanza ai fini della zonizzazione le caratteristiche morfologiche della parte sommersa della falesia per le interazioni con i movimenti ondosi che impattano alla base della stessa, influenzando il relativo rischio di crolli (es. falesia tufacea della Baia di Sorrento)

L'individuazione delle aree a rischio in ambiente di costa alta può essere effettuata, conformemente alla metodologia dei Piani di Bacino, valutando le diverse classi di rischio in base alla sovrapposizione della perimetrazione delle frane, delle falesie e di eventuali fasce di rispetto, con gli elementi a rischio considerati nella redazione dei Piani di Bacino.

Nel panorama nazionale la significatività di un controllo dei processi erosivi delle coste alte assume una notevole rilevanza in particolare in regioni come la Sardegna, in cui le coste alte rappresentano circa il 70% degli oltre 2200 km di costa, la quale ha sviluppato uno specifico approfondimento metodologico per la classificazione delle criticità geomorfologiche delle coste rocciose⁴².

IV.1.5. INDICAZIONI SU COME VALUTARE IL FENOMENO EROSIVO ALLA SCALA DI DETTAGLIO E POCKET BEACH

Non sempre le variazioni morfologiche di breve e medio termine vengono bilanciate, a livello volumetrico, sull'intero profilo della spiaggia ed è opportuno quindi monitorarle con maggiore risoluzione sia spaziale che temporale.

⁴¹ De Vita P., Cevasco A., Cavallo C. (2012) – Detailed rock-failure susceptibility mapping in steep rocky coasts by means of non-contact geostructural surveys: the case study of the Tigullio Gulf (Eastern Liguria, Northern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 867–880, 2012. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/867/2012/.

⁴² Regione Sardegna (2013), Programma d'Azione Coste Sardegna (PAC)

Può trattarsi di **hot spot erosivi**, dove il processo, cronico o recente, deve essere quantificato e spiegato in modo da poterne valutare la gravità e decidere se e come attuare interventi di difesa, adattamento o arretramento. Talvolta questo può essere innescato dall'interazione fra processi naturali, come la migrazione di megacuspidi, e la presenza di strutture antropiche riflettenti. Nelle **pocket beach** è la rotazione della linea di riva che può portare le onde a raggiungere strutture riflettenti trasformando un'oscillazione un po' più ampia in un fenomeno che destabilizza in modo permanente un intero tratto costiero.

Una rapida risposta della spiaggia l'abbiamo anche a seguito di **interventi di realizzazione di strutture a mare** (porti ed opere di difesa), così come dopo gli **interventi di ripascimento artificiale** nel sistema costiero.

In questi casi un corretto monitoraggio può fornire indicazioni sull'impatto dell'opera, sull'efficacia del sistema di difesa o sulla stabilità del ripascimento. In ogni caso la conoscenza del processo può consentire di apportare modifiche al progetto stesso prima che gli effetti negativi non diventino irreversibili o estremamente costosi da mitigare.

Il monitoraggio deve quindi essere progettato (e finanziato) insieme all'opera stessa e il protocollo definito caso per caso, in funzione delle caratteristiche del litorale d'intervento e di quelle delle strutture da realizzare.

In questo caso la densità dei profili da rilevare deve essere decisamente maggiore e l'uso del multibeam trova piena giustificazione, dato che certi fenomeni come lo scalzamento alla base delle nuove strutture, la formazione di buche o di accumuli eccessivi che devono essere localizzati e quantificati con estrema accuratezza. In questi casi sono più importanti le variazioni morfologiche locali che non quelle volumetriche complessive e la lettura e l'interpretazione delle forme costituisce un momento fondamentale per la comprensione dei processi in atto.

Dopo un primo rilievo, che consenta di rappresentare la situazione iniziale, una **frequenza semestrale dei rilievi nei primi tre anni** e annuale nel triennio successivo può essere ottimale, prevedendo comunque rilievi aggiuntivi nel caso di eventi meteo marini eccezionali.

Nel caso di **ripascimenti artificiali** i rilievi dovrebbero essere ancora più serrati, perché la risposta del nuovo corpo sedimentario alle prime mareggiate può essere estremamente rapida. Bisogna però essere consapevoli che i volumi immessi artificialmente sono spesso dello stesso ordine di grandezza dell'accuratezza dei rilievi e, mentre il volume perso o guadagnato nella spiaggia emersa e nei primi fondali sarà calcolabile con sufficiente precisione, ciò che sembra avvenire sulle batimetriche maggiori potrebbe condurre ad errate conclusioni. L'inserimento sulla spiaggia sommersa di Punti di Controllo a Mare (*Sea Control Points* - SCPs), costituiti da piastre poste su pali infissi nel fondale sui quali il natante passa più volte durante i rilievi, ha consentito di ridurre l'errore a circa 5 cm. Questo metodo può essere applicato laddove sia necessaria un'accurata stima delle variazioni volumetriche (Coastal erosion monitoring, RESMAR Project)^{43,44,45}.

⁴³ L.E. Cipriani, (2013) Coastal erosion monitoring. A network of regional observatories - Results from RESMAR Project. Nuova Grafica Fiorentina. 244 pp. – <http://www.res-mar.eu>

⁴⁴ Abis A., Campo C., Careddu M.B., Deriu M., (2013), La rete per il monitoraggio delle spiagge-applicazioni ed esperienze sviluppate nel progetto RES MAR. Taphros 242 pp

⁴⁵ De Muro S., Ibba A., Orru P.E., Balzano A., Sulis A., Ginesu S., De Falco G., Perilli A., De Vincenzi M., Carboni D. (2012), Disciplina tecnica di rilevamento degli indicatori fisici di caratterizzazione e monitoraggio

La risposta della spiaggia è rapida anche in termini di **variazioni tessiturali**, sia per l'instaurarsi di diverse direzioni/intensità di trasporto, sia per i diversi livelli energetici a cui può venire esposto il litorale. L'azione di selezione granulometrica esercitata dalle opere di difesa può portare all'identificazione di processi da esse indotti o modificati. Oltre che fornire indicazioni per la valutazione dell'efficacia dell'intervento, il monitoraggio tessitoriale ha anche una forte rilevanza sugli aspetti gestionali dell'arenile, consigliando spesso la rielaborazione meccanica del materiale versato (spianamento verso mare della cresta e berma di tempesta), quando non l'aggiunta di nuove frazioni granulometriche per dare risposta alle esigenze del settore turistico-balneare.

Dato che gli effetti di un progetto sul litorale sono valutati (con modelli fisici o numerici) per l'opera interamente realizzata, è opportuno considerare che i lavori spesso si prolungano nel tempo e rilievi nelle fasi intermedie possono rendersi necessari, anche per valutare le modificazioni indotte e nelle quali si dovrà inserire la successiva fase di realizzazione.

Si hanno casi di consistenti modifiche morfologiche avvenute durante prolungate fasi di interruzione dei lavori che hanno imposto modifiche al progetto o costi estremamente più elevati, ad esempio per l'approfondimento dei fondali davanti alle strutture non completate.

E' evidente che tutte le variazioni morfologiche e tessiturali osservate dovranno essere lette alla luce del clima meteo-marino registrato durante il periodo di monitoraggio.

IV.1.6. MONITORAGGIO NELLE AREE MARINE PROTETTE

Le aree marine protette devono essere oggetto di approfondimenti mirati a costruire un quadro conoscitivo degli ecosistemi su cui impostare le attività di monitoraggio fisico e biologico.

In particolare dovranno essere analizzati, oltre alle variazioni geomorfologiche del sistema spiaggia, anche:

- 1) La presenza di prateria di Posidonia e il relativo monitoraggio per la valutazione dello stato ecologico e della dinamica delle banquettes di Posidonia
- 2) la presenza antropica in spiaggia, con valutazione degli impatti sugli habitat costieri

L'attività di monitoraggio morfologico della Posidonia consiste principalmente nel rilevamento stagionale, per area campione, di un certo numero di profili trasversali misurati sia nella parte emersa che sommersa. Per il monitoraggio ecologico delle praterie di Posidonia si fa riferimento alla metodologia proposta da ISPRA e sintetizzata nello schema sottostante. Per il monitoraggio della Posidonia deposta sulle spiagge si procede con la misurazione delle volumetrie e la localizzazione delle banquettes.

Per la misurazione della frequentazione antropica della spiaggia si può far ricorso a web-cam dedicate installate nel sito di interesse, informazione da associare ad una preventiva valutazione della capacità di carico antropico, ai fini del dimensionamento del numero di utenti. La capacità di carico antropico deve essere valutata tenendo presente la capacità di carico ambientale connessa alle principali criticità esistenti, quali ad esempio entità dei fenomeni di erosione della spiaggia, presenza di endemismi e di specie e habitat tutelati.

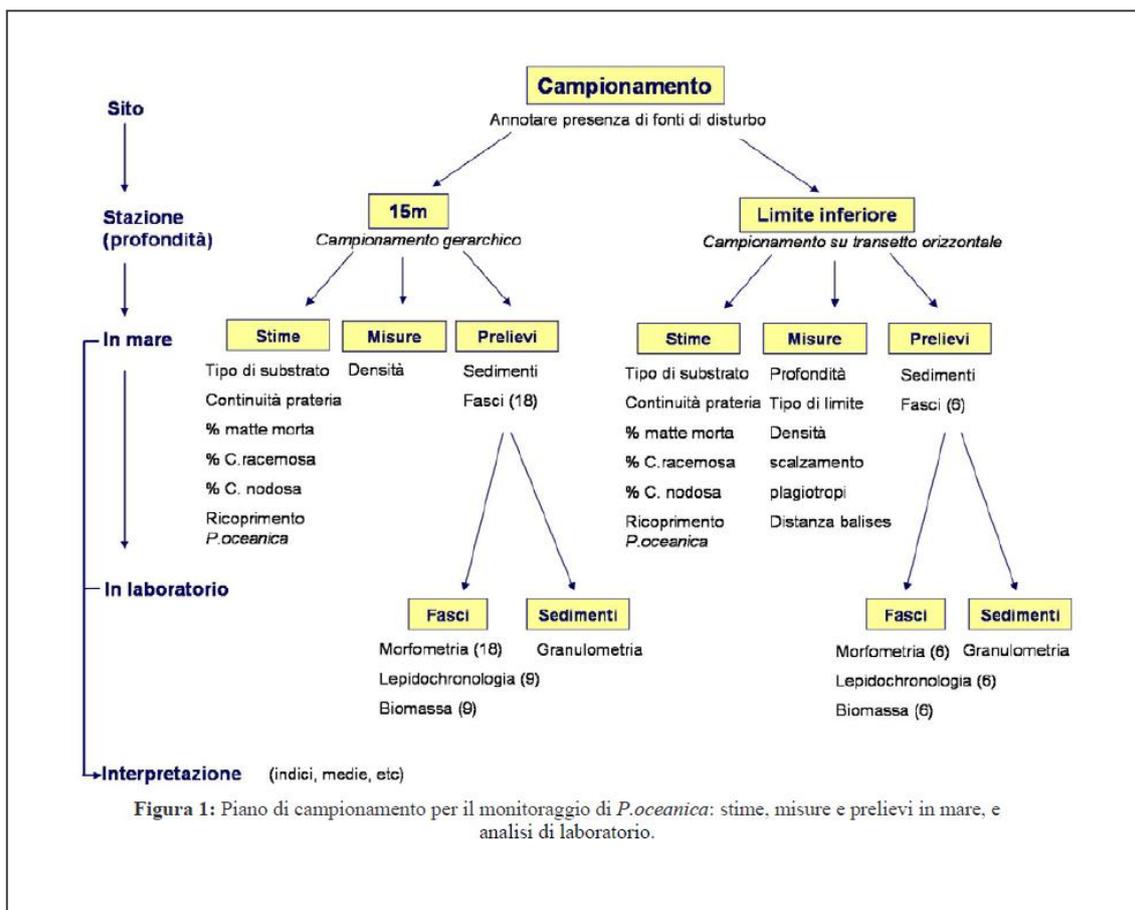


Figura da documento ISPRA Monitoraggio relativo alle praterie di Posidonia

IV.1.7. MONITORAGGIO DEGLI EVENTI E DEGLI IMPATTI: COSTRUZIONE DI UN CATALOGO

Il ruolo che l'informazione storica ha nelle attività legate alla valutazione delle aree a rischio è riconosciuto a livello scientifico e istituzionale da molti anni e, per questo è stato inserito anche come elemento chiave per la valutazione preliminare del rischio di ingressione marina (art. 4, Dir EU 2007/60)

Come anticipato in IV.1.1, infatti, la conoscenza e lo studio delle aree storicamente colpite da fenomeni di erosione costiera e/o di inondazione marina è di fondamentale importanza per la prevenzione e la gestione dei rischi costieri perché è dimostrato che, le aree in cui avvengono i principali dissesti in occasione di eventi di mareggiata, sono quelle storicamente già colpite, e che, le tipologie di impatto sono spesso ricorrenti e generalmente riconducibili a particolari caratteristiche dell'evento meteo-marino. Le descrizioni degli eventi e dei relativi impatti, anche quando non traducibili in termini quantitativi, sono infatti preziosissime per migliorare la conoscenza del territorio e per predisporre gli scenari di pericolosità costiera

A tal fine è molto importante dotarsi di un archivio di dati, sia storici che di nuova acquisizione, e di mappe rappresentative della tipologia di impatto, della frequenza associata alle diverse tipologie di evento.

Un esempio in tal senso è il **Catalogo delle mareggiate storiche e dei relativi impatti dal 1946 al 2010**⁴⁶ elaborato dall'esperienza della Regione Emilia-Romagna nell'ambito del progetto europeo Micore, ed ora tradotto nel sistema informativo in Storm.

Nello stesso periodo in Italia, sono state sviluppate numerose banche dati costieri a scala regionale e nazionale, prendendo come riferimento proprio queste indicazioni.

E' chiaro perciò che uno strumento come questo diventa particolarmente prezioso sia in fase di allertamento costiero che in quella di programmazione e realizzazione degli interventi di mitigazione, purché esso sia mantenuto costantemente aggiornato. Lo strumento ideale è quindi un sistema informativo digitale che raccolga, in modo sistematico, sia il dato storico che quello attuale, includendo almeno le seguenti informazioni:

- Dati meteo marini
- Condizioni al contorno: precipitazioni ed eventi di piena fluviale
- Monitoraggi del sistema duna/spiaggia e degli impatti (rilievi post evento)
- Localizzazione geografica degli impatti (cartografia gis)
- Descrizioni e quantificazioni dei danni
- Descrizioni e quantificazioni degli interventi
- Aggiornamento dei punti critici
- Dati socio-economici dell'aera colpita e suo intorno

Su questa base si definiscono, infatti, i valori di soglia da adottare sia per la pianificazione territoriale che per i sistemi di allerta costiera.

IV.1.8. GESTIONE DEI DATI IN SISTEMI INFORMATIVI E APPLICAZIONE DELLA DIRETTIVA INSPIRE

L'importanza di organizzare e gestire i dati di monitoraggio e le analisi sulle dinamiche costiere attraverso Sistemi informativi geografici dedicati è stata ampiamente discussa nello scorso decennio e recepitata anche grazie al finanziamento da parte della Commissione Europea di progetti dedicati, come EUROSION, che ha portato, nel 2004, alla divulgazione di Linee guida specifiche⁴⁷.

In particolare, i documenti di riferimento, disponibili in lingua inglese, sono:

- [PART 5 6 – Data contents specifications](#)
- [PART 5 7 – Guidelines for implementing local information systems dedicated to coastal erosion management - Data architecture modelling and spatial data representation](#)
- Parte 5-8a '[Manual of procedures for setting up Local Information Systems - VOLUME I : MANAGEMENT PROCEDURES](#)'
- Parte 5-8b [Manual of procedures for setting up Local Information System - VOLUME II : TECHNICAL SPECIFICATIONS](#)

Nello stesso periodo in Italia, sono stati sviluppati numerosi esempi di banche dati costiere regionali e quella nazionale, prendendo come riferimento proprio queste indicazioni.

⁴⁶ Perini L., Calabrese L., Deserti M., Valentini A., Ciavola P., Armaroli C. (a cura di) (2011) – Le Mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna, 1946-2010. I quaderni di Arpa, pp. 141. Arpa Emilia Romagna, Bologna, ISBN 88-87854-27-5

⁴⁷ <http://www.eurosion.org/reports-online/reports.html>

Nel panorama europeo, altre importanti iniziative sono state avviate a valle dell'esperienza EuroSION e ne hanno proseguito l'azione. In particolare CONSCIENCE⁴⁸, che ha analizzato esperienze relative a metodi di intervento, definizione di indicatori, modelli sui processi erosivi e sistemi di monitoraggio, e OURCOAST⁴⁹ che a partire da numerosi casi studio locali in ambito europeo ha analizzato soluzioni di adattamento ai rischi e agli impatti del cambiamento climatico, i sistemi informativi e di comunicazione adottati, gli strumenti di pianificazione e gestione costiera e i meccanismi di coordinamento istituzionali.

E' fondamentale sottolineare lo scopo di tali strumenti, che è quello di **raccogliere e organizzare i dati acquisiti, di elaborare analisi e indicatori, di produrre cartografie** integrando tutte le informazioni su i processi influenti al fine di garantire il **supporto tecnico necessario alla gestione della fascia costiera**.

L'analisi integrata dei dati e/o dei processi è infatti l'aspetto più importante da sottolineare poiché i limiti principali dell'approccio storico della difesa costiera sono derivati da una valutazione troppo settoriale dei singoli fenomeni di dissesto.

Come già evidenziato in EuroSION è importante che le informazioni siano estese al settore marino antistante, al fine di includere nelle valutazioni anche lo studio delle dinamiche marine, o di quelle antropiche a mare, che influiscono ampiamente sulla stabilità della fascia costiera.

Gli elementi minimi fondamentali che dovrebbero essere contenuti in un **Sistema Informativo della Costa**, in gran parte mutuati dalle indicazioni EuroSION, sono:

1. I dati amministrativi, quali limiti territoriali, sia a terra che a mare
2. Cartografia tecnica
3. Linee di riva
4. Batimetrie e modelli digitali batimetrici e modelli digitali altimetrici ad alta risoluzione
5. Dati altimetrici e modelli digitali altimetrici ad alta risoluzione
6. Dati geologici e geomorfologici e relative cartografie
7. Analisi sui trend erosivi: della linea riva, del piede della duna e di tutti gli elementi morfologici significativi
8. Analisi su tassi di subsidenza
9. Cataloghi delle opere di difesa costiera e infrastrutture
10. Cataloghi degli Interventi di ripascimento o altri tipi di interventi di difesa 'morbidi'
11. Dati meteorologici, idrologici, meteo-marini e mareografici
12. Informazioni sull'innalzamento del livello del mare
13. Dati e dinamiche dell'uso del suolo
14. Dati sulle aree protette e ad alto valore ecologico, paesaggistico e archeologico
15. Dati sul demanio marittimo, incluse le concessioni
16. Dati sull'economia locale, il lavoro, reddito e altri dati socio-economici
17. Proiezioni/scenari sul clima e sull'innalzamento del livello del mare

Un'ulteriore raccomandazione riguarda l'importanza dell'applicazione della direttiva INSPIRE⁵⁰ sia in merito ai requisiti di acquisizione e gestione dei nuovi dati, che alla redazione di metadati.

⁴⁸ <http://www.conscience-eu.net/documents/deliverable15-guidelines-on-beach-monitoring-for-coastal-erosion.pdf>

⁴⁹ <http://ec.europa.eu/environment/iczm/ourcoast.htm>

⁵⁰ INFRASTRUCTURE FOR SPATIAL INFORMATION IN EUROPE - DIRETTIVA 2007/2/CE, recepita in Italia con D.Lgs 32/10, <http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm>

L'obiettivo principale della norma è quello di garantire che le infrastrutture di dati ambientali degli Stati membri siano interoperabili ed accessibili, nel pieno rispetto della proprietà intellettuale di chi li ha prodotti.

Il requisito fondamentale è che ogni Stato dell'Unione Europea debba implementare una sua Infrastruttura di Dati Territoriali nazionale (geoportale), coordinando quelle di livello sub-nazionale, dove vengano messi a disposizione dati geografici, metadati e servizi (web-service).

Si sottolinea che, essendo l'applicazione della Direttiva 2007/2/CE complessa e non ancora ben collaudata, è auspicabile che si promuova un percorso comune tra le Regioni, per giungere ad una fattiva applicazione, anche attraverso la partecipazione a progetti europei dedicati.

Infine va considerato necessario perseguire un obiettivo di integrazione dei sistemi di monitoraggio e di costruzione di piattaforme che possano lavorare con diverse tipologie di dati, al fine di permettere un supporto adeguato alla pianificazione e ai processi decisionali in un contesto in cui le sfide per le aree costiere via via sempre maggiori.

IV.1.9. BILANCIO SEDIMENTARIO

L'erosione costiera è riconducibile ad un deficit nel bilancio sedimentario, ovvero le spiagge non hanno una sufficiente alimentazione di sedimenti per mantenersi nelle condizioni attuali.

La riduzione dell'apporto solido fluviale, dovuto ad esempio alla realizzazione di dighe di sbarramento e/o al prelievo di sedimenti lungo l'alveo dei corsi d'acqua, è ritenuta una delle cause principali di tale squilibrio, alla quale si aggiungono gli effetti del fenomeno della subsidenza, dell'innalzamento del livello medio del mare e della realizzazione di opere costiere che possono creare ripercussioni sulla evoluzione e sulla stabilità dei litorali limitrofi. Per affrontare dunque il problema dell'erosione costiera si deve partire da un monitoraggio periodico del litorale e da uno studio approfondito delle dinamiche costiere coinvolte, come presentato nei paragrafi precedenti.

La valutazione degli apporti e delle perdite di volumi in ciascuna Unità Gestionale Costiera (UGC) permette la stima del bilancio sedimentario. Tale bilancio viene stimato attraverso un'equazione di continuità nella quale la somma di entrate e uscite sia di tipo naturale (trasporto solido fluviale, trasporto solido costiero, subsidenza "naturale") che di tipo antropico (ripascimenti e dragaggi, subsidenza "antropica") devono essere coerenti con le variazioni dei volumi stimati tramite i rilievi topo-batimetrici (presentata nel Paragrafo IV.1.4.).

Con tale procedimento (eventualmente compensato per minimizzare gli errori di calcolo di alcune voci di tale bilancio) è possibile ottenere delle indicazioni affidabili e quantitative sull'accrescimento/erosione in ciascuna Unità Gestionale Costiera, garantendo una approfondita conoscenza dei fenomeni in atto in un litorale e permettendo di definire una corretta pianificazione degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera. Una corretta stima quantitativa dei volumi in transito in un tratto di costa permette di valutare anche l'efficacia della eventuale gestione già in essere e dunque di migliorarla/modificarla con la programmazione di idonei interventi.

Un esempio di applicazione di tale procedimento è stato realizzato dalla Regione Veneto. In tale studio per ciascuna cella litoranea (corrispondente alle UGC precedentemente definite) è stato calcolato il bilancio sedimentario tenendo conto anche degli effetti della dinamica nelle celle adiacenti e applicando pertanto a scala regionale un approccio omogeneo.

La metodologia è quella proposta al successivo paragrafo IV.2.2.5.1, e messa a punto dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito dei progetti europei di cooperazione interregionale COASTANCE e COASTGAP.”

La Regione Toscana, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze , ha definito, basandosi su settori omogenei, il bilancio sedimentario del proprio litorale in base all'analisi delle tendenze evolutive nel medio periodo. Tale analisi oltre alle necessità d'intervento della costa toscana, ha consentito di individuare anche gli accumuli presenti lungo il litorale e di valutarne, in base alle diverse caratteristiche dei sedimenti presenti, le possibilità di riutilizzo nei tratti soggetti a deficit. Queste valutazioni sono alla base della programmazione degli interventi e costituiscono, insieme ai dati del monitoraggio a scala regionale, il quadro conoscitivo di riferimento per il Documento operativo per il recupero ed il riequilibrio della fascia costiera, con il quale vengono definite annualmente, ai sensi della l.r. 80/15, le attività per l'attuazione degli interventi.

IV.2. INDICAZIONI PER LA GESTIONE DEGLI EFFETTI DELLA DINAMICA LITORANEA

IV.2.1. INTRODUZIONE

Le zone costiere sono naturalmente soggette a fenomeni erosivi generati dall'azione delle onde e dalle variazioni del livello del mare. A questi processi, in occasione delle mareggiate, sono associati eventi di ingressione marina nei territori e centri abitati costieri che si verificano sempre più spesso pur a fronte di una non sostanziale variazione di intensità delle mareggiate. Tale tendenza trova riscontro, ad esempio, dall'analisi delle mareggiate degli ultimi 50 anni in alto Adriatico, effettuata nell'ambito del progetto MICORE⁵¹, da cui emerge un aumento della frequenza degli episodi di “storm surge” (onde di tempesta che penetrano nell'entroterra), ma non una significativa variazione di frequenza e intensità dei fenomeni di mareggiata^{52,53}.

In particolare, nelle zone costiere basse sedimentarie, questo significa che, al di là della concomitanza dei diversi fattori che determinano il sovrizzo delle acque marine sottocosta durante gli eventi di mareggiata, la **maggiore frequenza degli episodi di ingressione marina**, laddove si verifica, possa essere imputabile ad un aumento della vulnerabilità dei litorali dovuta ad abbassamento di quota del territorio e/o ad una perdita di volume dei sedimenti di spiaggia registratesi negli ultimi decenni.

Alcuni studi scientifici prevedono inoltre che il riscaldamento globale potrà avere un impatto a lungo termine sul bacino del Mediterraneo determinando un aumento della temperatura di almeno 1°C entro il 2025 così come l'aumento dell'intensità degli eventi climatici estremi. Il bacino del Mediterraneo, infatti, viene identificato dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) come “hot spot, zona a rischio di ingressione marina, erosione costiera e di deterioramento del territorio”⁵⁴.

Oltre al fenomeno della subsidenza, che determina perdita di quota e conseguente maggiore vulnerabilità dei territori costieri, più o meno marcato a seconda dei diversi contesti geografici e della maggiore o minore incidenza della sua componente determinata dall'azione antropica, altri fattori concorrono alla perdita di quell'equilibrio dinamico proprio delle coste basse sedimentarie.

La progressiva diminuzione del trasporto solido dei corsi d'acqua che alimentava naturalmente i litorali, i fenomeni erosivi dovuti all'azione del mare, l'irrigidimento della fascia costiera causato dall'urbanizzazione e dall'uso intensivo del territorio, la costruzione di strutture che ostacolano il naturale transito dei sedimenti lungo costa (moli, darsene ecc.), sono fattori che insieme hanno introdotto forti squilibri, determinato importanti fenomeni di erosione generalizzata e localizzata, aumentato la vulnerabilità dei territori, l'esposizione di beni e il rischio associato ai fenomeni di ingressione marina, come evidenziato dai Piani di Gestione del Rischio Alluvioni recentemente adottati⁵⁵.

Gli interventi di difesa della costa storicamente si sono basati sulla costruzione di opere di difesa rigide (scogliere, pennelli, difese radenti, ecc.) che, se da un lato hanno difeso il territorio in modo più o meno

⁵¹ Progetto MICORE, 7FP <http://www.micore.eu/>

⁵² Ciavola P., Valentini A., Masina M e Armaroli C. (2009), in Ferreira et al. 2009 a. Review of Climate Change Impact on storm occurrence. Rapporto Micore D1.4

⁵³ Ciavola P., Ferreira O., Haerens P., Van Koningsveld M., Armaroli C. (2011) - Storm impacts along European coastlines. Part 2: lessons learned from the MICORE project. Environmental Science & Policy; ISSN 1462-9011, doi:10.1016/j.envsci.2011.05.009

⁵⁴ Comunicazione dalla Commissione al Consiglio dell'Europarlamento “Verso una politica marittima integrata per un migliore governo del Mediterraneo”, COM(2009)466.

⁵⁵ I Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (Dir 2007/60/UE) individuano in ambito costiero le aree a rischio di ingressione marina

efficace a seconda dei casi, dall'altro lato hanno determinato in generale un peggioramento qualitativo delle acque sottese, spostato il focus erosivo verso i litorali limitrofi, sottoflutto, creando un effetto domino e la necessità di realizzare ulteriori opere rigide a coprire spesso estesi settori di litorale.

E' apparso chiaro quindi nel corso del tempo, grazie anche alle evidenze emerse da studi e approfondimenti sulla dinamica costiera a livello locale, nazionale e internazionale, che per combattere l'erosione costiera e il rischio di sommersione servisse un approccio diverso e più ampio in cui inscrivere strategie di difesa costiera in grado di gestire in maniera sostenibile i litorali e i sedimenti, in relazione anche alle variazioni climatiche attese a medio-lungo termine, prestando particolare attenzione all'impatto che le azioni e gli interventi antropici sulla costa possono determinare.

Nel corso del tempo all'approccio di tipo "rigido" si è andato quindi lentamente sostituendo un approccio "morbido", con politiche di gestione e interventi di difesa a minor impatto ambientale come i ripascimenti con sedimenti provenienti da diverse fonti (es. cave, scavi edili, sbarramenti lungo i corsi d'acqua, accumuli litoranei, depositi sottomarini)⁵⁶, la regolamentazione dei prelievi di fluidi dal sottosuolo in zona costiera, una gestione più attenta del territorio, delle infrastrutture e dei sistemi insediativi.

Comunque negli ultimi tempi si sta assistendo ad una tendenza al ritorno verso la realizzazione di opere rigide⁵⁷, anche sulla spinta delle popolazioni residenti o degli operatori economici in area costiera e di una percezione del rischio che spesso si discosta dal rischio reale che caratterizza particolari ambiti costieri.

Le condizioni di assetto attuali dei territori interni, nei bacini idrografici montani e nelle pianure, che si sono venute a creare nel tempo e connesse ad esigenze imprescindibili dello sviluppo, della tutela ambientale e della sicurezza del territorio (protezione dalle piene, protezione dalle frane, stabilizzazione del reticolo idrografico, necessità di riserve idriche, di produzione di energia idroelettrica, rimboschimenti, infrastrutture, portualità, ecc.), danno al fenomeno erosivo costiero un carattere "strutturale". I sedimenti rimangono in massima parte intrappolati nell'entro terra e quanto arriva al mare è largamente insufficiente (per volumi e granulometria) a bilanciare la naturale azione erosiva sui litorali.

Sono condizioni che certamente non possono essere rimosse, o lo possono essere solo in parte e in alcuni casi, ma un'attenta gestione dei territori, nella consapevolezza dell'importanza dei sedimenti per la sicurezza delle aree costiere e delle economie afferenti spesso trainanti per le regioni marittime, può dare un notevole contributo alla gestione degli effetti dell'erosione e alla difesa dei litorali che vede come sue principali linee di azione l'alimentazione artificiale e la riduzione delle perdite dei sistemi costieri.

IV.2.2. INDICAZIONI PER L'ADOZIONE DI UNA STRATEGIA DI GESTIONE DEI LITORALI

IV.2.2.1. Irrigidimento e resilienza dei sistemi costieri

Nel corso del XX secolo i litorali italiani sono stati interessati da forti processi di trasformazione legati ad uno sviluppo urbano, infrastrutturale ed economico che ne ha profondamente modificato i caratteri ambientali e di assetto originari.

⁵⁶ Ferretti O., Del Bono I., Furia S., Barsantui M. (2003) – "Difese costiere morbide: ripascimenti artificiali – Rassegna tipologica" in Elementi di Gestione costiera, parte quarta, pp 48, ENEA RT/2003/45/CLIM, ISSN/0393-3016.

⁵⁷ Pranzini E., (2018) - Shore protection in Italy: from hard to soft engineering ... and back. Ocean and Coastal management,156: 43-57.

Le zone costiere che oggi conservano in buona misura le caratteristiche di naturalità originarie corrispondono prevalentemente ad **Aree Naturali Protette** nazionali e regionali. Lungo le coste italiane sono presenti **30 Aree Marine Protette**, che generalmente comprendono anche territori costieri, **6 Parchi Nazionali**, dei 24 totali, **30 Riserve Statali**, delle 147 totali, **18 Parchi Regionali**, dei 144 totali, **43 Riserve Regionali**, delle 423 totali presenti sul territorio nazionale interno⁵⁸.

Oltre ai tratti costieri delle aree protette, che si caratterizzano generalmente per l'assenza di infrastrutture al retro e di opere di difesa a mare, esistono a tutt'oggi **altri tratti costieri** che per diverse ragioni, pur avendo subito un processo di urbanizzazione nell'immediato entroterra, **conservano condizioni di buona naturalità** per quanto riguarda la spiaggia emersa e sommersa, sono anch'essi generalmente privi di opere di difesa rigida ed esercitano una maggiore attrattività per quanto riguarda la fruizione turistica.

La **resilienza costiera**, concetto di particolare importanza nella gestione dei litorali, viene definita nel Rapporto EuroSION⁵⁹ come la "capacità intrinseca della costa di reagire ai cambiamenti indotti dalla variazione del livello del mare, dagli eventi estremi e dagli sporadici impatti antropici, mantenendo inalterate le funzioni del sistema costiero per un periodo più lungo". La disponibilità di sedimenti e di "spazio" in un sistema costiero sono i fattori chiave che ne determinano il livello di resilienza in relazione agli effetti del cambiamento climatico.

Sistemi costieri infrastrutturati e urbanizzati, in genere "irrigiditi" senza tener conto del carattere di elevata dinamicità dell'ambiente litoraneo, comportano squilibri marcati, bassissimi o nulli livelli di resilienza, necessità continua di manutenzione e di interventi di difesa per gli elementi esposti. Spesso in passato, meno frequentemente oggi, queste situazioni sono state soggette ad interventi, che si pensavano risolutivi, con opere di difesa rigide che di fatto hanno contribuito ulteriormente all'irrigidimento del sistema senza per altro risolvere davvero il problema erosivo e/o di esposizione dei litorali alle mareggiate e all'ingressione marina.

Le strategie di difesa costiera oggi non possono prescindere da una visione più allargata e a da un approccio integrato che consideri i vari fattori che concorrono a ristabilire, per quanto possibile, un equilibrio dei processi e della dinamica litoranea, con soluzioni il più possibili "morbide" o che comunque assecondino i processi naturali in gioco, alimentando il sistema litoraneo, ricreando "spazi" ove possibile, per l'esplicitarsi dei processi, o evitando di ridurli laddove ancora presenti.

IV.2.2.2. Salvaguardia dei litorali liberi da strutture e opere di difesa

Oltre ai litorali ricadenti in Aree Protette, che già dispongono di adeguati strumenti di tutela, particolare attenzione va posta anche su quei tratti costieri che ad oggi conservano una buona naturalità in quanto minimamente o per nulla interessati da infrastrutture o sistemi insediativi o opere di difesa rigide.

A questo proposito l'art. 8 del Protocollo GIZC per il Mediterraneo⁶⁰ ha stabilito principi e fornito indicazioni volte a delimitare "fasce di inedificabilità", in relazione alle "più alte maree invernali", costituendo di fatto uno strumento che eleva l'attenzione ed è funzionale per la preservazione proprio di quei litorali non soggetti a particolari tutele e ancora liberi da insediamenti ed opere.

L'applicazione di tali principi e indicazioni potrebbe tradursi, nel caso specifico dei litorali privi di opere, con l'introduzione negli strumenti di governo del territorio di misure di salvaguardia tese ad **evitare opere**

⁵⁸ Federparchi 2016: <http://www.parks.it/> portale dei parchi italiani.

⁵⁹ European Commission - EuroSION Report(2004) <http://www.euroSION.org/reports-online/reports.html>

⁶⁰ <http://www.iczm.it/public/file/doc/Protocollo-ICZM.pdf>

rigide a mare, a prevedere ove necessario il **rinforzo della spiaggia** con interventi di ripascimento, a **evitare la costruzione di strutture** entro la fascia litoranea e, laddove le condizioni di assetto del territorio lo consentono, a prevedere la **ricostruzione di cordoni dunosi**.

I **cordoni dunosi** sono infatti la terza componente, accanto a spiaggia emersa e spiaggia sommersa, di ogni litorale sabbioso completo. Le dinamiche naturali che ne determinano la formazione, così come la dinamicità in funzione dell'azione del mare, sono descritte in moltissimi testi di studi costieri. Di fatto, per la loro caratteristica di riserva di sedimenti (oltre che di acque dolci nella propria falda sospesa a contrasto dell'ingressione del cuneo salino), i cordoni dunosi rappresentano un elemento fondamentale della "resilienza" dei sistemi costieri.

In una situazione generale in cui la resilienza costiera è compromessa dall'irrigidimento (infrastrutturazione, urbanizzazione) e dalla carenza di apporti naturali di sedimenti, risulta più che mai opportuno salvaguardare anche quelle spiagge non rientranti nello status di Aree Protette, ma che comunque mantengono condizioni di relativa "naturalità" e valenza paesaggistico-ambientale, dalla realizzazione di opere di difesa rigide anche qualora fossero soggette a fenomeni erosivi.

L'apporto di sabbia in opportune quantità e in punti opportunamente valutati e individuati in funzione della locale dinamica costiera, "**zone di ricarica**", può garantire un buon livello di manutenzione "naturale" dell'intero tratto, per un certo periodo di tempo, sfruttando l'azione del trasporto litoraneo e cioè le condizioni del clima ondoso e la direzione prevalente della corrente lungo costa.

In pratica si riattiva artificialmente il meccanismo naturale di alimentazione delle spiagge, un tempo garantito dagli apporti fluviali, partendo da un punto diverso dalle foci dei fiumi.

I risultati sono l'allargamento in tempi rapidi della spiaggia emersa e il rinforzo delle barre sommerse. Elementi questi determinanti ai fini di una maggior dissipazione dell'energia del moto ondoso durante le mareggiate, a cui consegue una riduzione dei danni alle infrastrutture presenti a terra.

Per quanto riguarda la **salvaguardia, conservazione e ricostruzione di sistemi dunosi** esistono numerose esperienze sia in termini dispositivi e di indicazioni di buone pratiche, sia in termini di interventi realizzati. Le Linee Guida GIZC dell'Emilia-Romagna, il Manuale "Posidune" della Regione Lazio, il Manuale di recupero ambientale della Regione Abruzzo, sono alcuni degli esempi significativi di strumenti regionali per la salvaguardia e la conservazione dei sistemi dunosi⁶¹.

Esperienze particolarmente significative sono quelle scaturite nell'ambito di progetti LIFE Natura come ad esempio "Providune" (LIFE07NAT/IT/000519), che ha visto le Province di Cagliari, Caserta e Matera collaborare per la conservazione e ripristino di habitat dunali e formulare un Piano di Conservazione pluriennale per diversi ambiti dunali nei rispettivi territori provinciali⁶², o il progetto "Azioni concertate per la salvaguardia del litorale Veneto"⁶³ che ha riguardato le dune di Rosolina e rappresenta un riferimento per la gestione degli habitat dunali.

⁶¹ **Emilia-Romagna:** DCR 645/2005, Scheda 1, Ambito 3 - Difesa e riqualificazione delle spiagge

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/argomenti/progetti-interventi/difesa-della-costa/gizc>

Lazio: http://www.beachmed.eu/Portals/0/Doc/documents/Tools/Manuel_POSIDUNE_FR.pdf

Abruzzo: <http://www.regione.abruzzo.it/xambiente/docs/PianManualiRecupero/manualeAreeDeg.pdf>

⁶² Progetto "Providune" Piano di Conservazione Post-LIFE http://www.providune.it/cms/files/files/all_fr_e11_ca.pdf

⁶³ <http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=VenetoCoast.pdf>

Fra gli interventi significativi di ricostruzione, riqualificazione, ripristino morfologico, si richiamano le esperienze in Regione Toscana sul sistema dunale e retrodunale del Golfo di Follonica⁶⁴, nelle Riserve della Lecciona e Bufalina, oltre che nella tenuta Macchia Lucchese, l'esperienza in Regione Emilia-Romagna a nord di Foce Bevano (progetto Beachmed-e, sottoprogetto POSIDUNE) che ha portato anche alla definizione di un protocollo per la ricostruzione e consolidamento dunale ("Protocollo Bevano")⁶⁵. Altre esperienze segnalate in questo ambito sono quelle di Marina di Petacciato e di Campomarino (SIC Saccione-Bonifica Ramitelli) in Regione Molise, dei progetti pilota per il mantenimento del sistema dunoso costiero da parte della Regione Basilicata in collaborazione con il Corpo Forestale dello Stato, del recupero di dune costiere con tecniche di ingegneria naturalistica e di ripascimento in Regione Puglia.

I casi già richiamati di Emilia-Romagna e Toscana, tra l'altro, hanno costituito la base esperienziale per un'azione specifica nell'ambito del progetto CAMP-Italia⁶⁶ (UNEP/MAP), condotto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, finalizzata alla definizione di linee guida che rappresentino un primo protocollo operativo per la ricostruzione e/o il restauro della copertura vegetale di sistemi dunosi.

La numerosità e la natura delle esperienze qui richiamate, non esaustive del panorama italiano, testimoniano la grande attenzione sul tema e la consapevolezza ormai maturata che i sistemi dunosi, oltre l'assoluto valore ambientale e naturalistico, rappresentano un elemento imprescindibile della resilienza dei sistemi costieri, da tutelare, recuperare e laddove possibile ricostruire, in una strategia complessiva di gestione dei litorali e in particolare per quei tratti liberi da opere rigide e infrastrutture.

IV.2.2.3. Incremento della resilienza dei litorali in relazione al processo erosivo

Per determinare se e fino a che punto un sistema costiero sia intrinsecamente resiliente sono due i fattori chiave da considerare, già richiamati e qui di seguito specificati:

- **disponibilità locale di sedimenti** sufficiente a sostenere l'equilibrio tra erosione ed avanzamento e a raggiungere il profilo di equilibrio della spiaggia: perdite irreversibili di sedimenti provocheranno un aumento dell'erosione con conseguente perdita di habitat ed assottigliamento della fascia costiera;
- **spazio per lo sviluppo dei processi costieri**: limitazioni dello spazio disponibile per il naturale riallineamento della falesia e degli ambienti sedimentari e/o per la redistribuzione dei sedimenti determinerà, come risultato dell'arretramento, una diminuzione della resilienza costiera.

Ai fini dello sviluppo sostenibile delle zone costiere, della protezione di quelle più vulnerabili e della tutela della biodiversità, è necessario sviluppare un approccio strategico di gestione e di previsione dell'erosione, in funzione dei cambiamenti climatici attesi, che miri all'incremento della resilienza di sistema. Al concetto di resilienza costiera sono legati anche i concetti di "**mitigazione**" e "**adattamento**".

Il concetto di mitigazione generalmente esprime azioni che mirano ad incidere alla radice del problema, quindi, in relazione ai cambiamenti climatici, alla riduzione dei fattori clima alteranti. Spesso si parla di "mitigazione degli effetti" dei cambiamenti climatici (sulle zone costiere, come in altre parti del territorio) e in questo caso il concetto si confonde o meglio si sovrappone a quello di "adattamento" che esprime azioni

⁶⁴ **Provincia di Livorno:** http://www.provincia.livorno.it/new/spawdocs/difesa_suolo/Progetto%20preliminare%20Sterpaia.pdf

⁶⁵ **Emilia-Romagna:** <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa/il-protocollo-bevano>

⁶⁶ <http://www.camp-italy.org/front-page>, <http://www.minambiente.it/pagina/il-progetto-camp-italia>

e interventi di modificazione dell’assetto di un territorio (e degli elementi esposti) allo scopo di annullare o ridurre i potenziali danni che particolari eventi (es. mareggiate) possono determinare.

L’incremento della capacità di un sistema costiero di adattarsi al mutare delle condizioni (resilienza) è un concetto quindi particolarmente importante da tenere presente nella gestione dei litorali. Tale incremento può basarsi sostanzialmente su ambiti di azione implementabili ove possibile in maniera integrata:

- I) il **ripristino del bilancio sedimentario costiero**,
- II) la **creazione di spazi** che permettano l’esplicarsi dell’erosione naturale e dei processi sedimentari costieri,
- III) l’**individuazione di fonti/riserve strategiche di sedimenti** ai fini del ripascimento.

Alla opzione più strutturale, quella di “**creare spazio**” ai processi dinamici, fanno capo interventi di modificazione di assetto del territorio che vanno sotto il nome di “**riallineamento gestito**” o “**ritirata strategica**”. Nella maggior parte dei casi di situazioni costiere critiche, corrispondenti ad aree urbanizzate e infrastrutturate, tale opzione non è di fatto realizzabile, ma è da tenere in considerazione per quelle situazioni in cui il costo di manutenzione del litorale in funzione della sicurezza degli elementi o dell’elemento esposto, raggiunge livelli elevati nel tempo tali da superare in previsione il costo per l’arretramento di tali elementi, come ad esempio una infrastruttura lineare, aree produttive dismesse o insediative abbandonate non più funzionali, a fronte di una effettiva disponibilità di spazi nell’entroterra.

Ad esclusione quindi dei rari casi in cui è affrontabile un “riallineamento gestito”, l’incremento della resilienza, a livello più o meno marcato, è generalmente perseguito attraverso le altre due opzioni. Per il ripristino del bilancio sedimentario si può agire sia sull’incremento, per quanto possibile, del trasporto solido fluviale, sia sulla riduzione delle perdite di sedimenti dal sistema litoraneo, sia sull’alimentazione con risorse di sedimenti interni o esterni al sistema. Di queste opzioni si parlerà più nel dettaglio nel capitolo IV.2.3. Qui di seguito vengono riassunti alcune indicazioni da tenere in considerazione per favorire l’incremento della resilienza dei litorali.

A fine dell’**incremento della resilienza costiera** e della **preservazione di tratti litoranei liberi da opere rigide**, è opportuno che gli strumenti di governo del territorio prevedano disposizioni quali, ad esempio:

- **misure di salvaguardia dei tratti a mare** per evitare la realizzazione di opere rigide;
- **misure di salvaguardia e conservazione dei sistemi dunosi** esistenti e promozione della loro ricostituzione, laddove possibile;
- **promozione di progetti di riqualificazione della fascia costiera** che prevedano ove possibile l’arretramento degli stabilimenti balneari, delle strutture di servizio, delle infrastrutture lineari;
- **rinforzo del sistema litoraneo** attraverso ripascimenti diretti sul fronte interessato o su eventuali “zone di ricarica”, individuabili in relazione alle condizioni dinamiche locali, da cui i sedimenti si distribuiscono nel tempo verso un tratto litoraneo più ampio da mantenere.

IV.2.2.4. Schema per un approccio gestionale integrato dei litorali

La pratica dei ripascimenti costieri è consolidata a livello nazionale ed internazionale ormai da alcuni decenni. Negli ultimi anni molti sono stati gli interventi di ripascimento, di cui alcuni su spiagge anche molto conosciute a livello nazionale per i particolari interessi economici, turistici e ambientali sottesi. Anche a livello internazionale in molte località legate ad un costante e rapido sviluppo economico-turistico, e soprattutto con notevoli disponibilità finanziarie, sono stati realizzati importanti lavori di ripascimento, associati o meno alla realizzazione di opere rigide.

Le risorse di sedimenti impiegate possono provenire dallo **stesso sistema litoraneo** (zone di accumulo) o dall'esterno del sistema (depositi sottomarini, cave, scavi edili, sbarramenti lungo i corsi d'acqua). Il ricorso a **risorse sedimentarie esterne** al sistema litoraneo, oggi rappresentate in termini di volumi messi in gioco principalmente dai depositi sottomarini, è fondamentale per un reale bilanciamento della perdita di sedimenti e di quota in elevazione dei litorali, non più recuperabili con il solo utilizzo di risorse interne. Ma purtroppo, a causa della natura non rinnovabile di tali depositi e dei costi elevati degli interventi, si tratta di una pratica non realizzabile con quella che sarebbe un'opportuna continuità e frequenza. E' quindi necessario valutare, al netto di mirate politiche di gestione del territorio, l'adozione di un sistema gestionale dei litorali che integri diverse azioni, interventi e fonti di sedimenti "dedicate" a gestire specifici tratti litoranei.

In questo quadro, per gestire i tratti costieri critici, risulta necessaria una gestione ottimale dei sedimenti litoranei, una diversificazione delle fonti di provenienza utilizzabili (scavi edili, dragaggi portuali e fluviali, accumuli litoranei, accumuli a tergo di opere idrauliche) e un'ottimizzazione delle pratiche di prelievo e ripascimento in funzione delle distanze fra le zone di "prestito" e quelle di destinazione. Parallelamente all'alimentazione, vanno inoltre prese in considerazione tutte quelle azioni, buone pratiche, interventi e opere finalizzate alla riduzione delle perdite di sedimenti dai sistemi costieri.

Un **sistema di gestione** basato sulla suddivisione del territorio costiero in **Unità gestionali costiere** si è dimostrato, ove applicato, funzionale a queste necessità di ottimizzazione. La suddivisione può essere impostata per tratti con uguale estensione, secondo un "passo" prestabilito, o per tratti aventi caratteristiche omogenee e quindi con differenti estensioni. In ogni caso, a tali suddivisioni è necessario associare un approccio gestionale complessivo ed integrato che consideri i **sedimenti come risorsa strategica**⁶⁷ e che si basi su due pilastri: la riduzione delle perdite di sedimenti e l'alimentazione del sistema costiero.

Alla **riduzione delle perdite** fanno riferimento politiche, buone pratiche e azioni per:

- una corretta gestione dei sedimenti di spiaggia: esecuzione di argini invernali di protezione, messa in opera di trappole eoliche temporanee o permanenti, idonee operazioni di pulizia delle spiagge;
- la riduzione della componente antropica della subsidenza: prelievi di fluidi sotterranei, misure di mitigazione come la re-immissione di fluidi nel sottosuolo o altre misure compensative;
- la corretta realizzazione di interventi e opere per la riduzione delle perdite di sedimenti e dell'arretramento costiero.

All'**alimentazione del sistema** fanno riferimento politiche, buone pratiche e azioni per:

- l'utilizzo delle fonti esterne di sedimenti: da depositi sottomarini, da scavi edili, da ampliamento di bacini portuali, da opere di sbarramento lungo i corsi d'acqua;
- l'utilizzo delle fonti interne, o accumuli litoranei: accumuli in prossimità di moli e bocche portuali, di opere di difesa rigide, di foci fluviali, per necessità idrauliche o di sicurezza della navigazione, ecc.;;
- favorire ove possibile il ripristino del trasporto solido fluviale.

La conoscenza e corretta gestione degli accumuli litoranei assume importanza determinante per **ottimizzare le risorse finanziarie** e per difendere la costa dal rischio di erosione e ingressione in maniera sostenibile e integrata. Un sistema gestionale, basato su **Unità gestionali costiere** (Celle o Macro-celle individuate ai fini gestionali), attraverso una mirata riorganizzazione di informazioni e dati da diversi **database già esistenti** o da sviluppare, può rappresentare un valido strumento per l'**analisi dello stato del litorale** ad una scala territoriale progressiva (celle, macro-celle, tratti litoranei significativi, intero sistema

⁶⁷ European Commission (2004) - Eurosion Report, Raccomandazione n.1

costiero), il **monitoraggio degli interventi** eseguiti e per la **valutazione delle necessità** di ulteriori interventi.

Si propone di seguito uno schema esplicativo, anche se non esaustivo, di come può essere impostata una strategia gestionale dei litorali a costa bassa sedimentaria, basato sulla raccolta e sistematizzazione di alcune buone pratiche già in essere presso regioni e amministrazioni costiere italiane e mediterranee.

Riduzione delle perdite (RP)

RP – RIDUZIONE DELLE PERDITE DI SEDIMENTI DAL SISTEMA LITORANEO	AMBITI DI AZIONE	POSSIBILI AZIONI/MISURE	OPZIONI CONSIDERABILI buone pratiche / indirizzi
	RP-1 Gestione dei sedimenti di spiaggia	RP-1.1 Operazioni di pulizia delle spiagge dai rifiuti e gestione delle biomasse deposte sulle spiagge	<ul style="list-style-type: none"> • Vagliatura e pulizia dei sedimenti in situ • Vagliatura e pulizia dei sedimenti in impianto con conseguente riconferimento in spiaggia • Utilizzo del materiale naturale spiaggiato per trappole di sedimenti e ricostruzione dune
		RP-1.2 Realizzazione di Trappole eoliche	<ul style="list-style-type: none"> • Realizzazione di barriere frangivento, stagionali o permanenti • Realizzazione di impianti vegetazionali con funzione di trappola / barriera
		RP-1.3 Realizzazione di Argini di difesa invernali	<ul style="list-style-type: none"> • Emanazione disposizioni per una corretta realizzazione degli argini in funzione delle condizioni locali • Utilizzo di sedimenti di retro spiaggia o esterni al sistema litoraneo • Divieto di utilizzo dei sedimenti del fronte spiaggia
	RP-2 Riduzione della subsidenza	RP-2.1 Riduzione dei prelievi di acque di falda	<ul style="list-style-type: none"> • Introdurre o potenziare le politiche di approvvigionamento delle acque potabili, uso agricolo o industriali • Controllo degli emungimenti e limitazione delle autorizzazioni di pozzi per acqua
		RP-2.2 Controllo estrazione di idrocarburi	<ul style="list-style-type: none"> • Limitazione dell'estrazione di idrocarburi da giacimenti in prossimità della fascia costiera
		RP-2.3 Misure di mitigazione	<ul style="list-style-type: none"> • Re-iniezione di fluidi in pressione nei giacimenti di idrocarburi prossimi alla zona costiera • Misure compensative economiche a carico dei concessionari di giacimenti e pozzi, da destinare a interventi di difesa costiera
	RP-3 opere per la riduzione delle perdite e dell'arretramento	RP-3.1 Interventi e opere per la riduzione del moto ondoso incidente	<ul style="list-style-type: none"> • Difese distaccate (barriere emerse e sommerse) • Scogliere permeabili • Barriere in geotessuto • Sistemi di assorbimento e sfruttamento dell'energia del moto ondoso • Barriere galleggianti
		RP-3.2 Interventi e opere per la riduzione del trasporto solido litoraneo	<ul style="list-style-type: none"> • Difese aderenti • Difese trasversali • Sistemi di drenaggio • Barriere elettrochimiche

Alimentazione del sistema (AS)

	AMBITI DI AZIONE	POSSIBILI FONTI	OPZIONI CONSIDERABILI buone pratiche / indirizzi
AS - ALIMENTAZIONE DEL SISTEMA LITORANEO	AS-1 Apporti di sedimenti esterni al sistema litoraneo	AS-1.1 Depositi <i>offshore</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Prelievi da depositi sottomarini (spiagge relitte)
		AS-1.2 Trasporto solido fluviale (azioni volte al ripristino)	<ul style="list-style-type: none"> • Bypass di accumuli di sedimenti in corrispondenza di opere idrauliche e sbarramenti • Dragaggio / rimobilizzazione dei sedimenti degli invasi lungo in corsi d'acqua • Risezionamento alvei e rimobilizzazione sedimenti di aree golenali • Gestione della vegetazione fluviale ripariale • Revisione opere trasversali (briglie e traverse)
		AS-1.3 Scavi nell' entroterra costiero	Utilizzo dei materiali provenienti da <ul style="list-style-type: none"> • realizzazione o ampliamento darsene e bacini portuali • scavi edili e grandi opere in ambito costiero • cave terrestri • invasi nei bacini idrografici
	AS-2 Apporti da fonti interne al sistema litoraneo (gestione degli accumuli costieri di sedimenti)	AS-2.1 Depositi litoranei emersi	Prelievi da : <ul style="list-style-type: none"> • accumuli in corrispondenza di moli portuali • accumuli in corrispondenza di opere di protezione sotto costa, parallele e trasversali • zone di convergenza del trasporto solido litoraneo, accumuli naturali
		AS-2.2 Depositi litoranei sommersi	Prelievi da: <ul style="list-style-type: none"> • barre di foce di fiumi e canali • conoidi fluviali sommerse • accumuli a tergo delle scogliere foranee
		AS-2.3 Gestione idraulica e sicurezza della navigazione	Dragaggi: <ul style="list-style-type: none"> • dei tratti terminali di corsi d'acqua, bocche fluviali e canali (ai fini dell'ufficiosità idraulica) • delle bocche portuali e delle canalette esterne di accesso ai porti

Il rafforzamento delle conoscenze di base e la risposta responsabile all'erosione costiera, le misure e le buone pratiche rivolte alla riduzione delle perdite di sedimenti e all'alimentazione del sistema e dei tratti critici, rientrano fra le Raccomandazioni del rapporto EuroSION 2004, così come la necessità di dotarsi di un Piano di gestione e di individuare "giacimenti strategici di sedimenti".

L'adozione di uno schema gestionale-operativo come quello proposto permette di affrontare le problematiche e pianificare le azioni a contrasto dell'erosione e al bilanciamento dei sistemi litoranei con una visione ampia e integrata.

A questo schema si riferiscono gli esempi di buone pratiche gestionali riportati nel Capitolo IV.2.3.

IV.2.2.5. Metodi per l'acquisizione/organizzazione di dati ai fini della gestione dei litorali

I metodi per valutare l'arretramento, la stabilità o l'avanzamento di un litorale possono basarsi sull'osservazione-monitoraggio di tre "ordini" dimensionali: la **variazione della linea di riva** (sostanzialmente monodimensionale), la **variazione areale** della spiaggia emersa (sostanzialmente bidimensionale), la **variazione volumetrica** della spiaggia emersa e sommersa (tridimensionale). Mentre

per le coste alte, risulta significativa anche la sola variazione della linea di riva, per le coste basse sedimentarie assumono certamente maggiore significato la variazione areale e la variazione volumetrica.

La variazione volumetrica è ancor più significativa se si pensa al concetto di erosione-accumulo, alla possibilità di valutare i quantitativi di sedimenti in gioco, i processi erosivi che nella spiaggia sommersa possono preludere all'arretramento della spiaggia emersa, al dimensionamento degli interventi di ripascimento necessari. Per un'efficace gestione degli effetti della dinamica e dell'erosione costiera, risulta particolarmente importante quindi valutare le variazioni volumetriche delle spiagge, una volta stabilite e delimitate le **Unità gestionali costiere** di riferimento su cui basarsi per i calcoli (es. Macro-celle ed eventualmente le sub-Unità gestionali costiere (es. Celle litoranee, transetti, ecc.) e disponendo di rilievi topo-batimetrici sistematici effettuati con cadenze temporali opportune.

I dati sull'erosione e sull'assetto dei litorali usualmente confluiscono nei **sistemi informativi territoriali regionali**, sono integrati come strati informativi o temi insieme ad altri strati informativi, più generali o specifici per il territorio costiero, a seconda dei casi. Per chi opera nella programmazione, pianificazione e gestione degli interventi in ambito costiero, può essere particolarmente utile disporre anche di un **sistema informativo gestionale** che, basato su una diversa e dedicata organizzazione dei dati già presenti nei SIT regionali, consenta un utilizzo dei dati più diretto e finalizzato alle proprie necessità.

Un'applicazione dedicata alla gestione dei litorali che capitalizzi e aggiunga valore ai set di dati esistenti, riorganizzandoli, che permetta la **sistematizzazione delle attività** di programmazione degli interventi (ripascimenti e opere), l'**ottimizzazione di gestione delle risorse** sedimenti da accumuli litoranei e dragaggi, l'**effettuazione di analisi multiscala**, passando rapidamente da analisi di livello locale (sub-Unità gestionali), di settore (Unità gestionali, Macro-celle) e di sistema litoraneo (Unità fisiografiche principale e secondaria).

Esempio di un tale sistema, basato sulla variazione volumetrica dei sedimenti e già operativo da diversi anni presso la Regione Emilia-Romagna, è il **SICELL**, Sistema Informativo gestionale delle Celle litoranee⁶⁸, sviluppato sulla base delle proprie esperienze di gestione in collaborazione con ARPA-ER, nell'ambito del Progetto Europeo COASTANCE "Strategie di Azione Regionale per l'Adattamento della Zona Costiera ai Cambiamenti Climatici", nella Componente 4 di cui la Regione Emilia-Romagna aveva il coordinamento. Di esempi di applicazioni o di processi avviati per l'applicazione di sistemi informativi gestionali basati sul SICELL ne esistono presso diverse regioni italiane e mediterranee.⁶⁹ Quella che si propone di seguito è una descrizione di massima dei dati e dell'organizzazione delle informazioni che in generale tali sistemi gestionali dei litorali contengono, rimandando ai documenti richiamati gli approfondimenti di dettaglio che rappresentano anche diverse "personalizzazioni" adottate dalle singole Regioni in relazione alle proprie specificità territoriali, e di disponibilità di dati, e che possono fungere da esempio per l'implementazione di sistemi analoghi.

⁶⁸ **Regione Emilia-Romagna:** <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa/sicell-2006-2012/sicell-1>, e **Comune di Ravenna** POC Arenile 2015;

⁶⁹ **Regione Veneto:** http://sistemavenezia.regione.veneto.it/sites/default/files/documents/08_Shape/RelazioneGCV-rev-ott2015_0.pdf, e "Criteri generali ripascimenti e bypass arenili" - Progetto di Gestione Integrata Zona Costiera DGR 2541/2012; **Regione Lazio, Regione Toscana, Regione Est Macedonia-Tracia (GR), Department de l'Herault (F):** http://coastgap.facecoast.eu/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=93:administrative-acts&Itemid=151; **Cipro:** Coastal management and littoral cells in Cyprus <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/tectran/344.htm>;

IV.2.2.5.1 Indicazioni per un Sistema gestionale e informativo basato sulle variazioni volumetriche: contenuti e organizzazione dei dati

Un sistema gestionale basato sulle variazioni volumetriche, come quello adottato dalla Regione Emilia-Romagna, sviluppato nei progetti europei COASTANCE e COASTGAP⁷⁰, prende come una unità base di riferimento la Cella litoranea⁷¹. Su tali unità, individuate attraverso vari elementi fisici e in funzione delle diverse caratteristiche dei tratti costieri, vengono organizzati dati già esistenti, o raccolti ad hoc, come profili di spiaggia, batimetrie, linea di riva, assetto della spiaggia, presenza di opere o interventi realizzati, correnti sotto costa e direzione prevalente del trasporto litoraneo, ecc., in modo funzionale alle analisi e alle attività finalizzate alla gestione degli effetti dell'erosione e della dinamica litoranea.

Nel caso della costa emiliano-romagnola sono stati individuate 7 Macro-celle e 118 Celle litoranee, di estensione variabile da poche centinaia di metri (bocche portuali, fronti darsena, foci fluviali) fino ad alcuni chilometri (tratti omogenei con spiagge e opere di difesa). I periodi presi in considerazione dal sistema per le analisi sullo stato del litorale partono come riferimento dall'anno 2000 (da quando si sono cominciati a registrare sistematicamente i dati e le localizzazioni relative agli interventi di ripascimento) e si basano sui dati di campagne di rilievo periodiche, topo-batimetriche e della subsidenza, a partire dal 1984 (1993, 2000, 2006, 2012, la prossima prevista per il 2017).

Le **tipologie di Celle individuate ai fini gestionali** per la costa emiliano-romagnola sono le seguenti:

- **Cella con spiaggia** > caratterizzata dalla presenza di spiaggia emersa
- **Cella priva di spiaggia** > caratterizzata dall'assenza di spiaggia emersa
- **Foce fluviale** > corrispondente ad una foce fluviale, delimitata dalle sponde di foce (armata o non)
- **Bocca Portuale** > corrispondente ad una bocca portuale, delimitata dai moli
- **Darsena** > corrispondente al fronte di una darsena
- **Canale di scolo** > corrispondente alla bocca di un canale di scolo
- **Sacca, laguna costiera** > corrispondente al tratto della riva interna della sacca/laguna, aperta a mare
- **Bocca laguna** > corrispondente alla bocca della laguna e delimitata dai suoi estremi



Figura IV.2.2.5.1- Esempio di suddivisione della costa in Celle

Tali tipologie di Celle, riportate per completare l'esempio Emilia-Romagna, non esauriscono le tipologie individuabili lungo diversi tratti litoranei. Per lo scopo cui fanno riferimento queste Linee Guida, è comunque importante che **l'individuazione delle Unità e sub-Unità gestionali costiere segua appunto un "criterio gestionale"**, venga cioè fatta dalle Regioni relativamente alle attività di gestione degli effetti della dinamica costiera e in relazione alle diverse "funzioni" dei diversi tratti litoranei.

⁷⁰ www.coastance.eu, www.coastgap.eu

⁷¹ La **Cella litoranea** è considerata ai fini gestionali come "Tratto costiero avente caratteristiche omogenee, idrodinamiche, di sedimentazione, di assetto morfologico e di eventuale presenza di opere, che la contraddistinguono rispetto ai tratti contigui" e corrisponde a una **sub-Unità gestionale costiera** (cfr. IV.1.2). La **Macro-cella** è considerata ai fini gestionali come "Tratto costiero, composto da Celle litoranee, contraddistinto da ridotto scambio sedimentario con tratti contigui a causa della presenza di punti di convergenza o divergenza del trasporto solido o di elementi aggettanti naturali o artificiali (es. lunghi moli portuali) che ostacolano il trasporto dei sedimenti lungo costa" e corrisponde a una **Unità gestionale costiera** (cfr. IV.1.2).

Nel caso dell'Emilia- Romagna, i dati associati alle Celle litoranee permettono di descriverne le condizioni di stato attraverso la definizione di un **“indicatore di stato del litorale”** basato principalmente sulle variazioni volumetriche di sedimenti (**ASPE - Accumulo, Stabilità, Precarietà, Erosione**). Valutando i dati volumetrici e le differenze fra rilievi topo-batimetrici successivi, in un periodo di riferimento stabilito e sulla base di un **“valore soglia” significativo**⁷² di accumulo/perdita di volume di sedimenti, si viene a definire la classe di stato dell'unità base di riferimento (Cella) e quindi, per integrazione, delle Macro-celle e del sistema litoraneo nel suo complesso.

Stabilito un **“valore soglia” significativo** di accumulo/perdita, in metri cubi per metro lineare di litorale, le quattro classi di stato del litorale possono essere definite come segue:

Accumulo	> per un tratto di litorale che evidenzia accumuli di sabbia significativi nel periodo in esame;
Stabilità	> per un tratto di litorale che non evidenzia perdite o accumuli di sabbia significativi e che non è stato oggetto di interventi di difesa dall'erosione (ripascimenti o opere) nel periodo in esame;
Precarietà	> per un tratto di litorale che non evidenzia perdite o accumuli di sabbia significativi ma che è stato oggetto di interventi di difesa dall'erosione (ripascimenti o opere) nel periodo in esame;
Erosione	> per un tratto di litorale che evidenzia perdite significative di sabbia nel periodo in esame.



Figura IV.2.2.5.2- Schema di classificazione ASPE adottato dalla Regione Emilia-Romagna (SICELL)

Un sistema di informazioni ben organizzato, in cui si evidenzino e valutino anche in termini volumetrici i tratti di erosione e accumulo, permette di impostare una **gestione efficiente dei sedimenti interni al sistema litoraneo e degli apporti da fonti esterne**, in funzione delle attività di manutenzione ordinaria e straordinaria di specifici tratti costieri e delle distanze dai punti di prelievo.

Dallo schema ASPE riportato risulta che per una corretta attribuzione dei tratti costieri alle varie classi è necessario basarsi su un' **analisi integrata di diverse informazioni**:

- **variazione di volume della spiaggia emersa e sommersa** (da profili topo-batimetrici);
- **perdite di volume legate alla subsidenza** (se significativa);
- **interventi di ripascimento effettuati** (anche in celle limitrofe);
- **prelievi di sedimenti effettuati** (celle in zone di accumulo);
- **situazione delle opere di difesa presenti** (manutenzione, modifica, nuova realizzazione);
- **tendenza evolutiva della linea di riva** (informazione di tipo qualitativo).

La **valutazione integrata** di questi parametri è importante per diverse ragioni. Una perdita di volume può essere legata a fenomeni erosivi, ma anche ad abbassamenti del suolo dovuti alla subsidenza o al prelievo artificiale di sabbia. Allo stesso tempo, un accumulo può essere causato da processi naturali, o essere legato anche ad un ripascimento realizzato nella stessa o in aree contigue. La presenza di opere di difesa rigida inoltre influenza in maniera significativa le caratteristiche dinamiche e morfologiche della spiaggia. La situazione delle opere, eventuali modifiche, salpamenti, nuove realizzazioni, in termini di influenza sono elementi dai quali una corretta analisi non può prescindere. Infine la valutazione della variazione della linea di riva può essere considerata come parametro qualitativo in combinazione con i precedenti soprattutto nei casi al limite del **“valore soglia” significativo** stabilito di separazione fra le classi.

⁷² Nel caso della classificazione ASPE Emilia-Romagna, ad esempio, è stato definito come valore significativo, limite fra le varie classi di stato, una **variazione volumetrica di 30 m³/ml** per un periodo di riferimento di 5-6 anni che solitamente intercorre fra due rilievi topo-batimetrici.

Attraverso l'implementazione di un database gestionale è possibile, come ulteriore applicazione, costruire la carta di identità di ogni cella litoranea, una scheda che racchiude e cataloga tutte le informazioni raccolte secondo quattro gruppi principali:

- **informazioni generali** che definiscono l'ubicazione, la lunghezza, la tipologia di Cella litoranea (spiaggia, foce fluviale, darsena ecc.);
- **informazioni sullo stato evolutivo** della Cella che concorrono alla classificazione del suo stato: interventi effettuati, ripascimenti, prelievi, nuove opere o manutenzione di opere rigide presenti, il bilancio sedimentario (volumi accumulati o erosi), il trend della linea di riva, nel periodo in esame;
- **informazioni sulle caratteristiche morfologiche e dinamiche** della Cella: la morfologia della spiaggia, il tasso di subsidenza e la direzione della corrente lungo costa, informazioni relative all'utilizzo della spiaggia e del retrospiaggia, sempre nel periodo preso in considerazione;
- **informazioni di carattere gestionale:** presenza di vincoli di varia natura, idoneità della Cella a essere utilizzata come area di prelievo, o come punto strategico di ricarica a beneficio delle celle sottoflutto, o necessità di alimentazione o di interventi di difesa.

Il database gestionale e il relativo indicatore di stato del litorale possono essere analizzati temporalmente, per diversi periodi di riferimento, o spazialmente, analisi sulle singole unità di riferimento (Celle), di raggruppamenti di unità di riferimento (Macro-celle) o del litorale nel suo complesso.

Lo scopo di un tale sistema è quello di avere un quadro delle criticità e delle disponibilità di sedimenti lungo costa ai fini della **"manutenzione ordinaria"** dei litorali nell'intervallo, solitamente pluriennale, che può intercorrere fra un apporto di sedimenti dall'esterno del sistema costiero, **"manutenzione straordinaria"**, da depositi sottomarini o da altre fonti.

Proprio in funzione della manutenzione ordinaria, una ulteriore utile applicazione di tale sistema è l'individuazione di **"tratti litoranei significativi ai fini gestionali"**, ricadenti all'interno di una Macro-cella, nei quali sono ricomprese Celle critiche, o con tendenze in arretramento, e almeno una zona di accumulo, che si "ricarica" per effetto della dinamica litoranea, generalmente a scapito delle Celle di cui sopra, e che può fungere da "prestito" per le operazioni di manutenzione annuale delle stesse.

Per la ciclicità e frequenza degli interventi, all'interno di uno stesso "tratto litoraneo significativo", possono essere studiati snellimenti procedurali autorizzativi e di caratterizzazione dei sedimenti, che permettano una più rapida ed efficace azione di manutenzione stagionale⁷³.



Figura IV.2.2.5.3- Esempio di "Tratti Significativi ai fini gestionali" in Emilia-Romagna: in chiaro i volumi annuali stimati necessari per manutenzione Cella in erosione, in rosso i volumi annualmente disponibili (SICELL). Si noti in questo caso come la disponibilità di sedimenti litoranei in TS1 sia inferiore al fabbisogno annuale.

⁷³ Opzione in fase di studio presso la Regione Emilia-Romagna

IV.2.2.5.2. Indicazioni per un Sistema gestionale e informativo basato sulle variazioni areali: contenuti e organizzazione dei dati

Un **sistema gestionale basato sulle variazioni areali**, come quello adottato dalla Regione Marche, prende come unità base per la valutazione dell'avanzamento/arretramento della linea di costa il **“transetto”** definito come “tratto costiero compreso tra due sezioni successive perpendicolari alla linea di costa”, che corrisponde a una **sub-Unità gestionale costiera** (cfr. IV.1.2). Tali sezioni vengono anche considerate come riferimento per il monitoraggio granulometrico e morfologico (profilo estivo/invernale) della spiaggia emersa/sommersa fino alla profondità di chiusura.

Nel caso della Regione Marche sono stati individuati n°782 transetti della lunghezza media di 215 metri. Tutti i calcoli sono effettuati su un Sistema Informativo Territoriale e sono riferiti all'unità “transetto”.

La linea di costa presa a riferimento è quella del 1999. Le linee di costa di confronto per i calcoli di avanzamento/arretramento sono quelle digitalizzate dalle immagini satellitari ad alta risoluzione del satellite WorldView II del 2008, 2010, 2012 e 2015. Un miglioramento del metodo di seguito rappresentato è stato possibile prendendo in considerazione la “linea di riferimento” o “costa di riferimento” (CdR) come linea di costa riferita ad uno specifico anno e rielaborata sulla base della “spiaggia di progetto”, così come definita al successivo paragrafo “IV.2.5. INDICAZIONI PER L'INDIVIDUAZIONE DI UNA “LINEA DI COSTA OTTIMALE” O “SPIAGGIA DI PROGETTO”.

Per ogni transetto e per ogni anno di confronto (2008, 2010, 2012, 2015) è stato calcolato l'avanzamento (+) o l'arretramento (-) della linea di costa facendo il rapporto tra:

- la superficie di avanzamento (+) o di arretramento (-) compresa tra i due limiti laterali (sezioni) e le due linee di costa (CdR del 1999 e linea di confronto);
- la lunghezza del singolo transetto.

Per ogni transetto si ottengono così quattro valori di avanzamento/arretramento della linea di costa che fanno riferimento agli anni 2008, 2010, 2012 e 2015 (confrontati con la CdR 1999). La media aritmetica dei quattro valori fornisce il valore di avanzamento/arretramento medio del singolo transetto nel periodo 1999-2015 (“var.media 1999-2015”).

Avendo ulteriori scatti satellitari e di conseguenza ulteriori linee di costa, è possibile ottenere la media con più valori e quindi il calcolo di un trend più affidabile.

Per tenere conto delle naturali variazioni morfologiche della linea di costa (variazioni stagionali e/o singola mareggiata) e al fine di determinare il trend evolutivo del transetto, si è ritenuto opportuno classificare tre diversi comportamenti del singolo transetto:



Figura IV.2.2.5.4- Esempio di mappe di classificazione adottate dalla Regione Marche sulla base delle analisi dei “transetti”.

- **transetto in arretramento:** “var.media 1999-2015” < -10ml (colore rosso)
- **transetto stabile:** -10ml = < “var.media 1999-2015” <= +10ml (colore giallo)
- **transetto in avanzamento:** “var.media 1999-2015” > +10ml (colore verde)

In riferimento alla categoria ‘transetto stabile’ si provvede ad un’ulteriore suddivisione definendo:

- **transetto tendente all’arretramento:** valore compreso tra -10ml e 0ml;
- **transetto tendente all’avanzamento:** valore compreso tra +10ml e 0ml.

Per il calcolo degli avanzamenti ed arretramenti sono stati esclusi i tratti di costa fittizia ricadenti all’interno dei porti.

La Regione Calabria ha utilizzato un metodo simile a quello della Regione Marche per la valutazione della pericolosità da erosione costiera con l’individuazione di circa 4000 transetti, per una lunghezza media di ogni transetto di circa 200 m. L’analisi della linea di riva ha riguardato 8 diversi periodi a partire dall’anno 1954 fino al 2013. L’individuazione della pericolosità da erosione costiera è stata inizialmente condotta sulla base del rapporto tra l’ampiezza della spiaggia e la velocità massima di arretramento della linea di riva e successivamente è stata corretta considerando diversi fattori che dipendono dall’energia del moto ondoso, dalla pendenza del litorale, dalla tipologia di spiaggia e dagli apporti di sedimenti provenienti dai corsi d’acqua.

IV.2.3. INDICAZIONI DI BUONE PRATICHE GESTIONALI

Con riferimento allo “**Schema per un approccio gestionale integrato dei litorali**”, introdotto in IV.2.2.4, nei punti del presente capitolo si trattano più nel dettaglio le diverse azioni e misure adottabili per una corretta gestione dei litorali, brevemente richiamate nello schema proposto, in considerazione delle esperienze e buone pratiche emerse nell’ambito della ricognizione effettuata dal Gruppo di Lavoro “Linee Guida” del TNEC, presso le 15 Regioni costiere e le altre Amministrazioni territoriali coinvolte.

Al fine di permettere anche una consultazione più rapida, al termine di ogni paragrafo, o di gruppi di paragrafi a seconda dell’opportunità, vengono riassunte le principali indicazioni relativamente alle azioni o misure adottabili in relazione ai diversi aspetti trattati.

IV.2.3.1. Indicazioni di buone pratiche per una corretta gestione e bilancio dei sedimenti di spiaggia (RP-1)

Nell’ambito di una strategia complessiva di difesa dei litorali, la riduzione delle perdite di sedimenti dal sistema costiero rappresenta un fattore determinante. Al di là delle perdite causate dall’erosione in senso stretto e dalla subsidenza, ove tale fenomeno risulti marcato, particolare attenzione va posta sulle perdite conseguenti alle ordinarie operazioni di manutenzione delle spiagge non eseguite correttamente o alla mancanza di accorgimenti nella preparazione delle spiagge per la stagione invernale. I temi sono principalmente la pulizia delle spiagge, la realizzazione degli argini invernali di protezione, la realizzazione di barriere frangivento.

A titolo di esempio, sui litorali dell’Emilia-Romagna nel periodo 2006-2012 è stata stimata una perdita potenziale di sedimenti (complessivamente in mancanza di tali accorgimenti e buone pratiche di gestione) fra i 120.000 e i 140.000 m³/anno, che incide per un 25-30% sulla media dei volumi portati a ripascimento

annualmente dalla Regione nello stesso periodo (circa 470.000 m³/anno)⁷⁴. Nell'economia dei sedimenti del sistema litoraneo, la riduzione di tali perdite attraverso una corretta gestione degli arenili può rappresentare quindi un contributo molto significativo per la lotta all'erosione.

Riduzione delle perdite - Gestione dei sedimenti di spiaggia

Operazioni di pulizia delle spiagge dai rifiuti e gestione delle biomasse deposte sulle spiagge (RP-1.1)

Durante la stagione balneare usualmente i Comuni provvedono alla pulizia degli arenili nelle aree di spiaggia libera, mentre nelle spiagge in concessione tali operazioni sono demandate ai soggetti concessionari, gestori degli stabilimenti balneari. Al di fuori della stagione balneare il servizio è gestito solitamente dai Comuni anche sulle spiagge in concessione, che si possono avvalere di Società di servizi operativi ambientali, operanti in proprio o attraverso terzi. Il servizio di raccolta, trasporto e trattamento dei rifiuti prodotti dalle attività di pulizia degli arenili e la frequenza di intervento sono definite generalmente da disciplinari tecnici.

E' stato accertato che, in mancanza di particolari accorgimenti, il volume di sabbia asportato dalle operazioni di pulizia dei rifiuti presenti sulla spiaggia può rappresentare quote molto importanti. Nel caso di litorali interessati dagli apporti di grandi fiumi questa quota può attestarsi in media fra il 50% e il 70% del volume dei rifiuti asportati, come riscontrato sui litorali ferraresi⁷⁴. Nei casi di litorali in prossimità di corsi d'acqua minori le quote possono ridursi al 30-50%, comunque dipendente dall'assetto del bacino idrografico e dalla incidenza delle mareggiate. Da ciò risulta evidente che, in una strategia di riduzione delle perdite dal sistema spiaggia, l'introduzione di buone pratiche per la pulizia degli arenili debba rientrare fra le misure prioritarie di una strategia gestionale. A tal fine possono essere previste diverse azioni:

- **accordi fra Comuni e soggetti concessionari**, gestori di stabilimenti balneari e/o Società di gestione, per l'effettuazione della **vagliatura in sito** nelle operazioni di pulizia delle spiagge nel periodo invernale, per lo **stoccaggio in siti autorizzati** dei volumi asportati nelle operazioni di pulizia durante la stagione balneare, per il **recupero delle sabbie** da riutilizzare negli interventi di ripascimento;
- **disposizioni in merito all'effettuazione di una pulizia di tipo selettivo**, ad esempio lasciando e disponendo i tronchi spiaggiati nel periodo invernale a difesa dalle mareggiate, come trappole di sedimenti o frangivento naturali;
- **regolamentare lo stoccaggio e il controllo in siti autorizzati** dei sedimenti derivanti dalla pulizia delle spiagge effettuata durante la stagione balneare, ai fini della compatibilità ambientale e sanitaria al loro riutilizzo in spiaggia, ad esempio per la realizzazione degli **argini invernali di protezione**;

Casi frequenti riguardano litorali interessati da **biomasse**

⁷⁴ Farina M. (2014) – Le azioni della Regione Emilia-Romagna a difesa del territorio
– Bologna, 24 ottobre 2014



Figura IV.2.3.1.1- operazioni di vagliatura in sito.



Figura IV.2.3.1.3- banquettes di Posidonia oceanica.

deposte sulle spiagge, come ad esempio la *Posidonia oceanica*, spesso a seguito di eventi di mareggiata. Tali biomasse, considerate generalmente un problema ed elemento sgradevole da parte dei visitatori delle spiagge, svolgono in realtà una funzione importante di contrasto all'erosione degli arenili e di trappola di sedimenti da tenere opportunamente in considerazione in una strategia complessiva di gestione costiera. Parlando della pulizia delle spiagge è da evidenziare che occorre distinguere tra rifiuto vero e proprio e accumuli di biomasse negli arenili: nel primo caso parliamo di prodotti di natura antropica, nel caso delle biomasse, parliamo di materiale sedimentato vero e proprio che svolge funzione di difesa e azione antierosiva dei litorali. La Circolare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare DPN/VD/2006/08123 del 17 marzo 2006 riporta in sintesi tre diverse soluzioni di gestione:

- 1) mantenimento in loco dei banchi di *Posidonia*;
- 2) spostamento degli accumuli e riposizionamento degli stessi nel periodo invernale;
- 3) rimozione permanente e smaltimento (qualora non fosse possibile procedere con le prime due opzioni)

Più recentemente, per quanto riguarda l'opzione 3, anziché il mero smaltimento si tende a destinare le biomasse a diverse forme di utilizzo in processi produttivi. Alcune Regioni hanno sviluppato esperienze o formulato indirizzi per la gestione delle biomasse deposte sulle spiagge⁷⁵. Di particolare rilievo in questo ambito è anche l'esperienza della Provincia di Livorno che ha emanato specifiche "Linee guida per la gestione della *Posidonia oceanica*", con indicazioni tecniche che riguardano sia la salvaguardia a mare delle praterie di *Posidonia*, sia la gestione a terra delle "banquettes". Sia l'esperienza regionale sia quella provinciale si sono basate sulle indicazioni della Circolare ministeriale, che circoscrivono e riducono alquanto il carattere di "rifiuto" attribuito alle biomasse deposte sulle spiagge dal Decreto Ronchi del 1997, che le faceva ricadere in una generica fattispecie indicata come "tutti i materiali di qualsiasi natura e provenienza giacenti sulle spiagge marittime".

L'esperienza regionale permette un'ulteriore specificazione di quanto indicato dalla Circolare ministeriale. L'orientamento generale è quello del **mantenimento in loco** delle "banquettes", in primo luogo per la difesa degli arenili, limitando quindi il fenomeno erosivo e il possibile ricorso a conseguenti interventi di ripristino delle spiagge, e in secondo luogo per evitare elevati costi di asportazione e smaltimento in discarica. Questo approccio comprende opportunamente anche specifiche **azioni di sensibilizzazione** mirate a ridurre la diffusa percezione negativa della *Posidonia* deposta sulle spiagge e aumentare la tolleranza da parte dei fruitori delle spiagge.

In seconda istanza, ove il mantenimento in loco della *Posidonia* viene giudicato incompatibile con la balneazione e la fruizione delle spiagge nel periodo estivo, è previsto procedere al **riposizionamento della biomassa al piede del cordone dunoso** (al netto di eventuali rifiuti), laddove presente a rinforzo dello stesso con eventuale copertura in sabbia, oppure all'**asportazione selettiva** (sempre al netto di eventuali rifiuti) e all'**accumulo delle biomasse** con particolari accorgimenti operativi e sanitari, in strutture amovibili o siti autorizzati, in modo tale da poterle riutilizzare con **riposizionamento nel periodo invernale** a difesa dello stesso arenile di provenienza. Vi è poi una ulteriore opzione prevista dall'art. 39 del *D.lgs.* n. 205/2010 che riguarda l'**interimento in sito** di spessori esigui delle biomasse, adottata ad esempio dalla Regione Puglia, previa bonifica dei rifiuti di origine antropica e redistribuzione dei sedimenti eventualmente

⁷⁵ **Sardegna**: DGR 40/13 del 06/07/2016 <http://delibere.regione.sardegna.it/protected/41385/0/def/ref/DBR6570/>;

Friuli Venezia Giulia: "Progetto sperimentale di valorizzazione delle fanerogame marine spiaggiate sugli arenili di Grado" ... ;

Lazio: manuale Posidune http://www.beachmed.eu/Portals/0/Doc/documents/Tools/Manuel_POSIDUNE_FR.pdf

Molise: "Piano di sicurezza delle spiagge libere" con disposizioni per i Comuni circa le operazioni di pulizia degli arenili;

Puglia: LINEE GUIDA per la Gestione delle Biomasse Vegetali Spiaggiate (Determina n. 229 del 22 giugno 2015)

<http://www.sistema.puglia.it/portal/page/portal/SistemaPuglia/Determinazioni>;

Provincia di Livorno: http://www.provincia.livorno.it/fileadmin/Risorse_Marine/Linee_guida_20Definitive_20con_20sfondo.pdf

risultanti da tale operazione, senza alterare la morfologia della spiaggia. Per indicazioni tecniche di dettaglio sulle diverse opzioni si rimanda alla documentazione citata⁽¹²⁾.

Solo nei casi di impossibilità a procedere secondo quanto indicato nei casi precedenti la biomassa può essere conferita in impianti di **smaltimento** autorizzati, impianti di **compostaggio**, di produzione di **energia** o preferibilmente anche in **bioraffinerie**⁷⁶ per la produzione di monomeri utilizzabili come materie prime in svariati settori industriali, previa separazione dai sedimenti che, con opportuna vagliatura e lavaggio in situ con mezzi meccanici, dovranno essere quanto più possibile ridistribuiti in spiaggia.

Casi a parte sono infine le spiagge critiche in stato accertato di erosione e le **Aree naturali protette** ove le operazioni di pulizia e di rimozione della Posidonia dagli arenili non sono eseguite sistematicamente come nelle spiagge dedicate alla fruizione turistica ma solo quando necessarie, e quasi esclusivamente per la rimozione di rifiuti antropici. Non essendo consentito l'utilizzo di mezzi meccanici, tali operazioni devono essere effettuate con strumenti manuali che di fatto non determinano un significativo asporto di sedimenti.

In generale può essere valutata l'introduzione di uno schema di **buone pratiche per la riduzione delle perdite dovute alla pulizia delle spiagge e alla gestione delle biomasse deposte sulle spiagge**, che possa integrarsi nei disciplinari tecnici per i servizi di pulizia degli arenili e di gestione dei materiali naturali presenti su di essi, contenente i seguenti punti:

- **vagliatura diretta in spiaggia** durante le operazioni di pulizia degli arenili e raccolta dei rifiuti nel periodo autunno - inverno, creando in zone arretrate dell'arenile cumuli disponibili per successivi riporti;
- **trasporto in aree di stoccaggio autorizzate** durante le operazioni di pulizia nel periodo primavera - estate, con successiva vagliatura e recupero della sabbia e controllo qualitativo, ai fini del trasporto in spiaggia per ripascimenti o realizzazione di argini invernali di protezione;
- **adozione di metodi di pulizia selettiva** e indicazione di specifiche tecniche opportune per le macchine di movimentazione ai fini della riduzione del quantitativo di sabbia asportata;
- **non asportazione dei tronchi** trasportati dal mare o dai fiumi alle foci, laddove possibile nel periodo autunno - inverno, in modo che possano esercitare funzioni di contrasto all'azione del mare e del vento e di trappola per i sedimenti;
- **gestione delle biomasse** deposte sulle spiagge in funzione di un prioritario mantenimento in loco a difesa dall'erosione, tout court o riposizionandole a rinforzo del cordone dunoso, ove presente, o con asportazione, accumulo e riposizionamento sullo stesso arenile a fine stagione balneare;
- **stima dei quantitativi delle biomasse non gestibili in loco** e valutazione di una loro diversa destinazione produttiva (compostaggio, energia, bioraffineria, altre produzioni) o smaltimento in discarica, previa separazione dai sedimenti in loco.

Riduzione delle perdite - Gestione dei sedimenti di spiaggia

Realizzazione di trappole eoliche (RP-1.2)

La variazione volumetrica di sabbia dalle spiagge emerse per azione del vento, a seconda delle condizioni locali, può influenzare significativamente il bilancio sedimentario. Questo può generare un'altra notevole problematica di gestione del territorio urbanizzato retrostante la spiaggia. La sabbia asportata dagli arenili

⁷⁶ L'impianto di Porto Torres in Sardegna, già operativo dal 2014, è il primo di questo genere in Italia e quando sarà completato sarà il più grande d'Europa https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2014_4_3629_on.pdf

infatti si deposita generalmente negli spazi cortilivi e nella viabilità ordinaria, finendo nelle reti fognarie, creando problemi idraulici e aggravati di costi per il suo smaltimento. In assenza di normative specifiche che consentano alla pubblica amministrazione di prescrivere l'installazione di barriere frangivento, possono essere comunque suggerite modalità tecniche per la loro realizzazione.

La barriera frangivento rappresenta una valida soluzione al problema e un ottimo metodo per limitare la perdita di sabbia dalle spiagge. Su spiagge basse di ampiezza limitata può essere utile accoppiarle agli argini invernali posizionandole sopra gli stessi.

Un'efficace barriera frangivento dovrebbe essere costituita da reti fatte con materiali naturali o biodegradabili sostenute da paletti o telai in legno, o altro materiale idoneo, posizionate davanti all'eventuale stabilimento o comunque, il più possibile lontano dalla riva, con elementi orientati opportunamente secondo la direzione dei venti dominanti.



Figura IV.2.3.1.4- esempio di barriera frangivento stagionale

Tali strutture possono portare in breve alla formazione di una duna simmetrica di diverse decine di centimetri in altezza e alcuni metri di larghezza alla base, in relazione alle condizioni di vento, presenza di sabbia e forma data alla barriera. L'opzione può risultare efficace anche su spiagge di limitata ampiezza (40 m complessivi), sempre in relazione alle condizioni locali. Nelle aree costiere con presenza di dune è opportuno provvedere ad una risagomatura degli accessi alle spiagge attraverso le dune, in modo da ridurre l'effetto venturi ed il trasporto eolico.

Per **valutare l'incidenza del fenomeno** e individuare opportune misure a suo contrasto, è necessario disporre di dati sull'assetto morfologico e sulle condizioni climatiche e anemometriche dei tratti litoranei d'interesse. Particolarmente importante è anche disporre di dati di **monitoraggio del trasporto eolico locale**, al fine di valutare i quantitativi in gioco e quindi la valenza di possibili interventi da effettuare e possibili misure da introdurre negli strumenti di governo e gestione del territorio costiero.

Nell'ambito del monitoraggio annuale effettuato in Emilia-Romagna, è stato possibile anche registrare un aumento dei casi di posa in opera di reti frangivento rispetto all'esecuzione degli argini invernali. E' un segnale evidente che i gestori delle spiagge ne hanno verificato i vantaggi: costi di posa in opera molto inferiori agli argini in sabbia, riduzione delle perdite di sabbia dalla spiaggia, efficacia come opera di difesa dalle mareggiate invernali per effetto della formazione di un deposito sabbioso sottovento.

Oltre alle barriere temporanee (invernali) sarebbe inoltre opportuno promuovere e incentivare progetti di installazione di barriere frangivento permanenti su spiagge demaniali libere, laddove le condizioni lo permettono. Condizione ottimale è un'ampiezza di almeno 50 metri della spiaggia antistante la linea di imposizione della barriera frangivento, ma con particolari accorgimenti l'ampiezza efficace può essere anche intorno ai 40 metri. I casi sperimentati su spiaggia libera (es. *Porto Garibaldi-Lido Estensi in Emilia-Romagna*) hanno dato buoni risultati e potrebbero essere esempio per l'applicazione di tali installazioni su altre aree analoghe.

Al fine di **ridurre le perdite di sedimenti dal sistema spiaggia dovute all'azione del vento**, laddove questo fenomeno assume caratteri significativi, è opportuno introdurre negli strumenti di governo e gestione del territorio costiero specifiche misure, disposizioni e indicazioni tecniche per:

- la **realizzazione di barriere frangivento stagionali**, accoppiate o meno ad eventuali argini invernali di protezione, nei tratti di arenile esposti al fenomeno;
- la **realizzazione di barriere permanenti**, laddove possibile e opportuno per le condizioni di assetto e di utilizzo dell'arenile;
- il **dimensionamento delle barriere**, in termini di altezza e supporti, di apertura delle maglie, di geometria e orientamento, in funzione delle specificità delle condizioni di vento, della morfologia e della granulometria dei sedimenti di spiaggia;
- lo **studio e il monitoraggio del trasporto eolico locale** finalizzato ad una più approfondita conoscenza e valutazione delle soluzioni tecniche più idonee al sito specifico.

Riduzione delle perdite - Gestione dei sedimenti di spiaggia

Realizzazione di argini invernali di protezione (RP-1.3)

Gli argini invernali vengono più frequentemente realizzati nelle spiagge di limitata ampiezza, più esposte all'azione del mare e spesso soggette ad erosione.

Il procedimento di autorizzazione viene avviato dai concessionari (gestori degli stabilimenti balneari) o dai consorzi di concessionari con una richiesta al Comune che chiede un parere agli organi competenti. Un caso particolare è quello delle spiagge private per le quali generalmente non viene richiesta autorizzazione in quanto non ricadenti nel demanio pubblico.

Spesso tali opere temporanee costruite per la difesa dalle mareggiate vengono realizzate utilizzando sabbia proveniente dalla battigia e dall'avanspiaggia. Questa modalità non corretta crea effetti negativi sulla dinamica litoranea andando ad aumentare la pendenza della spiaggia e diminuendo al contempo la resistenza della stessa alle mareggiate.

La movimentazione della sabbia dalla battigia verso l'interno è in generale sconsigliata perché comporta la modifica del profilo trasversale di spiaggia con aumento della pendenza, riduzione dell'ampiezza e quindi maggiore esposizione alle mareggiate. A seguito della movimentazione, il mare riforma il profilo naturale della battigia a scapito del fondale antistante che si approfondisce. L'effetto prodotto è una minore capacità di smorzamento dell'energia del moto ondoso in caso di mareggiata, anche ordinaria. Il fianco degli argini viene costruito in genere ripido e la quota è poi generalmente sovradimensionata rispetto agli eventi di mareggiata e acqua alta. L'azione dell'onda, che frange o si riflette sul fianco dell'argine, rimuove rapidamente la sabbia non compattata al piede aumentandone la pendenza, che tenderà alla verticalità. Il processo erosivo viene quindi incrementato e porta rapidamente allo smantellamento parziale o totale dell'argine.

Se protette da barriere frangiflutti, solo una piccola parte del materiale mobilizzato dalle mareggiate verrà riportato successivamente dal mare a ripascere la spiaggia, mentre l'altra parte rifluisce lungo i canali scavati dalla risacca fra le barriere e viene disperso davanti alle stesse su fondali più profondi e difficilmente può essere recuperato e riportato alla spiaggia.

Quando in primavera tali opere vengono rimosse, il materiale viene steso sulla spiaggia e spesso anche in acqua in modo da aumentare la superficie della spiaggia emersa. Anche questa pratica, non corretta, comporta una maggiore mobilizzazione dei sedimenti e quindi una ulteriore via di perdita.

Per forma e posizionamento dell'argine possono essere indicati dimensionamenti diversi relativamente alle



Figura IV.2.3.1.5- esempio di argine di protezione invernale correttamente eseguito

condizioni litoranee specifiche. In Emilia-Romagna⁷⁷, ad esempio, è indicata un'altezza non superiore a +2,5 m sul medio mare, o altra quota da definire in relazione alle mareggiate “storiche” incidenti sul litorale, ed una pendenza del lato mare non inferiore a 1 su 4, o comunque in relazione alle locali condizioni sito specifiche di morfologia e di azione del mare. Per la posizione dell'argine dovrebbe essere infine indicata un'ubicazione in posizione arretrata, con piede verso mare generalmente al di sopra della linea delle mareggiate ordinarie e ove possibile almeno a 20 metri a terra dalla battigia del medio mare.

Nel caso della Regione Marche⁷⁸ viene fissata una larghezza massima alla base dell'argine invernale di 5 m, altezze non superiori ai + 1,5 m e il divieto di prelevare materiale da una fascia di almeno 10 m dalla battigia, con obbligo di ripristino delle condizioni *ante operam* prima del riavvio della stagione balneare.

In alcuni casi, come in Regione Puglia, è stato introdotto il divieto di effettuare movimentazione di sabbia sulle spiagge e nei cordoni dunali, inclusi gli interventi di allestimento delle “difese invernali” degli stabilimenti balneari, per le aree costiere ricadenti in siti della Rete Natura 2000.

Per **migliorare l'efficacia degli argini di protezione temporanei**, laddove consentiti, e ridurre la perdita di sedimenti dovuta ad una loro non corretta realizzazione e gestione, e per **orientare ad una corretta gestione delle spiagge**, possono essere emanate disposizioni tecniche rivolte ai Comuni e ai soggetti gestori delle concessioni, nelle quali si indichino modalità realizzative e operative che prevedano fra gli altri:

- il **divieto all'impiego delle sabbie di battigia** e/o antistanti la linea di imposizione degli argini di protezione invernale, nelle operazioni di realizzazione degli stessi;
- il **divieto di operare ampliamenti, anche stagionali, della superficie dell'arenile verso mare** abbassando la quota esistente, o stabilita, della spiaggia;
- l'**impiego di sabbie esterne al sistema litoraneo**, ad esempio derivante da dragaggi o scavi edili di vario genere, da eventuali siti di stoccaggio autorizzati, appositamente individuati;
- l'**impiego di sabbie provenienti dal recupero** per vagliatura in sito nelle operazioni di pulizia dell'arenile o dalla zona di retrospiaggia;
- l'**impiego di soluzioni alternative alla movimentazione**, come la posa in opera di barriere e reti frangivento temporanee.

IV.2.3.2. Indicazioni di buone pratiche per la riduzione della subsidenza nei territori costieri (RP-2)

La subsidenza è un fenomeno di abbassamento verticale del suolo, dovuto sia a cause naturali sia ad attività umane, che interessa vaste aree di pianura (come quella Padano-Veneta) e molte piane costiere (es. quella Emiliano-Romagnola e quella Pontina). Nelle zone costiere, soprattutto quando le quote del terreno sono molto basse, il fenomeno è particolarmente preoccupante per la possibile perdita di territori emersi e per la riduzione dell'efficienza del reticolo scolante. In genere la **componente naturale** del fenomeno ha un'evoluzione lenta e su ampia scala, mentre quella **indotta da attività antropiche** si sviluppa in tempi rapidi e limitati, con un'estensione territoriale circoscritta.

⁷⁷ **Regione Emilia-Romagna:** parere tecnico prot. n. 80296 del 20/09/2006, circolare del dirigente Servizio Tecnico di Bacino Po di Volano ai Comuni costieri, sulla costruzione degli argini in sabbia.

⁷⁸ **Regione Marche:** nota tecnica prot. n. 774076 del 15/11/2012 del Dirigente del Servizio Infrastrutture Trasporti ed Energia con delega per la difesa della costa, ai Comuni costieri, sulla realizzazione di opere temporanee a protezione dai fenomeni erosivi invernali.

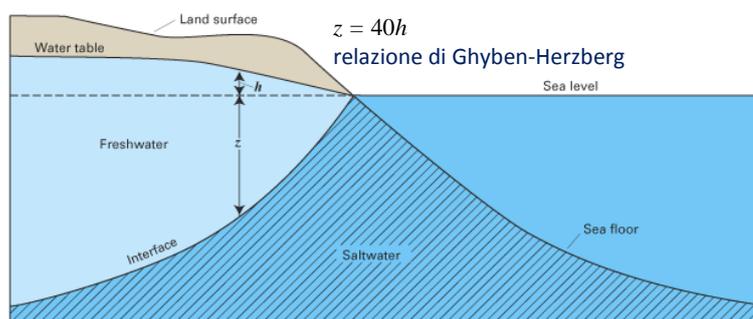
Le cause della **subsidenza naturale** sono principalmente la compattazione dei sedimenti e i movimenti tettonici. Valori tipici di questa componente sono dell'ordine di alcuni mm/anno, che se proiettati nel lungo periodo, ad esempio 1000 anni, possono portare ad abbassamenti dell'ordine di alcuni metri, come riscontrato in molti siti archeologici anche in area costiera. La subsidenza naturale è un fenomeno pressoché inarrestabile che può essere contrastato solamente dagli apporti sedimentari dei corsi d'acqua o con innalzamenti del terreno ottenuti da apporti artificiali, riempimenti e livellamenti o, nel caso dei litorali, con ripascimenti degli arenili.

La **subsidenza antropica** è principalmente legata all'emungimento di fluidi dal sottosuolo, acque e idrocarburi e, in subordine, alla bonifica di aree umide e al carico dell'urbanizzazione. Nel corso del '900, a seguito dello sviluppo dello sfruttamento di giacimenti di idrocarburi, in alcuni ambiti geografici anche in prossimità della fascia costiera sia a terra che a mare, e del cosiddetto processo di "litoralizzazione" (trasferimento/concentrazione degli insediamenti e delle attività umane verso la fascia costiera), si sono registrati in molti casi aumenti notevoli dei tassi di subsidenza, anche di un ordine di misura, portando alcune delle zone costiere maggiormente interessate da questi processi di sviluppo a registrare abbassamenti totali dell'ordine di alcuni cm/anno e ad un conseguente aumento della loro vulnerabilità in relazione ai fenomeni di erosione e ingressione marina.

Risulta quindi evidente quanto può essere determinante, per la gestione e la difesa costiera, l'introduzione di specifiche politiche, misure e buone pratiche atte a ridurre la componente antropica della subsidenza, in particolare per quelle aree ove il fenomeno risulti più marcato.

Va sottolineato che l'emungimento di acque dal sottosuolo lungo la fascia costiera accentua l'intrusione del cuneo salino negli acquiferi costieri determinando il degrado delle acque sotterranee dolci, dei suoli, della vegetazione naturale e delle colture.

L'**intrusione salina** avviene quando si abbassa il livello della falda di acqua dolce, oppure se si innalza il livello medio del mare. In entrambi i casi, diminuisce l'altezza della falda (h) al di sopra del livello del mare e conseguentemente anche quella al di sotto del livello del mare (z). Il pompaggio di acqua dolce dagli acquiferi costieri, o qualsiasi altro intervento che provochi un abbassamento del livello di falda, così come l'innalzamento del livello medio del mare, come trend globale, ma anche temporaneamente in occasione delle mareggiate, provocano ugualmente una risalita della superficie di separazione tra acqua dolce e salata (cuneo salino) e quindi la minaccia di salinizzazione delle acque dolci più superficiali.⁷⁹



Le Regioni, attraverso i propri **Piani di Tutela delle Acque (PTA)**⁸⁰, in relazione anche con i Piani di Gestione delle Acque dei Distretti Idrografici (PGA), individuano gli interventi volti a garantire la tutela delle risorse idriche e la sostenibilità del loro sfruttamento per il conseguimento degli obiettivi fissati dalla Direttiva comunitaria 2000/60/CE. In tali Piani sono comprese anche misure volte alla **limitazione e regolamentazione dei prelievi di acque sotterranee** finalizzate a ridurre sia la contaminazione delle falde costiere per intrusione

⁷⁹ Barlow, Paul M., (2003) - Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast, USGS, 2003. In particolare, secondo la relazione di Ghyben-Herzberg, in base all'equilibrio delle pressioni esercitate dall'acqua dolce (densità 1 g/cm^3) e dall'acqua salata (densità $1,025 \text{ g/cm}^3$), ogni metro di variazione della colonna d'acqua dolce al di sopra del livello mare genera una variazione di 40 metri, di segno contrario, nella colonna d'acqua al di sotto del livello mare.

⁸⁰ Strumento previsto all'art. 121 del D.lgs. n. 152/2006

salina, sia il fenomeno della subsidenza. A queste misure possono essere accompagnate specifiche **politiche per il risparmio idrico ed interventi per l'approvvigionamento idrico**, ad uso potabile, industriale ed agricolo, che concorrano a ridurre le esigenze di emungimento dal sottosuolo. Analoghe misure volte a ridurre la componente antropica della subsidenza, che accentua il rischio di ingressione marina, sono state inserite nei **Piani di Gestione del Rischio Alluvioni**⁸¹.

Inoltre, in alcune regioni interessate dallo sfruttamento di **giacimenti di idrocarburi** sono state introdotte, indicazioni per la limitazione degli emungimenti in particolare sulla fascia costiera e avviati progetti sperimentali volti a mitigare la subsidenza antropica indotta, che consistono nella re-iniezione di fluidi nei giacimenti sfruttati.

Riduzione delle perdite - Riduzione della subsidenza

Riduzione dei prelievi di acque di falda (RP-2.1)

Nelle aree costiere soggette a marcati fenomeni di subsidenza e/o di intrusione del cuneo salino, o in cui risultino alterate le condizioni di salinità delle risorse idriche più superficiali, è necessario vietare o limitare fortemente l'estrazione delle acque dal sottosuolo. In via generale, e con riferimento anche alle misure individuate dai PTA delle Regioni e dai PGA dei Distretti Idrografici, è opportuno che le concessioni, compresi rinnovi e varianti, e le autorizzazioni di derivazioni da acque sotterranee siano valutate in via subordinata rispetto ad altre forme di approvvigionamento, in seconda istanza privilegiando l'uso potabile pubblico rispetto a quello agricolo ed industriale e valutando comunque attentamente il possibile pregiudizio arrecabile alle falde acquifere⁸².

Tali disposizioni vanno necessariamente accompagnate da opportune misure finalizzate al **risparmio idrico** nei diversi comparti, potabile, agricolo, industriale, e ad interventi volti a costituire **approvvigionamenti alternativi**⁸³ all'emungimento di falde sotterranee, in particolare per quelle aree costiere in cui risulti scarsità di acque superficiali.

Particolare rilievo rivestono poi le **attività di monitoraggio** della subsidenza, delle falde acquifere costiere e delle concessioni ed emungimenti autorizzati, così come l'individuazione degli emungimenti non autorizzati ai fini di specifici provvedimenti, allo scopo di comporre un quadro complessivo delle conoscenze sul tema, razionalizzare gli usi delle falde sotterranee in ambito costiero, prevedere ulteriori misure e azioni volte a contenere o ridurre i tassi di subsidenza e l'intrusione del cuneo salino.

Al di là delle metodologie tecniche per il monitoraggio delle falde acquifere, per le quali si rimanda alla bibliografia e ad esperienze consolidate, e delle modalità di monitoraggio amministrativo delle concessioni e autorizzazioni delle derivazioni, procedure interne regionali, si richiama l'attenzione su nuove metodologie per il monitoraggio della subsidenza basate sull'**analisi interferometrica** di dati radar satellitari.

Con questa tecnica di telerilevamento, supportata dall'elaborazione dei dati acquisiti da stazioni GPS permanenti ai fini di calibrazioni e verifiche, recenti esperienze di applicazione hanno permesso di pervenire a mappe degli abbassamenti del suolo, anche in area costiera, di ottima precisione e risoluzione,

⁸¹ Strumento previsto dal *D.lgs.* 49/2010 in attuazione della Direttiva comunitaria 2007/60/CE

⁸² a titolo di esempio, **Regione Friuli Venezia Giulia**: rif. art. 47 PTA, DGR n. 2000/2012; **Regione Veneto**: rif. PTA, DCR n. 107/2009; **Regione Lazio**: rif. PTA, DGR n. 42/2007; **Regione Emilia-Romagna**: rif. art. 45 PTA, DAL n. 40/2005, Linee Guida GIZC, DCR n. 645/2005, DCR n. 1730/1983 "Piano per il controllo degli emungimenti dal sottosuolo nell'area emiliano-romagnola soggetta a subsidenza, L. n. 845/1980"; **Regione Puglia**: rif. PTA, DGR n. 1441/2009; **Regione Marche**: rif. PTA, DACR n. 145/2010 e "Impostazione del bilancio idrico del bacino campione (fiume Metauro)"; **Regione Basilicata**: rif. Artt. 40 e 41 PTA.

⁸³ a titolo di esempio: Diga di Ridracoli e Acquedotto della Romagna, attivato nel 1987, ad uso idropotabile; Canale Emiliano-Romagnolo, avviato nel 1955, a prevalente uso agricolo e industriale.

con tempi e a costi molto contenuti rispetto ai tradizionali metodi di livellazione trigonometrica^{84,85}. Inoltre, la diffusione e la risoluzione del dato, grazie alla numerosità dei cosiddetti “riflettori permanenti” sul terreno, può permettere, fatte le dovute correzioni su eventuali anomalie riscontrate, di individuare eventuali aree di emungimento non riportate su mappe ufficiali di localizzazione dei punti di prelievo.

Riduzione delle perdite - Riduzione della subsidenza

Controllo estrazione di idrocarburi (RP-2.2)

L'estrazione di idrocarburi da giacimenti prossimi alla fascia costiera è appurata causa di aumento dei tassi di subsidenza alla stregua degli emungimenti idrici dal sottosuolo. La differenza con questi ultimi, risiede nella impossibilità di una anche solo parziale possibile “ricarica naturale” delle pressioni nel serbatoio sfruttato una volta abbandonato, cosa che invece può avvenire, pur in misura parziale, negli acquiferi e in particolare in quelli più superficiali.

Nelle politiche di gestione e difesa dei litorali è necessario quindi prendere in considerazione misure finalizzate a **evitare o limitare lo sfruttamento di giacimenti di idrocarburi, onshore e offshore**. In seguito al divieto di attribuzione di nuove concessioni a mare entro le 12 miglia nautiche (come imposto dalla Legge di Stabilità 2016⁸⁶) il problema è limitato alle concessioni già rilasciate, per le quali sarà importante attivare adeguati programmi di monitoraggio finalizzati a stabilire i tassi di produzione accettabili per il contenimento del fenomeno della subsidenza.

Sono quindi da valutare con attenti studi e modellazioni gli impatti sulla subsidenza e sugli altri molteplici aspetti che la coltivazione dei giacimenti può indurre sulla fascia costiera.

A tal proposito alcune Regioni interessate da questo tipo attività sul proprio territorio hanno deliberato disposizioni e linee guida in merito al divieto, limitazione e valutazione d'impatto ambientale, relativamente allo sfruttamento dei giacimenti di idrocarburi⁸⁷. A livello nazionale esistono inoltre riferimenti e **Linee Guida per il monitoraggio volto a verificare l'assenza di pericoli per le acque e per gli ecosistemi acquatici** derivanti dallo scarico diretto a mare delle acque risultanti dall'estrazione di idrocarburi⁸⁸ e **Linee Guida per il monitoraggio delle attività di coltivazione** di idrocarburi e stoccaggio sotterraneo di gas naturale, in relazione a direttive e regolamenti comunitari in materia⁸⁹.

⁸⁴ AA.VV. a cura di Preti M., (2009) - Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione; ISBN 88-87854-21-1. I Quaderni di Arpa Emilia-Romagna 2009, pp 46-60.

⁸⁵ AA.VV. a cura di Montanari R., Marasmi C., (2014) - Il Sistema gestionale delle celle litoranee SICELL, aggiornamento 2006-2012; <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/sezioni/pubblicazioni/servizio-difesa-del-suolo-della-costa-e-bonifica>, pubbl. Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica regione Emilia-Romagna 2014, pp. 20-22.

⁸⁶ Art.1 comma 239: all'articolo 6, comma 17, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, il secondo e il terzo periodo sono sostituiti dai seguenti: «Il divieto è altresì stabilito nelle zone di mare poste entro dodici miglia dalle linee di costa lungo l'intero perimetro costiero nazionale e dal perimetro esterno delle suddette aree marine e costiere protette. I titoli abilitativi già rilasciati sono fatti salvi per la durata di vita utile del giacimento, nel rispetto degli standard di sicurezza e di salvaguardia ambientale. Sono sempre assicurate le attività di manutenzione finalizzate all'adeguamento tecnologico necessario alla sicurezza degli impianti e alla tutela dell'ambiente, nonché le operazioni finali di ripristino ambientale».

⁸⁷ **Regione Veneto:** LR n. 36/1997 “Norme per l'istituzione del Parco regionale Delta del Po” all'art. 30 stabilisce che “nell'ambito dell'intero territorio dei comuni interessati dal Parco del Delta del Po” è vietata “la realizzazione di pozzi e impianti per la ricerca e l'estrazione di idrocarburi nel sottosuolo”.

Regione Marche: LR n. 3/2012 regola le procedure di VIA e i pareri anche su progetti di competenza statale.

Regione Emilia-Romagna: Linee Guida GIZC DCR 645/2005; LR n.9/1999 Disciplina della procedura di VIA.

⁸⁸ **Linee Guida MATTM** (2009) ex art. 104 comma 7, *D.lgs.* 152/2006

<http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/linee-guida-ecosistemi-acq-01-09-e-allegati.pdf>

⁸⁹ **Linee Guida MISE** (2014) DGS-UNMIG, Commissione per gli idrocarburi e le risorse minerarie, indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche <http://unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/dettaglio-notizia.asp?id=238>; *Direttiva* 2013/30/UE; *Regolamento* 2014/1112/UE

Riduzione delle perdite - Riduzione della subsidenza

Misure di mitigazione (RP-2.3)

Nelle azioni di contrasto alla subsidenza dovuta alla depressurizzazione e costipamento delle unità geologiche interessate dallo sfruttamento per estrazione di idrocarburi, riveste un ruolo particolarmente importante la iniezione di fluidi in pressione.

L'iniezione di acqua nei **giacimenti di petrolio** è un processo industriale consolidato, largamente impiegato da tutti gli operatori del settore a scala mondiale. Considerazioni teoriche, studi di laboratorio e, soprattutto, risultati di campo hanno ampiamente dimostrato che l'applicazione di tale processo consente:

- a) il sostentamento della pressione di giacimento, che viene mantenuta ad un livello prefissato (di norma inferiore o uguale al valore iniziale);
- b) la sostituzione del petrolio nei pori della roccia serbatoio con l'acqua iniettata e la spinta dello stesso da parte dell'acqua verso i pozzi produttori (il cosiddetto "spiazzamento"), che permette d'incrementare la percentuale di recupero di petrolio mantenendo nel contempo elevate le portate dei pozzi.

Poiché il mantenimento di pressione contrasta e/o annulla la compattazione degli strati mineralizzati costituenti il giacimento, l'iniezione d'acqua è stata proposta ed applicata come una delle misure atte a prevenire/mitigare la subsidenza stessa⁹⁰.

Nel caso dei **giacimenti di gas naturale** l'iniezione d'acqua non sempre è funzionale al processo di produzione, in quanto tende a ridurre il recupero finale del gas stesso. L'acqua, infatti, intrappola nei pori della roccia serbatoio volumi importati di gas che non sono più estraibili.

Il fatto che l'iniezione d'acqua non sia utilizzata come tecnica di coltivazione per i campi a gas è una scelta dettata soltanto da valutazioni economiche; ciò non significa, però, che non sia tecnicamente fattibile o che non possa essere impiegata per mitigare la subsidenza indotta dalla produzione. Infatti, il sostentamento della pressione di giacimento che deriva dall'iniezione nei campi a gas è del tutto identico a quello dei giacimenti di petrolio. Del tutto analogo è, quindi, anche l'effetto di ridurre/annullare la compattazione dei livelli mineralizzati e di mitigazione della subsidenza.

Una importante **sperimentazione** in questo senso è realizzata grazie ad un protocollo di intesa fra Regione Emilia-Romagna, Comune di Ravenna, provincia di Ravenna ed ENI SpA sul campo a gas Angela-Angelina e in particolare sul pozzo Angelina 1 a foce Fiumi Uniti (Lido Adriano, RA). Il progetto, avviato nel 2003 ha subito fasi di arresto prolungate per motivi autorizzativi e, più in generale, amministrativi. Esso ha comunque fornito risultati incoraggianti, che hanno costituito la base per il rinnovo del Protocollo e per la progettazione di un sistema capace di portate maggiori, in grado di raggiungere pressioni iniettate di circa un ordine di grandezza più elevate rispetto alla fase di sperimentazione⁹¹.

A prescindere da specifici progetti di mantenimento della pressione o di ri-pressurizzazione dei giacimenti sfruttati, in una "logica di compensazione" è opportuno valutare comunque la possibilità di definire, attraverso specifici protocolli fra Enti territoriali e Società operatrici, **misure compensative economiche** finalizzate al finanziamento di interventi di mitigazione alternativi o di interventi di difesa delle zone costiere soggette alla subsidenza indotta dalle attività di estrazione.

Il complesso delle misure opportune adottabili a contrasto del fenomeno della subsidenza, indotto dalle attività di estrazione di fluidi in genere dal sottosuolo, è vario e necessita di una conoscenza sia della

⁹⁰ Affermatasi nella seconda metà del '900, questa tecnica fu studiata proprio per combattere gli effetti della subsidenza indotta dallo sfruttamento dei giacimenti di petrolio (in Nord America, Nord Europa, Mare del Nord).

⁹¹ Vicinanza D., Ciavola P., Biagi S. (2008) - Progetto sperimentale di iniezione d'acqua in unità geologiche profonde per il controllo della subsidenza costiera: il caso studio di Lido Adriano (Ravenna), in Studi Costieri 2008 -15: 121-138

problematica e delle caratteristiche dell’ambito costiero d’interesse, sia delle esperienze e delle possibili opzioni, da considerare con una visione integrata, che qui si intende richiamare proponendo un unico schema di indicazioni relativo al capitolo.

Al fine di contrastare o ridurre i fenomeni di subsidenza nella fascia costiera è opportuno che gli strumenti di governo del territorio e della risorsa acqua prevedano misure e azioni rivolte a:

- **regolamentare, ridurre o vietare l’emungimento di acque dal sottosuolo** in particolare dagli acquiferi costieri più superficiali e nelle aree più critiche;
- accompagnare le misure regolamentative con **politiche volte al risparmio idrico** al e **miglioramento degli approvvigionamenti** nei vari comparti, civile, agricolo, industriale, e di individuazione di eventuali prelievi abusivi;
- **realizzare interventi infrastrutturali per l’approvvigionamento idrico** dei vari comparti per costituire, ove necessario, valide alternative all’emungimento dagli acquiferi del sottosuolo costiero;
- **implementare studi e monitoraggi degli acquiferi costieri**, anche in relazione al fenomeno di intrusione del cuneo salino, con riferimento a valutazione e sperimentazioni di ricarica degli acquiferi superficiali;
- **implementare studi e monitoraggi della subsidenza** in ambito costiero anche attraverso l’utilizzo di tecniche di telerilevamento;
- **regolamentare, ridurre o vietare l’estrazione di idrocarburi** in particolare dai giacimenti *onshore* e *offshore* prossimi alla fascia costiera e in corrispondenza nelle aree più critiche;
- **sperimentare e avviare progetti di iniezione di fluidi** nei giacimenti sfruttati o in idonee unità geologiche profonde al fine di contrastare gli effetti della depressurizzazione e della subsidenza indotta;
- **misure compensative economiche** in accordo con le Società operatrici, per il finanziamento di interventi di mitigazione della subsidenza o di difesa costiera nei territori interessati dallo sfruttamento.

Le opzioni qui riportate sinteticamente, sono da considerare orientative e declinabili in base alle opportunità e specificità rappresentate dai vari territori e amministrazioni.

IV.2.3.3. Interventi e opere per la riduzione delle perdite di sedimenti e dell’arretramento costiero (RP-3)

Ai fini della riduzione delle perdite di sedimenti dai sistemi costieri, gli interventi e le opere “rigide” possono giocare un ruolo importante se realizzate correttamente e tenendo in debito conto le condizioni sito specifiche dei litorali. Molto spesso le opere rigide realizzate ai fini della protezione costiera hanno determinato importanti effetti “collaterali” spostando il problema erosivo nei tratti sottoflutto, generando quindi un effetto domino e la necessità di ulteriori opere, peggiorando la qualità delle acque e dei fondali interclusi sottocosta e a volte non risolvendo affatto il problema erosivo nello stesso tratto protetto.

La realizzazione di opere va quindi progettata sulla scorta di attente **valutazioni di tipo comparativo** delle varie tipologie in funzione di un’approfondita **conoscenza delle condizioni al contorno** (cella, macro-cella o tratto litoraneo, unità fisiografica) del sito specifico in cui dovrà essere realizzata, in funzione di un

obiettivo chiaro, perseguibile e in qualche modo quantificabile (performance attesa dell'opera), considerando nella valutazione gli **impatti, accettabilità ed eventuali mitigazioni necessarie**, che l'opera potrà determinare sia nella fase di realizzazione che nella sua operatività a regime, in termini ambientali e di costi/beneficio, in funzione dell'obiettivo, sia per la sua realizzazione che per la successiva manutenzione.

Le opere finalizzate ad ridurre le perdite di sedimenti possono essere raggruppate in due categorie:

- **opere per la riduzione del moto ondoso incidente**, che, pur avendo anche un'influenza sul regime delle correnti sottocosta e sul trasporto solido, hanno come principale funzione la difesa dei litorali dalle mareggiate;
- **opere per la riduzione del trasporto solido longitudinale e trasversale**, con riferimento a “perdite relative” longitudinali al sistema litoraneo (spostamento di sedimenti da tratti in erosione a zone di accumulo) e a “perdite assolute” trasversali al sistema litoraneo.

Riduzione delle perdite - interventi e opere

Opere per la riduzione del moto ondoso incidente (RP-3.1)

In questa categoria le opere più diffuse sono le **difese distaccate in massi** (barriere emerse e sommerse). Queste opere, sia nella versione emersa sia sommersa, fissano la linea dei frangenti, tendono a spostare verso il largo le correnti litoranee e creano una discontinuità nel trasporto solido con conseguente riduzione dell'apporto di sedimenti dalla spiaggia protetta ai litorali limitrofi ed eventuale innesco/accentuazione del fenomeno erosivo nel litorale sottoflutto. Frequentemente tali opere portano anche ad uno scadimento della qualità delle acque e dei fondali interclusi sottocosta (aumento della torbidità e della sedimentazione delle frazioni più fini).

Inoltre, per effetto del moto ondoso incidente, in corrispondenza del fianco esterno di queste opere, si determina un notevole approfondimento dei fondali e, per effetto delle correnti di ritorno durante le mareggiate, la formazione di approfondimenti locali in corrispondenza dei varchi che rappresentano vie preferenziali di allontanamento dei sedimenti dal sistema litoraneo, oltre che un pericolo per la balneazione.

Altro aspetto da tenere in considerazione nelle valutazioni e scelte progettuali, è che per l'effetto di contenimento delle onde di ritorno, quando vengono traccimate durante le mareggiate, in corrispondenza di queste opere si viene a determinare un sovrizzo del livello marino e quindi una maggiore capacità di penetrazione delle onde sui litorali.

A fronte quindi di un effetto di protezione, che si esplica maggiormente in condizioni “normali” o di mareggiate di scarsa intensità, e di contenimento dei sedimenti nella spiaggia sommersa sul lato interno alla barriera, gli effetti indesiderati sono molteplici.

La diffusione che oggi si registra di queste tipologie di difesa non è quindi giustificabile con l'efficacia delle stesse, ma piuttosto con la mancanza in passato di studi, monitoraggi e analisi sufficienti a svelarne tutti gli aspetti, anche negativi, e con la necessità di “rincorrere” i fenomeni e le esigenze di protezione lungo zone sistemi costiere in rapido sviluppo (anni '60 e '70).

Non mancano comunque esperienze positive in cui tali opere hanno risolto o portato il problema dell'erosione, sui tratti protetti e limitrofi, ad una situazione meglio gestibile da parte delle amministrazioni competenti. Ma va comunque sottolineata la necessità di valutare bene, oggi con le maggiori informazioni e

dati disponibili o rilevabili con mezzi e tecniche più avanzate, la reale efficacia attesa di tali opere, in comparazione con altre tipologie, in funzione degli obiettivi specifici, condizioni dinamiche e di assetto, sia nelle zone previste di intervento sia nelle zone al contorno, unità fisiografica e altre sotto unità costiere significative.

Una variante delle precedenti sono le **scogliere o barriere permeabili con elementi artificiali** non convenzionali (moduli prefabbricati in CLS, acciaio, fibra di vetro, o realizzati con stampanti 3D utilizzando ad esempio sabbie locali), emerse e sommerse. Gli effetti dissipativi dell'energia del moto ondoso sono paragonabili a quelli esercitati dalle barriere in massi naturali dello stesso volume.

Per le loro caratteristiche di elevata permeabilità al moto ondoso e alla circolazione idrica, svolgono anche funzioni di trappole per i sedimenti e di rifugio per la fauna ittica demersale. A parte queste caratteristiche e funzioni, che tendono inoltre a mantenere buone condizioni di ossigenazione e circolazione delle acque intercluse e buone caratteristiche dei fondali, la permeabilità alle onde di ritorno, in occasione anche delle mareggiate più intense, riduce l'effetto di sovrizzo del livello del mare rispetto alle barriere tradizionali e quindi anche la capacità di penetrazione delle onde di tempesta nell'entroterra.

Inoltre nel caso di elementi realizzati con stampanti 3D, che per le caratteristiche produttive possono essere realizzati direttamente in loco, se realizzati con sabbie locali possono contribuire al mantenimento della biodiversità locale, costituendo substrati più idonei alla colonizzazione degli organismi e inoltre, la naturale disgregazione, durante il loro ciclo di vita, rilasciare la stessa sabbia di cui è costituito il fondale.

Queste tipologie di opere risultano avere quindi impatti più contenuti e maggiori performance ecocompatibili rispetto alle barriere tradizionali. Va comunque tenuto conto che per la loro caratteristica di "rigidità" presentano effetti analoghi a quelli delle barriere tradizionali, seppur meno accentuati, per quanto riguarda l'approfondimento dei fondali sul lato a mare e in corrispondenza degli eventuali varchi fra le barriere.

Altra tipologia di opere per la riduzione del moto ondoso è quella rappresentata dalla realizzazione di **barriere in geotessuto** (Geotubi, tubi Longard, Geocontainer), strutture tubolari costituite da un involucro in geotessuto, polipropilene o poliestere, riempito con sedimenti di diversa natura. Questa tipologia di barriere viene impiegata come rivestimento di pendii verso mare o come strutture sotto costa. I Geotubi, di dimensioni più estese (es. l 20m e ϕ 3m), sono particolarmente indicati per fondali profondi, mentre i Geocontainer, di dimensioni inferiori, sono tipicamente adottati per basse profondità. La durata dipende dalle caratteristiche tecniche del materiale contenente, e quindi dall'entità della degenerazione provocata dal sole e dall'attacco del moto ondoso. Questi sistemi, oggi sempre meno usati, sono spesso soggetti a danneggiamenti che portano alla fuoriuscita del materiale contenuto all'interno dei contenitori e, conseguentemente, alla generazione di potenziali impatti. Al fine di limitare l'entità di questi effetti (es. intorbidimento delle acque, dispersione di materiale estraneo) è sempre preferibile, quando possibile, utilizzare per il riempimento la sabbia locale.

Va comunque ricordato che **tutte le opere appoggiate al fondo** possono risentire di cedimenti differenziali, soprattutto nel primo periodo seguente la loro costruzione, così come della subsidenza e delle azioni sismiche, che possono determinare la necessità di ricariche più o meno frequenti volte a ristabilire quote e officiosità dell'opera.

Di particolare interesse potrebbero risultare i **sistemi di assorbimento e sfruttamento dell'energia del moto ondoso**, che hanno avuto un notevole sviluppo nell'ultimo decennio per la produzione di energia dal moto ondoso e dalle correnti. Oltre a rappresentare una ulteriore fonte di energia rinnovabile, questi

sistemi potrebbero rappresentare una soluzione per la riduzione del moto ondoso incidente sui litorali. Per produrre importanti quantità di energia, gli impianti necessitano di installazioni di batterie di diversi elementi, generalmente galleggianti, che potrebbero costituire vere e proprie barriere anche di notevole estensione. Fra questi, i **dispositivi a colonna d'acqua oscillante** (OWC) di tipo galleggiante, ancorati al fondo, sono quelli che maggiormente potrebbero trovare un utilizzo sotto costa ai fini della difesa dei litorali, unendo la produzione di energia all'effetto di smorzamento del moto ondoso incidente, senza gli effetti negativi propri delle barriere rigide. Una sperimentazione in questo senso è stata effettuata nell'ambito del progetto europeo Theseus⁹².

Altre tipologie di opere non tradizionali miranti a smorzare l'azione ondosa sono i **sistemi di barriere galleggianti** ancorate al fondo, le **barriere su pali**, le opere a **smorzamento pneumatico o idraulico**. I frangiflutti galleggianti e le barriere su pali (es. lastra piana) hanno il vantaggio di un minor impatto sull'ecosistema al fondo rispetto alle strutture massicce tradizionali. Quelle galleggianti hanno inoltre il vantaggio di poter essere rimosse facilmente e, essendo strutture "isolate" dal fondo, di non risentire dei cedimenti differenziali e degli effetti della subsidenza o delle azioni sismiche. Le opere a smorzamento pneumatico o idraulico, che si basano su getti di aria compressa o acqua in pressione, sono efficaci solo in particolari situazioni e hanno costi operativi elevati a causa dell'energia necessaria al loro funzionamento.

Per approfondimenti sulle opere sopra citate si rimanda all'Allegato 2.

Riduzione delle perdite - interventi e opere

Riduzione del trasporto solido longitudinale e trasversale (RP-3.2)

A questa categoria di opere appartengono le **difese aderenti**, che si estendono generalmente sulla fascia emersa in posizione prossima al limite di risalita dell'onda di progetto, le **difese trasversali**, ortogonali od oblique rispetto alla linea di costa, i **sistemi di drenaggio** e i **sistemi elettrochimici** per il trattenimento o la "fissazione" dei sedimenti.

Alle **difese aderenti** fanno riferimento tipologie **morbide** e **rigide**. Le prime sono costituite da coperture della battigia e di parte dell'arenile con materiale generalmente ghiaioso, che favorisce l'assorbimento dell'energia e la classazione verticale del materiale per effetto del rimaneggiamento operato dalle onde e il maggiore trattenimento dei sedimenti sabbiosi. La maggiore ripidità del profilo di spiaggia che si viene a creare soprattutto dopo eventi di tempesta, in particolare nella fascia di raccordo fra la cresta di berma e la battigia, costituisce una sorta di "barriera" in grado di meglio smorzare il moto ondoso. Sono interventi più efficaci in litorali caratterizzati da media energia e mareggiate non particolarmente severe.

Le seconde, aderenti rigide, sono costituite da rivestimenti con mantellate di massi naturali e artificiali (scogliere radenti, muri di sponda, argini a mare), "fissano" una linea di riva e sono realizzati generalmente per combattere importanti arretramenti della costa già in atto, o difendere abitati o infrastrutture litoranee. Se non realizzate correttamente, con idonee pendenza di raccordo ed estensione nella parte sommersa, possono determinare approfondimenti importanti nei fondali antistanti, subire scalzamento al piede, perdite ingenti di sedimenti dal sistema verso ed oltre la profondità di chiusura della spiaggia sommersa.

Alla tipologia delle **opere trasversali** appartengono i **pennelli**, singoli o in batteria, che possono essere di vario genere in funzione delle caratteristiche del litorale e degli obiettivi posti in fase di progettazione. La

⁹² THESEUS (Innovative technologies for safer European coasts in a changing climate) 7FP <http://www.theseusproject.eu/>

loro funzione primaria è quella di intercettare le correnti litoranee ed interrompere, totalmente o parzialmente, il trasporto solido longitudinale.

I pennelli **impermeabili**, realizzati con massi naturali o artificiali generalmente molto aggettanti, impediscono il trasporto trasversale e favoriscono la deposizione sul lato sopraflutto e generalmente una tendenza all'erosione sul lato sottoflutto. Le correnti di ritorno in occasione di mareggiate possono determinare trasporto verso il largo dei sedimenti accumulati in prossimità della testata. I pennelli **stabilizzatori** di dimensioni e aggetti ridotti, sono generalmente realizzati in batteria e finalizzati a mantenere un certo profilo costiero, in particolare su litorali sabbiosi, limitando ma senza impedire totalmente il trasporto solido longitudinale. Possono rallentare il flusso longitudinale dei sedimenti, con effetti su una ristretta fascia della spiaggia emersa e sommersa. I pennelli di **transizione** sono realizzati per cercare di garantire la presenza di una spiaggia naturale contigua, di transizione, a quella protetta da un campo o batteria di pennelli.

I pennelli **compositi** hanno segmenti laterali aggiunti alla sezione principale (es. forma a “T” o a “Y”), che prevengono i fenomeni di scalzamento al piede e rendono la struttura più dissipativa. Favoriscono la formazione di celle di circolazione e tendenzialmente un maggior sviluppo dell'arenile su entrambi i lati. L'utilizzo di pennelli a T, che hanno una risposta funzionale molto simile a quella di una barriera distaccata con tombolo, è indicato in situazioni con limitato apporto di sedimenti e in spiagge soggette a onde di tempesta con incidenza prevalente ortogonale alla costa.

I pennelli **permeabili** possono essere realizzati con massi naturali (in questo caso pennello senza un nucleo) o con pali distanziati (di legno o in cemento) uniti da elementi prefabbricati. Favoriscono la diminuzione del flusso longitudinale dei sedimenti, garantendo la permanenza del materiale grossolano sopraflutto ed al contempo la minore asportazione di sedimento dal lato sottoflutto. Una volta insabbiati possono venire aggirati dal flusso dei sedimenti, limitando l'erosione delle spiagge sottoflutto, che subiscono un deficit sedimentario solo nella fase iniziale di riempimento.

Altro genere di opere per la riduzione delle perdite di sedimenti sono i **sistemi di drenaggio** (BMS - Beach Management System, BDS - Beach Dewatering System) che basano la loro funzione di trattenimento dei sedimenti sull'abbassamento della zona di saturazione dei sedimenti della fascia di battigia. Trovano applicazione in coste basse e sabbiose, attraverso l'installazione tubi drenanti in trincee ricavate in corrispondenza della linea di riva, nella zona di risalita delle onde (swash zone), collegati ad una stazione di pompaggio per l'eliminazione dell'acqua⁹³. Questi sistemi riducono la fluidificazione delle sabbie ed al contempo incrementano la capacità della spiaggia di assorbire l'energia del moto ondoso. In fase progettuale va eseguito uno studio accurato per valutare l'idoneità del contesto di intervento a questo tipo di opera in relazione al materiale in situ. Un contesto non idoneo (es. granulometria troppo fine o troppo elevata) potrebbe rendere poco efficace l'effetto del drenaggio.

I **sistemi elettrochimici** si basano sempre sul principio di trattenimento dei sedimenti, ma in questo caso la funzione viene esplicata mediante elettrolisi dei minerali disciolti nelle acque marine che, precipitando attorno a un catodo per effetto del passaggio di corrente, vanno a costruire un substrato semiartificiale, composto di minerali e sedimenti, di una certa compattezza. Sono tecniche usate per la protezione delle coste sedimentarie con bassi gradienti, poco profonde e a modesta energia. Hanno costi relativamente contenuti e i risultati dipendono dalle quantità di ioni calcio e magnesio disciolti nelle acque. Il “materiale di costruzione” è assolutamente naturale ed eventuali danni alla struttura realizzata (substrato, crosta)

⁹³ Encyclopedia of Coastal Science, Encyclopedia of Earth Sciences Series, 2018, pp 1-4, DOI 10.1007/978-3-319-48657-4_370-1, ISBN 978-3-319-48657-4, Series ISSN 1388-4360, Springer International Publishing

possono essere riparati con successive connessioni al generatore di corrente. La struttura stessa può essere smantellata semplicemente invertendo la polarità degli elettrodi.

Rimandando all'Allegato 2 per i necessari approfondimenti, sia degli aspetti tecnici che ambientali, sulle varie tipologie di opere brevemente richiamate, si riassumono qui di seguito alcuni elementi importanti da considerare in fase progettuale nella scelta di opere e interventi.

La **scelta della tipologia di interventi e opere**, di tipo rigido o “semirigido”, che comportino una modificazione sostanziale di un tratto di litorale, deve essere condotta in fase pre-progettuale o di progetto preliminare, attraverso una valutazione comparativa delle diverse opzioni progettuali che abbia come riferimento:

- un **quadro conoscitivo sugli aspetti ambientali, geologici e sedimentari**, il più possibile dettagliato del tratto costiero e dell'Unità fisiografica di riferimento;
- una **conoscenza approfondita delle condizioni dinamiche e di assetto** del sito specifico e delle aree contermini, dalla Cella o tratto litoraneo, alla Macro-cella o all'Unità fisiografica;
- la **definizione di un obiettivo chiaro e in qualche modo quantificabile**, (es. “spiaggia di progetto”) in relazione alla problematica specifica da affrontare e alla performance attesa dell'intervento;
- l'**utilizzo di modelli**, alimentati da dati disponibili o acquisiti ad hoc per completare il set necessario, al fine di simulare il comportamento delle diverse opzioni progettuali ipotizzate in relazione alle condizioni sito specifiche e ottenere output a supporto della valutazione e scelta della tipologia di opera;
- la **valutazione degli impatti delle opere, in termini sia ambientali sia di costi/benefici**, la loro accettabilità, temporaneità o permanenza, eventuale reversibilità, necessità di eventuali mitigazioni necessarie, nella realizzazione e nel ciclo di vita dell'opera, così come per la eventuale necessaria manutenzione;
- la **scelta preferenziale di interventi con minori impatti**, o che possano avere caratteristiche di reversibilità o riduzione sostanziale degli impatti, qualora risultasse successivamente necessario modificare o rimuovere in tutto o in parte l'opera stessa;
- un **monitoraggio dell'opera realizzata e degli effetti generati** sul sito specifico e nelle aree contermini, in funzione della valutazione della sua effettiva performance secondo l'obiettivo dato.

IV.2.3.4. Indicazioni di buone pratiche per l'alimentazione con sedimenti esterni al sistema litoraneo (AS-1)

Nell'ambito di un sistema litoraneo le perdite di volumi di sedimenti, e quindi di quota di litorale emerso rispetto al livello medio marino, possono essere relative o assolute, localizzate o generalizzate, e a seconda del caso ripristinabili con risorse interne o esterne. Tali perdite sono riconducibili principalmente a:

- **riduzione dell'apporto di sedimenti** dai corsi d'acqua, a causa di diminuzione dell'erosività nei bacini idrografici, di opere idrauliche intercettanti, della subsidenza nelle aree pianiziali;
- **alterazione del trasporto solido lungo costa**, a causa di opere aggettanti e modificazioni delle condizioni dinamiche litoranee;
- **alterazione dello scambio cross-shore** di sedimenti, a causa di incremento dell'esposizione all'azione del mare e del vento e del trasporto solido trasversale

- **subsidenza e perdita di quota dei litorali**, per cause naturali e antropiche, costipamento degli strati sedimentari naturale o indotta dall'emungimento di fluidi.

Ai fini della gestione dei litorali è importante quindi poter condurre valutazioni in merito al carattere delle “perdite”, sia a livello locale sia a livello di sistema. La “discretizzazione” o suddivisione della fascia costiera in **Celle o tratti litoranei** risulta utile sia a questo tipo di valutazioni sia ad un approccio gestionale che tenga insieme entrambi i livelli, locale e di sistema, in una visione unitaria di programmazione.

L'individuazione e designazione di fonti locali o **accumuli costieri e di giacimenti strategici di sedimenti** utili per le Celle in condizioni di criticità o per il sistema litoraneo nel suo complesso, rappresenta un passaggio fondamentale per mirare a ristabilire un suo bilancio sedimentario e più in generale per definire un Piano di gestione degli effetti dell'erosione e della dinamica costiera.

Dell'adozione di un sistema informativo utile alla gestione dei sedimenti interni al sistema litoraneo si è parlato più nel dettaglio nel paragrafo IV.2.2.5. Qui di seguito si riportano, secondo lo schema introdotto nel capitolo IV.2.2.4, alcune indicazioni di buone pratiche, già in essere presso regioni costiere italiane, per l'alimentazione con sedimenti da fonti esterne al sistema litoraneo.

Alimentazione del sistema litoraneo – Sedimenti Esterni

Prelievi da depositi offshore (AS-1.1)

I giacimenti *offshore*, o depositi sedimentari marini relitti (DSMR) presenti sulla piattaforma continentale, si sono formati in un ambiente deposizionale e in condizioni di livello del mare molto diversi rispetto a quelli attuali. Si tratta di **risorse non rinnovabili** e quindi la loro gestione richiede un'**attenta pianificazione** attraverso un'approfondita **conoscenza dei giacimenti**, una **corretta programmazione** degli interventi e delle **attività di monitoraggio** durante e dopo gli interventi stessi.

Nel panorama italiano sono già **numerose le esperienze di ripascimenti con sedimenti offshore** effettuate dalle Regioni a partire dagli anni '90 fino al 2016 (Veneto, Lazio, Emilia-Romagna, Marche, Sardegna). Inoltre, numerose Regioni hanno effettuato o avviato **studi e campagne geofisiche e geognostiche** per la individuazione e caratterizzazione dei depositi sottomarini, accompagnati dalla realizzazione di sistemi informativi e gestionali dedicati, con il supporto tecnico-scientifico di Università e di centri di ricerca come ISMAR-CNR e ISPRA⁹⁴. In merito ai diversi interventi realizzati dalle Regioni, ai volumi mobilizzati e al censimento dei depositi sottomarini conosciuti si rimanda all'Allegato 3.



Figura IV.2.3.4.1- ripascimento con sabbie sottomarine

Va sottolineato che, ad oggi, non è disponibile una ricognizione completa dei depositi utili a livello di Mediterraneo, anche se, in alcuni casi come nel settore italiano del mare Adriatico si possiede un quadro

⁹⁴ **Veneto** “Progetto di caratterizzazione dei depositi sabbiosi sommersi presenti sulla piattaforma alto adriatica” con ISMAR e “Caratterizzazione ambientale dei depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma alto adriatica” con ISPRA; **Puglia** “Piano operativo per l'individuazione di giacimenti di sabbia sottomarina” 2015 con ISMAR; **Basilicata** “Ricerca di possibili depositi sottomarini” ha dato esito negativo; **Toscana** studi e ricerche sui depositi di sedimenti della piattaforma continentale utilizzabili ai fini di ripascimento; **Lazio** protocolli operativi e strumenti tecnici messi a punto nei progetti europei “Beachmed” e “Beachmed-e” (2002-2008); **Emilia-Romagna** campagna geognostica 2015-2016 per il terzo intervento con sabbie sottomarine; **Liguria** “Relazione sulla presenza e sul possibile utilizzo di sabbie relitte marine ai fini di ripascimento” in Piano di Tutela dell'Ambiente marino e costiero.

conoscitivo molto avanzato rappresentato dalla ‘Cartografia geologica dei mari italiani’ (CARG 1:250000) che permette l’identificazione delle aree dove esistono potenziali giacimenti da investigare ulteriormente.

Per una corretta gestione di tali risorse sono necessarie caratterizzazioni di dettaglio, sistemi avanzati di rappresentazione e gestione dei dati⁹⁵, un’attenta valutazione degli impatti prodotti dai dragaggi sui depositi e sulle biocenosi oltre la valutazione delle caratteristiche chimico-fisiche e tessiturali dei sedimenti.

Sistemi avanzati di rappresentazione e gestione dei dati. Come nel caso delle cave terrestri, anche per la gestione dei giacimenti *offshore*, è necessario disporre di banche dati geografiche che permettano una gestione unitaria e coordinata delle conoscenze. Di database sui depositi *offshore* ne esistono alcuni esempi tra i quali si richiamano quelli per i depositi dell’Alto Adriatico⁹⁶ e della Sardegna Occidentale⁹⁷. L’uso di strumenti informativi geografici dedicati permette di ottimizzare gli investimenti sulla ricerca, di aumentare la capacità di analisi e di migliorare le modalità di sfruttamento e il recupero della risorsa sabbia nei DSMR. Un esempio di banca dati e di schema relazionale che tenga conto di questa molteplicità di aspetti, è illustrata nel capitolo IV.4.2. L’utilizzo dei giacimenti strategici per il mantenimento delle spiagge deve tener conto fra l’altro dei potenziali conflitti con altri usi del mare e con la tutela di aree marine protette (Figura IV.2.3.4.2). Occorre quindi verificare le aree di interesse per il loro sfruttamento nel contesto degli altri usi del mare e sviluppare su questo aspetto specifiche analisi, anche per valutare l’effettiva **“potenzialità accessibile”** dei depositi e orientare le ricerche per definire di conseguenza la **“potenzialità verificata e utile”** ai fini di un loro sfruttamento (cfr. Allegato 3).

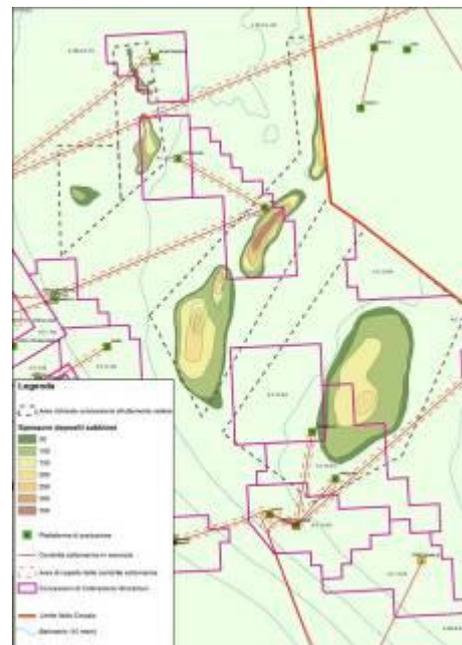


Figura IV.2.3.4.2- Estratto dalla cartografia degli “Usi del Mare” dell’Emilia-Romagna.

Verifica dei parametri fisici dei sedimenti. In merito alla conoscenza dei giacimenti servono ricerche estese, a partire da quelle geofisiche e geologiche dei fondali, fino a studi di dettaglio sui singoli depositi e aree di prelievo. Su questi temi c’è un’ampia bibliografia⁹⁸ e le tecniche ormai consolidate si basano su ricerche di tipo geofisico e geognostico (carotaggi - analisi di laboratorio e prove CPT) nonché indagini d’impatto ambientale sia relative al sistema fisico sia su quello biologico.

Oltre alle analisi granulometriche, geomeccaniche e colorimetriche (cfr paragrafo IV.2.4.2) su campioni prelevati, in alcuni casi le indagini CPT, nuove per il panorama nazionale, ma già utilizzate nel Nord Europa, permettono di acquisire informazioni sui parametri geomeccanici (quali densità e compattezza del deposito) molto importanti per pianificare meglio le attività di dragaggio e la scelta dei mezzi, oltre a fornire parametri utili alla classificazione sedimentologica. Tali prove sono da considerare sostitutive dei carotaggi solo nei casi in cui siano disponibili, già in banca dati, un numero di sondaggi sufficiente per procedere alla successiva fase del sub-campionamento del deposito. Inoltre, qualora dalla geofisica appaia un deposito tabulare e poco articolato, la prova CPT, a seguito di taratura in prossimità di un foro di sondaggio già

⁹⁵ es. il sistema In_Sand, Regione Emilia-Romagna e ISMAR-CNR

⁹⁶ In-Sand http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia-en/temi/costa/In_sand

⁹⁷ Get-It <http://sk.oristano.iamc.cnr.it/maps/280/view>

⁹⁸ Garell E., Bonne W., Collins, M.B. (2009). Offshore sand and gravel mining. p. 4162-4170. In: Encyclopedia of Ocean Sciences. Steele, J.H., Turekian, K.K. and Thorpe, S.A. (eds). Elsevier Ltd, Amsterdam.

effettuato, può essere utile anche a produrre una correlazione del dato litologico riducendo i costi di ulteriori campagne geognostiche.

Verifica dei parametri chimici. Oltre agli aspetti di compatibilità con i sedimenti delle aree di ripascimento, la verifica della qualità chimica del sedimento da movimentare è determinante anche per valutare l'eventuale reintroduzione di contaminanti nella colonna d'acqua e nel ciclo del particolato e i possibili effetti su habitat e biocenosi nell'area di prelievo.

Per tale motivo, la qualità chimica del sedimento superficiale (sia di quello sabbioso da destinare al ripascimento, sia dell'eventuale coltre pelitica) deve essere sempre attentamente valutata in termini di contaminanti organici ed inorganici. Per valutare tali aspetti legati allo sfruttamento dei DSMR si fa riferimento agli standard di qualità ambientale definiti ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 172/2015. Per quanto riguarda la presenza di metalli ed elementi in traccia, in taluni casi concentrazioni elevate sono riconducibili a valori di background e non a contaminazione antropica ed è importante quindi poter discriminare l'origine naturale o antropica di eventuali concentrazioni anomale e verificare la mobilità degli elementi considerati e quindi la potenziale disponibilità per l'ambiente. Per ulteriori approfondimenti si veda l'Allegato 3.

Verifica del deposito e delle attività di dragaggio in sede di progettazione e di esecuzione. Al fine di gestire al meglio i volumi di sabbia "utili" per la coltivazione, è importante che nella progettazione degli interventi sia previsto il **monitoraggio dello stato del deposito** (attraverso il rilievo multi-beam) e il calcolo dei volumi residui. Un'ulteriore possibilità è quella di introdurre specifiche **misure di controllo delle attività di**

dragaggio in "fase operativa", con la richiesta di report giornalieri in cui, oltre alla posizione della draga, sia fornita la profondità di scavo e le linee di dragaggio. Ciò permetterebbe di monitorare e indirizzare lo sfruttamento del deposito in tempo reale. E' necessario però prevedere una supervisione specifica durante le operazioni a mare. Ulteriori indicazioni dovrebbero essere fornite sui corridoi di dragaggio. Si è constatato infatti che, più ampia è l'area di produzione, in rapporto al volume richiesto, e più ridotta è l'efficacia e la "produttività" dello scavo in funzione di uno sfruttamento ottimale dell'area, che dovrebbe essere il più "tabulare" possibile.

E' consigliabile quindi di frazionare l'area in lotti e prescrivere il totale sfruttamento di ciascuno di essi (fino alla base stabilita da progetto) prima di procedere al dragaggio del lotto successivo. E' ovvio che la dimensione dei 'lotti' dovrebbe essere calibrata sulla base delle caratteristiche del mezzo utilizzato per il dragaggio. Questo consentirebbe di ritrovare una morfologia del fondo più dolce ed omogenea e di non dover pianificare successive campagne di scavo per il recupero del sedimento non sfruttato, o anche ritrovarsi nelle condizioni in cui una parte di deposito non risulti più economicamente sfruttabile in termini di costi/produttività (Figura IV.2.3.4.3).

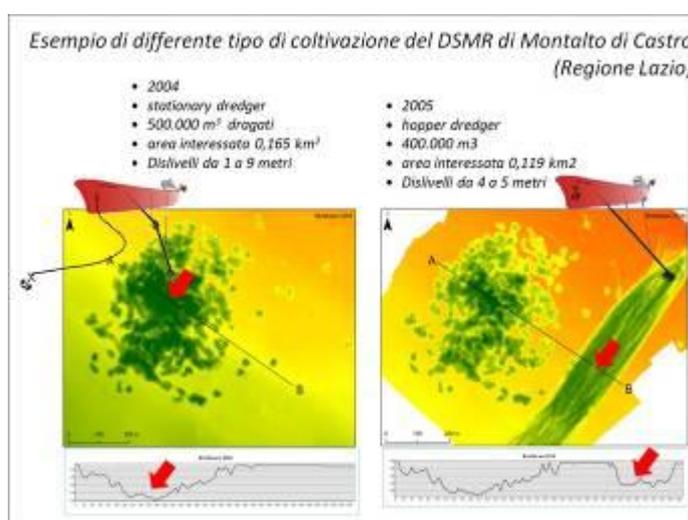


Figura IV.2.3.4.3- Nel caso del 2005 il fondale è rimasto in condizioni meglio sfruttabili per un successivo intervento

Valutazione dell’impatto dei dragaggi. In generale, è noto che il dragaggio dei DSMR può comportare effetti fisici e biologici non trascurabili. Tra i principali effetti attesi sull’ambiente fisico marino sono da considerare quelli sul fondo e sulla colonna d’acqua. Gli effetti sul fondo sono principalmente localizzati all’interno dell’area dragata e sono riconducibili a **variazioni morfologiche** (formazione di depressioni e solchi generati dall’azione diretta della draga), e sedimentologiche che comportano variazioni tessiturali e geotecniche dei sedimenti superficiali, per l’esposizione dei livelli di sedimento sottostanti. I più significativi effetti sulla colonna d’acqua implicano variazioni di **torbidità** dovute all’aumento dell’input sedimentario associato alla formazione di plume di torbida, superficiale e di fondo. Per quanto concerne il comparto biotico, gli effetti più rilevanti sono quelli attesi a carico delle **comunità bentoniche** e dei **popolamenti ittici** demersali, quindi è necessario valutare attentamente la **compatibilità dei dragaggi con le attività di pesca professionale**. Sugli aspetti ambientali inerenti il dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento, ISPRA nel



Figura IV.2.3.4.5- Schema di potenziale utilizzo dei depositi off-shore in Regione Toscana

2006 ha pubblicato una specifica proposta di protocollo di monitoraggio ambientale⁹⁹. Per una migliore trattazione di questi aspetti si veda l’Allegato 3. Infine,

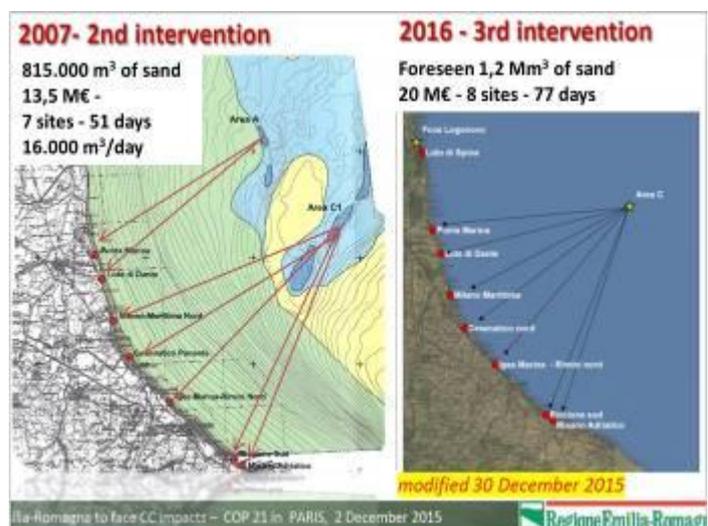


Figura IV.2.3.4.4- Schemi del secondo e terzo intervento con sabbie off-shore in Emilia-Romagna

qualora i depositi siano ubicati in zone di piattaforma non distanti dalla costa ed a bassa profondità, vanno presi in considerazione e valutati anche i possibili **impatti sulla dinamica dei fondali litorali** alle profondità dove le modifiche morfologiche dei dragaggi possono indurre modificazioni nel regime delle correnti e nella capacità rifrattiva dei fondali.

Pianificazione degli interventi a scala regionale o macro-regionale. La particolare natura della risorsa dei DSMR, esige da parte delle Amministrazioni una particolare attenzione per il suo uso ottimale ed ottimizzato. Un primo elemento di pianificazione è legato alle **dimensioni degli interventi** in quanto i costi di dragaggio dei DSMR (soprattutto ad alta profondità) possono essere resi competitivi solo per quantità considerevoli (da diverse centinaia di migliaia a qualche milione di metri cubi). Questo comporta la programmazione degli interventi in forma organizzata che spesso deve coinvolgere più comuni allo stesso tempo (Figure IV.2.3.4.4 e 5).

⁹⁹ Nicoletti L., Paganelli D., La Valle P., Maggi C., Lattanzi I., La Porta B., Targusi M., Gabellini M. (2009). An Environmental Monitoring Proposal Related to Relict Sand Dredging for Beach Nourishment in the Mediterranean Sea., Journal Coastal of Research, SI 56: 1262-1266.

Un esempio delle “economie di scala” già a livello di progettazione (senza considerare i ribassi) può essere rappresentato dai costi a base d’asta adottati dai 7 interventi della Regione Lazio (Figura IV.2.3.4.6). Un secondo elemento è legato alle **tempistiche di intervento** che, se rese “flessibili” e distribuite nel tempo, possono anch’esse ridurre notevolmente i costi (ad esempio appaltare i lavori in finestre temporali annuali in un arco di tempo pluriennale). Un terzo altro elemento di pianificazione riguarda la **gestione di DSMR al confine tra regioni** o che, nell’ottica di interventi programmati e di dimensioni di adeguata scala, dovrebbero richiedere una concertazione interregionale. Un esempio in tal senso è quanto concordato in un **documento congiunto**¹⁰⁰ tra le Regioni Emilia-Romagna, Marche ed Abruzzo od anche il **Protocollo d’Intesa** tra Regione Lazio e Regione Toscana predisposto nell’ambito del progetto europeo MEDSANDCOAST.

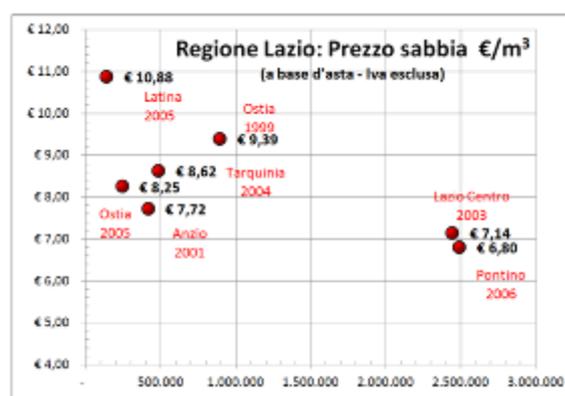


Figura IV.2.3.4.6- Prezzi a base d’asta negli interventi fra il 1999 e il 2006 in Regione Lazio

Gestioni pluriennali e finanza di progetto. La possibilità di organizzare una gestione pluriennale dei DSMR, finalizzata al ripascimento manutentivo dei litorali, rappresenta un ulteriore metodo per razionalizzare l’uso della risorsa e raggiungere significative economie. In effetti se le tempistiche di intervento sono rese “flessibili” e distribuite nel tempo, possono anch’esse contribuire a ridurre notevolmente i costi (ad esempio appaltare i lavori in finestre temporali annuali in un arco di tempo pluriennale). Queste gestioni pluriennali si prestano particolarmente a forme di finanziamento misto pubblico e privato come la finanza di progetto così come introdotta dal Codice degli Appalti¹⁰¹.

In Italia non risultano avviate esperienze ancora del genere nell’ambito dei dragaggi finalizzati al ripascimento. Un’esperienza del genere, ancora in corso di svolgimento nel sud-est della Gran Bretagna, lungo le coste della Pevensy Bay, è rappresentata dall’accordo (Partenariato Pubblico-Privato) tra l’Environmental Agency del Governo Britannico ed il consorzio di imprese Pentium, per complessivi 30 milioni di sterline, per la realizzazione di lavori di difesa costiera e per la loro manutenzione, a fronte di saldi mensili, per una durata totale di 25 anni¹⁰². Anche in Olanda il Rijkswaterstaat (Ministero delle Infrastrutture e dell’Ambiente) ha sviluppato contratti pluriennali con privati per la manutenzione delle dighe costiere (Hondsbosche e Pettemer), realizzando significative economie¹⁰³.

Alla luce delle esperienze italiane ed internazionali ormai consolidate, si riassume quindi qui di seguito alcuni elementi da considerare e **buone pratiche circa l’utilizzo dei sedimenti da depositi sottomarini** ai fini del ripascimento costiero:

- **Caratterizzazione dei depositi** e sistema avanzato di rappresentazione e gestione dei dati;
- **Verifica dei parametri fisici e chimici dei sedimenti** e loro compatibilità con le aree di destinazione;
- **Verifica dei depositi e delle attività di dragaggio** in sede di progettazione e di esecuzione interventi;
- **Valutazione dell’impatto dei dragaggi** nelle zone di prelievo, zone limitrofe e aree di pesca;
- **Pianificazione degli interventi** a scala regionale o anche macro-regionale ai fini dell’ottimizzazione;

¹⁰⁰ Regioni Emilia-Romagna, Marche e Abruzzo: “Una strategia comune per la difesa del litorale Adriatico” documento a firma congiunta trasmesso al Ministro dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare il 28 marzo 2014.

¹⁰¹ D.Lgs. 163/2006, art.153, comma 19

¹⁰² <http://www.pevensey-bay.co.uk/>

¹⁰³ Annual Report Rijkswaterstaat 2013

- **Valutazione di possibili soluzioni di gestione pluriennale** con modalità di finanza di progetto.

Per ulteriori indicazioni su gestione e sfruttamento efficace dei depositi sottomarini si rimanda a IV.4.4.2.

Alimentazione del sistema litoraneo – Sedimenti Esterni

Azioni rivolte al ripristino del Trasporto solido fluviale (AS-1.2)

I sedimenti resi disponibili dai processi erosivi nei bacini idrografici e dal trasporto solido dei corsi d'acqua, dall'azione del mare e degli agenti atmosferici e gravitativi nel caso del disfacimento delle coste alte, falesie e scogliere, rappresentano l'alimentazione naturale delle spiagge e il principale fattore di bilancio dei sistemi costieri a contrasto dell'erosione.

Il trasporto solido fluviale è di diverso tipo in funzione del materiale e dell'energia in gioco. Il **trasporto di fondo**, o anche per **"saltazione"**, particolarmente ingente negli eventi di piena, coinvolge le frazioni più grossolane dei materiali (sabbie grossolane, ghiaie, ciottoli). Il **trasporto in sospensione** coinvolge le frazioni più fini del materiale come sabbie fini, limi e argille, formando una **"torbida"** che comincia a depositarsi **"selettivamente"** al calare dell'energia. Il **trasporto per galleggiamento**, o flottazione, coinvolge i materiali con densità inferiore a quella dell'acqua (materiali vegetali, materiali di origine antropica, ma anche materiali litoidi e minerali come pomici e miche, quest'ultime più dense ma che galleggiano per via del fattore forma). Il **trasporto in soluzione**, di sostanze disciolte nell'acqua, rappresenta infine una frazione poco significativa del trasporto solido totale, in relazione alla tematica in oggetto.

Venendo a mancare o a ridursi l'apporto sedimentario dei corsi d'acqua, soprattutto quello derivante dal trasporto di fondo e di sospensione, il sistema litoraneo entra in crisi in tempi più o meno brevi, in funzione delle maggiori o minori **"riserve"** di sedimenti presenti lungo costa. Le cause di riduzione del trasporto solido fluviale sono molteplici: dalle escavazioni e asportazioni di sedimenti in alveo (oggi non più consentite se non per specifiche sistemazioni idrauliche), alle opere di regimazione lungo gli stessi corsi d'acqua, dalla sistemazione dei versanti alla riduzione dell'uso dei terreni a seminativo in montagna, alla mancata pulizia della vegetazione degli alvei in pianura.

Questo insieme di elementi fa sì che sempre più ingenti quantità di sedimenti rimangano **"intrappolate"** nei bacini idrografici e non arrivino, o arrivino in maniera molto ridotta e magari nella loro frazione più fine, ai sistemi costieri. Per questa ragione, nell'ambito di una **strategia di gestione degli effetti della dinamica costiera di più lungo termine**, a fianco delle necessarie scelte di gestione degli effetti dell'erosione con apporti artificiali di sedimenti (litoranei o da depositi sottomarini) è opportuno che vengano promossi studi, introdotte politiche e azioni volte al ripristino o miglioramento del trasporto solido fluviale, per quanto possibile in relazione a condizioni territoriali anche profondamente cambiate nel corso degli ultimi decenni.

Questo anche perché quelle che sembrano essere riserve ingenti di sedimenti nei depositi sottomarini sono di fatto risorse finite, non rinnovabili, su cui non si può contare illimitatamente.

Inoltre, il ripristino del trasporto solido fluviale rappresenta in alcune regioni la principale risorsa su cui contare. Ad esempio le spiagge degli 800 chilometri della Regione Calabria dipendono dal trasporto fluviale di circa 1000 corsi d'acqua. Un caso di studio particolarmente significativo è quello del tratto terminale del Fiume Noce, confine interregionale tra Calabria e Basilicata, dove è stata programmata e realizzata tra il 2001 ed il 2016 il ripristino del trasporto solido fluviale modificando il dimensionamento delle opere di regimazione (briglie di salto) e recuperando i due terzi dei 130 metri di arretramento della foce avvenuti nei 15 anni precedenti. In regioni come la Calabria il ripristino del trasporto solido fluviale è un intervento ancora possibile da realizzare sul 95% dei corsi d'acqua.

A tale proposito occorre comunque notare che, in alcuni territori come la Calabria, caratterizzati dalla presenza di corsi d'acqua molto acclivi l'importante trasporto solido anche grossolano che si verifica provoca una consistente riduzione dell'officiosità idraulica degli stessi corsi d'acqua e di conseguenza un aumento del rischio idraulico. In questi casi la rimozione dei sedimenti depositati in alveo rimane l'intervento da attuare in maniera prioritaria nelle more di valutare la possibilità di rivedere l'assetto complessivo del corso d'acqua nell'ottica di ripristinare, per quanto possibile, il trasporto solido e ottenere quindi un aumento degli apporti solidi all'unità fisiografica costiera a cui il corso d'acqua afferisce.

In questo caso è comunque necessario che il materiale rimosso sia reimpiegato in interventi di ripascimento artificiale all'interno dell'unità fisiografica a cui il corso d'acqua afferisce e/o ricollocato eventualmente lungo lo stesso corso d'acqua nei tratti che risultano in erosione.

Diverse Regioni, ed altri Enti territoriali come le Autorità di Bacino, hanno introdotto disposizioni, Piani e sperimentazioni relative alla gestione dei sedimenti dei corsi d'acqua rivolte, oltre che a ripristinare l'officiosità idraulica, anche a **favorire un miglioramento del trasporto solido fluviale**.

Il blocco delle escavazioni in alveo, introdotto ad esempio dalla Regione Emilia-Romagna (DCR n. 1300 del 24 giugno 1982) e successivamente dal Magistrato per il Po nel 1990 su tutta l'asta principale e sui tratti tributari di sua competenza, ha fatto registrare una netta inversione di tendenza e, nel corso degli anni 1985-2010, un sensibile incremento del trasporto solido del fiume Po utile al ripascimento naturale dei litorali, pur con importanti squilibri evidenziatisi lungo diversi tratti del corso d'acqua. Il Programma Generale di gestione dei sedimenti del Fiume PO, predisposto dall'Autorità di Bacino¹⁰⁴, mira a risolvere questi squilibri oltre che ai fini del raggiungimento di "buone condizioni di officiosità dell'alveo" anche ai fini di una strategia di mitigazione dei processi erosivi litoranei.

Particolare importanza, in relazione al trasporto solido dei corsi d'acqua utile al fine dell'equilibrio dei litorali, riveste anche la **gestione della vegetazione fluviale ripariale**, accompagnata da rizezionamenti di alvei e aree golenali¹⁰⁵. Un caso di rilievo in questo senso è rappresentato dalla sistemazione idraulica del Fiume Potenza in Regione Marche. A seguito degli eventi alluvionali del 1998 e 1999 sono stati realizzati interventi lungo tutta l'asta fluviale (apertura sezione idraulica, ripristino delle quote delle opere trasversali, pulizia vegetazionale e taglio selettivo) con interventi graduati, più importanti nell'ultimo tratto verso foce e più leggeri risalendo il corso del fiume. Negli anni successivi, grazie a trappole di sedimenti opportunamente posizionate, si è potuto misurare una importante e costante riattivazione del trasporto solido a mare. Recentemente la stessa Regione sta effettuando prelievi di campioni sedimenti lungo due aste fluviali per la caratterizzazione dei depositi di sovralluvionamento potenzialmente destinabili al ripascimento. Anche la gestione della vegetazione fluviale ripariale deve essere sviluppato in accordo con i principi e i criteri dettati dalla normativa di settore per il programma di gestione dei sedimenti (art.117, D.lgs. 152/06), nel rispetto degli obiettivi di qualità ecologica del Piano di gestione acque e dei criteri del Piano di gestione rischio alluvioni.

¹⁰⁴ **AdB Po: Programma generale di gestione dei sedimenti del Fiume PO** - Attuazione della Direttiva tecnica Delibera CI AdBPo n° 9/2006 -Stralcio "intermedio", adottato nella seduta di Comitato Istituzionale del 5 aprile 2006; Stralcio "di valle", adottato dal CI del 24 gennaio 2008; Stralcio "di monte" adottato dal CI del 18 marzo 2008. In attesa di completamento per l'area Stralcio del Delta. Aggiornamento sul trasporto solido fluviale del fiume Po.

¹⁰⁵ **Emilia-Romagna:** LR n. 7/2014 Capo II Artt. 72-75, regola la programmazione e realizzazione degli interventi per i quali sono in corso di redazione le "Linee guida per la gestione della vegetazione di pertinenza fluviale". **Marche:** LR n. 31/2012, LR n. 48/2013, DACR n. 100/2014 sui Progetti Generali di Gestione. **Basilicata:** PRGC-Parte D (norme) e Interventi di ripristino dell'officiosità idraulica nei tratti terminali di alcuni corsi d'acqua principali. **Molise:** lavori di manutenzione dei bacini dei corsi d'acqua principali da parte della Regione o dei consorzi di Bonifica o dei privati confinanti. Progetto definitivo sulla sistemazione idraulica del Fiume Biferno a valle della Diga del Liscione

Altre importanti azioni, a valle di opportuni studi e sperimentazioni, riguardano la **revisione di opere trasversali** (briglie e traverse) e interventi di **movimentazione** o di **bypass di sedimenti**, ove possibile o necessario lungo i corsi d'acqua, aventi carattere “una tantum” o continuativo¹⁰⁶. Una linea di collaborazione in questo senso avviata fra Regione Veneto, Regione Emilia-Romagna e i rispettivi Enti parco Delta regionali, ha condotto a formulare proposte di progetto relative a sperimentazioni e monitoraggi su interventi di bypass e trasporto solido fluviale che potranno dare ulteriori indicazioni su criteri di fattibilità, tecniche e buone pratiche per questi tipi di interventi.



Figura IV.2.3.4.7- esempio di materassi di sovralluvionamento in corrispondenza di opere

Al fine di poter mettere in campo efficaci azioni volte al ripristino o al miglioramento del **trasporto solido fluviale** utile al ripascimento naturale dei litorali, è opportuno sviluppare adeguate conoscenze, sperimentazioni e azioni di gestione dei bacini e dei corsi d'acqua, con riferimento a:

- **inquadramento geomorfologico dei bacini imbriferi e degli alvei dei corsi d'acqua**, formazioni geologiche, uso del suolo, erodibilità dei suoli, morfologia, profili e sedimentologia degli alvei;
- **conoscenza, quantificazione, del trasporto solido fluviale**, ove possibile in modo diretto, attraverso monitoraggi, o in modo indiretto, attraverso modelli idraulici opportunamente tarati;
- **sperimentazione di interventi di bypass di sedimenti**, ove opportuno, in corrispondenza di opere idrauliche e sbarramenti;
- **revisione di opere idrauliche**, briglie e traverse, in particolare ove si riscontrino effetti di sovralluvionamento nelle aree a monte delle stesse;
- **misure manutentive e di gestione della vegetazione ripariale**, accompagnate eventuali necessari risezionamenti di alvei e aree golenali, volte a ridurre la capacità di trattenimento dei sedimenti.

Alimentazione del sistema litoraneo – Sedimenti Esterni

Utilizzo di materiali dall'entroterra (AS-1.3)

Sedimenti da scavi edili, grandi opere, bacini portuali

Il ricorso a sedimenti dell'entroterra per il ripascimento dei litorali è stato rappresentato in passato e per diverso tempo quasi esclusivamente dai materiali di cava, come ad esempio il primo ripascimento realizzato in Emilia-Romagna a metà degli anni ottanta¹⁰⁷, provenienza che ha registrato negli ultimi due decenni un netto calo a fronte dell'aumento di materiali provenienti da altre fonti quali gli **scavi edili**, le **grandi opere infrastrutturali**, la realizzazione o l'ampliamento di **darsene e bacini portuali**.

Qualsiasi attività edilizia, dalla piccola costruzione alle grandi opere, presuppone l'escavazione del suolo e quindi la produzione di terre e rocce. Numerosi interventi legislativi, susseguitisi in pochi anni, hanno reso complessa la normativa sulle terre e rocce da scavo. Il D.Lgs. 152/06, parte IV, non esclude automaticamente le terre e rocce da scavo dall'ambito dei rifiuti, tanto queste vengono identificate e

¹⁰⁶ **Lazio:** Gestione dei depositi di sabbia intercettati dalle opere costiere e fluviali progetto Beachmed-e, sottoprogetto GESA; **Il Mare del Lazio** Studio di Oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteo-marino, dinamica dei sedimenti e apporti continentali. **Liguria:** DGR 226/2009 Criteri e Direttive in materia di asportazione di materiale litoide dai corsi d'acqua dei bacini idrografici regionali. **Basilicata:** la revisione delle opere trasversali presenti sul tratto basso del fiume Noce ha riattivato il trasporto solido, mitigando i processi erosivi della spiaggia nel tratto costiero a ridosso del confine tra Basilicata e Calabria

¹⁰⁷ Rifacimento della spiaggia di Misano Adriatico nel 1984, con fondi FIO 1982.

classificate come rifiuti a seconda delle sostanze contaminanti contenute. Il DM 161/2012, regolamento di attuazione dell'art. 184 bis del D.Lgs. 152/2006 s.m.i., ha specificato i criteri quali/quantitativi da soddisfare affinché i materiali da scavo siano classificabili come sottoprodotti e gestiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza recare pregiudizio all'ambiente.

Il nuovo quadro normativo generale (D.Lgs. 152/2006 e DM 161/2012) propone tre alternative che prevedono diversi e articolati adempimenti:

- 1) utilizzo come sottoprodotto in sito;
- 2) utilizzo come sottoprodotto in altri siti con regime semplificato (art. 41bis L 68/2014);
- 3) utilizzo come sottoprodotto per opere sottoposte a VIA (applicazione DM 161/2012);

La L. 164/2014 (conversione del DL 133/2014) prevede un riordino e una semplificazione della materia da attuare attraverso un DPR ancora oggi in fase di discussione anche se in elaborazione avanzata.

Ferme restando le auspicabili semplificazioni, anche per gli utilizzi ai fini di ripascimento costiero, in linea generale lo smaltimento del materiale di scavo è un onere pesante per chi lo produce, mentre il reperimento di materiale da ripascimento è un onere pesante per chi lo utilizza. La gestione ottimale dei materiali di scavo potrebbe portare ad un vantaggio per entrambi i soggetti, diminuendo drasticamente i costi di smaltimento per “il produttore” così come i costi della materia prima per “l'utilizzatore”, ai fini ripascimento. In questo caso il costo si limiterebbe a quello del trattamento per il primo e a quello del trasporto e posa per il secondo.

Spesso è difficile trovare un accordo economico soddisfacente per entrambe le parti, quando l'intervento di produzione del materiale e quello di utilizzo sono legati a progetti differenti. Buoni risultati ha dato la predisposizione di appalti integrati in cui viene messo a gara anche il trattamento e l'eventuale trasporto del materiale in siti di stoccaggio o direttamente al sito di ripascimento. Tale approccio è stato utilizzato dal Comune di Genova nel 2015 per la predisposizione dell'appalto per la realizzazione dello scolmatore del Rio Fereggiano ed il contestuale ripascimento di alcune spiagge cittadine. Altro approccio, di tipo sistemico, è quello seguito dal Comune di Riccione, in Emilia-Romagna, che ha previsto nel proprio Regolamento edilizio l'obbligatorietà di conferire all'Amministrazione Comunale, presso sito di stoccaggio autorizzato, i materiali sabbiosi provenienti da scavi di interventi edilizi o infrastrutturali sul territorio della fascia costiera, per il loro successivo trattamento e riutilizzo in operazioni di ripascimento dell'arenile¹⁰⁸.

La questione dei costi è chiaramente di difficile schematizzazione in quanto le circostanze differiscono in modo troppo ampio per poter essere parametrizzate. Tuttavia, nel caso di escavi condotti a ragionevoli distanze dai punti di ripascimento, il costo si riduce a quello del trasporto ed allo spandimento del materiale (escludendo operazioni di trattamento) cui dovrebbe essere detratto il costo di conferimento a discarica.

Distanza km	Prezzo
10	-€ 6,26
20	-€ 2,96
30	€ 0,34
40	€ 3,64
50	€ 6,94
60	€ 10,24

¹⁰⁸ Comune di Riccione: R.U.E art. 6.9.14, comma 5.

Facendo riferimento ad esempio al prezzario in uso presso la Regione Lazio¹⁰⁹, si ottiene il seguente prezzo unitario: trasporto + spandimento – conferimento = $0,33 \text{ €/m}^3/\text{km} + 0,94 \text{ €/m}^3 - 1,5*7\text{€/m}^3$. A titolo puramente indicativo, si può riportare la Tabella IV.2.3.4.1 con un esempio del prezzo unitario in funzione della distanza. Dalla tabella risulta una convenienza del trasporto a ripascimento in termini assoluti fino a distanze di circa 30 km da parte dell'operatore stesso dello scavo (guadagno o parità rispetto al conferimento in discarica) ed un prezzo competitivo del materiale di ripascimento rispetto ad altre fonti, fino a circa 50-60 km di distanza. Nei casi più realistici, potrebbe essere necessario includere un costo per stoccaggi intermedi.

70	€ 13,54
80	€ 16,84

Tabella IV.2.3.4.1- Prezzo sedimento estratto da scavi e portato a ripascimento, evitando il conferimento in discarica.

Calcoli di questo genere, che devono ovviamente essere sviluppati per ogni specifica situazione e tenendo conto delle circostanze locali, possono risultare particolarmente utili in un ambito pianificato di gestione dei sedimenti costieri. Ad esempio l'inclusione regolamentata in tale contesto degli operatori balneari che hanno interesse alla manutenzione dei litorali, può aumentare il raggio di convenienza di questo genere di risorsa.

Per approfondimenti su aspetti tecnici e ambientali dei materiali da scavo si rimanda all'Allegato 3. Qui di seguito si riassumo alcune indicazioni per poter sviluppare, in base alla normativa vigente, l'utilizzo di sedimenti da scavi edili e opere infrastrutturali in genere.

In linea di massima un modello di **gestione dei materiali da scavo ai fini del ripascimento** costiero dovrebbe indirizzarsi verso sistemi "integrati" basati su alcuni passaggi fondamentali:

- **predisposizione di un Piano di utilizzo del materiale** sul progetto di scavo, compreso un protocollo di trattamento, selezione o vagliatura del materiale;
- **caratterizzazione del materiale** in relazione ad un progetto di ripascimento (granulometria, resistenza all'usura, tenore in metalli, colore, compatibilità con il sito di destinazione);
- **predisposizione di un progetto di ripascimento** in relazione al Piano di utilizzo (granulometria di progetto, volumi, modalità di versamento, tempi di produzione ed eventuale stoccaggio temporaneo);
- **previsione di attività di controllo sui versamenti** da parte delle ARPA;
- **predisposizione di un Piano di monitoraggio** sedimentologico e bio-naturalistico.

Sedimenti da invasi nei bacini idrografici

Al fine di assicurare il mantenimento della capacità d'invaso e la salvaguardia sia della qualità dell'acqua invasata, sia del corpo ricettore, il soggetto gestore di ciascun impianto deve predisporre un piano di gestione (previsto dall'art.40 del D.Lgs. 152/99) che comprenda **operazioni di svaso, sghiaimento e sfangamento delle dighe**, sulla base dei criteri fissati da un Decreto Ministeriale (DM 30 giugno 2004 – MATTM).

¹⁰⁹ Tariffa 2012 a cura del Ministero delle Infrastrutture (Provveditorato Interregionale alle OO. PP. per il Lazio, Abruzzo e Sardegna), della Regione Lazio (Assessorato alle Infrastrutture e Lavori Pubblici, Direzione Regionale Infrastrutture) e del Comune di Roma (Dipartimento Sviluppo Infrastrutture e Manutenzione Urbana)

Un esempio di applicazione regionale della norma è rappresentato da quello della Regione Veneto che con propria delibera¹¹⁰ ha declinato la classificazione degli invasi minori, i contenuti dei progetti di gestione, le procedure di valutazione e approvazione dei progetti, le misure di tutela e monitoraggio delle acque. Mentre un caso emblematico è rappresentato dalla diga sul Torrente Conca (in Emilia-Romagna), costruita a metà degli anni '70 per approvvigionamento idrico a scopo agricolo, dove l'accumulo di sedimenti a tergo dell'opera ha ridotto la capacità d'invaso ai minimi termini, rispetto a quella di progetto, e contestualmente la capacità di naturale alimentazione del corso d'acqua per le spiagge sud del riminese.

Il ricorso a tali categorie di sedimenti deve essere subordinato alla valutazione delle ricadute che tali interventi possono avere sulla disponibilità di risorse idriche e sulle caratteristiche qualitative e ambientali dei tratti fluviali a valle degli invasi e negli invasi stessi. In questo senso, i suddetti interventi devono tener conto delle previsioni dei Piani di gestione delle Acque (PGA), dei Piani regionali di tutela delle acque e di specifiche programmazioni dell'uso della risorsa idrica, nonché dei Piani di gestione degli invasi che rappresentano gli strumenti operativi specifici per la rimozione e riuso dei sedimenti, coerentemente con la pianificazione e programmazione della gestione delle risorse idriche.

Fra le tecniche di rimobilitazione dei sedimenti, lo **svaso** prevede lo svuotamento parziale o totale del serbatoio mediante l'apertura degli scarichi di fondo. Tale operazione consente tuttavia solo ad una limitata quantità di materiale sedimentato di fluire a valle in quanto l'effetto di "richiamo" in prossimità degli scarichi si riduce a limitate distanze dagli stessi.

Le operazioni di **sfangamento** hanno invece il fine di eliminare totalmente o parzialmente il materiale accumulato nel serbatoio e possono essere effettuate mediante spurgo (*flushing*), utilizzando l'acqua come fluido vettore per movimentare i sedimenti. Le altre operazioni di sfangamento prevedono l'asportazione di materiale a serbatoio pieno (dragaggio meccanico o idraulico) o a serbatoio vuoto con mezzi meccanici.

Le tecniche di **dragaggio** rappresentano una soluzione di sicura efficacia al problema dell'interrimento, ma comportano dei costi elevati che variano da 10 €/m³ ai 30 €/m³¹¹¹.

In alternativa si può procedere prima allo **svuotamento totale dell'invaso e poi alla rimozione del sedimento** utilizzando escavatori e pale meccaniche. Questa operazione risulta meno costosa per quanto riguarda le spese per i mezzi meccanici, ma nel complesso è più onerosa. In ogni caso, come detto in precedenza, il materiale da rimuovere va opportunamente analizzato.

Nei costi vanno compresi quindi quelli per la **caratterizzazione del materiale** che, se finalizzata a valutarne la compatibilità per il ripascimento su un determinato litorale, può trovare indicazioni nel Manuale APAT-ICRAM¹¹², e in un prossimo futuro nel regolamento nazionale in fase di approvazione (di cui all'art. 109, comma 2 del D.lgs. 152/2006), nonché in alcune disposizioni regionali come ad esempio quella della Regione Liguria¹¹³. Va sottolineato che il manuale e le disposizioni citate non hanno come campo di applicazione i materiali degli invasi, ma avendo come campo di applicazione la movimentazione dei sedimenti marini e i ripascimenti costieri danno indicazioni che possono essere mutate in funzione della verifica di compatibilità dei suddetti materiali per i ripascimenti in ambito costiero.

¹¹⁰ **Regione Veneto:** DGR 138/2006 "D.lgs...152/99 art.40 -DM Ambiente e Tutela del Territorio 30.6.2004 - Progetto di gestione degli invasi. Adempimenti di competenza regionale"

¹¹¹ Molino, 2004. ?)

¹¹² ISPRA 2007 aggiornamento "Manuale per la movimentazione di sedimenti marini"

<http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/manuale-per-la-movimentazione-di-sedimenti-marini>

¹¹³ **Regione Liguria:** DGR 1446/2009 "Criteri generali da osservarsi nella progettazione degli interventi di ripascimento stagionali"
<http://iterg.regione.liguria.it/Documenti.asp?comando=Ricerca&AnnoProc=2009&NumProc=5811&Emanante=>

Ai costi occorre aggiungere inoltre quelli del **trasporto dei sedimenti** in prossimità dei litorali da ripascere e della posa in opera del materiale.

L'ordine di grandezza del costo di questi sedimenti risulta quindi di alcune decine di euro a m³ (se le distanze tra diga e litorale si mantengono entro qualche decina di km) e di conseguenza antieconomico o comunque non competitivo rispetto ad altre risorse.

L'uso di questa risorsa potrebbe essere resa possibile se l'interesse per lo sghiaimento o sfangamento da parte del gestore dell'invaso risultasse elevato in modo tale da compensare una significativa quota del costo fino al raggiungimento di valori netti competitivi.

Con riferimento al censimento, ancorché incompleto, effettuato attraverso le Regioni e riportato nell'Allegato 3, si possono ipotizzare disponibilità dell'ordine di 0.65 Mm³/anno anche se, al contrario di quanto avviene per i depositi litoranei, le incertezze sulle caratteristiche dei sedimenti ed i costi unitari di movimentazione elevati, rendono tale dato tutto ancora teorico ai fini di una considerazione "operativa" per i ripascimenti costieri.

La gestione e gli spostamenti locali dei sedimenti (nelle stesse unità litoranee, o fra unità vicine) è una pratica di grande importanza per la manutenzione ordinaria di interi tratti costieri.

Al fine di una migliore **conoscenza e valutazione più precisa delle potenzialità degli accumuli negli invasi** per un eventuale utilizzo come materiale da ripascimento, sarebbe opportuno:

- **effettuare una ricognizione sugli invasi artificiali**, attraverso i soggetti gestori, per completare la stima dei volumi di sedimenti intrappolati, in particolare per gli invasi più prossimi alla fascia costiera;
- **definire o studiare accordi con i soggetti gestori** in funzione di possibili collaborazioni per la gestione dei sedimenti ove valutati compatibili (caratterizzazione e fattibilità tecnica), anche previo trattamento o selezione, ai fini del ripascimento;
- **avviare progetti sperimentali o dimostrativi**, in relazione alle situazioni che presentino più elevata fattibilità tecnica ed economica e vicinanza alla fascia costiera, per l'utilizzo dei materiali da invasi idonei al ripascimento costiero.

IV.2.3.5. Indicazioni di buone pratiche per l'alimentazione con sedimenti interni al sistema litoraneo (AS-2)

La gestione dei sedimenti litoranei rappresenta una pratica cruciale per la manutenzione della costa, sia in condizioni di squilibrio generale (in attesa di apporti esterni che possano bilanciare perdite assolute verificatesi nel sistema) sia in condizioni di equilibrio, a maggior ragione, per evitare di innescare processi di perdita e arretramento poi più difficilmente governabili.

Le risorse di sedimenti "in eccesso" nella fascia litoranea, ovvero utilizzabili ai fini del riequilibrio di zone critiche contigue o comunque a breve distanza, possono essere:

accumuli emersi (o che presentano comunque una parte cospicua emersa) come i depositi a ridosso di opere aggettanti (i moli portuali), o di opere di difesa sotto costa (parallele o trasversali) o in zone di convergenza del trasporto solido litoraneo;

accumuli sommersi (prevalentemente o esclusivamente sommersi anche in condizioni di bassa marea) come le barre sommerse di avanspiaggia, delle foci dei corsi d’acqua, lagune o bocche lagunari, i depositi a tergo delle opere di difesa distaccate o i depositi alle imboccature dei porti.

Analizzando i dati relativi alla movimentazione dei sedimenti litoranei da parte delle Regioni, riportati nell’Allegato 3, ed in particolare le differenze tra quanto autorizzato e quanto potenzialmente utilizzabile, risulta che l’impiego delle risorse litoranee di sedimenti emersi e sommersi è destinato ad un significativo incremento.

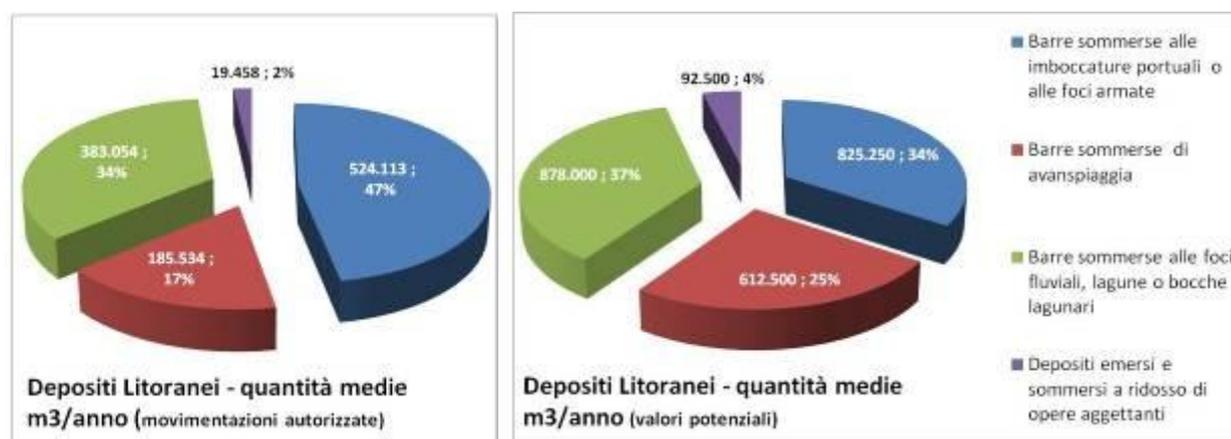


Figura IV.2.3.5.1 – confronto fra i volumi di movimentazioni autorizzate e potenzialità stimate per diverse tipologie accumuli litoranei

Questo spingerà ad ampliare i modelli di gestione verso un impiego sistematico di mezzi marittimi (auto caricanti o aspiranti refluenti) con posa di tubazioni temporanee per il refluento o all’adozione di tubazioni fisse, il cui costo può essere ammortizzato in relazione alle quantità gestite annualmente.

In relazione alle principali tipologie di accumuli richiamate in Figura IV.2.3.5.1 è possibile una schematizzazione di modelli di gestione in parte derivanti da sistemi già in uso presso le coste italiane, come di seguito riportato in tabella.

	Mezzi terrestri			Mezzi marittimi											
	tipo	Buona Pratica	costo	tipo	Buona Pratica	costo	tipo	Buona Pratica	costo	tipo	Buona Pratica	costo			
Barre sommerse alle imboccature portuali o alle foci armate	Escavatore + Dumper + Pala			Draga Aspirante-Refuente+tubazione amovibile + Ruspa	Porto di Anzio (RM): m3 , distanza 2-3 Km	9-10 €/m3	Draga Auto-caricante	Porto Marina di Carrara: 1,5 Mm3, distanza 3-5 Km	7-9 €/m3	Draga Aspirante-Refuente + tubazione fissa + Ruspa	Porto di Riccione: 3,8 Km tubazione	5,5-4,2 €/m3 (con o senza booster) + 270 €/m per la tubazione			
Barre sommerse di avanspiaggia					Follonica: 25.000 m3 davanti barriera sommersa	9-12 €/m3									
Barre sommerse alle foci fluviali, lagune o bocche lagunari					Cecina: 19.000 m3 dai fondali del Cecina	12,5 €/m3								Regione Veneto per Bibione: 2,7 Km tubazione	9-7 €/m3 + 750 €/m per la tubazione
Depositi emersi e sommersi a ridosso di opere aggettanti o scavi in ambiti limitrofi		Terracina (LT): distanza 2km, 15.000 m3/anno	5-6 €/m3		Lido Volano (FE): 124.000 m3 da Scanno Goro	5,5 €/m3									
			Lidi N Ferraresi: 214.000 m3 bypass Porto G.	4,5 €/m3											

Tabella IV.2.3.5.1 – esempi di modalità di gestione degli accumuli costieri e relativi costi dei sedimenti portati a ripascimento

I modelli di gestione che prevedono la realizzazione di strutture fisse come le tubazioni poste lungo i moli dei porti e/o lungo le spiagge da mantenere, consentono interessanti forme di cooperazione tra pubblico e privato come nel caso di Bibione¹¹⁴, dove una tubazione di 2.700 m trasferisce le sabbie dalla foce del Tagliamento alle spiagge in erosione, o di Riccione¹¹⁵, dove due tubazioni fisse trasferiscono la sabbia dragata dall'imboccatura del porto canale alle spiagge in erosione rispettivamente a 3.300 m a sud e a 550 m a nord del porto.

I costi del materiale posato nei vari casi sono estremamente variabili in ragione delle condizioni locali e delle modalità e tecnologie utilizzate. E' auspicabile che i costi di dragaggio si abbassino ulteriormente e che lo sviluppo di appalti pluriennali con flessibilità operative possa contribuire al raggiungimento di economie di scala oltre che a favorire l'avvio di una manutenzione sistematica dei litorali¹¹⁶.

A supporto delle attività di gestione degli accumuli costieri, in relazione alla manutenzione dei tratti critici o in sofferenza, è importante anche dotarsi di **strumenti informativi-gestionali dedicati** che permettano di avere un quadro generale e di dettaglio sui trend evolutivi dei vari tratti o Celle litoranee e sulla localizzazione e disponibilità di sedimenti ai fini dell'ottimizzazione delle operazioni di prelievo e ripascimento (con riferimento agli esempi al paragrafo IV.2.2.5).

Alimentazione del sistema litoraneo – Sedimenti Interni

Accumuli litoranei emersi (AS-2.1)

Gli accumuli in prossimità di opere aggettanti, moli portuali o di foci fluviali armate, di pennelli o anche di opere parallele molto vicine alla costa, presentano spesso anche importanti parti emerse. Sono depositi che

¹¹⁴ **Bibione- Veneto:** <http://www.bibione5aquaie.it/sabbiodotto.html>

¹¹⁵ **Riccione- Emilia-Romagna:** <http://www.comune.riccione.rn.it/Engine/RAServePG.php/P/115061RIC0300/T/Riccione-Il-sabbiodotto-al-lavoro-nella-zona-sud>

¹¹⁶ es. Protocollo d'Intesa Regione Veneto, Comune S. Michele e Società private per l'attuazione degli interventi di ripascimento manutentivo del litorale di Bibione, da foce Tagliamento a foce Baseleghe, per il triennio 2014-2016 .

si prestano a movimentazioni di superficie, interventi di back-pass verso le spiagge sopraflutto o di by-pass verso le spiagge sottoflutto.

Le esperienze regionali in materia sono molteplici e ad esse sono collegati strumenti dispositivi, informativi e gestionali finalizzati ad un utilizzo ottimale delle risorse, con l'individuazione di accumuli "di prestito" per gli interventi, anche periodici, sui tratti critici. Fra le esperienze significative per replicabilità e per le disposizioni ad esse collegate si richiamano le seguenti.

La Regione Marche opera con movimentazioni stagionali di sedimenti relativi alla spiaggia emersa e in modeste quantità sommersa (tecnica screeping) da depositi a tergo delle opere di difesa distaccate. Inoltre il "SITcosta" regionale contiene informazioni sui sedimenti di spiaggia emersa e sommersa, sugli accumuli e sulla morfologia costiera.

La Regione Calabria ha individuato nel Master Plan Erosione Costiera i depositi costieri disponibili e compatibili con l'elevato pregio ambientale dei siti.

La Regione Puglia ha predisposto Linee Guida¹¹⁷ individuando, nelle Unità fisiografiche definite per la propria costa, alcune aree dalle quali prelevare sedimenti sabbiosi di accumulo litoraneo utili al ripascimento dei tratti costieri in erosione e le modalità di esecuzione dei relativi interventi.

La Regione Veneto per questo genere di interventi ha emanato criteri generali e direttive tecniche per i ripascimenti manutentivi e bypass degli arenili¹¹⁸. La Regione Basilicata effettua ripascimenti delle spiagge in erosione soprattutto con materiali da accumuli sopraflutto alle opere portuali. La Regione Liguria ha emanato disposizioni e criteri generali (DGR 1446/2009 cit.) per la progettazione degli interventi di ripascimento stagionali con materiali di diversa provenienza.

La Regione Emilia-Romagna, ha indicato nelle proprie Linee Guida GIZC approcci e raccomandazioni per la gestione dei sedimenti costieri e per interventi di ripascimento con materiali di diverse fonti e si è dotata di un sistema informativo finalizzato all'individuazione e gestione degli accumuli litoranei (SICELL)¹¹⁹. Fra gli interventi più significativi di questo genere si richiamano il "Bypass Lidi ferraresi"¹²⁰ del 2004, con un sabbiodotto temporaneo che ha trasferito circa 214.000 m³ di sabbia dalla spiaggia sopraflutto del molo di Porto Garibaldi alle spiagge dei Lidi Ferraresi nord fino a circa 8,5 km dalla zona di prelievo, e il più recente intervento di "Ripascimento del Lido di Volano"¹²¹ completato nel 2015, con un sabbiodotto temporaneo di 4 km che ha trasferito su 2,5 km di spiagge in erosione circa 124.000 m³ di sabbia dallo Scanno di Goro.

Per una gestione sostenibile di questi accumuli particolare attenzione va posta sui "tempi di ricarica" e alla conoscenza dei meccanismi che li regolano, in modo da valutare attentamente i volumi effettivamente prelevabili ed evitare squilibri o innesco di processi di arretramento poi difficilmente governabili.

¹¹⁷ Puglia: DGR n. 410/2011 http://www.adb.puglia.it/public/files/downloads/Coste/20101209_Linee_guida_coste_basse.pdf

¹¹⁸ Veneto: DGRV n. 1019/2010, DGRV n. 1215/2014 <http://www.regione.veneto.it/web/ambiente-e-territorio/difesa-dei-litorali>

¹¹⁹ SICELL <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa/sicell-2006-2012/sicell-1> sviluppato nel 2010 nell'ambito del progetto europeo COASTANCE <http://www.coastance.eu/>

¹²⁰ Peretti A. 2006 - "I ripascimenti artificiali come strumenti di mitigazione del rischio costiero: L'esperienza della Regione Emilia-Romagna. <http://noe.cartodata.free.fr/IMG/pdf/11.Peretti.pdf>

¹²¹ [Intervento di ripascimento del Lido di Volano con sabbia prelevata dallo Scanno di Goro - Relazione](#)

Alimentazione del sistema litoraneo – Sedimenti Interni

Accumuli litoranei sommersi (AS-2.2)

Gli accumuli di sedimenti in prossimità delle foci fluviali o delle bocche lagunari, a tergo delle difese parallele distaccate (scogliere foranee), così come le barre di avanspiaggia, sono depositi prevalentemente sommersi anche in condizioni di bassa marea. La loro gestione presenta aspetti analoghi a quelli degli accumuli emersi ma con particolarità in alcuni casi afferenti ai mezzi utilizzati.

Per quanto riguarda le barre di avanspiaggia, pur annoverate fra gli accumuli sommersi “disponibili” ai fini del ripascimento, va sottolineato che queste strutture sedimentarie della spiaggia sommersa sono da considerare sempre in fasce batimetriche prossime alla profondità di chiusura, per evitare di modificare la dinamica nel settore prossimale della spiaggia sommersa attiva. In generale **il loro utilizzo è generalmente poco efficace** in quanto la granulometria prevalente è in genere molto fine e i volumi eventualmente portati verso la battigia (zona più energetica) migrano in breve tempo verso la zona di origine.

Casi a parte le situazioni di alto pregio ambientale, come ad esempio la **costa tirrenica vibonese di Capo Vaticano in Calabria**, dove l'utilizzo dei sedimenti a ridosso della profondità di chiusura può rappresentare una risorsa compatibile da un punto di vista ambientale, in alternativa ai prelievi di sedimenti dai corsi d'acqua e comunque nelle more di attuazione degli interventi di ripristino del trasporto solido fluviale. La strategia adottata dalla Regione Calabria è comunque quella di migliorare la dinamica di equilibrio dei sedimenti integrando al ripascimento opere di contenimento che riducano la dispersione al largo dei sedimenti più fini riutilizzati.

Altro caso a parte è la **ricarica delle barre di avanspiaggia** anche in fascia distale, qualora si venissero a determinare importanti disponibilità di sedimenti fini (sabbie al limite granulometrico e limi grossolani) da operazioni di dragaggio in mare (es. canalette di accesso ai porti), al fine di rafforzare, elevare, il piede della spiaggia sommersa.

Gli **accumuli a tergo delle scogliere foranee**, sedimenti intercettati dalla struttura di difesa parallela, sono generalmente di granulometria ancora utile per la zona di battigia e prima parte della spiaggia sommersa e rappresentano una modalità di gestione “interna” al tratto o Cella litoranea, a costi decisamente più contenuti rispetto



Figura IV.2.3.5.3 – esempio di accumulo sommerso alla foce di un corso d'acqua, il canale al centro deve essere mantenuto di opportuna sezione.



Figura IV.2.3.5.2 – ripascimento con “scraper” da accumuli di sedimenti in prossimità delle barriere

ad altre
movimentazioni. Nel tempo di sono affermati in

zone scoglierate e con scarse risorse di sedimenti disponibili a breve distanza, come ad esempio nella zona del cesenate e del ravennate meridionale in Emilia-Romagna, o in alcune spiagge del Veneto. I mezzi più utilizzati sono gli “scraper”, mutuati dall'agricoltura e modificati per operare in mare, in acque basse. Accoppiati a una ruspa o a un trattore, questi dispositivi riportano i sedimenti dalle zone di accumulo presso le scogliere verso la battigia. Sono pratiche necessariamente periodiche che si effettuano in

preparazione della stagione balneare.

Gli **accumuli presso foci fluviali o bocche lagunari** sono gestiti generalmente con la finalità di assicurare l'efficienza idraulica delle foci dei corsi d'acqua (capacità di scarico delle piene) e favorire gli scambi idrici fra mare e laguna, la circolazione idrica e l'ossigenazione delle acque lagunari. Esempi di interventi di questo tipo, accompagnati dall'utilizzo dei materiali dragati per il ripascimento dei lidi nord ferraresi, sono quelli eseguiti periodicamente all'imboccatura della Sacca di Goro (Emilia-Romagna) al fine di contrastare l'occlusione della bocca lagunare ad opera dei sedimenti di Po che accrescono l'apparato dello Scanno di Goro. Altri esempi di interventi periodici alle foci dei corsi d'acqua sono quelli già citati in Regione Veneto per la gestione del litorale di Bibione (2014-2016) con i sedimenti della barra di foce Tagliamento, o quelli per la gestione del litorale di Lido di Spina (Emilia-Romagna) con prelievi periodici di sedimenti dalla foce del canale Logonovo e del canale Gobbino, o quelli condotti fra il 2015 e il 2016 a Marina di Cecina, in Toscana, con i sedimenti dragati alla foce del Torrente Cecina. Sono tipologie di interventi comunque soggetti a particolare attenzione e valutazione delle effettive necessità idrauliche.

Di particolare interesse, in relazione a strumenti dispositivi e semplificazione di sedimenti da accumuli litoranei sommersi, è il caso della Regione Puglia¹²² che consente la movimentazione di accumuli entro la profondità di 3 m con procedure autorizzative semplificate per quantità di volumi contenuti di sedimento (fino a 5.000 m³) utili al ripascimento dei litorali costieri con un prelievo, e ricollocazione, inferiore o uguale a 20 m³/ml di spiaggia. Per la modalità di caratterizzazione dei sedimenti per ripascimenti manutentivi, sono da ricordare il caso della Regione Liguria già citato (DGR 1446/2009) e il caso della Regione Lazio¹²³ che opera attraverso una specifica Convenzione con la propria ARPA regionale.

Alimentazione del sistema litoraneo – Sedimenti Interni

Dragaggi per gestione idraulica e sicurezza della navigazione (AS-2.3)

Un caso particolare di utilizzo di accumuli sommersi si pone nelle operazioni di dragaggio dei tratti terminali dei corsi d'acqua, di canalette di accesso e alle imboccature dei porti o nei canali navigabili interni, ai fini della gestione idraulica e della sicurezza della navigazione.

A parte gli accumuli in prossimità delle imboccature dei porti o dei tratti terminali solo di alcuni fiumi, i cui sedimenti possono presentare granulometrie utili al ripascimento delle spiagge emerse, negli altri casi **si tratta in generale di sedimenti fini** che, pur verificati di idonea qualità chimica e batteriologica, difficilmente possono trovare una medesima collocazione.

A questo proposito il DM n. 173 del 15 luglio 2016 "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini", identifica **diverse opzioni di gestione** che, per i materiali con buone caratteristiche qualitative, vanno dall'utilizzo per ripascimento della spiaggia sommersa, all'immersione in mare in aree al largo stabilite e monitorate dalle amministrazioni regionali, in funzione della granulometria, o in casse di colmata o discariche controllate, per i materiali con scarse o pessime caratteristiche qualitative chimiche e batteriologiche.

Spesso i materiali fini, anche con buone caratteristiche qualitative, vengono conferiti in casse di colmata o immersi al largo senza considerare l'importante funzione nella lotta all'erosione, come rinforzo o ripristino della spiaggia sommersa. I problemi erosivi nella spiaggia emersa partono proprio da lì, dalla perdita verso il

¹²² **Regione Puglia:** Circolare prot. n. 9388 del 13 maggio 2010: "Interventi urgenti per fronteggiare l'erosione costiera provocata dalle mareggiate dei primi mesi del 2010."

¹²³ **Regione Lazio:** LR n. 53/1998 (art.18, comma 2, controllo delle caratteristiche qualitative dei sedimenti) e Convenzione tra l'ARPA Lazio e la Regione Lazio per la caratterizzazione delle sabbie dei siti di prelievo e dei siti di ripascimento della costa laziale.

largo dei sedimenti e/o dalla subsidenza che interessa la fascia costiera. Un **innalzamento dei fondali o la creazione di barre di avanspiaggia**, alle opportune batimetriche, tende a bilanciare il profilo di spiaggia nel suo complesso (emerso e sommerso) e a favorire lo smorzamento dell'energia ondosa spostando verso mare la linea dei frangenti.

Per poter utilizzare oculatamente i materiali fini provenienti da dragaggi è necessario disporre di batimetrie costiere di dettaglio associate a caratterizzazioni granulometriche dei fondali nelle diverse fasce batimetriche, a scala regionale o comunque a livello dei tratti litoranei critici e di estesi tratti al contorno, in modo tale da definire, per ogni range granulometrico di materiale disponibile, la corretta collocazione.

Nel caso ad esempio della canaletta esterna d'accesso al Porto di Ravenna, sui circa 2 milioni di m³ da dragare per l'approfondimento fino alla -12 m, è stato stimato che circa 1/4 del volume di materiale fine, con idonee caratteristiche qualitative, potrebbe essere collocato a creare barre nella spiaggia sommersa fra le attuali batimetriche -6 e -8 in corrispondenza di tratti in erosione della costa ravennate, appositamente individuati e caratterizzati.

Data la frequenza con cui si effettuano simili interventi per i numerosi porti italiani, sarebbe opportuno che l'utilizzo dei materiali fini per il ripascimento della spiaggia sommersa fosse preso in considerazione sistematicamente, a fronte della pratica di immersione al largo.

Altro caso riguarda i **materiali da asportare dai fiumi ai fini della sicurezza idraulica**, ad esempio da tratti in sovralluvionamento in corrispondenza di opere idrauliche (briglie, traverse), spesso anche nella parte terminale (es. il Fiume Marecchia in Emilia-Romagna), o in generale per il ripristino dell'officiosità idraulica dei tratti terminali dei corsi d'acqua (es. il Fiume Potenza nelle Marche, o il Fiume Biferno in Molise, o del Fiume Bradano in Basilicata)¹²⁴. In questi casi i materiali, solitamente di ampia gamma granulometrica da ghiaie a sabbie e limi, dovrebbero essere oggetto di attente valutazioni in merito alla fattibilità di possibile utilizzo ai fini del ripascimento costiero.

Questa attenzione è cresciuta nel tempo, in ragione dell'affermarsi di un "approccio integrato" per la gestione costiera in alcune Regioni, ma dovrebbe assumere carattere sistematico se si vuole che anche queste risorse rappresentino un significativo contributo alla gestione degli effetti dell'erosione costiera a livello di Paese. Esempi di studi e disposizioni regionali che possono dare un contributo in questo senso sono rappresentati dalle esperienze della Regione Lazio e della Regione Liguria¹²⁵.

I **dragaggi portuali** rappresentano infine un'altra fonte importante di sedimenti per la gestione degli effetti dell'erosione costiera. Le strutture portuali determinano importanti modificazioni della dinamica litoranea e costituiscono "trappole", oltre che in adiacenza ai moli sopraflutto, anche per i sedimenti che transitano davanti alle proprie imboccature e che le azioni del mare e delle correnti tendono a distribuire al loro interno.

Periodicamente devono essere eseguiti dragaggi sia all'imboccatura sia nei canali interni ma di frequente si determinano comunque condizioni di emergenza che necessitano di risposte "emergenziali" per la sicurezza della navigazione in ingresso e in uscita o all'interno del porto. In tali condizioni è spesso

¹²⁴ **Regione Basilicata:** PRGC-Parte D Interventi di ripristino dell'officiosità idraulica nei tratti terminali di alcuni corsi d'acqua principali, e Progetto esecutivo Fiume Bradano http://www.regione.basilicata.it/giunta/files/docs/DOCUMENT_FILE_1233441.pdf

Regione Molise: Progetto di sistemazione idraulica del Fiume Biferno fra la Diga Liscione e la foce <http://www.cosib.it/news/599>

Regione Marche: DACR n. 100/2014 sui Progetti Generali di Gestione e Disciplinare tecnico di rilevamento dei sedimenti fluviali

¹²⁵ **Lazio:** Gestione dei depositi di sabbia intercettati dalle opere costiere e fluviali progetto Beachmed-e, sottoprogetto GESA;

Liguria: DGR 226/2009 Criteri e Direttive in materia di asportazione di materiale litoide dai corsi d'acqua dei bacini idrografici regionali.

impossibile avere il tempo per le determinazioni necessarie a valutare un utilizzo dei sedimenti dragati ai fini del ripascimento e, nel migliore dei casi l'opzione perseguibile è quella dell'immersione in aree al largo.

Per ovviare alla perdita di eventuali significativi volumi di sedimenti utili al ripascimento delle spiagge emerse o sommerse, andrebbe mantenuta aggiornata una scheda di caratterizzazione dei sedimenti portuali e prevedere azioni sistematiche di dragaggio, anche con metodi alternativi. Queste opzioni andrebbero accompagnate anche da semplificazioni delle procedure autorizzative in funzione di condizioni di compatibilità note e monitorate dei sedimenti portuali in relazione alle condizioni delle spiagge da ripascere periodicamente. Tali opzioni possono prevedere diverse soluzioni tecniche come ad esempio sistemi disgreganti e aspiranti posizionati sul fondo del canale portuale, o draghe galleggianti dedicate, con un sistema di tubazioni fisse posizionate in trincee sotto i litorali e equipaggiate con un adeguato numero di pozzetti di derivazione da utilizzare a seconda delle necessità, come nel caso già citato del sabbiodotto permanente di Riccione.

Le esperienze di dragaggio dei porti con utilizzo dei sedimenti ai fini del ripascimento costiero, delle quali non si vuole trattare in questa sede e a cui si rimanda, sono innumerevoli e accompagnate da specificità rispondenti alle condizioni locali e a particolari aspetti ambientali sia delle aree portuali sia dei litorali interessati.

Una sintesi sugli aspetti ambientali dei materiali di dragaggio portuale è riportata nell'Allegato 3, al quale si rimanda. Qui di seguito si riassumono alcune indicazioni da considerare per poter sviluppare l'impiego degli accumuli litoranei nella gestione degli effetti della dinamica costiera.

Per un efficace e corretto **utilizzo degli accumuli litoranei ai fini della gestione dei tratti in erosione** è necessario adottare un "approccio integrato" che preveda:

- **composizione di un quadro delle risorse disponibili**, il più possibile completo, degli accumuli litoranei emersi e sommersi, in relazione a distanze e compatibilità con i tratti in erosione da gestire (strumento informativo-gestionale dedicato);
- **programmazione di interventi su aree in erosione in funzione delle eventuali necessità di dragaggio ricorrenti** di porti o bocche portuali, foci dei corsi d'acqua, bocche lagunari, con anche l'installazione di dispositivi fissi per il trasferimento dei sedimenti;
- **semplificazioni delle procedure autorizzative per le operazioni ricorrenti**, come dragaggi portuali o di bocche portuali, foci dei corsi d'acqua, bocche lagunari, a fronte del mantenimento di un monitoraggio sullo stato di qualità dei sedimenti;
- **valutazioni sul possibile utilizzo di eventuali materiali fini derivanti dai dragaggi**, con le necessarie caratteristiche qualitative per il ripascimento della spiaggia sommersa nelle fasce batimetriche compatibili, in alternativa alla loro immersione in mare in aree al largo;
- **utilizzo all'interno dello stesso tratto o Cella litoranea dei sedimenti accumulati a tergo delle scogliere foranee**, in relazione alle pratiche di gestione stagionale dei litorali;
- **valutazioni sul possibile utilizzo dei materiali da asportare dai tratti terminali dei corsi d'acqua**, per interventi di ripristino dell'efficienza idraulica, in relazione a fattibilità tecnica ed economica per il loro trasferimento sui tratti litoranei in erosione.

IV.2.4. CARATTERISTICHE E COMPATIBILITÀ DEI SEDIMENTI DI APPORTO PER IL RIPASCIMENTO DELLE SPIAGGE

In relazione alle diverse risorse che possono essere utilizzate per il ripascimento dei litorali, è opportuno sviluppare alcune considerazioni sul tipo di sedimento richiesto, la valenza ambientale delle aree che ospitano tali risorse e la loro compatibilità con le aree di destinazione.

A tal riguardo, dovrà essere posta particolare attenzione all'eventuale interazione con zone di protezione ecologico-ambientale, come ad esempio i **Siti Rete Natura 2000** (SIC e ZPS) e le **Aree Marine Protette** (AMP), che potrebbero fortemente limitare la compatibilità dei materiali nel caso di eventuali ripascimenti nelle stesse o in aree contermini, o limitare le attività di dragaggio nel caso di prelievi da accumuli non distanti da tali zone.

Nel caso specifico delle risorse marine, è fondamentale quindi disporre di informazioni adeguate e aggiornate circa le destinazioni d'uso specifiche delle aree marine al fine di evidenziare eventuali criticità e conflitti legati a usi diversi¹²⁶ (es. Aree Marine Protette, aree di pesca o di nursery, aree militari, cavidotti sommersi, ecc.) che potrebbero condizionare o impedire del tutto o in parte il prelievo di sedimenti.

Per quanto concerne le risorse di sedimenti per gli interventi di ripascimento, è noto che la varietà e la sensibilità ambientale delle diverse spiagge che necessitano di una "rialimentazione" richiedono quantità di sedimento di diverse tipologie. La sufficiente quantità di sedimento della esatta tipologia di quello della spiaggia di destinazione è una condizione molto difficile da incontrare, di fatto impossibile da ottenere anche nei casi di by-pass o dei giacimenti sotto costa. Tenendo presente questo, nella realtà dei fatti si tratta quindi di operare con materiali non "identici" ma bensì più affini possibili a quelli presenti sulle spiagge da ripascere. Ciò per ragioni che attengono all'evoluzione di ogni singola spiaggia in quel contesto e in quel dato momento geocronologico. Nessuna sabbia di spiaggia ha una sua replica in mare e in alcuni casi, come le coste sarde, le spiagge sono spesso assai difformi fra loro anche in contesti vicini.

Le dinamiche costiere (sia di natura marina che eolica) determinano continue trasformazioni dei sedimenti in sito con, ad esempio, selezioni granulometriche (trasporto selettivo degli elementi in relazione alla loro dimensione) e mineralogiche (trasporto selettivo in relazione al peso specifico, usura differenziata, ecc.).

Se da una parte si è costretti a stabilire dei criteri di compatibilità dei sedimenti da utilizzare per i ripascimenti (con le dovute tolleranze) in quanto risulta praticamente impossibile disporre di un sedimento di apporto identico a quello preesistente, dall'altra non ha senso parlare di caratteristiche assolute del sedimento originario in quanto esso stesso è oggetto di una continua trasformazione soprattutto sui litorali soggetti ad intensi fenomeni erosivi. Tuttavia ammettendo l'assenza d'interferenze umane, questa trasformazione che potremmo definire equilibrio instabile avviene entro range di variabilità che debbono ricondursi a dei regimi rispetto a cui sussiste uno stato medio o mediano della spiaggia e dei sedimenti che dovrebbe essere quello da considerare.

Questo discorso a carattere generale deve comunque tenere conto delle eccezioni presenti sul territorio e di alcune singolarità, come per esempio in alcune spiagge della Sardegna, in cui l'utilizzo di materiali "affini", comporta quasi certamente un danno ambientale.

Inoltre, in considerazione diverse tipologie di risorse di sedimenti, la caratterizzazione richiederà spesso delle attenzioni particolari proprio in relazione alla diversa tipologia di provenienza, al diverso metodo di

¹²⁶ es. Atlante usi del mare Adriatico----Lorito et al (2012)

trasporto e alle tecniche di posa in opera (cfr. Allegato 3 alle presenti Linee Guida). Per la caratterizzazione e valutazione della compatibilità dei sedimenti ai fini del ripascimento, ma più in generale a riguardo dei dragaggi e delle diverse opzioni di utilizzo dei materiali dragati, esiste un riferimento di livello nazionale rappresentato dal “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini”¹²⁷, e alcuni riferimenti di livello regionale che declinano più nel dettaglio, e nelle situazioni sito specifiche, le disposizioni relative ai ripascimenti costieri.¹²⁸

IV.2.4.1. Caratteristiche principali da considerare nelle valutazioni di compatibilità

In termini generali l'uso dei sedimenti per il ripascimento delle spiagge deve sempre essere attentamente valutato in relazione alle condizioni specifiche dei territori ed agli impatti che gli stessi possono indurre sul sistema ambientale. La previsione di utilizzo dei materiali dovrebbe essere accompagnata dalla definizione di protocolli specifici per la caratterizzazione ed il monitoraggio prima, durante e dopo degli interventi.

In questa sede è possibile una prima disamina schematica generale di alcuni criteri di valutazione della compatibilità circa le caratteristiche che i sedimenti di apporto devono possedere rispetto alle esigenze ambientali in generale e alle caratteristiche dei sedimenti delle spiagge da ripascere, rimandando all'Allegato 3 gli approfondimenti in relazione alla tipologia di risorsa adottata. In particolare si farà riferimento alle seguenti principali caratteristiche:

1. **Caratteristiche chimiche:** le valutazioni circa le caratteristiche chimiche dei sedimenti di apporto (presenza di contaminanti potenzialmente pericolosi per l'ambiente e la salute umana), devono essere svolte già in fase di analisi degli impatti per il loro prelievo e la loro movimentazione. Il criterio di massima è che se il prelievo ed il trasporto di un sedimento non risulta pericoloso per l'ambiente, anche la sua posa in opera non dovrebbe verosimilmente costituire un pericolo. Per quanto riguarda i valori chimici di riferimento da utilizzare per valutare la qualità e la compatibilità chimica dei sedimenti da destinare al ripascimento, la valutazione deve essere fatta, caso per caso, in relazione alla diversa tipologia di risorsa che si intende utilizzare, in accordo con quanto riportato nel D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. I casi specifici sono riportati nell'Allegato 3.
2. **Caratteristiche microbiologiche:** per quanto concerne la qualità microbiologica, i criteri di caratterizzazione si differenziano in particolar modo per le diverse risorse di sedimenti. In effetti, considerate le caratteristiche geologiche e geografiche dei depositi sottomarini, generalmente localizzati al largo e a grandi profondità, si può ragionevolmente ipotizzare l'assenza di fenomeni di contaminazione microbiologica. Situazione del tutto diversa è per i sedimenti provenienti da dragaggi in zona portuale. Benché siano identificati i parametri da controllare per una caratterizzazione microbiologica, meno evidenti sono i valori limite tollerabili per l'impiego di sedimenti per il ripascimento di spiagge destinate alla balneazione. In generale, almeno per quanto attiene ai diversi tipi di sedimenti accumulati lungo costa (porti, foci fluviali ecc.), in mancanza di riferimenti normativi specifici, in caso di ripascimento, è suggerita/indicata l'intensificazione del monitoraggio microbiologico da eseguire in ottemperanza alla normativa sulla qualità delle acque di balneazione¹²⁹.

¹²⁷ Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, APAT-ICRAM (2006)

¹²⁸ es. Regione Liguria D.G.R. 1446/2009 "Criteri generali da osservarsi nella progettazione degli interventi stagionali di ripascimento degli arenili"

⁴⁰ Direttiva 2006/7/CE, D.Lgs. 116/2008, DM 30 marzo 2010

3. **Caratteristiche granulometriche:** Gli aspetti fisici connessi a differenze granulometriche tra sedimenti di apporto e quelli preesistenti, riguardano la capacità di “tenuta” del ripascimento in termini di differente profilo di equilibrio della spiaggia¹³⁰ e di differente risposta al trasporto *long shore* e *cross shore*, tutti elementi che fanno parte degli obiettivi progettuali e reperibili nell’ampia letteratura di settore tra cui il Coastal Erosion Manual¹³¹. Da un punto di vista biologico, variazioni granulometriche nei sedimenti di spiaggia possono influenzare il ciclo vitale di alcune specie bentoniche di interesse commerciale, come riportati negli studi condotti sul *Donax trunculus* (tellina) in relazione ad alcuni interventi di ripascimento condotti lungo le coste laziali^{132,133}.
4. **Caratteristiche mineralogiche:** partendo dal presupposto che in natura non esistono due sedimenti uguali e che quindi qualsiasi intervento di ripascimento porterà ad una alterazione delle caratteristiche della spiaggia rifornita, occorre analizzare la componente mineralogica per ridurre al minimo queste alterazioni. Fondamentalmente le caratteristiche da prendere in considerazione sono la durezza delle specie minerali prevalenti (ad esempio una sabbia carbonatica inserita in un litorale prevalentemente silicoclastico comporterà una veloce abrasione con riduzione della granulometria e produzione di torbidità) ed il colore del sedimento che potrà variare, specie nel caso di litorali con presenza di minerali femici come quelli presenti in aree con rocce vulcaniche nell'entroterra o con sedimento sabbioso estremamente evoluto dal punto di vista mineralogico (presenza esclusiva di quarzo). Evidentemente situazioni speciali (sabbie rosa, sabbie esclusivamente carbonatiche) necessiteranno di considerazioni ad hoc.
5. **Caratteristiche colorimetriche:** il colore della sabbia costituisce un’importante componente ecologica e paesaggistica di un litorale che deve essere attentamente valutata nei casi di ripascimento, soprattutto in presenza di spiagge ad elevata valenza ambientale ed ecologica. In caso di intervento, dovranno inoltre essere considerati aspetti legati all’attività turistico/balneare, come la preferenza dei visitatori al mantenimento della colorazione tipica dell’arenile frequentato. La determinazione del colore della sabbia nativa e di quella di ripascimento, nonché della differenza cromatica fra di esse, è quindi un momento fondamentale nella definizione di un progetto di ripascimento. Il sistema colorimetrico utilizzato deve essere percettivamente uniforme, nel senso che uguali valori di differenza nelle varie zone dello spazio colore devono dare all’osservatore la stessa percezione di differenza, e questo valore deve essere direttamente calcolabile dalle “coordinate colorimetriche”. Indicazioni metodologiche relative a questo aspetto sono contenute nel paragrafo successivo.

IV.2.4.2. Valutazione colorimetrica dei sedimenti utilizzati ai fini di ripascimento

La considerazione del colore della sabbia nativa e di quella di ripascimento, nonché la valutazione della differenza cromatica fra di esse, è un aspetto molto importante nella definizione di un progetto di ripascimento, soprattutto per le spiagge a particolare valenza ecologica-ambientale e turistico-ricreativa. Il sistema colorimetrico utilizzato in questo tipo di valutazioni deve essere il più possibile “percettivamente uniforme”, nel senso che uguali valori di differenza nelle varie zone dello spazio colore devono dare

¹³⁰ Bruun, P., 1954, ‘Coast erosion and the development of beach profiles’, Beach erosion board technical memorandum. No. 44. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS.

¹³¹ <http://chl.erd.c.usace.army.mil/cem>

¹³² La Valle P. (2006) - *Donax trunculus* (Bivalvia: Donacidae) quale indicatore biologico degli equilibri costieri e del bilancio sedimentario. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Ecologiche (XVIII° ciclo), Università degli Studi “La Sapienza” di Roma: 148 pp

¹³³ La Valle P., Nicoletti L., Finoia M.G. and Ardizzone G.D (2011) - - *Donax Trunculus* (Bivalvia: Donacidae) as a potential biological indicator of grain-size variations in beach sediment. *Ecological Indicators*, 11/5 (2011): 1426-1436.

all'osservatore la stessa percezione di differenza, e questo valore deve essere direttamente calcolabile dalle "coordinate colorimetriche".

Di seguito viene riportata una metodologia di caratterizzazione colorimetrica comparativa definita dalla Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) e già adottata per interventi in Regione Toscana su proposta dell'Università di Firenze DST. La CIE ha definito lo "spazio quasi percettivamente uniforme" (CIEL*a*b*) costituito da una coordinata di Chiarezza o Luminosità (L^*) e due coordinate cromatiche: a^* per l'asse Verde-Rosso e b^* per l'asse Blu-Giallo (anche se l'occhio "vede" in tre colori, il cervello lo fa con queste due coppie di colori "opponenti").

Scegliendo un "Illuminante" opportuno, in questo caso il D65 (Daylight 6500K), il sistema garantisce una determinazione del colore oggettiva e consente di rilevare le differenze nelle diverse componenti di Luminosità (dL^*) e di Cromaticità (da^* e db^*), nonché di misurare la differenza cromatica fra due campioni con un singolo valore numerico (dE^*ab). Data l'impossibilità di reperire sabbie di colore identico a quelle native, il sistema CIEL*a*b* consente di definire i limiti di accettabilità entro i quali la percezione della differenza cromatica è minima (se non nulla nel caso di osservazione in tempi diversi delle due sabbie)¹³⁴

Nella figura è rappresentata la valutazione della compatibilità cromatica di un campione di sabbia (Sample, punto blu) con il sedimento nativo (Target, punto verde) dati i seguenti limiti di capitolato:

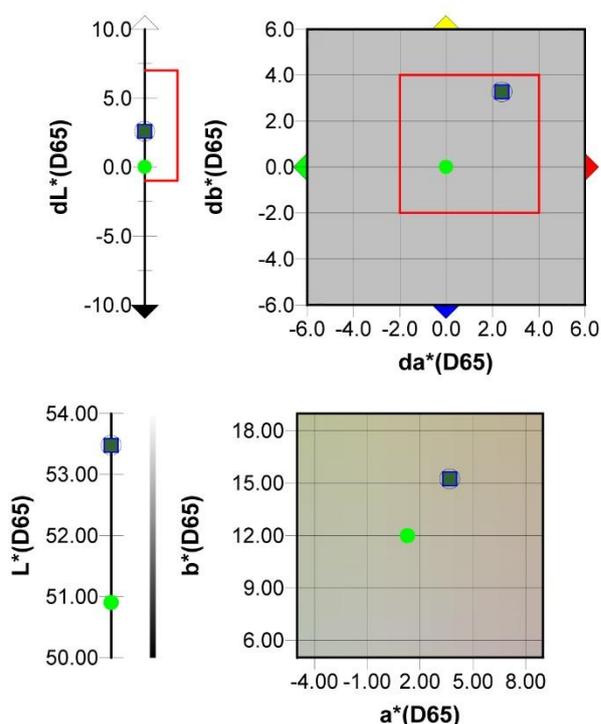
Il range di accettabilità per L^* è indicato dalla linea rossa sul grafico verticale, quello per a^* e b^* dal rettangolo nel grafico in alto a destra, nel quale il campione nativo è posto all'origine degli assi e quello da valutare alla distanza da^* e db^* dal primo. Nel grafico riportato, i due punti sono posizionati nelle loro coordinate assolute.

Nome sample	Borrow	
Nome target	Native	

	Sample	Target
L^*	53.47	50.90
a^*	3.70	1.29
b^*	15.23	11.97

	Diff.	Giudizio
dL^*	2.57	OK
da^*	2.41	OK
db^*	3.26	OK
dE^*ab	4.80	OK

Giudizio totale	OK	
-----------------	-----------	--



E' quanto mai opportuno che nelle valutazioni sulla compatibilità dei ripascimenti si tenga conto, con sistemi oggettivi quali quello sopra sinteticamente descritto, degli aspetti colorimetrici.

Nel caso di appalti dove il materiale di ripascimento deve essere reperito a cura e responsabilità delle società appaltatrici, indicazioni colorimetriche possono essere inserite nei capitolati speciali. Rimane in

¹³⁴ Test di percezione e analisi di ripascimenti effettivamente realizzati suggeriscono di non superare il valore di 8 per $\Delta E^*a^*b^*$. In considerazione del maggiore gradimento per le sabbie chiare e giallo/rosse, rispetto a quelle blu/verdi, il range di accettabilità può essere decentrato verso sedimenti più luminosi e più gialli/rossi (es. $-1 < \Delta L^* < +7$, $-2 < a^* < +4$ e $-2 < b^* < +4$ come in figura). Ciò ovviamente è proponibile esclusivamente per spiagge urbane e a prevalente vocazione turistica, mentre per spiagge in ambienti naturali il range dovrebbe essere simmetrico e, in aree sensibili, il più limitato possibile per non incidere sulla temperatura della sabbia e sulle capacità mimetiche degli organismi. Per approfondimenti: Pranzini E., Simonetti D., Vitale G. (2010) - Sand colour rating and chromatic compatibility of borrow sediments. Journal of Coastal Research, 26: 798-808.

questo caso aperta, come già accennato in precedenza, la questione della VIA che dovrebbe già contemplare la provenienza oltre che le caratteristiche del materiale. In questo caso quindi non sarebbe possibile completare la procedura di VIA in quanto la provenienza verrebbe indicata solo in sede di offerta, ponendo dei problemi di carattere procedurale.

Nel caso di individuazione dei sedimenti da utilizzare per il ripascimento da parte della Stazione Appaltante (caratteristiche e provenienza), le valutazioni colorimetriche potranno essere svolte in fase di studio di impatto ambientale e quindi rientrare nella procedura VIA.

IV.2.5. INDICAZIONI PER L'INDIVIDUAZIONE DI UNA "LINEA DI COSTA OTTIMALE" O "SPIAGGIA FUNZIONALE"

La definizione di una "linea di costa ottimale" (di riferimento) ai fini della sicurezza dei territori costieri (con riferimento al concetto introdotto in II.3), e/o ai fini della conservazione di altre specifiche funzionalità del litorale (ambientali, economiche, ecosistemiche), si traduce sostanzialmente nella definizione di un obiettivo e nella individuazione di una "linea o situazione di guardia" approssimandosi alla quale si determina la necessità di intervenire.

Una spiaggia da ripristinare o da mantenere (spiaggia funzionale), in relazione a specifiche funzioni della stessa, rappresenta un obiettivo chiaro da raggiungere (cfr. IV.2.3.3) su cui confrontare le diverse ipotesi di difesa e opzioni di intervento e verificare successivamente l'efficacia della soluzione scelta ed attuata.

I criteri con cui definire una spiaggia per così dire "di progetto", in base ad obiettivi di sicurezza e di altre funzionalità, derivano dalle esigenze e caratteristiche territoriali, ambientali e socio-economiche della unità litoranea considerata nonché dalle risorse (naturali ed economiche) disponibili.

Nella definizione di una spiaggia funzionale sicuramente entra in gioco la linea di costa che rappresenta la parte emersa della spiaggia stessa, ma è evidente che occorre tenere conto della morfologia nel suo complesso (spiaggia emersa e sommersa) nonché degli aspetti naturalistici (sistema dunale, vegetazione, aspetti qualitativi, ecc.), in relazione alle funzioni specifiche attribuite o comunque obiettivo di conservazione per una determinata spiaggia.

Alcuni criteri di riferimento possono essere i seguenti.

Sicurezza: la spiaggia dovrà avere un'estensione ed una morfologia tale da proteggere i beni esposti di interesse (dune, ambienti naturali, abitati, infrastrutture, falde acquifere, ecc.). Nel caso si attribuisca alla sola spiaggia il compito di proteggere i beni esposti, la sua morfologia dovrà consentire la protezione degli stessi dagli eventi di una determinata intensità. La prioritizzazione delle criticità e degli interventi dovrebbe essere fatta secondo questo criterio, tenendo conto del numero di abitanti, del valore degli immobili e delle infrastrutture, delle falde acquifere, degli ambienti naturali, dei sistemi dunosi, ecc. Nell'esempio del Rijkswaterstaat

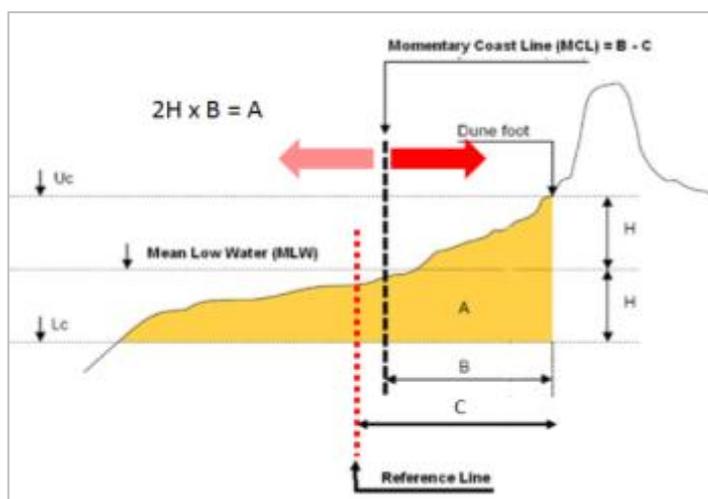


Figura IV.2.5.1 – schema esemplificativo per la definizione della "linea di riferimento" adottata dal Ministero dell'Ambiente olandese, Rijkswaterstaat

olandese¹³⁵, la spiaggia è definita tramite una Linea di Riferimento posta ad una certa distanza (C) dal piede della duna e rispetto alla quale si rapporta la Linea di Costa Transitoria (Momentary Coast Line) per stabilire se occorre intervenire per la manutenzione. Si noti che la LdC Transitoria viene calcolata sulla base del volume di spiaggia emersa e sommersa (A) e che quindi ha una valenza volumetrica. La spiaggia di progetto dovrà quindi includere la linea di riferimento nonché un avanzamento necessario ad assorbire i fenomeni erosivi previsti prima del successivo ripascimento manutentivo. Un analogo sistema di definizione potrebbe essere adottato in relazione agli obiettivi di sicurezza e gestione del rischio costiero individuati dai Piani di Gestione del rischio alluvione della Direttiva 2007/60/CE e D.lgs. 49/2010.

Altre funzionalità: la spiaggia dovrà avere un'estensione adatta al mantenimento o allo sviluppo degli obiettivi ad esempio turistico-ricreativi, già in essere, definiti o attesi dalle comunità locali. Una volta assicurata la funzione sicurezza, occorre valutare se la spiaggia risponde anche a tali esigenze. Un primo criterio può essere quello di confrontare la situazione della spiaggia rispetto alle sue condizioni storiche, utilizzando ad esempio documentazione fotografica come le foto aeree della RAF (1943-1944). Il confronto storico è comunque d'aiuto per calibrare le aspettative in quanto spesso al fenomeno erosivo delle spiagge è associata una infrastrutturazione a terra che ha esaltato il fenomeno erosivo stesso, sia in termini diretti (distruzione di dune, opere riflettenti, ecc.) che in termini indiretti (più beni esposti realizzati lato mare). E' possibile sviluppare modelli econometrici che consentono di individuare le dimensioni ottimali della spiaggia rispetto ad flusso turistico consolidato od atteso. La Regione Marche, nell'ambito del progetto europeo SHAPE, ha sviluppato uno studio del genere, determinando l'ampiezza ottimale della spiaggia mediante il confronto tra la "sostenibilità ambientale" e la "sostenibilità sociale"¹³⁶.

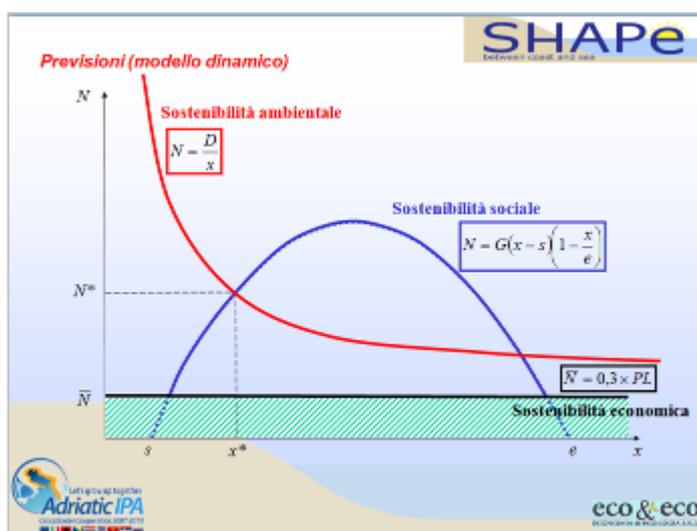


Tabella IV.2.5.2 – schema per la definizione dell'ampiezza della spiaggia funzionale, Regione Marche.

La definizione e le valutazioni di una "spiaggia funzionale" devono estendersi e tenere in considerazione necessariamente tutta l'unità litoranea che si è individuata come unità minima suscettibile di interferenze da parte dell'intervento e dell'opzione di difesa, soprattutto quando la spiaggia di progetto prevede l'inserimento di opere rigide di contenimento locale dell'erosione.

Oltre a supportare efficacemente la decisione sulle estensioni e quote da raggiungere per le finalità previste, l'individuazione di una spiaggia di progetto consente di fissare un obiettivo comune per esaminare le differenti soluzioni proposte. In effetti un confronto effettivo tra diverse soluzioni (ripascimento morbido o protetto, solo opere rigide, ecc.) può essere fatto solo in questi termini, altrimenti il rischio è di operare senza validi riferimenti e di assumere decisioni poco consapevoli, con un basso livello di sostenibilità.

¹³⁵ <http://www.rijkswaterstaat.nl/english/index.aspx>

¹³⁶ <http://www.shape-ipaproject.eu/download/listbox/WP4%20action%204.4/Marche%20Pilot%20Project%20Final%20report.pdf>

Infine la “spiaggia funzionale” rappresenta un valido indicatore per la valutazione a posteriori dell’intervento, elemento utile in assoluto e indispensabile per rispondere ai criteri richiesti dai finanziamenti statali¹³⁷ ed europei.

A livello strategico, è quindi necessario rispondere a domande riguardanti il **valore e la funzione della costa**. Per esempio, molte coste contengono particolari ecosistemi, a volte protetti in modo esplicito attraverso la legislazione nazionale o europea (ad esempio Natura 2000). Allo stesso tempo, queste coste sono utilizzate per il turismo/ricreazione, gli insediamenti abitativi e produttivi, l'estrazione delle acque sotterranee, l'agricoltura ecc. Dove l'entroterra è al di sotto del livello del mare, o comunque dove vi è un'elevata esposizione di beni antropici e ambientali, la fascia costiera ha anche una funzione di protezione contro l'ingressione marina. L'erosione costiera può minacciare uno o più di questi valori e funzioni. Prima di decidere di agire per controllare l'erosione, è consigliabile quindi analizzare il rapporto tra dinamiche costiere e funzioni della costa. Per esempio, in assenza di centri abitati in diretta esposizione una certa dinamica erosiva o di fluttuazione della linea di riva è un problema minore, così come al limite la fluttuazione stagionale di una spiaggia può non essere un grave problema per il turismo, se gli arretramenti avvengono solo durante la stagione invernale, non minacciano strutture o beni (sufficiente spazio alle fluttuazioni) e vengono poi recuperati dal sistema nell'arco di una stagione. In altri casi invece, è poco “tollerabile” anche un pur minimo arretramento, erosione, se questo può implicare un aumento significativo del rischio di inondazioni di centri abitati.

In pratica, sembra molto difficile fissare obiettivi realistici e non ambigui per la gestione degli effetti dell'erosione costiera. Questo era già evidente anche nei 60 casi di studio analizzati dal progetto EUROSION, che verificato che soltanto in pochissimi casi erano chiaramente definiti obiettivi chiari per la gestione degli effetti dell'erosione costiera¹³⁸. Sviluppare obiettivi strategici e tattici dovrebbe essere invece parte di una politica più ampia, di gestione integrata delle zone costiere (GIZC). Utilizzare i principi della GIZC è il modo migliore per garantire una politica di sviluppo sostenibile per l'erosione delle coste, con il sostegno di tutte le parti interessate.

A livello strategico, gli obiettivi sono spesso legati a principi fondamentali, quali la sicurezza e lo sviluppo sostenibile. Ma da un “obiettivo strategico” spesso non deriva direttamente in modo chiaro come affrontare l'erosione costiera. Pertanto, con riferimenti ai concetti già introdotti in Capitolo II.1, è necessario definire anche un “obiettivo tattico” per determinare se l'erosione costiera in una determinata zona debba essere o meno controllata.

¹³⁷ <http://italiasicura.governo.it/site/home/news/articolo1415.html> Italia Sicura “Linee guida per le attività di programmazione e progettazione degli interventi per il contrasto del rischio idrogeologico”

¹³⁸ Eurosion 2004 “Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability”

IV.3. INTERVENTI E OPERE PER LA DIFESA COSTIERA: INDICAZIONI PER VALUTAZIONI E COMPARAZIONI ECONOMICHE E ASPETTI AMBIENTALI

IV.3.1. INTRODUZIONE

L'adozione di un'azione volta alla difesa costiera implica una valutazione, a monte, delle differenti opzioni di intervento possibili per fronteggiare l'erosione. In questa fase, con riferimento a quanto già introdotto nel Capitolo II.1, è opportuno considerare diverse soluzioni con una visione allargata delle problematiche da affrontare, in funzione dell'assetto territoriale corrente, degli effetti attesi del cambiamento climatico e della risposta conseguente alla soluzione investigata in un'ottica di costo/beneficio nel tempo, e quindi di sostenibilità, per il territorio, per l'ambiente e per la collettività.

L'opzione "zero" andrebbe sempre considerata, per un confronto con le altre e per una scelta più consapevole. Questo perché, come noto, ogni intervento di difesa ha i suoi impatti ed i suoi costi nel tempo, che devono essere considerati nel processo decisionale a confronto con "impatti" e "costi" di un non intervento.

Dal momento che sia stata stabilita la necessità di intervenire, è necessario che siano rispettati gli step fondamentali che comporta la scelta, la progettazione e la realizzazione dell'opera o intervento di difesa.

L'analisi iniziale deve approdare ad una **chiara definizione delle cause che mettono in crisi il tratto di litorale** (Capitolo IV.1), individuata attraverso un'approfondita conoscenza della dinamica litoranea che caratterizza l'Unità fisiografica e il suo bilancio sedimentario.

Da questa analisi deve scaturire, dunque, **l'obiettivo specifico in relazione alla problematica da risolvere**, che dovrà poi costituire il criterio per la scelta dell'intervento più idoneo a fronteggiare le cause che hanno messo in sofferenza il tratto di costa di interesse (cfr Allegato 2, Cap 3).

Individuata **un'ipotesi di intervento**, il passo successivo consiste nella verifica della coerenza dello stesso con la programmazione e pianificazione territoriale e l'assetto vincolistico dell'area. Una corretta definizione degli aspetti programmatici (pianificazione e programmazione, vincolistica) permette di individuare eventuali elementi ostativi e/o vincolanti per la realizzazione dell'intervento.

Per un inserimento ottimale dell'opera nel contesto e la minimizzazione degli impatti da essa comunque determinati (si vedano, per maggiori dettagli, il successivo Paragrafo IV.3.4 e l'Allegato 2), occorre un'adeguata **caratterizzazione del sito** (area di progetto) e **"dell'area vasta"**, ossia dell'area sita intorno all'area di progetto, anche oltre i limiti verso mare e verso terra delle Unità Fisiografiche o delle Unità gestionali, entro la quale si possono risentire gli **effetti indiretti e indiretti** della realizzazione e della presenza dell'opera stessa.

Sulle dimensioni dell'area vasta si deve ragionare in funzione delle componenti ambientali e delle dimensioni e del ruolo dell'opera stessa, oltre che delle sue modalità realizzative¹³⁹: per esemplificare, nell'ipotesi di un'opera la cui realizzazione prevede il trasporto dei materiali su camion, gli impatti sul traffico, le polveri e il rumore generato dai viaggi per il trasporto del materiale, andranno considerati e valutati lungo tutto il percorso da effettuarsi.

¹³⁹ In questo senso il concetto di "area vasta" differisce lievemente dal quello di "area di riferimento" utilizzato nel par. IV. 3.4, in quanto qui si considerano gli impatti sul territorio in senso lato e i sistemi antropici

In via più generale tale caratterizzazione dovrà riguardare gli elementi fisici (geomorfologia e dinamica costiera, sedimentologia, clima meteo-marino, ambiente idrico ed atmosfera), biologici ed ecologici e gli ecosistemi antropici.

Nel percorso progettuale non deve essere dimenticato l'aspetto relativo alla **manutenzione dell'opera**, in taluni casi irrinunciabile. La manutenzione va eventualmente tenuta presente sia dal punto di vista degli oneri economici che essa comporta, che da quello realizzativo, in funzione della collocazione dell'intervento.

Altrettanto vale per il **monitoraggio**, da effettuarsi prima, durante e dopo la realizzazione dell'opera, con particolare riguardo alle componenti per le quali sono attesi degli impatti. Com'è noto, le azioni di monitoraggio servono a verificare la bontà delle valutazioni effettuate e, se necessario, ad intervenire per eventuali azioni correttive. Va ricordata inoltre la valenza scientifica stessa del monitoraggio: la difesa costiera è una scienza decisamente in evoluzione, ed il monitoraggio assume in questo caso il ruolo di strumento di ulteriore approfondimento scientifico.

Tutti questi elementi andranno opportunamente riportati e descritti in ogni progetto di intervento, in modo da avere per ogni progetto una chiara definizione delle condizioni pre-intervento, delle necessità, degli obiettivi che l'intervento si pone, il territorio, le infrastrutture e la popolazione interessata, i costi di realizzazione e di manutenzione e i benefici attesi in termini di soluzione, messa in sicurezza o riduzione del rischio per le infrastrutture, le popolazioni, l'ambiente.

Per la definizione dei contenuti dei progetti di intervento si fa riferimento alle recenti "Linee guida per le attività di programmazione e progettazione degli interventi per il contrasto del rischio idrogeologico" prodotte dalla "Struttura di missione contro il dissesto idrogeologico e per lo sviluppo delle infrastrutture idriche - Italia Sicura" (<http://italiasicura.governo.it/site/home/news/articolo1415.html>).

IV.3.2. METODI DI VALUTAZIONE E COMPARAZIONE ECONOMICA FRA DIVERSE TIPOLOGIE DI INTERVENTI

IV.3.2.1. Analisi del Beneficio per interventi di difesa dall'erosione costiera

Le analisi costi/benefici rappresentano uno strumento decisionale di fondamentale importanza per coordinare gli interventi e renderli congruenti con quelli che sono i fabbisogni e le risorse disponibili (finanziarie e materiali).

Nel caso dei dissesti idrogeologici, il "Beneficio" viene associato prevalentemente al "Danno" che il territorio potrebbe evitare in occasione di un evento calamitoso nel caso venisse realizzato un intervento, la cui realizzazione e manutenzione rappresenterebbe il "Costo".

Data la natura spesso probabilistica di eventi calamitosi (ad. es. inondazioni), il possibile "danno" viene espresso come "rischio", ovvero, se tradotto esclusivamente nella forma monetizzabile, in quanto occorre "accumulare" in termini economici in un anno per far fronte ai danni che verranno procurati dai possibili/probabili eventi calamitosi.

Il "Beneficio" (B) è quindi associabile al mancato "Danno" ovvero alla differenza tra il "Rischio" iniziale R_0 ed il "Rischio" residuale R_1 dopo l'intervento di adattamento.

$$B = R_0 - R_1$$

Il “Rischio”, in termini essenziali e semplificati, è espresso dalla formula di Varnes¹⁴⁰ (qui riportata per unità di superficie del territorio, per anno e per un evento di determinata intensità e probabilità):

$$R_{0i} = H_i \times E \times v_{0i}$$

dove

R_{0i} = Rischio = Importo da accumulare annualmente per far fronte ai danni generati per unità di superficie dall'evento i -esimo di una certa intensità e con probabilità di accadimento H_i (€/m²/anno)

H_i = Pericolo, Hazard = Probabilità annua dell'evento i -esimo di una certa intensità nell'unità di superficie considerata (%)

E = Valore Esposto = valore per ogni m² del bene interessato dall'evento (€/m²)

v_i = Vulnerabilità = quota di E che viene danneggiata/persa a seguito dell'evento di probabilità H_i di determinata intensità (0= nessun danno; 1= perdita totale di E)

Dato che su ogni superficie esposta all'evento calamitoso possono occorrere eventi di diversa intensità e diversa probabilità, il Rischio totale che insiste su una determinata superficie dovrebbe essere espresso dall'integrale (o sommatoria, se gli intervalli di probabilità sono discretizzati) dell'insieme di eventi considerati. Questo approccio (in forma più o meno rigorosa in relazione ai dati disponibili) viene adottato per gli eventi di natura alluvionale in cui si tiene conto di particolari condizioni meteo marine (sovrizzo di tempesta, altezza d'onda, run up, ecc.) di natura impulsiva, associabili, nel loro insieme, a determinati tempi di ritorno in termini probabilistici (ad es. riferiti a tempi T_{20} , T_{100} e T superiori a T_{200}).

Questo è in effetti quanto richiesto dalla Direttiva 2007/60/CE e, come rilevato in sede di Conferenza Stato-Regioni per l'attuazione della stessa Direttiva¹⁴¹, tale approccio non tiene conto di quanto avviene in conseguenza ai fenomeni erosivi intesi come variazioni morfologiche a lungo termine, dato che l'ipotesi assunta alla base delle modellazioni di rischio per alluvioni, è che le morfologie costiere rimangano invariate (salvo la valutazione a volte di “brecce” che comunque non rappresentano il fenomeno erosivo a lungo termine in quanto tale).

Il fenomeno erosivo (includendo anche gli effetti dei fenomeni di subsidenza o dell'innalzamento del livello medio mare) si manifesta secondo trend riscontrabili mediante rilievi ripetuti su cicli pluriennali o (nel caso ad esempio dei CC) su previsioni a medio e lungo termine (con l'applicazione di teorie di rimodellamento tipo Bruun¹⁴²), che materializzano il fattore “hazard” non come elemento probabilistico ma come un “trend” da assumere, ovviamente, come valore medio sul lungo periodo.

Con tale approccio si tiene conto esclusivamente del danno derivato dal progressivo arretramento medio della linea di costa (riduzione permanente della superficie emersa della spiaggia o della costa in genere) che quindi non rappresenta una trattazione esaustiva delle criticità costiere ma un aspetto importante delle

¹⁴⁰ UNESCO VARNES & IAEG (1984)

¹⁴¹ Indirizzi operativi per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni (MATM 2013)
http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/vari/documento_definitivo_indirizzi_operativi_direttiva_alluvioni_gen_13.pdf

¹⁴² The Bruun Rule of Erosion by Sea-Level Rise: A Discussion on Large-Scale Two- and Three-Dimensional Usages
Per Bruun - Journal of Coastal Research - Vol. 4, No. 4 (Autumn, 1988), pp. 627-648 - Published by: Coastal Education & Research Foundation, Inc.

stesse che attiene in particolar modo al tema trattato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera e che occorre considerare per la sua relativa rilevanza rispetto alle altre criticità, come le inondazioni od i fenomeni erosivi di natura impulsiva per eventi estremi.

Nel caso di fenomeni erosivi a lungo termine, il rischio medio di un tratto di costa L può essere espresso in forma semplificata e sempre in analogia alla formula moltiplicativa di Varnes:

$$R_{0e} = P \times E \times v$$

dove

R_{0e} = Danno annuale medio per erosione costiera in un tratto unitario di costa (€/anno/m)

P_i = Perdita annua media di superficie di spiaggia emersa nel tratto unitario di costa = arretramento annuo (m/anno)

E = Valore Esposto per ogni m^2 (€/m²)

v = vulnerabilità ovvero quota di E che viene danneggiata/persa a seguito di erosione

Il rischio per erosione ha quindi una natura del tutto diversa dal rischio per inondazione e dovrebbe integrarsi con quest'ultimo mediante una valutazione coordinata dei due. Tuttavia ciò non può avvenire con una semplice addizione in quanto la variazione morfologica delle coste comporta un complesso ricalcolo del rischio di inondazione. Attualmente in molte trattazioni si pone la condizione "variazione morfologica = 0" nel tempo, il che comporta l'ipotesi di un totale contrasto di ogni fenomeno erosivo costiero ($R_{0L} = 0$), circostanza che in questa sede non può essere assunta in quanto l'erosione a lungo termine è l'oggetto principale della trattazione.

In campo dell'Ingegneria Marittima, in relazione all'allagamento costiero, Benassai et al. (2009)¹⁴³ hanno proposto una terminologia diversa, più in linea con le accezioni usualmente associate ai concetti di Vulnerabilità e alle mappe di vulnerabilità esistenti. Il rischio da inondazione marina è il prodotto tra la matrice di vulnerabilità morfologica V e la matrice di vulnerabilità socio-economica S dei vari tratti della fascia costiera in esame.

$$R = V \times S$$

Lo stesso criterio è stato ripreso per esempio da Ruol et al. (2015, 2016)^{144,145} e applicato alle Linee guida della Regione Veneto, per definire un indice semi-qualitativo di priorità IP degli interventi.

$$IP = V_M \times V_{SE}$$

L'indice IP è dato dal prodotto tra la vulnerabilità morfologica V_M , definito come somma della tendenza erosiva e della pericolosità all'ingressione marina in un tratto di litorale, con la vulnerabilità socio-economica V_{SE} , definito come somma degli indici relativi ad aspetti economici e culturali quali ad esempio la pressione d'uso turistica, il valore ambientale, la fruibilità produttiva (tabella sottostante). A ciascun termine di vulnerabilità viene assegnato un "punteggio" variabile tra 1 (poco rilevante) e 4 (molto rilevante) in relazione alle caratteristiche della cella in esame. L'indice di priorità (min IP = 12, max IP = 192) viene suddiviso in classi di priorità: < 30 bassa, compreso tra 30 e 60 media, compreso tra 60 e 90 alta, > 90 molto alta.

¹⁴³ Benassai, G., Chirico, F., & Corsini, S. Una metodologia sperimentale per la definizione del rischio da inondazione costiera. Studi costieri, 2009, 16, 51-72.

¹⁴⁴ Ruol P., Favaretto C., Martinelli L. (2015). A structured approach for the assessment of sediment budget in coastal management: the case of the Venetian littoral. Proceeding of SCACR, Florence, 437-448.

¹⁴⁵ Ruol P., L. Martinelli, C. Favaretto (2016): Gestione integrata della zona costiera. Studio e monitoraggio per la definizione degli interventi di difesa dei litorali dall'erosione nella Regione Veneto - Linee guida. Edizioni Progetto Padova, 335 pp. Adottato da Regione Veneto con . DGR n. 898 del 14 giugno 2016.

INDICAZIONI PER LA STIMA DELLA VULNERABILITÀ MORFOLOGICA E DELLA VULNERABILITÀ SOCIO ECONOMICA

Vulnerabilità	Fattori	Informazioni/dati
Vulnerabilità morfologica	Tendenza erosiva	Bilancio sedimentario, variazione linea di riva
	Pericolosità all'ingressione marina	Direttiva Alluvioni (2007/60/CE), presenza di zone a rischio di allagamento
	Rilevanza interventi di difesa	Investimenti e frequenza degli interventi negli ultimi decenni
Vulnerabilità socio economica	Valore ambientale	Presenza Siti Natura 2000, presenza di parchi o oasi naturalistiche
	Pressione d'uso turistica	Presenze turistiche, presenza stabilimenti balneari
	Grado di urbanizzazione	Presenza e grandezza centri abitati, presenza strutture ad uso turistico,
	Fruibilità produttiva	Attività produttive (pesca, agricoltura, molluschicoltura etc.)
	Eredità culturale	Zone di particolare interesse culturale/storico

IV.3.2.1.1. Valutazioni semplificate del danno per erosione

Adottando la relazione semplificata di Varnes è possibile sviluppare alcune considerazioni per arrivare a delle valutazioni del danno per erosione (che per uniformità di terminologia si continuerà a chiamare “rischio”) che consentano una stima dello stesso su base territoriale.

In effetti, pur nella consapevolezza di trascurare molti fattori, è spesso indispensabile sviluppare dei modelli di calcolo per giungere a delle valutazioni comparative (costi/benefici) in assenza delle quali è impossibile arrivare a delle decisioni ponderate su tali questioni.

L'ipotesi alla base di un approccio semplificato per il calcolo del rischio è che la valutazione porti ad una sottostima dello stesso rispetto a quello che presumibilmente potrebbe essere. Infatti, in tali condizioni, se il mancato rischio (beneficio) così calcolato riesce già a giustificare l'impatto dell'intervento o di un insieme di interventi, le condizioni per una decisione risultano soddisfatte. D'altronde sistemi di valutazione più complessi richiedono la disponibilità di molti dati che spesso non si hanno e che quindi non si riescono di fatto ad applicare.

Nel caso dell'applicazione di un modello moltiplicativo come quello di Varnes, il parametro P risulta relativamente semplice da calcolare in quanto rappresenta il trend erosivo medio misurato nel tratto di costa esaminato. Come già accennato, il trend deve essere calcolato su un periodo di tempo sufficientemente lungo (ad es. intervallo decennale come adottato dal Rijkswaterstaat olandese per la verifica della Momentary Coast Line¹⁴⁶) per tener conto delle variazioni stagionali e di altri fenomeni accidentali. Per rendere più “stabile” il dato è consigliabile calcolare il trend con una serie di valori misurati nel corso del periodo scelto come riferimento (ad es. 4 misure nei 10 anni); in tal modo gli effetti “accidentali” verranno ridotti in funzione del numero di misure effettuate nel periodo stesso. Occorre peraltro verificare che nel corso di tale periodo non siano intercorsi interventi che possano aver alterato il trend negli anni più recenti.

Per il calcolo del valore esposto E è possibile ricorrere, in prima approssimazione, a metodi semplificati e può essere ricondotto al valore della spiaggia in termini di bene in grado di produrre una certa redditività. Con tale approccio non si tiene conto di numerosi fattori di natura ambientale, infrastrutturale e sociale ma ciò renderebbe cautelativo il metodo e quindi, come accennato in precedenza, comunque significativo nel confronto con i costi di intervento.

¹⁴⁶ Implementation of coastal erosion management in the Netherlands
https://www.utwente.nl/ctw/wem/staff/horstman/mulder_2011_OCM.pdf

Il coefficiente di vulnerabilità “v” infine può essere associato al grado di “adattabilità” della spiaggia all’erosione o meglio delle infrastrutture che contribuiscono a determinarne la redditività. Il caso emblematico è quello di uno stabilimento realizzato su palafitte che risente parzialmente di un’erosione nelle sua prossimità. La sua applicazione comporta specifiche considerazioni per ciascuna situazione e spesso richiedono notevoli quantità di dati che di fatto non sono disponibili. In prima approssimazione si può assumere “v” = 1 e quindi assumere che in caso di erosione, l’intero valore E che insiste sulla superficie erosa viene ritenuto perso.

IV.3.2.1.2. Alcuni esempi di valutazione semplificata del rischio per erosione

Regioni costiere	Valore Aggiunto Attività sportive e ricreative M€/anno
Veneto	€ 88
Friuli-V.G.	€ 49
Liguria	€ 332
Emilia-Romagna	€ 261
Toscana	€ 217
Marche	€ 108
Lazio	€ 784
Abruzzo	€ 63
Molise	€ 6
Campania	€ 228
Puglia	€ 151
Basilicata	€ 8
Calabria	€ 89
Sicilia	€ 284
Sardegna	€ 88
totale	€ 2.756

Il modello di rischio per effetto dell’erosione costiera può efficacemente essere applicato utilizzando per esempio un’opportuna zonizzazione della fascia costiera (**Unità gestionali e sub-Unità gestionali costiere**) in modo da tener conto, fra l’altro, di differenti valenze economiche delle stesse zone.

Modelli econometrici per il calcolo del “valore” della spiaggia finalizzato alla valutazione del rischio per erosione, sono stati sviluppati in diverse occasioni (Nomisma¹⁴⁷, Regione Marche¹⁴⁸, Regione Lazio¹⁴⁹) e rappresentano un utile contributo per l’analisi costi/benefici. Di particolare interesse a tale riguardo sono i dati pubblicati nel Quarto Rapporto dell’ Unioncamere sull’economia del mare¹⁵⁰ che rappresentano un semplice ma organico riferimento per quanto riguarda il valore delle spiagge a livello nazionale.

In particolare, facendo riferimento al Quarto Rapporto, potrebbe essere significativo assumere per il valore della spiaggia il solo

valore aggiunto riferito alle “attività sportive e ricreative” che ricomprendono “le attività connesse al turismo nel campo dello sport e divertimento, come i tour operator, guide e accompagnatori turistici, parchi tematici, stabilimenti balneari e altri ambiti legati all’intrattenimento e divertimento” e che rappresentano solo il 2,6% (circa 2,8 miliardi di €/anno) dei circa 43 miliardi di € di valore aggiunto annuo (2014) attribuito alla Economia del Mare a livello nazionale.

Quest’ipotesi appare molto cautelativa perché basata solo sugli aspetti economici (trascurando quelli ambientali, sociali, storico-culturali e archeologici, ecc.) ed inoltre comprende solo un limitato aspetto dell’economia del mare, escludendo importanti settori (ad es. ristorazione) ben più importanti ed in generale gli indotti comunque connessi alle attività balneari (ad. es. commercio, cantieristica navale, ecc.). La suddetta ipotesi non tiene conto, altresì, dei danni indiretti indotti dalle dinamiche di arretramento delle coste nelle piane costiere interne e sui sistemi ambientali, antropici, storico culturali ed economici delle stesse.

¹⁴⁷ progetto europeo Beachmed 2002-2004

(http://www.beachmed.eu/Portals/0/doc_beachmed/documents/Rapporti_Fase_C/3_CT_It/Cap_A1e.pdf)

¹⁴⁸ progetto europeo SHAPE (<http://www.shape->

[ipaproject.eu/download/listbox/WP4%20action%204.4/Marche%20Pilot%20Project%20Final%20report.pdf](http://www.shape-ipaproject.eu/download/listbox/WP4%20action%204.4/Marche%20Pilot%20Project%20Final%20report.pdf))

¹⁴⁹ Rapporto sullo stato delle coste del Lazio 2013

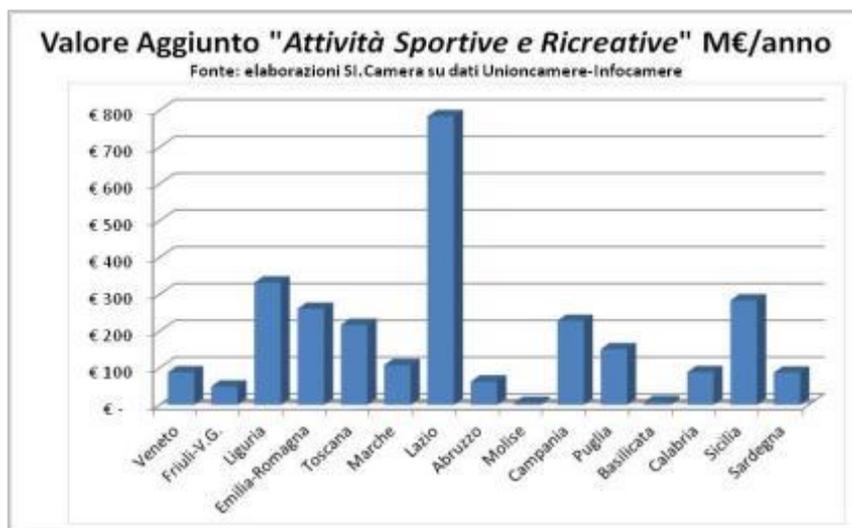
http://www.cmgzic.info/index.php?option=com_content&view=article&id=47:rapporti-sullo-stato-delle-coste-del-lazio&catid=76&Itemid=184&lang=it

¹⁵⁰ Quarto Rapporto sull’Economia del Mare – Unioncamere 2015

(<http://www.unioncamere.gov.it/P42A2673C189S123/Presentato-il-Quarto-Rapporto-sull-Economia-del-Mare.htm>)

Con tale procedura si ottiene un'idea, cautelativa, del valore della spiaggia nel suo complesso che, se diviso per l'intera superficie di spiaggia emersa, consente di ottenere un valore indicativo della spiaggia specifico medio (i dati sono pubblicati in

forma disaggregata a livello provinciale ma è possibile giungere a dettagli maggiori).



Ad esempio per la Regione Lazio, che dispone di circa 1.000 ha di spiaggia emersa potenzialmente fruibile e di un "valore aggiunto annuo" di oltre 780 milioni di €, si ottiene un valore aggiunto specifico medio di circa 78,4 €/m²/anno.

Pur essendo evidente che non sussiste un semplice rapporto di uniformità tra superficie di spiaggia ed il valore aggiunto specifico medio annuo, ai fini di analisi complessive e di carattere globale è utile confrontarsi con tali valori.

*E' necessario sviluppare **modelli econometrici per la valutazione del rischio dell'erosione costiera** in grado di consentire alle amministrazioni costiere di giungere ad una valutazione del valore della spiaggia per sviluppare analisi costi/benefici nel caso di interventi di difesa costiera, con diversi gradi di approssimazione in relazione alla disponibilità di dati e del dettaglio richiesto.*

IV.3.2.2. Analisi comparativa economica tra gli interventi di difesa

Nel caso, piuttosto frequente, in cui non è possibile sviluppare attendibili analisi costi/benefici e nel caso in cui è comunque necessario confrontare diverse tipologie di interventi, l'analisi comparativa fra interventi risulta essere uno strumento indispensabile per giungere a decisioni in questa materia.

Le metodiche qui proposte per l'analisi comparativa economica tra gli interventi di difesa rappresentano esempi da testare, implementare, validare e confrontare con eventuali altre metodiche. Pertanto gli stessi non costituiscono riferimenti assoluti, ma possono essere sostituiti da applicazioni di altre metodiche che risultassero più efficaci.

Ovviamente la comparazione dovrebbe svilupparsi su tutti gli aspetti che vengono coinvolti dalla realizzazione di un interventi di difesa costiera (aspetti ambientali, sociali, economici, ecc.) al fine di valutare nel loro complesso i vantaggi/svantaggi di ciascuna scelta.

In genere tali comparazioni vengono sviluppate sulla base di elementi qualitativi ma per quanto riguarda gli aspetti economici è possibile ottenere valutazioni quantitative su basi oggettive. Volendo limitare la comparazione tra interventi ad una comparazione esclusivamente economica, è possibile ottenere risultati oggettivi di convenienza mediante l'adozione delle note formule di attualizzazione dei costi.

Una valutazione della convenienza economica tra diverse soluzioni si può ottenere dal confronto tra il

Valore Attualizzato Netto (VAN) delle stesse, rapportato all'intera vita dell'opera.

In effetti molto spesso ci si trova a confrontare interventi che hanno diversi costi di investimento immediato (costo capitale) e diversi costi di manutenzione.

E' il caso tipico del confronto tra un intervento con un importante costo infrastrutturale (ad esempio un intervento di difesa rigida con ripascimento ricostruttivo di una spiaggia) che basa la sua efficacia sulla **capacità di contenere le successive perdite per erosione riducendo la manutenzione**, ed un intervento che si limita alla ricostruzione della spiaggia (ripascimento morbido), che individua **l'alimentazione periodica quale unico intervento per bilanciare il trend erosivo esistente**.

Una condizione fondamentale per rendere utile e significativa la comparazione è che il risultato atteso da parte delle diverse soluzioni sia lo stesso. E' importante quindi che nel progetto di riferimento sia definito con chiarezza il risultato che si intende ottenere come ad esempio la superficie di spiaggia emersa che si ritiene dover raggiungere e mantenere mediamente negli anni.

Infine è possibile rendere più oggettiva l'analisi comparativa, effettuando delle **analisi di sensitività** per individuare quei parametri che risultano incidere in maniera più significativa sulla variabilità dei risultati.

Un caso emblematico è il caso del costo della sabbia che può comportare la convenienza o meno di una scelta rispetto ad un'altra; lasciando variare tale costo in un determinato range in riferimento alla più o meno agevole disponibilità di questa risorsa, si possono fare delle valutazioni ed assumere delle decisioni che altrimenti sarebbe impossibile.

E' importante che nello sviluppo delle progettazioni di opere di difesa vengano rispettati criteri oggettivi di confrontabilità tra le diverse ipotesi, ed in particolare:

- Chiara definizione degli obiettivi di riferimento (ad es. stabilità morfologica della costa in una determinata conformazione);
- Adozione dell'obiettivo di riferimento per tutte le soluzioni analizzate;
- Comparazione del Valore Attuale Netto delle diverse soluzioni analizzate;
- Analisi di sensitività del VAN in relazione agli elementi più importanti (ad es. costo della sabbia per il ripascimento, efficacia delle opere rigide nella riduzione delle perdite, ecc.).

IV.3.2.2.1 Esempio di verifica comparativa mediante calcolo del Valore Attuale Netto

Come noto il VAN (Valore Attuale Netto) si basa sul concetto che il valore di una somma di denaro cambia a seconda del periodo di tempo in cui tale somma deve rendersi disponibile. Il VA (Valore Attualizzato) del costo c_t relativo all'anno generico "t" è espresso dalla formula:

$$VA_t = c_t / (1+s)^t$$

dove " c_t " è il costo relativo all'anno t ed "s" è il tasso di sconto.

E' necessario quindi calcolare il "Flusso di Cassa" (VA_1, VA_2, \dots, VA_T) per ciascun anno t di vita T dell'opera e per ciascuno degli interventi da comparare. Può essere utile una parametrizzazione dei costi mediante tabelle come quella riportata a fianco (PARAMETRI DI BASE) che considera, in forma semplificata, interventi con barriere sommerse con o senza pennelli e ripascimenti ricostituivi e di manutenzione.

Se si considera una quota di manutenzione necessaria per un costante ripristino funzionale totale dell'opera (ad. es. nel caso in esame tale quota è stata posta cautelativamente pari allo 0,5% annuo del costo capitale), è possibile evitare di considerare il tempo T di vita dell'opera in quanto lo stesso onere di manutenzione ne racchiude il concetto. Se non si procede in questo senso, si dovrebbe inserire nel flusso di cassa un investimento di un certo importo nell'anno X in cui è ritenuta indispensabile una manutenzione straordinaria. Nel caso in esame si fa comunque riferimento ad un periodo di 50 anni.

PARAMETRI DI BASE			
Tasso di interesse convenzionale			2,0%
Costo lordo sabbia da cava marina (IVA compresa)	0%	€ 8,40	/m3
Costo lordo posa in opera sabbia (IVA compresa)		€ 0,85	/m3
Costo lordo massi 3-7 tonn-cava a 40 Km- 2,1 t/m3 (IVA compresa)		€ 38,88	/m3
Costo manutenzione scogliera per km (IVA compresa)	0,5%	€ 16.177,20	/anno/km
Erosione media annua per km		20.000	/m3 /anno/km
Erosione primo anno per Km (facoltativo)		20.000	/m3 /anno/km
Ripascimento per km		150.000	/m3/km
Riduzione ripascimento per intervento con opere rigide (facoltativo)			0%
Lunghezza intervento		3.500,00	m
Profondità media base barriera sommersa		4,00	m
Profondità berma di sommità		0,50	m
Ampiezza berma di sommità		10,00	m
Pendenza sponda barriera lato mare		4,00	/1
Pendenza sponda barriera lato terra		2,00	/1
Interasse pennelli		300,00	m
Sezione media pennelli		34,38	m2
Lunghezza media pennelli		100,00	m
Riduzione manutenzione con opere rigide (Erosione con opere/Erosione senza opere)			50,00%

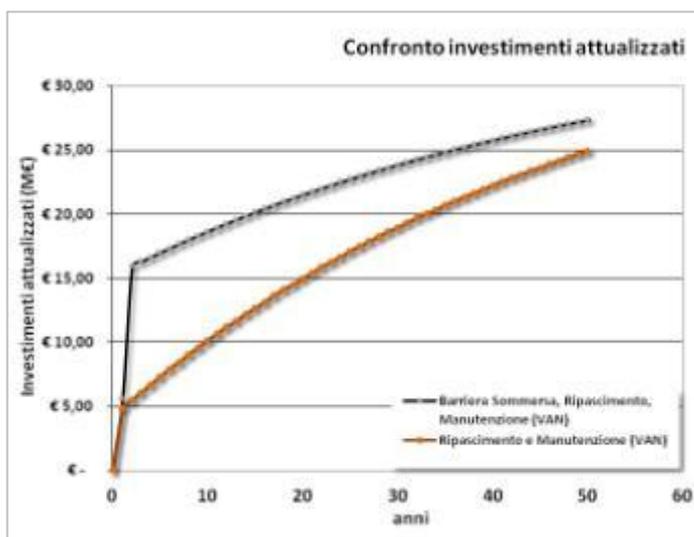
Intervento opere rigide+ripascimento (per km)	u.m.	Quantità	Prezzo Un.	Importo totale
Realizzazione barriera sommersa (con pennelli)	m3	291.229	€ 38,88	€ 11.324.038,43
Ripascimento iniziale con barriera	m3	525.000	€ 9,25	€ 4.857.300,00
Ripascimento manutentivo per perdite primo anno	m3	35.000	€ 9,25	€ 323.820,00
Ripascimento manutentivo annuo con barriera	m3	35.000	€ 9,25	€ 323.820,00
Manutenzione barriera				€ 56.620,19
TOTALE COSTO INTERVENTO				€ 16.181.338,43
TOTALE COSTO MANUTENZIONE PRIMO ANNO				€ 380.440,19
TOTALE COSTO MANUTENZIONE ANNUA				€ 380.440,19

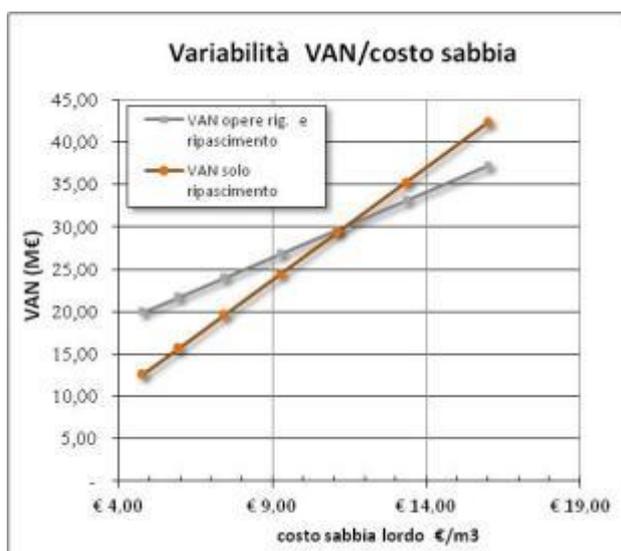
Intervento ripascimento morbido (per km)	u.m.	Quantità	Prezzo Un.	Importo totale
Ripascimento iniziale	m3	525.000	€ 9,25	€ 4.857.300,00
Ripascimento manutentivo per perdite primo anno	m3	70.000	€ 9,25	€ 647.640,00
Ripascimento manutentivo annuo	m3	70.000	€ 9,25	€ 647.640,00
TOTALE COSTO INTERVENTO				€ 4.857.300,00
TOTALE COSTO MANUTENZIONE PRIMO ANNO				€ 647.640,00
TOTALE COSTO MANUTENZIONE ANNUA				€ 647.640,00

Sulla base di una parametrizzazione del genere è possibile ricavare i costi annuali degli interventi da comparare secondo tabelle del tipo riprodotte.

Nella rappresentazione grafica dell'andamento dei Valori Attuali Netti cumulati, si può agevolmente valutare in forma comparata la convenienza o meno di un intervento rispetto ad un altro.

L'andamento del VAN può essere proiettato anche per periodi temporali più lunghi ma è già molto significativo vedere l'andamento divergente o convergente che assume in relazione agli interventi considerati.





Supponendo che l'intervento strutturale (barriere + ripascimento ricostruttivo) venga realizzato nei primi due anni mentre l'intervento di solo ripascimento ricostruttivo venga realizzato nel primo anno, si hanno nelle due curve gli "scalini" iniziali diversi per i due interventi.

Se fossero state previste delle manutenzioni straordinarie all'anno X, le curve si sarebbero presentate con un ulteriore "scalino" in corrispondenza dell'anno X.

Con semplici modelli di questo genere è anche possibile valutare le diverse ipotesi progettuali (variazione delle geometrie, variazione della stima

dell'efficienza delle opere rigide rispetto all'erosione, ecc.) nonché effettuare delle analisi di sensitività rispetto a variabili come ad esempio il costo della sabbia che rappresenta uno dei parametri più importanti da considerare.

Nel caso considerato (vedi grafico Variabilità VAN/costo sabbia) si ottiene per esempio che la convenienza dell'intervento con solo ripascimento (ricostruttivo + manutenzione) sussiste solo per un prezzo della sabbia inferiore a circa 11 €/m².

Si è peraltro ipotizzata una capacità dell'intervento con la barriera sommersa di ridurre del 50% il trend erosivo esistente (non solo dietro la barriera ovviamente ma in tutto il tratto di costa verosimilmente influenzato dagli effetti sottoflutto).

Un'analisi di sensitività potrebbe essere quindi condotta, valutando diverse capacità di riduzione delle perdite.

Tali analisi risultano particolarmente importanti per stabilire le politiche di intervento in un tratto di costa in relazione alla effettiva disponibilità della risorsa di sedimenti, del costo di tali risorse, della reale efficacia degli interventi tesi ad una riduzione delle perdite e di altri parametri che possono essere inseriti nel modello di comparazione.

IV.3.3. METODI DI MONITORAGGIO E DI VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI SULL'ASSETTO COSTIERO DI OPERE E INTERVENTI

Nel secolo scorso la risposta al fenomeno dell'erosione costiera è avvenuta principalmente attraverso la realizzazione di opere di difesa rigide. Tali strutture, che spesso non hanno risolto la problematica per cui erano state realizzate, hanno avuto anche conseguenze in alcuni casi molto impattanti sull'ambiente costiero. Purtroppo, infatti, nelle prime fasi della loro applicazione è stata posta poca attenzione alle conseguenze che esse producono in termini ambientali, di modifica della dinamica costiera e di impatto morfologico sulle spiagge e sui fondali.

In Emilia-Romagna, per esempio, in cui la linea di costa è stata "protetta" progressivamente dagli anni 50-'60 in maniera sistematica con difese rigide per circa il 58% (dato 2011), di cui il 44% opere longitudinali

distaccate, tali problematiche sono risultate molto evidenti già a partire dagli anni '70. Inizialmente le analisi si sono concentrate maggiormente sulle problematiche ambientali, legate alla scarsa circolazione idraulica a tergo delle opere di difesa distaccate.

Successivamente si sono cominciati ad evidenziare i problemi morfologici collegati alla presenza delle opere di difesa rigida, che in parte si ritrovano indicati anche nel Report EuroSION¹⁵¹, e che in estrema sintesi sono:

- le opere fissano la linea di costa alla posizione in cui essa si trova alla data della loro costruzione, impedendo la naturale migrazione legata alla oscillazione del livello del mare;
- determinano un freno all'interazione duna-spiaggia (in una costa protetta l'apporto di sedimento è limitato o interrotto, con conseguente grave deficit per l'apparato dunale);
- gravi instabilità del fronte spiaggia e/o della spiaggia sommersa¹⁵², in corrispondenza delle parti terminali delle opere, dove avviene un'erosione accelerata. Questa problematica spesso s'innesta su fondali già interessati da un progressivo abbassamento, conseguente al diminuito apporto solido dei fiumi e alla compattazione dei depositi costieri;
- conseguente potenziale instabilità delle opere stesse;
- in corrispondenza di opere radenti la spiaggia viene completamente erosa a causa della riflessione delle onde;
- i pennelli, se eretti in un contesto dominato da trasporto cross-shore, possono accentuare il problema nella cella compresa tra 2 elementi, mentre in caso di trasporto long-shore, possono traslare l'erosione sottoflutto;
- in caso di scogliere si possono formare 'tomboli' che intercettano il sedimento e trasferiscono il problema erosivo sottoflutto.

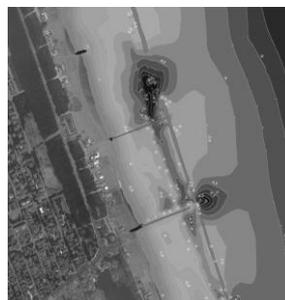
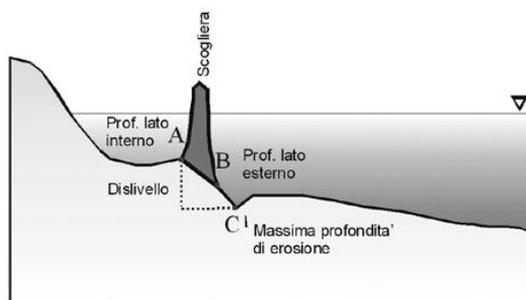


Figura IV.3.3.1

Su questa tematica la Regione Emilia-Romagna ha sviluppato una documentazione rappresentata da rilievi ripetuti, morfologici e batimetrici ad alta risoluzione, che permettono di quantificare l'impatto prodotto dalle opere anche nella porzione di spiaggia sommersa.

Risulta evidente che, oltre ad un corretto studio in fase di progettazione delle opere, sia necessario prevedere il monitoraggio nel tempo degli effetti prodotti dalle stesse. Quest'ultimo deve essere finalizzato:

- a verificare la stabilità dei fondali e dei manufatti

¹⁵¹ "A guide to coastal erosion management practices in Europe" progetto EuroSION 2004

¹⁵² Perini L., Lorito S. & Calabrese L. (2008). Il Catalogo delle opere di difesa costiera della Regione Emilia-Romagna. Studi Costieri 15, pp. 39-56. ISSN1129-8588 Nuova Grafica Fiorentina.

- ad individuare tempestivamente i fenomeni di erosione regressiva che si innescano in particolari situazioni.

Particolare attenzione va posta anche per gli interventi di ripascimento.

IV.3.3.1. Indagini per la progettazione

La progettazione delle opere di difesa richiede quindi uno studio approfondito dell'assetto e della dinamica delle coste, trattato in modo abbastanza esaustivo nell' "Atlante delle opere di sistemazione costiera" (APAT 2007) e in un'ampia bibliografia scientifica, che si deve basare su:

- un'analisi dell'evoluzione plurisecolare della costa e delle sue morfologie, finalizzata a comprendere i trend naturali di avanzamento/arretramento e la posizione di punti critici;
- analisi storica dell'evoluzione dei fondali, recuperando i primi rilievi della fascia costiera nazionale acquisiti dall'Istituto Idrografico della Marina nei primi anni del '900;
- la ricostruzione del clima meteo marino ad alta risoluzione e della sua evoluzione (onde, maree e correnti);
- studi mirati sul trasporto sedimentario long-shore;
- studi locali con applicazione di modellistica morfodinamica che simuli l'esistenza degli interventi in programma;
- indagini volte a valutare la stabilità dell'opera in progetto¹⁵³
- proiezioni dell'evoluzione della spiaggia in presenza degli interventi.

IV.3.3.2. Monitoraggio di opere di difesa rigida e relativi impatti

Il programma di monitoraggio delle opere di difesa e degli impatti, dovrebbe essere progettato sulla base di un quadro conoscitivo che contenga gli elementi informativi sopra delineati. Sarebbe naturalmente necessario disporre di un catalogo delle opere (dimensione, quota dell'opera, tipo di criticità, ecc.) da mantenere aggiornato e sulla base del quale effettuare valutazioni nel tempo sulle opere stesse e sui relativi impatti.

Le attività, con cadenza indicativa di 5 anni, dovrebbero includere le seguenti analisi:

- interazione tra l'opera e la spiaggia/fondali;
- stato delle opere;
- modificazioni sull'ambiente e sull'ecosistema;
- efficienza delle opere in occasione di eventi di mareggiata.

Il primo e il secondo tipo di analisi possono essere effettuati attraverso:

- l'acquisizione di dati topo-batimetrici ad altissima risoluzione (ottenuti con tecnologia Lidar e/o multibeam in spiaggia sommersa) con copertura anche delle opere emerse al fine di ricostruire un quadro altimetrico tridimensionale esaustivo (DEM);

¹⁵³ Coastal Engineering Manual, USACE <http://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>

- l'interpretazione geomorfologica di tali elaborati che individuino la presenza di scarpate di erosione, truogoli nei punti terminali delle opere, canali che possono favorire il deflusso del sedimento cross-shore, punti di instabilità delle opere (es. franamenti di massi), ecc.;
- analisi della circolazione idraulica e del trasporto sedimentario basata sulla evoluzione delle morfologie costiere e, se possibile, sull'aggiornamento degli studi idrodinamici;
- l'analisi della dinamica evolutiva, con riferimento ai rilievi precedenti, al fine di individuare: punti di accelerazione del fenomeno erosivo, situazioni di particolare instabilità, abbassamenti delle creste dei singoli manufatti.

Per effettuare il terzo tipo di analisi il riferimento è rappresentato dalle Linee guida ISPRA¹⁵⁴, mentre per il quarto tipo di analisi è necessario disporre di un sistema di archiviazione e catalogazione di dati post evento¹⁵⁵.

Un'analisi post evento, consente di comprendere, almeno qualitativamente, i punti in cui le opere si sono dimostrate efficaci a proteggere il territorio in occasione delle mareggiate e a mappare, invece, i punti critici. Tale analisi deve essere posta alla base della successiva scelta e programmazione degli interventi di manutenzione delle opere e dei ripascimenti.

In situazioni particolarmente critiche, potrebbe rendersi necessaria l'installazione di un sistema di video-monitoraggio che permetta di analizzare il comportamento dell'opera in corso di evento.

IV.3.3.3. Monitoraggio degli interventi di ripascimento

Come nel caso delle opere rigide, anche gli interventi di ripascimento delle spiagge o di ricostruzione e protezione delle dune, necessitano di un programma di monitoraggio dedicato che si basa essenzialmente sui seguenti punti:

- la disponibilità di un database con tutti i dati relativi all'intervento: planimetrie, volumi apportati, rilievi morfologici post intervento;
- l'esecuzione di rilievi della spiaggia con cadenza regolare (a 1 o 2 anni); rilievi topo-batimetrici e linea di riva, in corrispondenza del tratto di intervento, della cella e macro-cella litoranea;
- catalogazione degli eventi di mareggiata (post intervento);
- analisi evolutiva della macro-cella litoranea, includendo tutti gli elementi morfologici del sistema spiaggia e bilancio sedimentario

IV.3.4. PRINCIPALI ASPETTI AMBIENTALI CONNESSI ALLA REALIZZAZIONE DELLE OPERE DI DIFESA COSTIERA. FOCUS SU AREE MARINE PROTETTE

E' noto che la realizzazione di interventi di difesa della costa, necessari per preservare e proteggere dall'erosione arenili, edifici e infrastrutture, determina cambiamenti sull'ambiente che possono generare impatti significativi soprattutto in presenza di habitat e specie protette o sensibili. In fase di pianificazione e

¹⁵⁴ Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera. Paganelli D. *et al.*, 2014

¹⁵⁵ Es. Catalogo Mareggiate della Regione Emilia-Romagna <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/il-catalogo-delle-mareggiate>

progettazione di un'opera di difesa costiera, quindi, è necessario tenere conto, non solo dell'efficacia di un'opera nel contrastare l'erosione, ma anche degli effetti che la sua presenza può generare sull'ambiente emerso e sommerso.

Gli effetti generati sull'ambiente dalle opere di difesa possono causare diversi tipi di impatti sugli habitat e le specie coinvolte. Il processo di valutazione di tali impatti può risultare a volte estremamente difficoltoso, sia per la complessità propria degli ambienti costieri, sia per la scala strettamente locale alla quale vengono generalmente riferiti gli studi.

A tal proposito sono state pubblicate da ISPRA¹⁵⁶ le "Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera". Le linee guida propongono degli schemi di facile applicazione, le matrici "opera/impatto vs habitat/specie", che mettono in relazione ogni categoria di opera di difesa con i principali effetti fisici e gli impatti potenziali generati sull'ambiente, con particolare attenzione a habitat e specie di flora e fauna protetti. Sono state prodotte 9 matrici riferite a specifiche categorie di opere.

CATEGORIE DI OPERE PER LE QUALI SONO STATE REDATTE LE MATRICI

Le 9 matrici "opera/impatto vs habitat/specie" sono riferite alle seguenti categorie di opere difesa:

- difese aderenti;
- difese distaccate (emerse e sommerse) e piattaforme isola;
- pennelli (permeabili e impermeabili);
- pennelli compositi;
- *headlands*;
- ripascimento;
- sistemi di drenaggio;
- ricostruzione morfologica delle dune costiere;
- barriere frangivento, restauro e consolidamento dune mediante vegetazione e gestione degli accessi.

Le matrici sono organizzate in un sistema gerarchico di inquadramento dell'ambiente marino-costiero che prende in considerazione sia gli ecosistemi sommersi sia quelli emersi. Questo sistema gerarchico, partendo da categorie ambientali molto ampie (denominate macroambienti), con dettaglio progressivamente crescente, permette di arrivare all'identificazione di habitat e specie.

Il sistema identifica 4 macroambienti, 11 categorie fisiografiche (Figura IV.3.5.1), ovvero unità identificate secondo criteri di omogeneità morfogenetica e litomorfologica e 37 tipi di habitat marino-costieri di interesse comunitario. Nello specifico, all'interno di ogni macroambiente (habitat marini, habitat acquatici e umidi alofili, habitat dunali e habitat rupestri), le matrici associano gli effetti attesi e gli impatti potenziali alle categorie fisiografiche coinvolte. Inoltre, per ciascuna categoria fisiografica, ogni impatto potenziale è associato ai diversi tipi di habitat e alle specie di flora e fauna protette (in termini di categorie di uso dell'habitat) che possono subire tali impatti.

¹⁵⁶ Paganelli D., La Valle P., Ercole S., Lisi I., Teofili C., Nicoletti L., 2014 - Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera. ISPRA, Manuali e Linee Guida 105/2014: 73 pp.

COMPILAZIONE DELLE MATRICI OPERA/IMPATTO VS HABITAT/SPECIE

La compilazione delle matrici prevede i seguenti passaggi:

Identificazione dell'area di riferimento. Attraverso un'indagine preliminare, basata sulle informazioni tecniche e ambientali acquisite in fase di progettazione dell'opera, deve essere individuata l'area di riferimento, ossia l'area interessata dagli effetti diretti e indiretti che possono essere generati in seguito alla realizzazione dell'opera e include sia l'ambiente emerso sia quello sommerso.

Identificazione dei tipi di habitat protetti. Attraverso un'accurata indagine bibliografica e apposite indagini di campo eseguite, devono essere identificate le categorie fisiografiche nell'area di riferimento e per ciascuna di esse i tipi di habitat protetti presenti (*sensu* Direttiva Habitat). E' importante sottolineare che nella compilazione della matrice devono essere sempre mantenute tutte le categorie fisiografiche presenti nell'area di riferimento. Infatti, anche se non sono presenti tipi di habitat protetti, l'area di riferimento può essere caratterizzata dalla presenza di specie di flora e di fauna protette.

Identificazione delle specie di flora protette e loro attribuzione ai tipi di habitat. Attraverso un'accurata indagine bibliografica e specifiche indagini floristiche da effettuare sul campo, devono essere identificate le specie di flora presenti nell'area di riferimento, includendo le specie direttamente correlate agli habitat presenti e le specie protette dalle norme vigenti.

Identificazione delle specie di fauna protette. Attraverso un'accurata indagine bibliografica e specifiche indagini di campo, deve essere effettuato il censimento delle specie di fauna presenti nell'area di riferimento, tenendo conto delle norme e delle convenzioni vigenti in materia di protezione della fauna.

Attribuzione delle specie di fauna protette alle categorie fisiografiche. Ciascuna specie di fauna protetta, censita nell'area di riferimento, deve essere attribuita a una o più categorie di uso dell'habitat, specificandone la scala di uso (locale o vasta) e la frequenza temporale (perenne o stagionale), anche al fine di poter eventualmente identificare opportune "finestre temporali" in cui realizzare gli interventi minimizzando l'impatto.

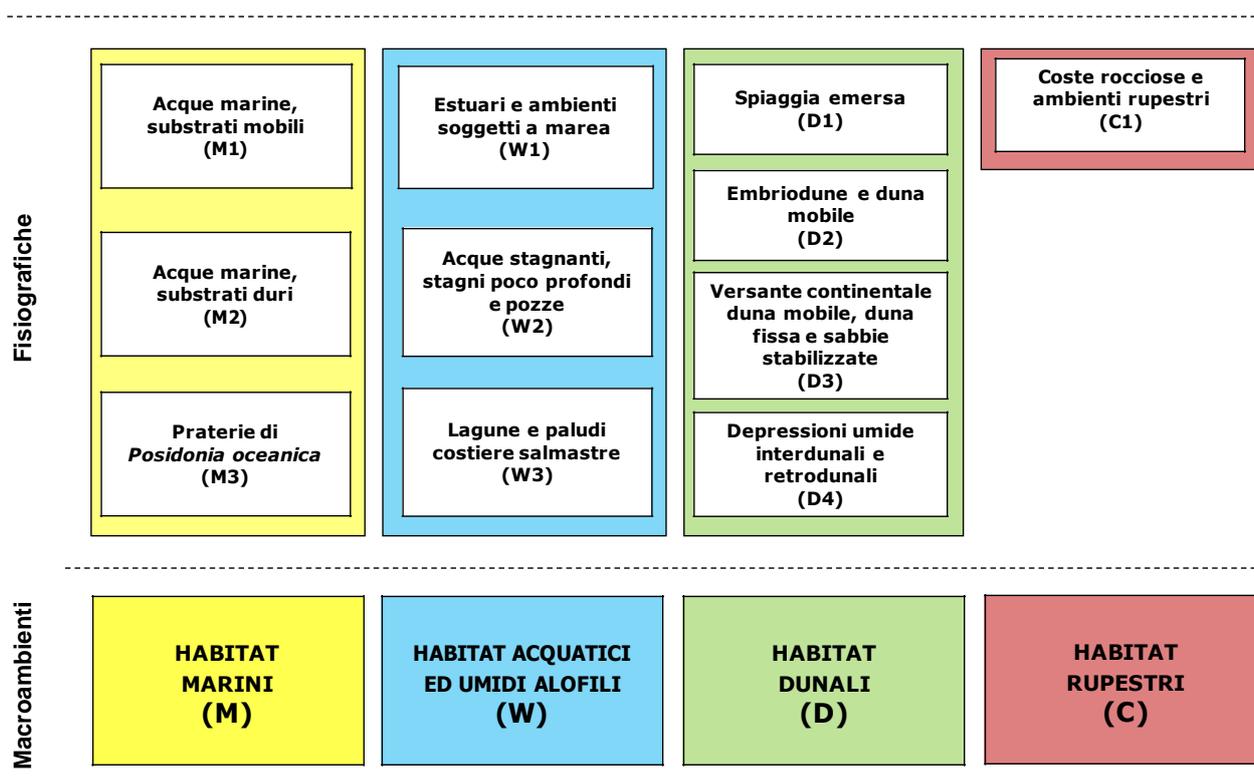


Fig. IV.3.4.1 - Categorie fisiografiche e macroambienti.

L'approccio metodologico messo a punto per la realizzazione delle linee guida è stato sviluppato e condiviso all'interno del Progetto Europeo COASTANCE "Strategie di Azione Regionale per l'Adattamento della Zona Costiera ai Cambiamenti Climatici", nella Componente 5, di cui la Regione Lazio aveva il coordinamento¹⁵⁷. Le linee guida prodotte sono state adottate all'interno del Dipartimento Istituzionale e Territorio, Direzione Regionale Ambiente, Area Valutazione Impatto Ambientale e Valutazione Ambientale Strategica della Regione Lazio con un atto formale¹⁵⁸. Queste linee guida rappresentano infatti uno strumento di supporto alla normativa vigente in materia di V.I.A. e quindi di ausilio sia per i tecnici coinvolti nella predisposizione e redazione degli Studi di Impatto Ambientale sia per le Pubbliche Amministrazioni coinvolte nelle relative istruttorie.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla pubblicazione¹⁵⁹. Una sintesi dei principali effetti ambientali generati dalle opere di difesa costiera è riportata, nell'Allegato 2, Capitolo 2, al quale si rimanda.

Nella pagina seguente si riporta lo schema gerarchico di attribuzione degli habitat costieri italiani (Direttiva 92/43/CEE) alle categorie fisiografiche e ai macroambienti.

¹⁵⁷ www.coastance.eu

¹⁵⁸ Determinazione Regionale n. A01160 del 20/02/2013

¹⁵⁹ Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera - Paganelli D. et al, 2014 .

MACROAMBIENTI	CATEGORIE FISIOGRAFICHE	HABITAT COSTIERI DI INTERESSE COMUNITARIO (DIR. 92/43/CEE)
HABITAT MARINI (M)	Acque marine, substrati mobili (M1)	1110: Banchi di sabbia a debole copertura permanente di acqua marina 1160: Grandi cale e baie poco profonde, quando insediato su substrati mobili
	Acque marine, substrati duri (M2)	1160: Grandi cale e baie poco profonde, quando insediato su substrati duri 1170: Scogliere 8330: Grotte marine sommerse o semisommerse
	Praterie di <i>Posidonia oceanica</i> (M3)	1120*: Praterie di <i>Posidonia</i> (<i>Posidonium oceanicae</i>)
HABITAT ACQUATICI ED UMIDI ALOFILI (W)	Estuari e ambienti soggetti a marea (W1)	1130: Estuari 1140: Distese fangose o sabbiose emergenti durante la bassa marea
	Acque stagnanti, stagni poco profondi e pozze (W2)	3120: Acque oligotrofe a bassissimo contenuto minerale, su terreni generalmente sabbiosi del Mediterraneo occidentale, con <i>Isoëtes</i> spp. 3130: Acque stagnanti, da oligotrofe a mesotrofe, con vegetazione dei <i>Littorelletea uniflorae</i> e/o degli <i>Isoëto-Nanojuncetea</i> 3140: Acque oligomesotrofe calcaree con vegetazione bentica di <i>Chara</i> spp. 3170*: Stagni temporanei mediterranei
	Lagune e paludi costiere salmastre (W3)	1150*: Lagune costiere 1310: Vegetazione annua pioniera a <i>Salicornia</i> e altre specie delle zone fangose e sabbiose (p.p.) 1320: Prati di <i>Spartina</i> (<i>Spartinion maritimae</i>) 1410: Pascoli inondatai mediterranei (<i>Juncetalia maritimi</i>) (p.p.) 1420: Praterie e fruticeti alofili mediterranei e termo-atlantici (<i>Sarcocornietea fruticosi</i>) 6420: Praterie umide mediterranee con piante erbacee alte del <i>Molinio-Holoschoenion</i> (p.p.)
	Spiaggia emersa (D1)	1210: Vegetazione annua delle linee di deposito marine 1310: Vegetazione annua pioniera a <i>Salicornia</i> e altre specie delle zone fangose e sabbiose (p.p.)
	Embriodune e duna mobile (D2)	2110: Dune embrionali mobili 2120: Dune mobili del cordone litorale con presenza di <i>Ammophila arenaria</i> (dune bianche) 2230: Dune con prati dei <i>Malcolmietalia</i> (p.p.)
	Versante continentale della duna mobile, duna fissa e sabbie stabilizzate (D3)	2130*: Dune costiere fisse a vegetazione erbacea (dune grigie) 2160: Dune con presenza di <i>Hippophae rhamnoides</i> 2210: Dune fisse del litorale (<i>Crucianellion maritimae</i>) 2230: Dune con prati dei <i>Malcolmietalia</i> (p.p.) 2240: Dune con prati dei <i>Brachypodietalia</i> e vegetazione annua 2250*: Dune costiere con <i>Juniperus</i> spp. 2260: Dune con vegetazione di sclerofille dei <i>Cisto-Lavanduletalia</i> 2270*: Dune con foreste di <i>Pinus pinea</i> e/o <i>Pinus pinaster</i> 6220*: Percorsi substeppici di graminacee e piante annue dei <i>Thero-Brachypodietea</i>
Depressioni umide interdunali e retrodunali (D4)	1410: Pascoli inondatai mediterranei (<i>Juncetalia maritimi</i>) (p.p.) 1510*: Steppe salate mediterranee (<i>Limonietalia</i>) 6420: Praterie umide mediterranee con piante erbacee alte del <i>Molinio-Holoschoenion</i> (p.p.)	
HABITAT RUPESTRI (C)	Coste rocciose e ambienti rupestri (C1)	1240: Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con <i>Limonium</i> spp. endemici 1430: Praterie e fruticeti alonitrofilo (<i>Pegano-Salsolitea</i>) 5320: Formazioni basse di euforbie vicino alle scogliere 5330: Arbusteti termo-mediterranei e pre-desertici 5410: Frigane del Mediterraneo occidentale sulla sommità di scogliere (Sardegna) 5420: Frigane a <i>Sarcopoterium spinosum</i> (Sardegna e Sicilia) 5430: Frigane endemiche dell' <i>Euphorbio-Verbascion</i> (Sardegna e Sicilia) 8210: Pareti rocciose calcaree con vegetazione casmofitica

Schema gerarchico di attribuzione degli habitat costieri italiani della Direttiva 92/43/CEE alle categorie fisiografiche e ai macroambienti. Un habitat presente in più categorie fisiografiche è segnalato con il simbolo p.p. (pro parte). Con l'asterisco (*) sono indicati gli habitat prioritari.

IV.4. I DEPOSITI DI SEDIMENTI RELITTI: PARAMETRI E METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI FISICI E AMBIENTALI AI FINI DELLA GESTIONE

IV.4.1. INTRODUZIONE

L'obiettivo specifico del lavoro sul tema risorsa sedimenti è stato quello di comporre un quadro sullo stato dell'arte delle fonti di sedimenti già sfruttate o potenzialmente sfruttabili per il ripascimento dei litorali, mediante una ricognizione presso le Regioni italiane ed altri operatori pubblici e privati.

Nell'Allegato 3 "Risorsa Sedimenti" sono riportati gli esiti e le considerazioni a seguito della ricognizione effettuata sulle diverse possibili fonti di sedimenti, trattate poi sotto gli aspetti gestionali nel Capitolo IV.2 delle presenti Linee Guida. In questa sede si focalizza l'attenzione sui depositi di sedimenti *offshore*.

I giacimenti di sedimenti "relitti" sulla piattaforma continentale sono corpi sedimentari formati in condizioni di livello del mare molto diverse rispetto all'attuale e quindi "non appartenenti" all'ambiente deposizionale in cui attualmente si trovano. In altre parole, oggi quei depositi in quell'ambiente deposizionale non potrebbero formarsi.

I depositi di sedimenti sottomarini presenti in piattaforma sono quindi una risorsa non rinnovabile che, data la loro strategicità per la difesa dei litorali, deve essere gestita in modo oculato, con una logica di sostenibilità ambientale ed economica.

Per un miglior controllo delle strategie di sfruttamento si rendono necessari piani e strumenti di verifica, quali ad esempio specifici sistemi informativi che raccolgano tutti i dati, ambientali e fisici, utili alla conoscenza dello stato ambientale del fondale, alla preparazione ed esecuzione dei progetti di ripascimento che ne prevedono l'utilizzo, al monitoraggio delle attività di dragaggio, durante e post intervento.

Nelle pagine che seguono si presentano esperienze e si forniscono indicazioni sulle modalità di acquisizione e gestione dei dati relativi a tali depositi e sulle modalità di coltivazione il più possibile efficienti della risorsa.

In particolare vengono descritti due strumenti (In_Sand ed Env_Sand)¹⁶⁰ messi a punto nel bacino Adriatico e che potrebbero essere adottati anche a livello nazionale, per riorganizzare tutte le informazioni già raccolte in passato e in generale fornire un protocollo per la raccolta e gestione dei dati sui depositi sabbiosi in futuro.

Si tratta di due geodatabase che raccolgono e rendono fruibili e aggiornabili rispettivamente i dati fisici ed ambientali dei depositi sabbiosi sommersi al largo sulla piattaforma continentale nord adriatica e che, a partire dalle esperienze di alcune regioni (Emilia-Romagna e Veneto) hanno premesso attraverso l'analisi delle stesse di formulare anche particolari indicazioni da seguire per una più efficace coltivazione dei depositi sottomarini in generale.

¹⁶⁰ In_Sand <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/sistema-informativo-per-la-gestione-dei-depositi-di-sabbia-sommersi> messo a punto da CNR-ISMAR in collaborazione con la regione Emilia-Romagna; Env_Sand http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/sistema-informativo-per-il-monitoraggio-ambientale-della-risorsa-sabbia-offshore-nei-progetti-di-protezione-costiera-geodatabase-env_sand messo a punto da CNR-ISMAR ed ISPRA.

IV.4.2. STRUMENTI INFORMATIVI PER LA GESTIONE E COLTIVAZIONE DEI DEPOSITI SOTTOMARINI

L'architettura del **geodatabase In_Sand**¹⁶¹ è stata proposta da CNR-ISMAR all'interno di una specifica convenzione tra CNR ISMAR e Regione Emilia-Romagna, concordata con le strutture tecniche¹⁶² che hanno gestito gli interventi di ripascimento fino ad ora effettuati nei litorali della regione Emilia-Romagna. Per popolare in_Sand sono stati raccolti tutti i dati geognostici e geofisici che, fin dagli anni '80 ad oggi, sono stati acquisiti nei progetti di ricerca di sabbie offshore nella porzione di piattaforma adriatica antistante la regione Emilia-Romagna. Il progetto è stato focalizzato su tre obiettivi prioritari, ovvero:

- a) disporre di un geodatabase di tutti i dati e dei prodotti cartografici elaborati, utili alla caratterizzazione dei depositi di sabbia offshore e al monitoraggio degli interventi;
- b) poter gestire le fasi di programmazione e di progettazione degli interventi attraverso applicativi per il calcolo automatico dei quantitativi di sabbie;
- c) definire una strategia per la gestione ottimale di tali depositi sabbiosi.

In_Sand garantisce l'accesso, la gestione e l'elaborazione dei dati relativi alla risorsa sabbia e si interfaccia con altri geodatabase tematici quali in_Defence (dedicato agli interventi di ripascimento e alle opere di difesa rigide) e in_Sea (dedicato all'uso del mare) ed è parte integrante del Sistema Informativo del Mare e della Costa (SIC) della Regione Emilia-Romagna¹⁶³.

Un ulteriore contributo di in_Sand è quello di favorire l'analisi dell'interferenza con le aree di tutela ambientale e dei conflitti con gli altri usi del mare. Lo strumento è quindi un supporto essenziale sia per la Marine Strategy¹⁶⁴, sia per la redazione dei piani di gestione dello spazio marittimo che dovranno essere elaborati dagli stati membri entro marzo 2021¹⁶⁵.

Nel mettere a punto l'architettura di in_Sand sono state seguite cinque fasi principali:

- 1) ricerca ed acquisizione dei dati pregressi relativi alla caratterizzazione dei depositi sottomarini dell'Emilia-Romagna. Sono stati inseriti anche i dati acquisiti da altri enti (quali Idroser S.p.A e Arpae Emilia-Romagna) o da istituti di ricerca che hanno operato nella stessa area anche allo scopo di effettuare i monitoraggi post-intervento;
- 2) definizione dell'architettura del geodatabase. Si è focalizzata l'attenzione sulle esigenze tecniche di utilizzo dello strumento, ai fini della progettazione e dell'esecuzione dei dragaggi;
- 3) sviluppo e popolamento del geodatabase. Questa attività, svolta da CNR-ISMAR, ha richiesto molto tempo perché parte dei dati, soprattutto quelli antecedenti gli anni '90, erano ancora in formato analogico;
- 4) realizzazione di una procedura per il calcolo dei volumi, basata sull'utilizzo di strumenti GIS;
- 5) collaudo del sistema; fase che è stata in parte oggetto di una delle azioni pilota del Progetto SHAPE ed è stata sperimentata recentemente nell'ambito del Progetto 3 (progetto esecutivo di ripascimento di diversi tratti costieri della regione Emilia-Romagna in fase di attuazione).

¹⁶¹ Correggiari A., Perini L., Remia A., Luciani P., Fogliani F., Grande V., Moscon G., Calabrese L., Lorito S. (2016) "Sistema Informativo per l'utilizzo della risorsa Sabbia offshore nei progetti di protezione costiera: geodatabase in_Sand" Rapporto tecnico 36 pp. Centro Stampa della Regione Emilia-Romagna ISBN 978-88-8186-012-8.

¹⁶² Servizio geologico sismico e dei suoli, Servizio difesa del suolo della costa e bonifica, ARPAE ER Area modellistica meteorologica marina - Unità Mare Costa.

¹⁶³ <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/sistema-informativo-del-mare-e-della-costa-sic>

¹⁶⁴ Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino, 2008/56/CE recepita in Italia con il d.lgs. n. 190 del 13 ottobre 2010

¹⁶⁵ Direttiva sulla Pianificazione dello Spazio Marittimo, 2014/89/EU

L'efficacia di questo strumento dipende strettamente dall'aggiornamento continuo della banca dati con i dati di nuova acquisizione costituiti soprattutto da batimetrie multifascio (multibeam) dei depositi in oggetto, da dati geognostici di controllo e dai dati relativi al monitoraggio degli interventi. L'attività di aggiornamento del database dovrà essere pertanto programmata all'interno delle strategie regionali di sfruttamento della risorsa sabbia sommersa.

In Adriatico le informazioni geologiche riassunte nelle sei carte superficiali pubblicate nel progetto Cartografia Geologica dei Mari Italiani a scala 1:250000 (2011), sono risultate fondamentali per l'individuazione e la caratterizzazione dei giacimenti e per la costruzione di un sistema informativo come quello illustrato. Ma la ricerca sull'evoluzione recente della piattaforma adriatica non si è mai fermata e molti nuovi dati sono stati acquisiti e resi disponibili e sono serviti ad implementare il geodatabase.

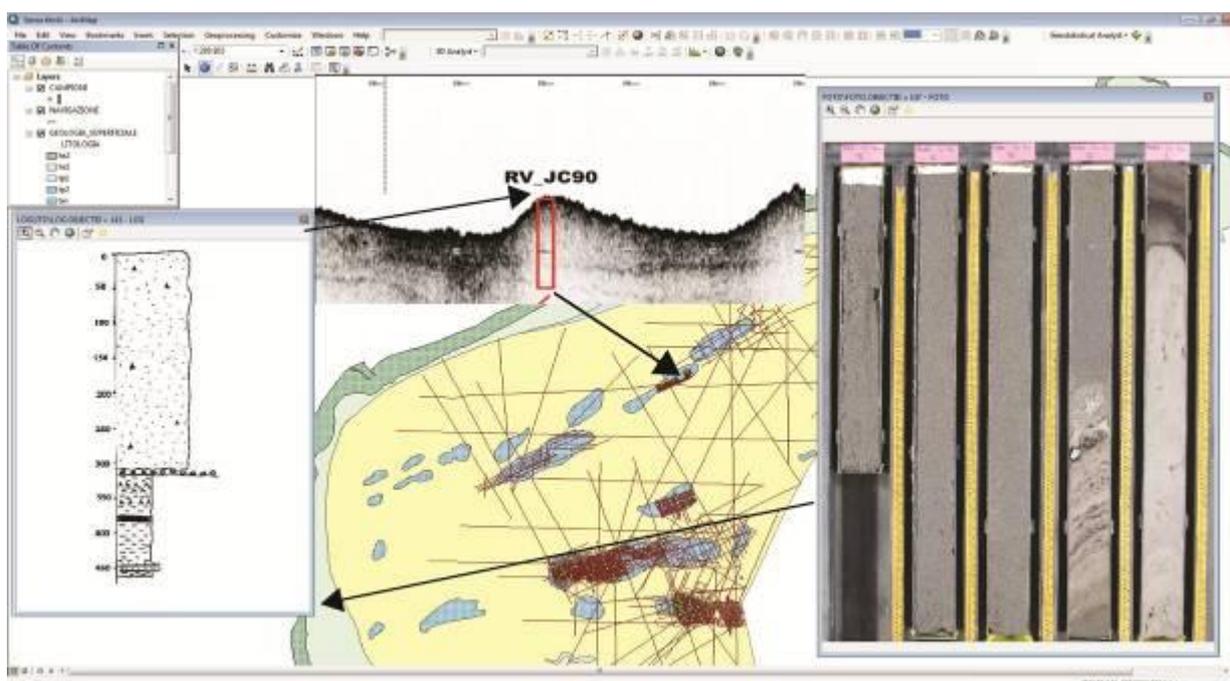


Figura IV.4.2.1: Esempio dei dati contenuti nel geodatabase: cartografia geologica, dati geofisici, foto carotaggio, log stratigrafico profilo sismico ad alta risoluzione etc.

L'architettura di in_Sand include le informazioni geologiche, sedimentologiche e stratigrafiche delle aree di piattaforma e in dettaglio raccoglie tutti i dati acquisiti nei progetti di ricerca di sabbie offshore, mentre il Feature dataset DEPOSITI_SABBIOSI contiene le informazioni spaziali relative alle aree dove sono stati individuati potenziali depositi sabbiosi. Questi elementi rappresentano i dati chiave per la gestione del giacimento stesso e per la generazione di strumenti di controllo delle operazioni di dragaggio e il successivo ripascimento dei siti costieri.

Il geodatabase offre anche la possibilità di eseguire efficacemente valutazioni post-intervento finalizzate a comprendere gli esiti dei prelievi e a definire la condizione del giacimento per un possibile successivo sfruttamento. Tali analisi si sono rivelate particolarmente utili per valutare se i dragaggi siano stati adeguati, in termini di recupero, e se siano state rispettate le prescrizioni di scavo fornite alle ditte appaltatrici. Anche questo tipo di valutazione si basa sull'analisi dei rilievi batimetrici ad alta risoluzione pre e post intervento, possibilmente acquisiti con tecnica multibeam.

IV.4.3. STRUMENTI INFORMATIVI PER LA GESTIONE DEI DATI AMBIENTALI DEI DEPOSITI SOTTOMARINI

I depositi di sabbia sottomarini presenti in piattaforma sono una risorsa non rinnovabile che deve quindi essere gestita in modo oculato, con una logica di sostenibilità ambientale ed economica. Per un miglior controllo delle strategie di sfruttamento si rendono necessari piani e strumenti di verifica, quali ad esempio specifici sistemi informativi che raccolgano tutti i dati, ambientali e fisici, che ne facilitino il loro utilizzo.

Nell'implementazione di un sistema informativo per il monitoraggio ambientale della risorsa sabbia, è stato ideato e realizzato un geodatabase (GDB) per i dati ambientali, denominato Env_Sand¹⁶⁶.

Il dragaggio di sabbie relitte, coinvolgendo ingenti volumi di sedimento, può comportare effetti fisici e biologici non trascurabili sull'ambiente marino. Per tale motivo, una volta individuato un giacimento di sabbia, è necessario impostare un monitoraggio ambientale¹⁶⁷ per valutare la sostenibilità ambientale dell'attività nonché i principali effetti indotti. Il monitoraggio deve pertanto comportare l'esecuzione di specifiche indagini sul biota, sul sedimento e sulla colonna d'acqua, prevedendo anche opportune fasi temporali di indagine da condurre prima, durante e dopo le attività di estrazione. Il GDB è nato dalla collaborazione tra CNR-ISMAR e ISPRA, nell'ambito del progetto Bandiera RITMARE, per la gestione dei dati raccolti per la Regione Veneto nelle attività di caratterizzazione ambientale di un deposito sabbioso e per supportare i successivi studi di monitoraggio ambientale.

La struttura del GDB è stata progettata con l'obiettivo di fornire uno strumento di archiviazione, organizzazione e gestione dei dati, facilmente utilizzabile da parte degli Enti coinvolti nella realizzazione e nel controllo ambientale delle attività di dragaggio di sabbie relitte.

Il geodatabase è stato ideato e realizzato per immagazzinare dati relativi alle seguenti matrici ambientali: matrice sedimento (caratteristiche tessiturali e chimiche), matrice biota (popolamenti bentonici, popolamenti ittici demersali), matrice acqua (caratteristiche fisico-chimiche della colonna d'acqua e particolato sospeso).

¹⁶⁶ Grande V., Proietti R., Fogliani F., Remia A., Correggiari A., Paganelli D., Targusi M., Franceschini G., La Valle P., Berducci M.T., La Porta B., Lattanzi L., Lisi I., Maggi C., Loia M., Pazzini A., Gabellini M., Nicoletti L. (2015). Sistema Informativo per il monitoraggio ambientale della risorsa sabbia offshore nei progetti di protezione costiera: geodatabase env_Sand. ISPRA, Manuali e Linee guida, 127/2015: 63 pp.

¹⁶⁷ Nicoletti L., Paganelli D., Gabellini M. (2006) – Environmental aspects of relict sand dredging for beach nourishment: proposal for a monitoring protocol. Quaderno ICRAM n. 5, 155 pp.

Il geodatabase si compone di tre feature dataset: 1) PianoDiCampionamento; 2) Campionamento; 3) IndaginiVisive. Il primo ospita le feature class relative al piano di campionamento (AreaVasta, Area, Intervento, StazioneTeorica, CalaTeorica), il secondo quelle relative al campionamento (Acqua, Benthos, Sedimento, Pesca) e il terzo quelle relative alle indagini visive (TracciatoROV, Immagine, Descrizione).

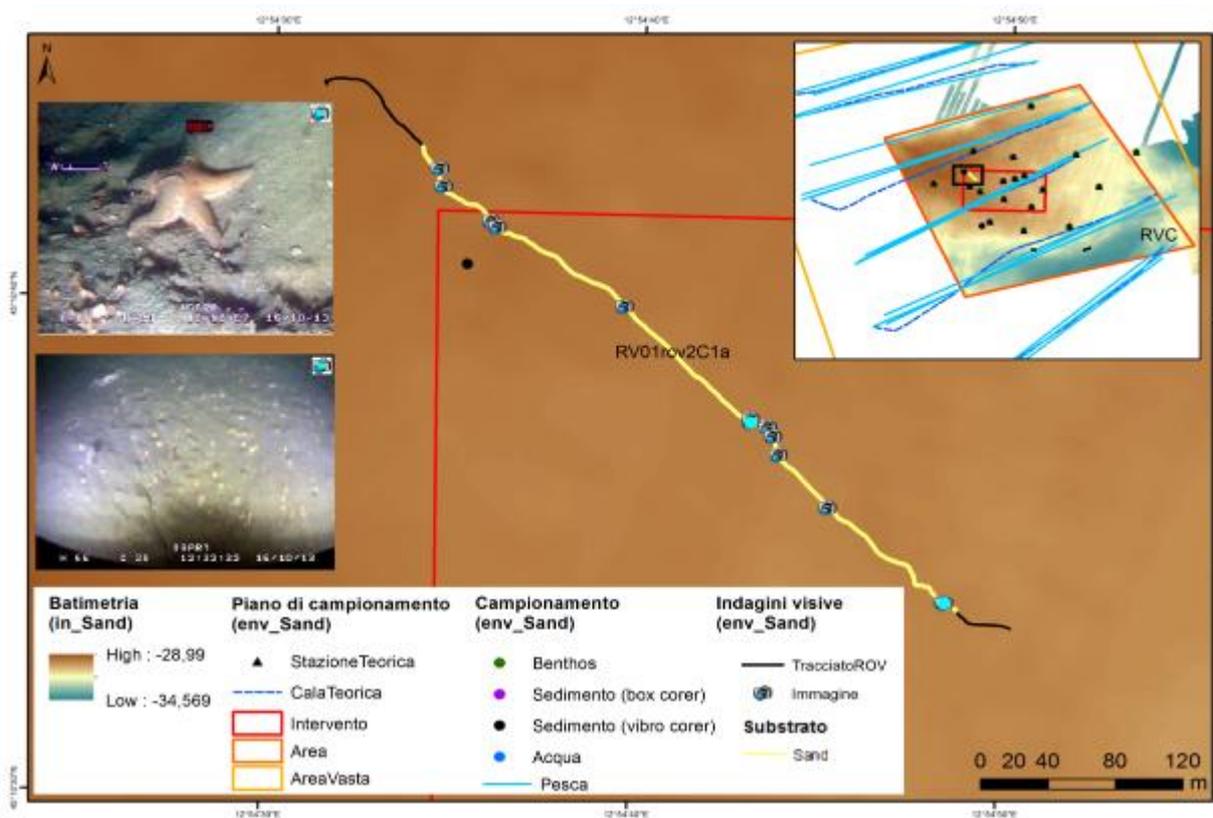


Figura IV.4.3.1: Esempio di mappa a scala 1:2.500 visualizzabile con env_Sand, dettaglio di un rilevamento ROV nell'area RV_H, Regione Veneto

Con questa architettura Env_Sand rappresenta un valido supporto sia in fase di progettazione sia in fase autorizzativa degli interventi di dragaggio per ripascimento ed uno strumento di supporto per gli Enti coinvolti nella pianificazione e gestione delle operazioni con specifico riferimento alla valutazione degli aspetti ambientali. L'archiviazione e la riorganizzazione di dati e informazioni ambientali disponibili, vincolata dalle specifiche adottate dal sistema, permette di disporre di dati multidisciplinari georiferiti, confrontabili e replicabili nel tempo.

Si sottolinea, infine, il ruolo che tale strumento può rivestire anche in ambito europeo, essendo la riorganizzazione dei dati in un sistema informativo in linea con quanto previsto dalle principali direttive europee in ambito marino e in particolare dalla "Marine Strategy Framework Directive" (MSFD). Disponendo, infatti, di dati omogenei, georiferiti e aggiornabili sarà possibile monitorare la pressione e gli impatti generati dal dragaggio delle sabbie, semplificando e velocizzando le attività previste per ottemperare alle richieste della UE.

Un terzo geodatabase (min_Sand) che andrà a completare il sistema informativo dei depositi sabbiosi offshore è già in fase di implementazione, raccoglierà tutte le caratteristiche, geochimiche, mineralogiche petrografiche e colorimetriche dei depositi sabbiosi in modo da poter velocemente indirizzare i sedimenti verso i litorali con caratteristiche compatibili.

IV.4.4. INDICAZIONI PER UN'EFFICIENTE COLTIVAZIONE DELLA RISORSA SEDIMENTI NEI DEPOSITI SOTTOMARINI

Lo sfruttamento delle risorse di sabbia presenti sulle piattaforme continentali entra in competizione con le numerose attività antropiche che interessano il sottofondo, i fondali e la colonna d'acqua, e interferisce con la presenza degli habitat marini. La scelta di utilizzare tali risorse deve quindi essere preceduta da un'analisi di compatibilità e di interferenza dei dragaggi dei depositi sottomarini con l'ambiente marino e più in generale anche con i diversi usi del mare da parte dell'uomo.

L'obiettivo è quello di promuovere una gestione dei giacimenti che tenga conto e riduca gli impatti e i conflitti con l'utilizzo di altre risorse e spazi marittimi, in modo da non precludere il bilanciamento delle diverse componenti dello sviluppo socio-economico di un bacino marittimo.

A questo scopo è di fondamentale importanza la disponibilità di informazioni qualitative e quantitative dei giacimenti sabbiosi, dell'ambiente marino, delle attività e degli usi del mare, organizzate in banche dati cartografiche che permettano un'analisi spaziale di tutti gli elementi presenti. Una spinta in questa direzione è fornita dall'attuazione della direttiva europea sulla Pianificazione Spaziale Marittima.

IV.4.4.1. Analisi di compatibilità e interferenza dei dragaggi dei depositi sottomarini

Adeguati strumenti informativi permettono di analizzare possibili interferenze connesse allo sfruttamento dei depositi sottomarini e definire le aree dove è più opportuno, rispetto ad altre, approfondire o estendere nuove ricerche in mare.

Un esempio di metodologia di analisi è quella sviluppata dalla Regione Emilia-Romagna che ha prodotto una banca dati degli **Usi del Mare**¹⁶⁸ (denominata **in_Sea**) estesa a tutto il tratto di mare compreso tra la costa regionale e il limite di demarcazione Italia-Croazia.

Una parte consistente delle informazioni sono state estese a tutto il bacino Adriatico nell'ambito del Progetto Europeo SHAPE¹⁶⁹ in cui è stato sviluppato un Atlante Adriatico.

L'utilizzo incrociato delle banche dati degli Usi del Mare con quelle riguardanti i depositi di sabbie sottomarine (**in_Sand**)¹⁷⁰, e ancora, con quella dei tratti critici costieri (**in_Risk**)¹⁷¹, permette di ottimizzare la ricerca e lo sfruttamento dei depositi e di indirizzare le operazioni sia di dragaggio che di ripascimento.

E' importante sottolineare, in termini di potenziali "interferenze" che una mappatura degli usi del mare consente di avere sotto controllo, che durante i ripascimenti con sabbie sottomarine possono essere svolte anche operazioni in bassi fondali (- 9/-12 m), talora sede di impianti di molluschicoltura, oppure oggetto di restrizioni per lo svolgimento di attività militari o per la presenza di infrastrutture strategiche.

Esistono inoltre alcuni documenti internazionali di indirizzo utili alla predisposizione di una banca dati e mappatura degli usi del mare¹⁷².

¹⁶⁸ <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/database-delluso-del-mare>

¹⁶⁹ <http://www.shape-ipaproject.eu/>

¹⁷⁰ http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/in_sand

¹⁷¹ http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/in_risk



Figura IV.4.4.1-a:
Esempi di altri usi del
mare in prossimità di
aree da ripascere. La
conoscenza delle
interferenze permette
di gestire
correttamente le
operazioni a mare.

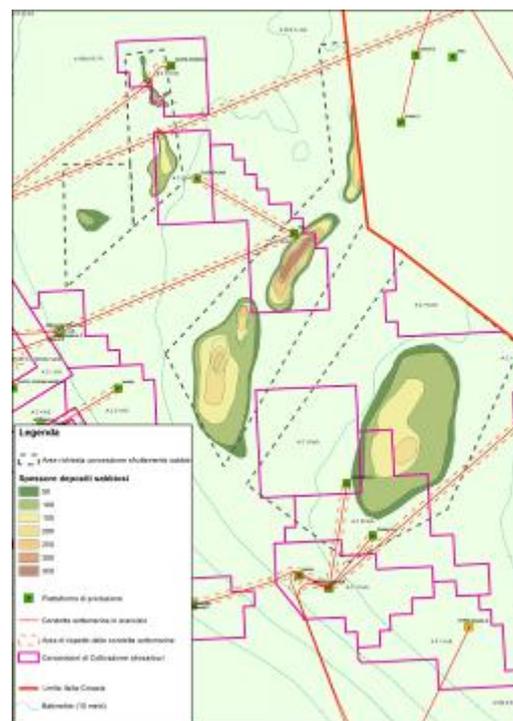


Figura IV.4.4.1-b: Estratto dalla cartografia degli
'usi del mare' dell'Emilia-Romagna. Aree di
concessione per lo sfruttamento degli idrocarburi
insistono su parti dei depositi di sabbie
sottomarine, localmente anche con la presenza di
piattaforme e condotte.

IV.4.4.2 Analisi dell'efficacia dei dragaggi e indicazioni per uno sfruttamento conservativo della risorsa sabbia

La consapevolezza che i depositi di sabbie sottomarine fruibili per il ripascimento delle spiagge sono "risorse finite" impone un loro sfruttamento ottimale che può essere messo in pratica solo attraverso un'approfondita conoscenza e gestione dei giacimenti in relazione agli interventi.

In merito alla conoscenza dei giacimenti servono ricerche estese, da quelle geologiche dei fondali, fino a studi di dettaglio in situ¹⁷³. Le tecniche ormai consolidate si basano su ricerche di tipo geofisico e geognostico (carotaggi, analisi di laboratorio e prove CPT) e indagini d'impatto ambientale sia relative al sistema fisico sia a quello biologico.

Nelle pagine seguenti si richiama ancora l'esperienza sviluppata dalla Regione Emilia-Romagna e dal CNR-ISMAR, con specifica convenzione stipulata nel 2009, sia per quanto riguarda la creazione di uno strumento informativo sui depositi sabbiosi al largo delle coste regionali (in_Sand), sia per quanto riguarda le analisi successive allo sfruttamento. Tale esperienza, che risulta al momento la più completa in questo senso, permette di estrapolare indicazioni utili da applicare in analoghi contesti a livello nazionale.

¹⁷² <http://www.ices.dk/community/groups/Pages/WGEXT.aspx> Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem; <http://www.ospar.org> Summary assessment of sand and gravel extraction and le Guidelines for the Management of Dredged Material - OSPAR Commission.

¹⁷³ Gareil E., Bonne W., Collins M. B. (2009) – Offshore and sand gravel mining. Elsevier Ltd.

Gli **elementi chiave di cui disporre per una corretta conoscenza e gestione dei depositi sottomarini**, che richiedono anche valutazioni e una disponibilità di dati elevata, sono:

- **cartografia estensiva dei fondali marini** (seabed mapping);
- **caratteristiche dei giacimenti** (litologiche, densità, ecc.);
- **reale accessibilità**: profondità, distanza, eventuale copertura pelitica (“Potenzialità Accessibile -PA”);
- **caratterizzazione** dei depositi;
- **stima delle risorse realmente disponibili**, per qualità, quantità e compatibilità al netto di eventuali altri usi delle aree e limitazioni (“Potenzialità verificata e Utile -PU” in Allegato 3);
- **stima dei costi** dello sfruttamento;
- **stima delle necessità** odierne e future;
- **impatti sul sistema fisico** (es. modifiche all’idrodinamica locale dovute alla creazione delle depressioni di scavo, riduzione del sedimento mobilizzato e influenza su altre aree);
- **impatti sul sistema biologico** (es. rimozione del substrato e dell’epifauna bentonica associata; diminuzione della biodiversità e ricchezza delle specie; perdita di habitat bentonici ed effetti sulla colonna d’acqua, ecc.);

La disponibilità della serie dei dati e dello strumento di analisi permette di effettuare, richieste di concessione, programmazione di un corretto sfruttamento dei giacimenti e delle ulteriori ricerche necessarie, analisi dell’efficacia dei dragaggi già realizzati.

Un esempio di **analisi dell’efficacia dei dragaggi** è stato condotto dalla Regione Emilia-Romagna sugli interventi del 2002 e 2007 e analoga analisi è in previsione sul terzo intervento conclusosi a giugno 2016.

L’analisi sugli interventi precedenti si è avvalsa sia dei dati già disponibili in in_Sand, che di nuovi dati acquisiti da CNR-ISMAR in proprie attività di ricerca e resi disponibili allo scopo, ovvero:

- dati batimetrici ‘multibeam’ eseguiti sulle singole aree, prima e dopo le attività di dragaggio, che permettono una ricostruzione 3D ad alta risoluzione del fondale e il calcolo dei volumi estratti;
- mappe degli spessori sabbiosi, derivate dall’analisi ed elaborazione di indagini geofisiche e carotaggi;
- calcolo dei volumi disponibili e quelli residui dopo gli interventi.

Per l’analisi del dragaggio del 2002, nell’ambito del quale non era stato fatto un rilievo ‘multibeam’ pre-intervento, si è resa necessaria la ricostruzione topografica della superficie iniziale attraverso una procedura di interpolazione (utilizzato il tool trend di ARC-GIS). Nel caso dell’analisi dell’efficacia sui dragaggi 2007, invece, avendo a disposizione dati multibeam pre e post intervento, la procedura eseguita è stata:

- calcolo dei volumi dragati – ottenuto sottraendo i dati batimetrici tridimensionali pre e post intervento;
- calcolo del volume di sabbia disponibile nell’area, sottraendo alla superficie del fondo la superficie di base sabbia;
- calcolo del volume di sabbia utile nell’area, che si ottiene sottraendo al volume totale quello corrispondente ad un ‘franco’ di 50 cm di sabbie, che si è definito come ‘spessore di sicurezza’ da lasciare inalterato al fine di garantire il ripopolamento bentonico post intervento;
- calcolo della differenza tra il volume utile e quello effettivamente dragato e il calcolo della percentuale di sfruttamento.

Le principali considerazioni emerse dall'analisi sono sintetizzabili nei seguenti punti, con riferimento alle immagini riportate, e possono costituire valido riferimento per un qualsiasi progetto di sfruttamento, e relativo monitoraggio, di depositi sottomarini:

- come si osserva nelle Figure IV.4.4.2.1-B e IV.4.4.2.2, i **corridoi di dragaggio sono spazati in modo disomogeneo**, e in molte zone lo spessore del sedimento dragato è compreso tra lo 0.5 e il metro;
- il **profilo topografico risultante** è estremamente irregolare e si registrano dislivelli superiori ad 1.5 – 2 metri, la pendenza della scarpata di scavo è difficile da calcolare perché il pixel ha una dimensione superiore alla stessa, però apparentemente non è molto elevata;
- il **rapporto tra il volume dragato e la superficie** è variabile da 0.5 a 0.9 m, ma il rapporto tra il volume utile e quello effettivamente dragato, è sempre molto basso, dal 22% al 39%. Nella maggior parte dei casi, infatti, lo scavo è stato confinato ai primi 50 cm;
- in aree come quella dove sono ubicati i depositi dell'Emilia-Romagna, l'idrodinamica del fondale è estremamente debole e la sedimentazione molto scarsa, motivo per cui i depositi rimangono morfologicamente molto frastagliati anche dopo diversi anni dall'attività di dragaggio;
- queste condizioni rendono difficile il recupero del materiale ancora disponibile nel giacimento, sia perché l'assetto morfologico risultante rende più complesse le successive operazioni di dragaggio, sia perché l'irregolarità del fondo può limitare il monitoraggio ambientale qualora si utilizzino sensori a traino.

E' importante inoltre sottolineare che, se non si fosse fatta questa analisi, tali aree sarebbero rimaste escluse da una successiva programmazione di sfruttamento, perché, dalla sola immagine superficiale, si riteneva che il giacimento fosse stato adeguatamente sfruttato.

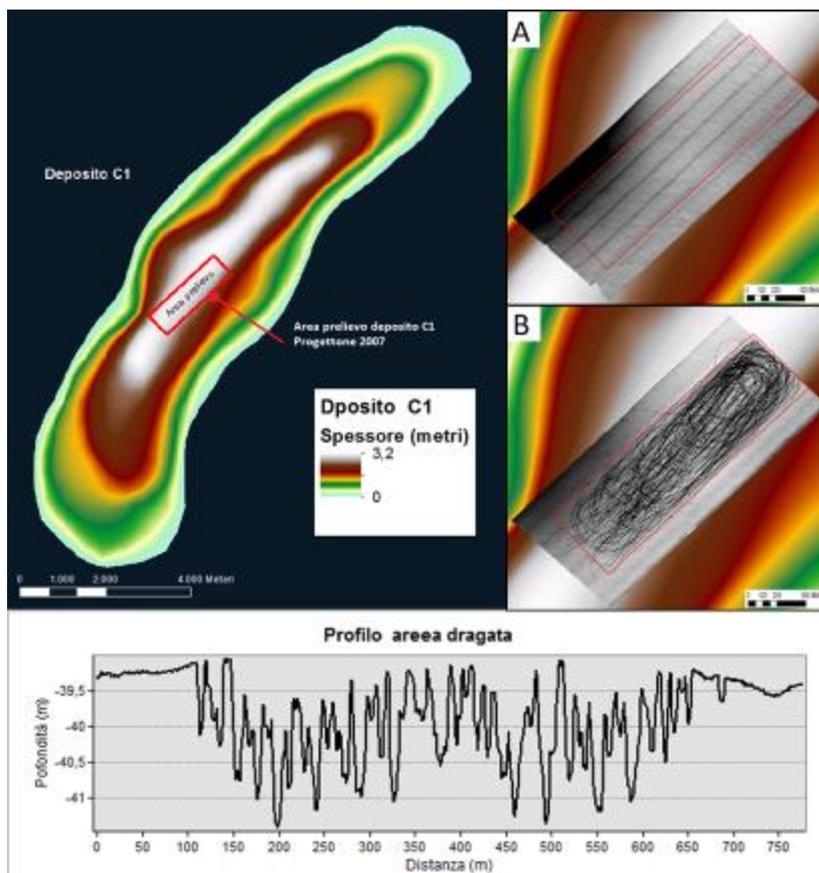


Figura IV.4.4.2.1 Esempio di dati utilizzati nell'analisi: a sinistra spessore del deposito sabbioso C1 ed indicazione dell'area di prelievo sabbie nel 2007; a destra è riportata uno zoom dell'area di prelievo dove sono riportati i rilievi multibeam pre-intervento (A) ed il rilievo post-intervento (B). In basso una sezione trasversale all'area di dragaggio.

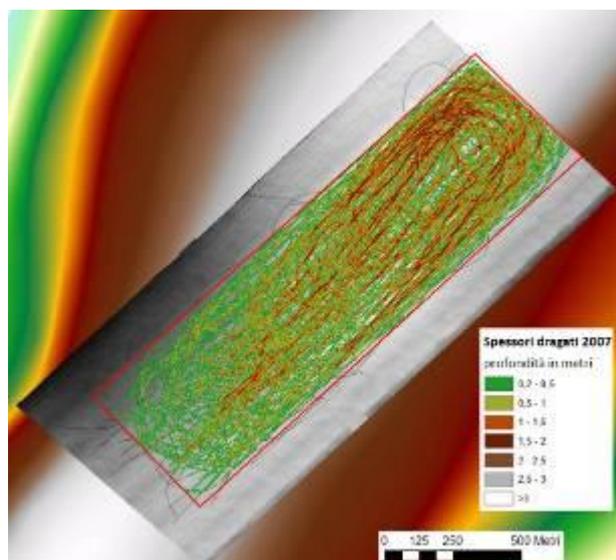


Figura IV.4.4.2.2 Calcolo degli spessori dragati nel 2007 nell'area C1

Alla luce dei risultati emersi nell'ambito degli interventi con sfruttamento dei giacimenti di sabbie *offshore* dell'Emilia-Romagna, e degli ulteriori approfondimenti condotti, si sottolineano alcune indicazioni utili a livello generale.

Una prima considerazione è legata alla necessità di una **gestione unitaria e coordinata delle conoscenze**, attraverso l'uso di strumenti informativi dedicati, che permettano di ottimizzare gli investimenti sulla ricerca, di aumentare la capacità di analisi e di migliorare le modalità di sfruttamento e il recupero della risorsa sabbia presente nelle aree di piattaforma antistanti le coste nazionali.

L'utilizzo di tali giacimenti, che sono strategici per il mantenimento delle spiagge, non può tuttavia prescindere dall'**analisi dei conflitti** con gli altri usi del mare e con la presenza di aree di tutela. Altre analisi di compatibilità, preliminari, devono riguardare il possibile impatto sulla dinamica dei fondali, soprattutto qualora i giacimenti siano ubicati in zone di piattaforma non distanti dalla fascia costiera. Questi studi devono fare parte di un 'background iniziale', di cui sarebbe opportuno dotarsi prima di avviare ricerche specifiche sui siti potenzialmente utili. Molte delle informazioni necessarie sono già disponibili in piattaforme online sviluppate nell'ambito di progetti europei e/o progetti di ricerca dedicati ad altre tematiche (Shape; Adriplan; Emodnet; Coconet ecc.)

Per quanto riguarda le attività di caratterizzazione dei depositi, la disponibilità delle banche dati e l'analisi integrata di tutte le informazioni, potrebbe permettere di **differenziare le attività di indagine** ove opportuno, in modo da renderle più rispondenti alla peculiarità dei siti. In alcuni casi per esempio, può risultare utile l'introduzione delle indagini CPT, nuove per il panorama nazionale, ma già utilizzate nel Nord Europa. Tali prove, da considerare sostitutive dei carotaggi e funzionali ad integrare e infittire, con un minor costo, i punti di indagine, permettono di acquisire informazioni sui parametri geomeccanici (quali densità e compattezza del deposito) che sono molto importanti per pianificare meglio le attività di dragaggio e i mezzi di scavo, e forniscono inoltre parametri utili alla classificazione sedimentologica se correlate ai carotaggi. Le prove CPT sono quindi applicabili dove esiste già in banca dati un numero di sondaggi sufficiente e, qualora dalla geofisica appaia un deposito tabulare e poco articolato, risultano funzionali a produrre una buona correlazione del dato litologico.

Al fine di gestire al meglio i volumi di sabbia 'utili' è importante che nella progettazione degli interventi sia previsto il **monitoraggio dello stato del deposito** (attraverso il rilievo multibeam) e il calcolo dei volumi residui. Un'ulteriore possibilità è quella di introdurre, in 'fase operativa', la richiesta di report giornalieri in cui, oltre alla posizione della draga, sia fornita la profondità di scavo. Ciò permetterebbe di indirizzare lo sfruttamento del deposito in tempo reale. E' necessario però prevedere una supervisione specifica durante le operazioni a mare.

Ulteriori restrizioni dovrebbero essere fornite sui **corridoi di scavo**. Si è constatato infatti che, più ampia è l'area di produzione, in rapporto al volume richiesto, e più ridotta è l'efficacia dello scavo. Si suggerisce quindi di frazionare l'area in lotti e di prescrivere il totale sfruttamento di ciascuno di essi (fino alla base stabilita da progetto) prima di procedere al dragaggio del successivo. E' naturale che la dimensione dei 'lotti' dovrebbe essere calibrata sulla base delle caratteristiche del mezzo utilizzato per il dragaggio. Questo consentirebbe di ritrovare una morfologia del fondale più dolce ed omogenea e di non dover pianificare successive campagne di scavo per il recupero del sedimento non sfruttato.

Ai fini di una **gestione ottimale e più efficace sfruttamento dei depositi sottomarini**, andrebbero considerate le seguenti indicazioni:

- **gestione unitaria e coordinata delle conoscenze**, strumenti informativi dedicati, che consentono ottimizzazione della ricerca, della capacità di analisi e di sfruttamento;
- **analisi preventiva dei possibili conflitti o impatti** di uno sfruttamento dei depositi, con altri usi del mare, con la dinamica dei fondali, ecc.;
- **differenziazione delle attività di indagine** ove possibile e opportuno, per acquisire dati di maggiore dettaglio sui parametri fisici in situ utili a pianificare meglio le operazioni di dragaggio;
- **monitoraggio dello stato del deposito e calcolo dei volumi residui a seguito dell'intervento**, considerando anche la possibilità di ottenere report giornalieri durante il dragaggio (traccia posizione della draga, profondità di scavo ecc.) .
- **limitazione dell'area di dragaggio dei depositi**, in relazione ai volumi da estrarre e alle caratteristiche della draga, prevedendo nel caso anche un frazionamento in "lotti", al fine di ottenere uno sfruttamento più omogeneo possibile dell'area fino alla profondità di scavo stabilita.

V. CONCLUSIONI E PROPOSTE

V.1. CONSIDERAZIONI FINALI

L'attività di lavoro del Tavolo Nazionale in questa prima fase ha condotto, così come indicato nel Protocollo d'Intesa MATTM-Regioni siglato il 6 aprile 2016, alla composizione di un quadro dello stato delle conoscenze e delle pratiche di gestione delle zone costiere relativamente al fenomeno erosivo e all'adattamento ai cambiamenti climatici.

Attraverso la proposta di un approccio gestionale integrato, scaturito dalla messa a sistema di varie pratiche ad oggi in essere presso diverse Regioni costiere italiane, già in questa prima fase del lavoro è stato possibile fornire un primo quadro abbastanza esaustivo di indicazioni, anche di tipo operativo, per la gestione degli effetti dell'erosione e per la difesa della costa dagli effetti dei cambiamenti climatici, ovviamente perfezionabile e aggiornabile.

Allo stesso tempo, durante il lavoro sono emerse difficoltà di comparazione e di riconduzione in quadro nazionale dei dati in possesso delle diverse Regioni, in alcuni casi anche per carenza di dati, che non consentono allo stato odierno di pervenire a stime omogenee del fenomeno erosivo a scala nazionale su base regionale. Le stime nazionali esistenti, inoltre hanno un livello di definizione ritenuto non sufficiente a rappresentare i fenomeni di interesse con la necessaria accuratezza. Le tempistiche date per il raggiungimento di questo primo importante obiettivo del Tavolo Nazionale, uscita delle Linee Guida entro 18-20 mesi dall'avvio dei lavori, non potevano ovviamente comprendere una soluzione di questa problematica, ma piuttosto una prospettiva.

Obiettivo del Tavolo Nazionale è infatti anche quello di avviare un processo continuo che vada nella direzione di colmare lacune informative e di allineare le basi informative regionali e nazionali. Le Linee Guida forniscono, in questo senso, indicazioni su come sia possibile procedere in un percorso di allineamento, standardizzazione e completamento delle basi dati, per poter arrivare gradualmente ad una condivisione generalizzata dei dati e delle stime a livello nazionale pienamente attendibili ed aggiornati su base regionale.

Oltre a dare indicazioni su come operare ai fini di una gestione integrata dei litorali, sui metodi di valutazione dei fenomeni e dei fabbisogni e sull'utilizzo delle risorse di sedimenti, il presente documento ha focalizzato anche alcune proposte di integrazione della normativa volte a favorire una migliore gestione dei litorali e dell'erosione costiera.

Il lavoro svolto ha permesso infine di identificare alcuni ambiti e linee di azione che se avviate e portate avanti con continuità, in sede di Tavolo Nazionale con la collaborazione del Ministero, di ISPRA, delle Regioni e degli altri Enti Territoriali e Scientifici rappresentati, porrebbero le condizioni per uno sviluppo delle politiche di protezione e gestione delle coste adeguato a fronteggiare a livello nazionale la sfida del cambiamento climatico a livello nazionale, con ricadute importanti sull'ambiente, sulla sicurezza dei territori, sul turismo e su molte altre attività economiche e produttive del sistema Paese.

Si prospetta quindi un proseguimento delle attività del Tavolo Nazionale, come per altro introdotto dal Protocollo d'Intesa, al fine del raggiungimento degli obiettivi indicati nel Protocollo stesso, attraverso lo sviluppo di attività, con tempi e risorse necessarie, che il lavoro di questa prima fase ha permesso di focalizzare e ordinare secondo lo schema di massima riportato nel paragrafo successivo.

V.2. PROPOSTE DI ATTIVITÀ VOLTE A FAVORIRE IL CONSOLIDAMENTO DEL QUADRO CONOSCITIVO, MIGLIORE GESTIONE DEGLI EFFETTI DELL'EROSIONE E ADATTAMENTO DEI LITORALI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Quelle che seguono rappresentano alcune proposte di attività, raggruppate per ambiti di azione, volte a dare continuità di sviluppo e aggiornamento, a livello nazionale e regionale, delle conoscenze, delle pratiche di gestione e soluzioni di adattamento, in relazione agli obiettivi del Tavolo Nazionale e alle esigenze emerse nell'ambito di questa prima fase del lavoro.

Si tratta di un primo schema di lavoro e di prospettiva, integrabile e attuabile in funzione dei diversi contributi e con il supporto dei partecipanti al Tavolo Nazionale, del MATTM, di ISPRA, delle Regioni, di altri Enti territoriali e Istituti di ricerca e Università, con la possibile collaborazione del MIUR e nell'ambito del Progetto Bandiera per la ricerca marina RITMARE, attraverso iniziative nazionali e anche internazionali, con particolare riferimento ai programmi europei per la ricerca e per la cooperazione territoriale riguardanti il bacino del Mediterraneo o suoi sottobacini.

Sono individuati 7 ambiti di azione con relative proposte di linee di attività e ipotesi di lavoro su aspetti normativi e organizzativi di seguito sintetizzate:

1. Completamento e sviluppo delle conoscenze sulla dinamica costiera e sui fenomeni erosivi

- Allineamento, completamento delle basi conoscitive regionali per valutazioni a scala nazionale,
- Realizzazione a complemento del dato esistente, di campagne di indagine e studio sullo stato e sulla dinamica dei litorali, indirizzate e assistite da idonea modellistica numerica;
- Sviluppo di strumenti predittivi a scala di bacino (i.e. nazionale) e sottobacino (i.e. regionale), per la caratterizzazione dei processi circolatori e di moto ondoso che regolano il trasporto solido e i patterns erosivi e deposizionali alle scale di interesse, di supporto alla pianificazione ed alla progettazione degli interventi;
- Valutazione quantitativa, sistematica e uniforme, del fenomeno erosivo a scala regionale;
- Sviluppo di progetti relativi alle Aree Marine Protette, alle aree archeologiche costiere e sommerse e alle aree marine e costiere tutelate in genere, inerenti la difesa dall'erosione costiera e il monitoraggio dei diversi aspetti peculiari, sia a livello regionale che transnazionale

2. Sistematizzazione e condivisione delle conoscenze

- Promozione/sostegno dello scambio di esperienze, *know how* e buone pratiche per realizzare o potenziare i Sistemi Informativi costieri (GIS), considerando ove possibile in modo ampio ed integrato gli aspetti amministrativi, socio-economici, ambientali e il sistema degli usi della costa e del mare, secondo i principi ICZM-MSP;
- Sviluppo dell'interoperabilità fra sistemi informativi regionali e sistema informativo nazionale;
- Costituzione di un catalogo nazionale delle mareggiate recenti e storiche, e suo inquadramento statistico rispetto a intensità e ricorrenza temporale degli eventi;

3. Promozione e sostegno della ricerca e gestione di depositi di sedimenti utili ai fini del ripascimento

- Campagne di ricerca e caratterizzazione delle fonti di sedimenti (giacimenti sottomarini, trasporto solido fluviale, invasi, scavi edili, accumuli litoranei, ecc.) differenziate per ogni sito a seconda dell'importanza strategica e studi su altre potenziali fonti di sedimenti;

- Promozione di un equilibrato processo di alimentazione del sistema litoraneo (con sedimenti da diverse fonti) e di riduzione delle perdite di sedimenti dal sistema, anche mediante modellizzazione dei processi..

4. Creazione di un Osservatorio Nazionale su erosione, difesa e gestione costiera

- messa in rete di osservatori regionali esistenti, centri, uffici regionali o locali, aventi già le specifiche funzioni e basi dati, e loro collegamento con altri sistemi di osservazione del mare e infrastrutture di ricerca presenti in ambito nazionale e Mediterraneo;
- Promozione/sostegno per la creazione ove necessario di “osservatori regionali” sull’erosione e difesa costiera.

5. Promozione della Ricerca & Innovazione nell’ambito della difesa e gestione costiera

- Sviluppo di soluzioni innovative per l’adattamento delle zone costiere ai cambiamenti climatici, per la gestione della linea di costa e dei sedimenti di spiaggia;
- Sviluppo di soluzioni innovative per sistemi draganti e di refluento adatti alle diverse conformazioni costiere;
- Implementazione e messa a sistema di modelli concettuali e numerici da adottare a livello nazionale per la stima dei processi erosivi e la valutazione della variazione della vulnerabilità costiera in differenti scenari climatici.

6. Proposte di integrazioni normative

- Individuazione di una “fascia di rispetto” in zona costiera che ne garantisca una ‘tutela attiva’ per contrastare la sempre crescente domanda di trasformazione di suolo (es. sistemi premianti per favorire l’adattamento del costruito esistente ai cambiamenti meteo-climatici, meccanismi per l’acquisizione di superfici al demanio pubblico e la delocalizzazione/arretramento degli elementi a rischio, regolamentazione degli interventi su manufatti esistenti o nuovi);
- Inserimento della tipologia di intervento “dragaggio dei sedimenti da depositi sottomarini” nella parte seconda del D.Lgs. 152/06 (Allegati III o IV), ai fini dell’utilizzo per ripascimenti;
- integrazioni normative utili a favorire la gestione dei sedimenti e a migliorare l’alimentazione della fascia litoranea (es. sistemi premianti che agevolino la “rimessa in circolo” nella dinamica costiera dei sedimenti provenienti da diverse fonti, ambiti portuali, scavi edili, invasi, opere idrauliche, corsi d’acqua, accumuli litoranei);
- individuazione di un percorso finalizzato a destinare gli introiti dei canoni demaniali a un fondo dedicato alla gestione e manutenzione dei litorali;

7. Sostegno alla continuità della programmazione e delle azioni per la difesa e gestione costiera

- Consolidamento e sviluppo del Tavolo Nazionale relativamente ad un ruolo di stimolo ed indirizzo delle strategie e degli interventi di contrasto ai fenomeni erosivi e di adattamento ai cambiamenti climatici in fascia costiera;
- Coordinamento con analoghi Tavoli e con organizzazioni operanti a livello di Mediterraneo sul tema specifico dell’erosione e adattamento costiero o su temi connessi (es. Direttiva Alluvioni, Direttiva Acque, Direttiva sulla Strategia Marina) e con altre iniziative / progetti rilevanti per i suddetti temi (es. BLUEMED Initiative, Carta di Bologna, ecc.)
- Promozione, attraverso i canali di cofinanziamento nazionali, di forme di programmazione pluriennale di interventi e di attività di gestione dei litorali, anche attraverso le modalità del partenariato pubblico/privato;

- Promozione della costituzione di un fondo nazionale per la gestione e manutenzione dei litorali alimentato da diverse forme di contribuzione (es. canoni demaniali costieri, possibili quote a valere sulla riduzione dei canoni assicurativi dei beni in fascia costiera a seguito di interventi di difesa, messa in valore nei processi produttivi -energia, bioraffinerie- delle biomasse deposte sulla spiaggia non gestibili sugli arenili, quota della tassa di soggiorno in ambito costiero, forme di contribuzione volontaria, favorite anche da incentivi fiscali);
- Indirizzo e sostegno, attraverso l'Unità Tecnica per la finanza di Progetto, allo sviluppo di forme di collaborazione pubblico/privato per interventi e attività di manutenzione delle coste;
- Azioni di comunicazione e sensibilizzazione sulle problematiche e sulla gestione delle coste;
- Promozione di progetti pilota nelle AMP per la difesa della costa e la gestione delle spiagge, privilegiando misure di adattamento sperimentali e azioni di tutela di habitat e specie, attraverso l'utilizzo di fonti di finanziamento comunitarie.

La fattibilità delle linee di attività e delle ipotesi di lavoro in termini di modalità operative e mezzi necessari, così come le priorità, saranno oggetto di valutazione in sede di Tavolo Nazionale.

SCHEDA

SINTESI DELLE INDICAZIONI E BUONE PRATICHE GESTIONALI

A complemento del presente lavoro si valuta infine opportuno l'inserimento di un sommario generale delle indicazioni e buone pratiche già evidenziate relativamente ai vari aspetti gestionali trattati, al fine di consentirne una più rapida presa in visione e considerazione.

Vengono quindi riportate di seguito, in 15 punti, i principali gruppi di indicazioni descritte nel documento, con il riferimento a capitoli e paragrafi in cui le stesse sono trattate e ai quali si rimanda per i necessari approfondimenti.

1) SCHEMA PER UN CORRETTO APPROCCIO ALLA VALUTAZIONE E GESTIONE DELL'EROSIONE COSTIERA (II.1)

Ogni valutazione e analisi sull'assetto del territorio costiero, compresi il fenomeno erosivo e le opzioni di adattamento, dovrebbe tenere conto delle previsioni di variazione del livello del mare e degli impatti del cambiamento climatico al fine di decidere in modo corretto se e quali azioni e interventi potranno essere utili, durare sufficientemente o avranno bisogno di manutenzioni e correzioni nel tempo, essere sostenibili e condivisi dalla società e dai portatori d'interesse. Fatte le necessarie valutazioni secondo le metodologie codificate e condivise, con riferimento a quanto indicato nel Capitolo IV.1, al fine di pervenire ad una pianificazione e programmazione di azioni ed interventi volti a dare risposte efficaci alle problematiche da affrontare, è opportuno operare secondo un approccio integrato e un percorso logico come quello di seguito proposto:



2) DEFINIZIONE E GERARCHIZZAZIONE DEGLI AMBITI COSTIERI (IV.1.2)

Ai fini dell'analisi della dinamica litoranea e della valutazione di azioni di adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici, viene introdotta una organizzazione degli ambiti costieri secondo una gerarchizzazione a cui associare il livello di attenzione per gli studi dei fenomeni idrodinamici e per la progettazione di interventi anche in relazione al loro reciproco grado di interferenza.

Sintesi delle definizioni di Unità Fisiografiche e Unità Gestionali

Unità fisiografica costiera	Gerarchia degli ambiti costieri	Definizioni equivalenti	Elementi di delimitazione	Tempi di ritorno per la profondità di chiusura	Ambito di riferimento
Principale	1° ordine	UF principale	Elementi naturali	TR 100 anni	Pianificazione stralcio di bacino
Secondaria	2° ordine	Macro-cella	Elementi naturali e grandi porti	TR 50 anni	Pianificazione stralcio di bacino, progettazione grandi porti
Unità Gestionale	3° ordine	Cella, Macrocella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singoli	TR 10 anni	Interventi di difesa della costa, progettazione di porti di medie e piccole dimensioni e di opere marittime, attività di gestione dei sedimenti
sub-unità gestionale	4° ordine	Micro-cella, Cella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singoli, limiti gestionali	TR 2-5 anni	Statistiche, manutenzioni ordinarie, gestione ordinaria e stagionale

3) GESTIONE DEI DATI E DELLE INFORMAZIONI IN ADEGUATI SISTEMI INFORMATIVI (IV.1.8)

Lo scopo di tali strumenti è quello di raccogliere e organizzare i dati acquisiti, di elaborare analisi e indicatori, di produrre cartografie integrando tutte le informazioni su i processi influenti, al fine di garantire il supporto tecnico necessario al processo decisionale per la gestione della fascia costiera.

Elementi fondamentali che dovrebbero essere contenuti in un Sistema Informativo della Costa

1. Dati amministrativi, quali limiti territoriali, sia a terra che a mare
2. Cartografia tecnica
3. Linee di riva
4. Batimetrie e modelli digitali batimetrici e modelli digitali altimetrici ad alta risoluzione
5. Dati altimetrici e modelli digitali altimetrici ad alta risoluzione
6. Dati geologici e geomorfologici e relative cartografie
7. Analisi sui trend erosivi: della linea riva, del piede della duna e di tutti gli elementi morfologici significativi
8. Analisi su tassi di subsidenza
9. Cataloghi delle opere di difesa costiera e infrastrutture
10. Cataloghi degli Interventi di ripascimento o altri tipi di interventi di difesa 'morbidi'
11. Dati meteorologici, idrologici, meteo-marini e mareografici
12. Informazioni sull'innalzamento del livello del mare
13. Dati e dinamiche dell'uso del suolo
14. Dati sulle aree protette e ad alto valore ecologico, paesaggistico e archeologico.
15. Dati sul demanio marittimo, incluse le concessioni
16. Dati sull'economia locale, il lavoro, reddito e altri dati socio-economici
17. Proiezioni/scenari sul clima e sull'innalzamento del livello del mare

4) COSTRUZIONE DI UN CATALOGO DELLE MAREGGIATE STORICHE E DEI RELATIVI IMPATTI (IV.1.7)

La conoscenza e lo studio delle aree storicamente colpite da fenomeni di erosione costiera e/o di inondazione marina è di grande importanza per la prevenzione e la gestione dei rischi costieri. La costruzione di un Catalogo delle mareggiate storiche, organizzato opportunamente con diverse informazioni e dati, è di grande aiuto per le valutazioni delle vulnerabilità e dei rischi attuali e della loro possibile evoluzione

Esempio di informazioni di un Catalogo delle mareggiate, da raccogliere per ogni evento

- Dati meteo marini
- Condizioni al contorno: precipitazioni ed eventi di piena fluviale
- Monitoraggi del sistema duna/spiaggia e degli impatti (rilievi post evento)
- Localizzazione geografica degli impatti (cartografia gis)
- Descrizioni e quantificazioni dei danni
- Descrizioni e quantificazioni degli interventi
- Aggiornamento dei punti critici
- Dati socio-economici dell'area colpita e suo intorno

5) INCREMENTO DELLA RESILIENZA DEI LITORALI (IV.2.2.3)

L'incremento della capacità di un sistema costiero di adattarsi al mutare delle condizioni (resilienza) è un concetto particolarmente importante da tenere presente nella gestione dei litorali. Alla base della "ricostruzione" della resilienza di un sistema costiero sono il ripristino del bilancio sedimentario, la creazione di spazi che permettano l'esplicitarsi dei processi naturali, l'individuazione di fonti/riserve strategiche di sedimenti per il ripascimento.

A fine dell'incremento della resilienza costiera e della preservazione di tratti litoranei liberi da opere rigide, è opportuno che gli strumenti di governo del territorio prevedano disposizioni quali, ad esempio:

- **misure di salvaguardia dei tratti a mare** per evitare la realizzazione di opere rigide;
- **misure di salvaguardia e conservazione dei sistemi dunosi** esistenti e promozione della loro ricostituzione, laddove possibile;
- **promozione di progetti di riqualificazione della fascia costiera** che prevedano ove possibile l'arretramento degli stabilimenti balneari, delle strutture di servizio, delle infrastrutture lineari;
- **rinforzo del sistema litoraneo** attraverso ripascimenti diretti sul fronte interessato o su eventuali "zone di ricarica", individuabili in relazione alle condizioni dinamiche locali, da cui i sedimenti si distribuiscono nel tempo verso un tratto litoraneo più ampio da mantenere.

6) SCHEMA PER UN APPROCCIO GESTIONALE INTEGRATO DEI LITORALI (IV.2.2.4)

Per gestire l'erosione dei tratti costieri critici, a integrazione di altre politiche territoriali, risulta necessaria da un lato alimentare il sistema costiero e i tratti critici, attraverso una gestione ottimale dei sedimenti litoranei, una diversificazione delle fonti di provenienza utilizzabili e un'ottimizzazione delle pratiche di prelievo e ripascimento, parallelamente a tutte quelle azioni, buone pratiche, interventi e opere, dall'altro lato, finalizzate alla riduzione delle perdite di sedimenti dai sistemi costieri.

RP – RIDUZIONE DELLE PERDITE DI SEDIMENTI DAL SISTEMA LITORANEO	AMBITI DI AZIONE	POSSIBILI AZIONI/MISURE	AS - ALIMENTAZIONE DEL SISTEMA LITORANEO	AMBITI DI AZIONE	POSSIBILI FONTI
	RP-1 Gestione dei sedimenti di spiaggia	RP-1.1 Operazioni corrette di Pulizia delle spiagge		AS-1 Apporti di sedimenti esterni al sistema litoraneo	AS-1.1 Depositi off-shore
		RP-1.2 Realizzazione di Trappole eoliche			AS-1.2 Trasporto solido fluviale (azioni volte al ripristino)
		RP-1.3 Realizzazione di Argini di difesa invernali			AS-1.3 Scavi nell' entroterra costiero
RP-2 Riduzione della subsidenza	RP-2.1 Riduzione dei prelievi di acque di falda	AS-2 Apporti da fonti interne al sistema litoraneo <i>(gestione degli accumuli costieri di sedimenti)</i>	AS-2.1 Depositi litoranei emersi		
	RP-2.2 Controllo estrazione di idrocarburi		AS-2.2 Depositi litoranei sommersi		
	RP-2.3 Misure di mitigazione		AS-2.3 Gestione idraulica e sicurezza della navigazione		
RP-3 opere per la riduzione delle perdite e dell'arretramento	RP-3.1 Interventi e opere per la riduzione del moto ondoso incidente				
	RP-3.2 Interventi e opere per la riduzione del trasporto solido litoraneo				

7) [RP-1] - INDICAZIONI DI BUONE PRATICHE PER UNA CORRETTA GESTIONE E BILANCIO DEI SEDIMENTI DI SPIAGGIA (IV.2.3.1)

Le seguenti **buone pratiche per la riduzione delle perdite dovute alla pulizia delle spiagge e alla gestione delle biomasse deposte sulle spiagge**, potrebbero essere integrate nei disciplinari tecnici per i servizi di pulizia degli arenili e di gestione dei materiali naturali presenti su di essi:

- **vagliatura diretta in spiaggia** durante le operazioni di pulizia degli arenili e raccolta dei rifiuti nel periodo autunno - inverno, creando in zone arretrate dell'arenile cumuli disponibili per successivi riporti;
- **trasporto in aree di stoccaggio autorizzate** durante le operazioni di pulizia nel periodo primavera - estate, con successiva vagliatura e recupero della sabbia e controllo qualitativo, ai fini del trasporto in spiaggia per ripascimenti o realizzazione di argini invernali di protezione;
- **adozione di metodi di pulizia selettiva** e indicazione di specifiche tecniche opportune per le macchine di movimentazione ai fini della riduzione del quantitativo di sabbia asportata;
- **non asportazione dei tronchi** trasportati dal mare o dai fiumi alle foci, laddove possibile nel periodo autunno - inverno, in modo che possano esercitare funzioni di contrasto all'azione del mare e del vento e di trappola per i sedimenti;
- **gestione delle biomasse** deposte sulle spiagge in funzione di un prioritario mantenimento in loco a difesa dall'erosione, tout court o riposizionandole a rinforzo del cordone dunoso, ove presente, o con asportazione, accumulo e riposizionamento sullo stesso arenile a fine stagione balneare;
- **stima dei quantitativi delle biomasse non gestibili in loco** e valutazione di una loro diversa destinazione produttiva (compostaggio, energia, bioraffineria, o altre produzioni) o smaltimento in discarica, previa separazione dai sedimenti in loco.

Al fine di **ridurre le perdite di sedimenti dal sistema spiaggia dovute all'azione del vento**, laddove questo fenomeno assume caratteri significativi, è opportuno introdurre negli strumenti di governo e gestione del territorio costiero specifiche misure, disposizioni e indicazioni tecniche per:

- la **realizzazione di barriere frangivento stagionali**, accoppiate o meno ad eventuali argini invernali di protezione, nei tratti di arenile esposti al fenomeno;
- la **realizzazione di barriere permanenti**, laddove possibile e opportuno per le condizioni di assetto e di utilizzo dell'arenile;
- il **dimensionamento delle barriere**, in termini di altezza e supporti, di apertura delle maglie, di geometria e orientamento, in funzione delle specificità delle condizioni di vento, della morfologia e della granulometria dei sedimenti di spiaggia;
- lo **studio e il monitoraggio del trasporto eolico locale** finalizzato ad una più approfondita conoscenza e valutazione delle soluzioni tecniche più idonee al sito specifico;

Per **migliorare l'efficacia degli argini di protezione temporanei**, laddove consentiti, e ridurre la perdita di sedimenti dovuta ad una loro non corretta realizzazione e gestione, e per **orientare ad una corretta gestione delle spiagge**, possono essere emanate disposizioni tecniche rivolte ai Comuni e ai soggetti gestori delle concessioni che indichino modalità realizzative e operative che prevedano fra gli altri:

- il **divieto all'impiego delle sabbie di battigia** e/o antistanti la linea di imposizione degli argini di protezione invernale, nelle operazioni di realizzazione degli stessi;
- il **divieto di operare ampliamenti, anche stagionali, della superficie dell'arenile verso mare** abbassando la quota esistente, o stabilita, della spiaggia;
- l'**impiego di sabbie esterne al sistema litoraneo**, ad esempio derivante da dragaggi o scavi edili di vario genere, da eventuali siti di stoccaggio autorizzati, appositamente individuati;
- l'**impiego di sabbie provenienti dal recupero** per vagliatura in sito nelle operazioni di pulizia dell'arenile o dalla zona di retrospiaggia;

- **l'impiego di soluzioni alternative alla movimentazione**, come la posa in opera di barriere e reti frangivento temporanee.

8) [RP-2] - BUONE PRATICHE PER LA RIDUZIONE DELLA SUBSIDENZA NEI TERRITORI COSTIERI (IV.2.3.2)

Al fine di contrastare o ridurre i fenomeni di subsidenza nella fascia costiera è opportuno che gli strumenti di governo del territorio e della risorsa acqua prevedano misure e azioni rivolte a:

- **regolamentare, ridurre o vietare l'emungimento di acque dal sottosuolo** in particolare dagli acquiferi costieri più superficiali e nelle aree più critiche;
- accompagnare le misure regolamentative con **politiche volte al risparmio idrico** al e **miglioramento degli approvvigionamenti** nei vari comparti, civile, agricolo, industriale, e di individuazione di eventuali prelievi abusivi;
- **realizzare interventi infrastrutturali per l'approvvigionamento idrico** dei vari comparti per costituire, ove necessario, valide alternative all'emungimento dagli acquiferi del sottosuolo costiero;
- **implementare studi e monitoraggi degli acquiferi costieri**, anche in relazione al fenomeno di intrusione del cuneo salino, con riferimento a valutazione e sperimentazioni di ricarica degli acquiferi superficiali;
- **implementare studi e monitoraggi della subsidenza** in ambito costiero anche attraverso l'utilizzo di tecniche di telerilevamento;
- **regolamentare, ridurre o vietare l'estrazione di idrocarburi** in particolare dai giacimenti *onshore* e *offshore* prossimi alla fascia costiera e in corrispondenza nelle aree più critiche;
- **sperimentare e avviare progetti di iniezione di fluidi** nei giacimenti sfruttati o in idonee unità geologiche profonde al fine di contrastare gli effetti di depressurizzazione e subsidenza indotta;
- **misure compensative economiche** in accordo con le Società operatrici, per il finanziamento di interventi di mitigazione della subsidenza o di difesa costiera nei territori interessati dallo sfruttamento.

9) [RP-3] - Interventi e opere la riduzione delle perdite di sedimenti e dell'arretramento costiero (IV.2.3.3)

La scelta della tipologia di interventi e opere che comportino una modificazione sostanziale di un tratto di litorale, deve essere condotta in fase pre-progettuale o di progetto preliminare, attraverso valutazione comparativa di diverse opzioni progettuali che abbia come riferimento:

- un **quadro conoscitivo sugli aspetti ambientali, geologici e sedimentari**, il più possibile dettagliato del tratto costiero e dell'Unità fisiografica di riferimento;
- una **conoscenza approfondita delle condizioni dinamiche e di assetto** del sito specifico e delle aree contermini, dalla Cella o tratto litoraneo, alla Macro-cella o all'Unità fisiografica;
- la **definizione di un obiettivo chiaro e in qualche modo quantificabile**, (es. "spiaggia di progetto") in relazione alla problematica specifica da affrontare e alla performance attesa dell'intervento;
- l'**utilizzo di modelli**, alimentati da dati disponibili o acquisiti ad hoc per completare il set necessario, al fine di simulare il comportamento delle diverse opzioni progettuali ipotizzate in relazione alle condizioni sito specifiche e ottenere output a supporto della valutazione e scelta della tipologia di opera;
- la **valutazione degli impatti delle opere, in termini sia ambientali sia di costi/benefici**, la loro accettabilità, temporaneità o permanenza, eventuale reversibilità, necessità di eventuali mitigazioni necessarie, nella realizzazione e nel ciclo di vita dell'opera, così come per la eventuale necessaria manutenzione;

- la **scelta preferenziale di interventi con minori impatti**, o che possano avere caratteristiche di reversibilità o riduzione sostanziale degli impatti, qualora risultasse successivamente necessario modificare o rimuovere in tutto o in parte l'opera stessa;
- un **monitoraggio dell'opera realizzata e degli effetti generati** sul sito specifico e nelle aree contermini, in funzione della valutazione della sua effettiva performance secondo l'obiettivo dato.

10) [AS-1] - BUONE PRATICHE PER L'ALIMENTAZIONE CON SEDIMENTI ESTERNI AL SISTEMA LITORANEO (IV.2.3.4)

Elementi da considerare e **buone pratiche circa l'utilizzo dei sedimenti da depositi sottomarini** ai fini del ripascimento costiero:

- **Caratterizzazione dei depositi** e sistema avanzato di rappresentazione e gestione dei dati;
- **Verifica dei parametri fisici e chimici dei sedimenti** e loro compatibilità con le aree di destinazione;
- **Verifica dei depositi e delle attività di dragaggio** in sede di progettazione e di esecuzione interventi;
- **Valutazione dell'impatto dei dragaggi** nelle zone di prelievo, zone limitrofe e aree di pesca;
- **Pianificazione degli interventi** a scala regionale o anche macro-regionale ai fini dell'ottimizzazione;
- **Valutazione di possibili soluzioni di gestione pluriennale** con modalità di finanza di progetto.

Al fine di poter mettere in campo efficaci azioni volte al ripristino o al miglioramento del **trasporto solido fluviale** utile al ripascimento naturale dei litorali, è opportuno sviluppare adeguate conoscenze, sperimentazioni e azioni di gestione dei bacini e dei corsi d'acqua, con riferimento a:

- **inquadramento geomorfologico dei bacini imbriferi e degli alvei dei corsi d'acqua**, formazioni geologiche, uso del suolo, morfologia, profili e sedimentologia degli alvei;
- **conoscenza, quantificazione, del trasporto solido fluviale**, ove possibile in modo diretto, attraverso monitoraggi, o in modo indiretto, attraverso modelli idraulici opportunamente tarati;
- **sperimentazione di interventi di bypass di sedimenti**, ove opportuno, in corrispondenza di opere idrauliche e sbarramenti;
- **revisione di opere idrauliche**, briglie e traverse, in particolare ove si riscontrino effetti di sovralluvionamento nelle aree a monte delle stesse;
- **misure manutentive e di gestione della vegetazione ripariale**, accompagnate eventuali necessari risezionamenti di alvei e aree golenali, volte a ridurre la capacità di trattenimento dei sedimenti;

Un modello di **gestione dei materiali da scavo ai fini del ripascimento costiero** dovrebbe indirizzarsi verso sistemi "integrati" basati su alcuni passaggi fondamentali:

- **predisposizione di un Piano di utilizzo del materiale** sul progetto di scavo, compreso un protocollo di trattamento, selezione o vagliatura del materiale;
- **caratterizzazione del materiale** in relazione ad un progetto di ripascimento (granulometria, resistenza all'usura, tenore in metalli, colore, compatibilità con il sito di destinazione);
- **predisposizione di un progetto di ripascimento** in relazione al Piano di utilizzo (granulometria di progetto, volumi, modalità di versamento, tempi di produzione ed eventuale stoccaggio temporaneo);
- **previsione di attività di controllo sui versamenti** da parte delle ARPA;
- **predisposizione di un Piano di monitoraggio** sedimentologico e bio-naturalistico;

Al fine di una migliore **conoscenza e valutazione più precisa delle potenzialità degli accumuli negli invasi** per un eventuale utilizzo come materiale da ripascimento, sarebbe opportuno:

- **effettuare una ricognizione sugli invasi artificiali**, attraverso i soggetti gestori, per completare la stima dei volumi di sedimenti intrappolati, in particolare per gli invasi più prossimi alla fascia costiera;
- **definire o studiare accordi con in soggetti gestori** in funzione di possibili collaborazioni per la gestione dei sedimenti ove valutati compatibili (caratterizzazione e fattibilità tecnica), anche previo trattamento o selezione, ai fini del ripascimento;
- **avviare progetti sperimentali o dimostrativi**, in relazione alle situazioni che presentino più elevata fattibilità tecnica ed economica e vicinanza alla fascia costiera, per l'utilizzo dei materiali da invasi idonei al ripascimento costiero.

11) [AS-2] - INDICAZIONI DI BUONE PRATICHE PER L'ALIMENTAZIONE CON SEDIMENTI INTERNI AL SISTEMA LITORANEO (IV.2.3.5)

Per un efficace e corretto **utilizzo degli accumuli litoranei ai fini della gestione dei tratti in erosione** è necessario adottare un "approccio integrato" che preveda:

- **composizione di un quadro delle risorse disponibili**, il più possibile completo, degli accumuli litoranei emersi e sommersi, in relazione a distanze e compatibilità con i tratti in erosione da gestire (strumento informativo-gestionale dedicato);
- **programmazione di interventi su aree in erosione in funzione delle eventuali necessità di dragaggio ricorrenti** di porti o bocche portuali, foci dei corsi d'acqua, bocche lagunari, con anche l'installazione di dispositivi fissi per il trasferimento dei sedimenti;
- **semplificazioni delle procedure autorizzative per le operazioni ricorrenti**, come dragaggi portuali o di bocche portuali, foci dei corsi d'acqua, bocche lagunari, a fronte del mantenimento di un monitoraggio sullo stato di qualità dei sedimenti;
- **valutazioni sul possibile utilizzo di eventuali materiali fini derivanti dai dragaggi**, con le necessarie caratteristiche qualitative per il ripascimento della spiaggia sommersa nelle fasce batimetriche compatibili, in alternativa alla loro immersione in mare in aree al largo;
- **utilizzo all'interno dello stesso tratto o Cella litoranea dei sedimenti accumulati a tergo delle scogliere foranee**, in relazione alle pratiche di gestione stagionale dei litorali;
- **valutazioni sul possibile utilizzo dei materiali da asportare dai tratti terminali dei corsi d'acqua**, per interventi di ripristino dell'efficienza idraulica, in relazione a fattibilità tecnica ed economica per il loro trasferimento sui tratti litoranei in erosione.

12) CARATTERISTICHE PRINCIPALI DA CONSIDERARE NELLE VALUTAZIONI DI COMPATIBILITÀ DEI SEDIMENTI (IV.2.4.1)

In relazione alle diverse risorse che possono essere utilizzate per il ripascimento dei litorali, è opportuno tenere in considerazione in base al tipo di sedimento richiesto, la "storia" e la valenza ambientale delle aree che ospitano tali risorse e la loro compatibilità con le aree di destinazione. La compatibilità deve essere valutata attraverso un complesso di caratteristiche:

1. **Caratteristiche chimiche:** le valutazioni circa le caratteristiche chimiche dei sedimenti di apporto (presenza di contaminanti potenzialmente pericolosi per l'ambiente e la salute umana), devono essere svolte già in fase di analisi degli impatti per il loro prelievo e la loro movimentazione.
2. **Caratteristiche microbiologiche:** per quanto concerne la qualità microbiologica, i criteri di caratterizzazione si differenziano in particolar modo per le diverse risorse di sedimenti (depositi sottomarini, sedimenti provenienti da dragaggi in zona portuale, altri sedimenti accumulati lungo costa).

3. **Caratteristiche granulometriche:** gli aspetti fisici connessi a differenze granulometriche tra sedimenti di apporto e quelli preesistenti, riguardano la capacità di “tenuta” del ripascimento in termini di differente profilo di equilibrio della spiaggia e di differente risposta al trasporto long shore e cross shore.
4. **Caratteristiche mineralogiche:** partendo dal presupposto che in natura non esistono due sedimenti uguali e che quindi qualsiasi intervento di ripascimento porterà ad una alterazione delle caratteristiche della spiaggia rifornita, occorre analizzare la componente mineralogica per ridurre al minimo queste alterazioni.
5. **Caratteristiche colorimetriche:** il colore della sabbia costituisce un'importante componente ecologica e paesaggistica di un litorale che deve essere attentamente valutata nei casi di ripascimento, soprattutto in presenza di spiagge ad elevata valenza ambientale ed ecologica.

13) METODI DI VALUTAZIONE E COMPARAZIONE ECONOMICA FRA DIVERSE TIPOLOGIE DI INTERVENTI (IV.3.2)

E' necessario sviluppare **modelli econometrici per la valutazione del rischio dell'erosione costiera**

in grado di consentire alle amministrazioni costiere di giungere ad una valutazione del valore della spiaggia per sviluppare analisi costi/benefici nel caso di interventi di difesa costiera, con diversi gradi di approssimazione in relazione alla disponibilità di dati e del dettaglio richiesto.

E' importante che **nello sviluppo delle progettazioni di opere di difesa vengano rispettati criteri oggettivi di confrontabilità tra le diverse ipotesi**, ed in particolare:

- **Chiara definizione degli obiettivi** di riferimento (ad es. stabilità morfologica della costa in una determinata conformazione);
- **Adozione dell'obiettivo di riferimento** per tutte le soluzioni analizzate;
- **Comparazione del Valore Attuale Netto** delle diverse soluzioni analizzate;
- **Analisi di sensitività del VAN** in relazione agli elementi più importanti (ad es. costo della sabbia per il ripascimento, efficacia delle opere rigide nella riduzione delle perdite, ecc.).

14) ASPETTI AMBIENTALI CONNESSI ALLA REALIZZAZIONE DELLE OPERE DI DIFESA COSTIERA (IV.3.4)

Con riferimento alle “Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera” pubblicate da ISPRA (2014), si richiamano i passaggi previsti nella **compilazione delle matrici opera/impatto Vs habitat/specie ai fini degli studi ambientali**:

Identificazione dell'area di riferimento. Attraverso un'indagine preliminare, basata sulle informazioni tecniche e ambientali acquisite in fase di progettazione dell'opera, deve essere individuata l'area di riferimento, ossia l'area interessata dagli effetti diretti e indiretti che possono essere generati in seguito alla realizzazione dell'opera e include sia l'ambiente emerso sia quello sommerso.

Identificazione dei tipi di habitat protetti. Attraverso un'accurata indagine bibliografica e apposite indagini di campo eseguite, devono essere identificate le categorie fisiografiche nell'area di riferimento e per ciascuna di esse i tipi di habitat protetti presenti (sensu Direttiva Habitat). E' importante sottolineare che nella compilazione della matrice devono essere sempre mantenute tutte le categorie fisiografiche presenti nell'area di riferimento. Infatti, anche se non sono presenti tipi di habitat protetti, l'area di riferimento può essere caratterizzata dalla presenza di specie di flora e di fauna protette.

Identificazione delle specie di flora protette e loro attribuzione ai tipi di habitat. Attraverso un'accurata indagine bibliografica e specifiche indagini floristiche da effettuare sul campo, devono

essere identificate le specie di flora presenti nell'area di riferimento, includendo le specie direttamente correlate agli habitat presenti e le specie protette dalle norme vigenti.

Identificazione delle specie di fauna protette. Attraverso un'accurata indagine bibliografica e specifiche indagini di campo, deve essere effettuato il censimento delle specie di fauna presenti nell'area di riferimento, tenendo conto delle norme e delle convenzioni vigenti in materia di protezione della fauna.

Attribuzione delle specie di fauna protette alle "categorie fisiografiche". Ciascuna specie di fauna protetta, censita nell'area di riferimento, deve essere attribuita a una o più categorie di uso dell'habitat, specificandone la scala di uso (locale o vasta) e la frequenza temporale (perenne o stagionale), anche al fine di poter eventualmente identificare opportune "finestre temporali" in cui realizzare gli interventi minimizzando l'impatto.

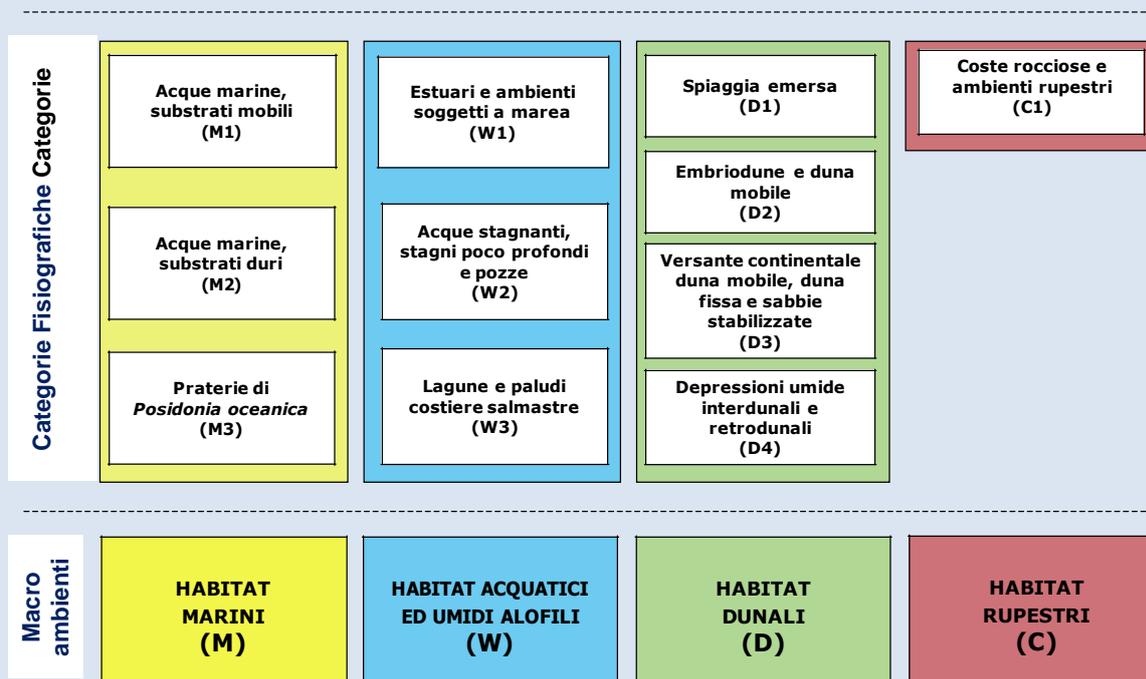
Le Matrici prodotte a supporto degli studi ambientali fanno riferimento a 9 specifiche categorie di opere.

Categorie di opere per le quali sono state redatte le Matrici

Le 9 matrici "opera/impatto vs habitat/specie" sono riferite alle seguenti categorie di opere difesa:

- difese aderenti;
- difese distaccate (emerse e sommerse) e piattaforme isola;
- pennelli (permeabili e impermeabili);
- pennelli compositi;
- *headlands*;
- ripascimento;
- sistemi di drenaggio;
- ricostruzione morfologica delle dune costiere;
- barriere frangivento, restauro e consolidamento dune mediante vegetazione e gestione degli accessi.

Macroambienti (4), Categorie fisiografiche (11) e Tipi di Habitat marino-costieri (37), identificati per la valutazione degli effetti attesi e degli impatti potenziali delle diverse tipologie di opere e interventi di difesa costiera.



INDICAZIONI PER UN'EFFICIENTE COLTIVAZIONE DELLA RISORSA SEDIMENTI NEI DEPOSITI SOTTOMARINI (IV.4.4)

La consapevolezza che i depositi di sabbie sottomarine fruibili per il ripascimento delle spiagge sono "risorse finite" impone un loro sfruttamento ottimale che può essere messo in pratica solo attraverso un'approfondita conoscenza e gestione dei giacimenti in relazione ai diversi aspetti fisici e ambientali e agli interventi .

Gli elementi chiave di cui disporre per una corretta conoscenza e gestione dei depositi sottomarini, che richiedono anche valutazioni e una disponibilità di dati elevata, sono:

- **cartografia estensiva dei fondali marini** (seabed mapping);
- **caratteristiche dei giacimenti** (litologiche, densità, ecc.);
- **reale accessibilità**: profondità, distanza, eventuale copertura pelitica ("Potenzialità Accessibile -PA");
- **caratterizzazione** dei depositi;
- **stima delle risorse realmente disponibili**, per qualità, quantità e compatibilità al netto di eventuali altri usi delle aree e limitazioni ("Potenzialità verificata e Utile -PU" in Allegato 3);
- **stima dei costi** dello sfruttamento;
- **stima delle necessità** odierne e future;
- **impatti sul sistema fisico** (es. modifiche all'idrodinamica locale dovute alla creazione delle depressioni di scavo, riduzione del sedimento mobilizzato e influenza su altre aree);
- **impatti sul sistema biologico** (es. rimozione del substrato e dell'epifauna bentonica associata; diminuzione della biodiversità e ricchezza delle specie; perdita di habitat bentonici ed effetti sulla colonna d'acqua, ecc.)

Ai fini di una gestione ottimale e più efficace sfruttamento dei depositi sottomarini, andrebbero considerate le seguenti indicazioni:

- **gestione unitaria e coordinata delle conoscenze**, strumenti informativi dedicati, che consentono ottimizzazione della ricerca, della capacità di analisi e di sfruttamento;
- **analisi preventiva dei possibili conflitti o impatti** di uno sfruttamento dei depositi, con altri usi del mare, con la dinamica dei fondali, ecc.;
- **differenziazione delle attività di indagine** ove possibile e opportuno, per acquisire dati di maggiore dettaglio sui parametri fisici in situ utili a pianificare meglio le operazioni di dragaggio;
- **monitoraggio dello stato del deposito e calcolo dei volumi residui a seguito dell'intervento**, considerando anche la possibilità di ottenere report giornalieri durante il dragaggio (traccia posizione della draga, profondità di scavo ecc.) .
- **limitazione dell'area di dragaggio dei depositi**, in relazione ai volumi da estrarre e alle caratteristiche della draga, prevedendo nel caso anche un frazionamento in "lotti", al fine di ottenere uno sfruttamento più omogeneo possibile dell'area fino alla profondità di scavo stabilita

TAVOLO NAZIONALE SULL'EROSIONE COSTIERA
MATTM-REGIONI
con il coordinamento tecnico di ISPRA

ALLEGATI TECNICI

ALLEGATO 1

STATO DELL'ARTE – DINAMICA DEI LITORALI E FABBISOGNI

INDICE

	<i>pag</i>
PREMESSA	184
ORGANIZZAZIONE E ESITO DELLA RICOGNIZIONE	184
1. SINTESI DELLE CONOSCENZE PER LA GESTIONE DEGLI EFFETTI DELLA DINAMICA COSTIERA	185
1.1. Caratteristiche degli ambiti costieri	185
1.1.1. <i>Costa bassa</i>	185
1.1.2. <i>Costa alta</i>	186
1.2. Forzanti naturali della dinamica costiera	187
1.2.1. <i>Dati per la determinazione del clima meteo marino e degli eventi estremi</i>	187
1.2.2. <i>Clima meteo marino</i>	187
1.2.3. <i>Catalogo delle mareggiate e degli impatti</i>	187
1.2.4. <i>Trasporto solido</i>	188
1.2.5. <i>Trasporto fluviale</i>	188
1.2.6. <i>Trasporto litoraneo</i>	188
1.3. Dati e campagne di monitoraggio	189
1.3.1. <i>Modello digitale del terreno (DTM)</i>	189
1.3.2. <i>Rilievi batimetrici</i>	189
1.3.3. <i>Rilievi topografici</i>	189
1.3.4. <i>Altri rilievi</i>	189
1.4. Protezione costiera e programmi di intervento	189
1.4.1. <i>Interventi di protezione e ripristino dei litorali sabbiosi</i>	190
1.4.2. <i>Interventi di consolidamento delle coste alte</i>	190
1.4.3. <i>Aree e programmi di intervento.</i>	190
2. STRUMENTI DI PIANO E LINEE GUIDA	191
TABELLA 1 – Dati regionali sulle coste	193
TABELLA 2 – Dati regionali sulle variazioni delle coste	194
TABELLA 3 – Dati regionali sui volumi di sabbia apportati sulle coste	196
SCHEMA – Percentuale costa in erosione	197

PREMESSA

Nell'ambito del Tavolo Nazionale Erosione Costiera (TNEC) si è stabilito, quale azione preliminare ai lavori di definizione e redazione di linee guida nazionali, di avviare una attività di ricognizione sullo stato della conoscenza e sulle attività di osservazione dei processi erosivi in area costiera, sulle tecniche e sui piani di azione messi in campo dalle Regioni per contenere la progressiva riduzione dell'ampiezza dei litorali e i danni prodotti durante le mareggiate.

Lo scopo iniziale della ricognizione è stato quello di far emergere l'onere gestionale per la difesa e la tutela delle coste a carico delle Regioni, a partire dalla delega dello Stato delle competenze in materia con la L 59/97, il D.Lgs. 112/98 e il D.Lgs. 86/99 e successivi, di condividere i vari approcci metodologici adottati per arginare il dissesto per erosione in assenza di indirizzi nazionali sulla materia, la lunga esperienza e l'avanzato livello di conoscenza acquisito negli ultimi decenni sui processi evolutivi delle aree costiere.

Obiettivo finale è quello di disporre di un quadro di sintesi, su base regionale, che sia di riferimento per la definizione di linee guida nazionali condivise e adeguate alle varie realtà territoriali, che possa essere di supporto alla eventuale definizione di criteri di perimetrazione delle aree in crisi e del livello di criticità, tale da consentire anche una analisi comparativa dei fabbisogni, e di metodi di valutazione delle soluzioni strutturali e non strutturali più efficaci da adottare per la protezione e per il ripristino.

ORGANIZZAZIONE E ESITO DELLA RICOGNIZIONE

Per la ricognizione è stata trasmessa ai referenti regionali una **scheda censimento** con richiesta di informazioni relativamente a dati già disponibili su processi erosivi in corso nelle aree costiere di competenza, sulle tecniche di monitoraggio e di valutazione delle dinamiche in corso, sugli interventi di protezione e sugli strumenti di tutela adottati dall'amministrazione regionale.

La scheda è stata suddivisa in sezioni tematiche inerenti:

le caratteristiche fisiche della costa,

- assetto ed evoluzione delle coste basse, con indicazione dei tratti in erosione e in accumulo, caratteristiche morfologiche, sedimentologiche e litologiche,
- caratteristiche geologiche e geotecniche delle coste alte, con indicazione dei versanti in frana,
- tecniche e piani di monitoraggio specifici

le forzanti naturali della dinamica litoranea

- clima meteo-marino
- trasporto solido,

la protezione costiera

- interventi, eseguiti e in programma, di protezione costiera con opere rigide, di ripristino dei litorali mediante ripascimento, di consolidamento dei versanti rocciosi costieri a rischio frana.

Le schede sono state corredate anche di sezioni dedicate al censimento degli strumenti di gestione e tutela della fascia costiera già adottati dalle amministrazioni regionali (Piani di gestione, normativa, linee guida) e all'organizzazione e pubblicazione dei dati, al fine di valutare la possibile realizzazione di un sistema di accesso pubblico per la consultazione dei dati regionali.

Hanno provveduto alla compilazione della scheda 14 delle 15 Regioni contattate e 3 Autorità di Bacino, di cui l'Autorità di Bacino della Puglia delegata a rappresentare la Regione, l'Autorità di Bacino Volturno-Liri-Garigliano per il territorio di competenza tra Lazio e Campania e l'Autorità di Bacino dell'Adige. Mancano riferimenti e dati per la Regione Campania.

Nei paragrafi successivi è riportata una sintesi delle informazioni che i soggetti sopra elencati hanno trasmesso. Le schede censimento dati restituite dalle suddette Regioni e Autorità di Bacino sono riportate nell'**Annesso** al presente Allegato 1.

1. SINTESI DELLE CONOSCENZE PER LA GESTIONE DEGLI EFFETTI DELLA DINAMICA COSTIERA

1.1. CARATTERISTICHE DEGLI AMBITI COSTIERI

Tutte le Regioni dispongono di documentazione topografica dell'assetto della costa e della distribuzione dei tratti di costa alta, bassa e dei tratti ormai artificiali per la presenza di porti e strutture marittime realizzate a ridosso della riva.

La rappresentazione è a scala regionale, di grande dettaglio (1:5.000, 1:10.000), ottenuta mediante fotointerpretazione di ortofoto, di immagini satellitari e con rilievi in campo.

1.1.1. Costa bassa

Evoluzione della linea di riva e aree in erosione e in accumulo.

Il profilo documentativo che emerge è territorialmente completo, approfondito con analisi storiche e piuttosto aggiornato, in generale all'ultimo quinquennio.

A supporto delle analisi delle tendenze evolutive, Emilia Romagna, Lazio, Liguria e Toscana hanno elaborato serie storiche a partire dal 1943, Basilicata, Calabria, Friuli Venezia Giulia, Molise e Sardegna a partire dal 1954, Marche dal 1894 e Sicilia a partire dal 1983, le restanti dispongono di serie dati più brevi.

Per la qualificazione dei tratti costieri in erosione e in accumulo il metodo generalmente utilizzato è quello del confronto cartografico tra gli assetti della linea di riva relativa a periodi diversi.

Per la quantificazione, pur tra le poche indicazioni fornite, sono emersi più metodi e unità di misura delle variazioni nel periodo di confronto: in metri lineari di riva, in metri quadri di superficie, in metri cubi di sedimento, calcolata lungo transeiti o sezioni di lunghezza variabile (25m e 100m Puglia, 500m AdB Liri-Volturno-Garigliano) o in celle litoranee predefinite (Veneto). L'Emilia-Romagna in particolare opera un confronto fra dati volumetrici ricavati da campagne topo-batimetriche successive (a partire dal 1984), accompagnate anche da rilievi contemporanei della linea di riva e della subsidenza, che confluiscono nel sistema informativo-gestionale delle celle litoranee (SICELL) e nel sistema informativo del mare e della costa (SIC) permettendo, con ulteriori analisi spaziali e confronti, di avere un quadro complessivo sullo stato del litorale, sulle sue tendenze evolutive dei fondali e della linea di riva e sulle necessità di intervento.

La Basilicata effettua anche una valutazione delle criticità elaborando un indice di erosione dedotto da un set di indicatori (tasso di erosione, caratteristiche litologiche, spostamento linea riva, pendenza spiaggia sommersa, presenza dune costiere, variazione lunghezza cordone dunale, distanza della linea di riva dal limite della fascia attiva, esposizione ed intensità delle mareggiate, opere portuali, opere di protezione, grado impermeabilizzazione costiera, perdita del valore del suolo, popolazione, attività turistiche, aree soggette a tutela, attività produttive costiere).

Oltre i processi naturali di trasporto solido, la presenza di sbarramenti, come opere marittime e manufatti realizzate in prossimità della riva, ostacolano il naturale flusso dei sedimenti litoranei, favorendo la formazione di tratti in accumulo e di aree in regressione. Al fine di un eventuale riutilizzo per ripascimento dei tratti in erosione Emilia Romagna, Lazio, Toscana e Veneto hanno condotto specifiche indagini a scala regionale per la determinazione di dati volumetrici degli accumuli e Marche solo nelle aree di porti e avamposti.

Caratteristiche geomorfologiche e geologiche

Sono state elaborate **carte geomorfologiche** dei litorali, anche recentemente aggiornate, da 10 regioni. Calabria, Emilia Romagna, Lazio, Molise e Puglia dichiarano elaborati a copertura regionale con batimetrica fino alla profondità di chiusura, Marche un rilievo completo dell'area emersa delle spiagge e parziale per quella sommersa, Liguria e Toscana del 45% del territorio regionale e la Sardegna dichiara una copertura parziale e a varie scale di rappresentazione.

Per la **caratterizzazione dei sedimenti litoranei** tutte le Regioni, salvo la Sicilia, nel corso degli anni hanno acquisito molti dati nell'ambito di campagne di prelievo e analisi geotecniche di laboratorio, generalmente avviate in fase di indagine conoscitiva propedeutica o all'elaborazione di piani di gestione delle aree costiere o alla programmazione di interventi di ripristino mediante ripascimento artificiale di tratti di litorale in erosione.

Abruzzo, Basilicata, Emilia Romagna, Lazio, Liguria, Marche, Puglia, Toscana e Veneto dichiarano una caratterizzazione puntuale a scala regionale; Emilia Romagna e Lazio specificano sia della spiaggia emersa che sommersa a diverse profondità; Friuli Venezia Giulia dispone di una Carta Geologico Tecnica (CGT) con rappresentazione di areali di omogeneità sedimentologica, relativi solo alla parte emersa; Calabria, Molise e Sardegna dispongono di dati locali di sedimentologia.

Marche, Toscana e Puglia hanno effettuato anche analisi tessiturali e mineralogiche dei sedimenti.

L'Autorità di Bacino Liri-Garigliano-Volturno nell'ambito della redazione del Piano Stralcio Erosione Costiera ha eseguito, in un paraggio di studio di 60 km, rilievi e studi completi relativi alla geologia, geomorfologia, sedimentologia sia dell'ambiente emerso che sommerso, documentati con cartografia tematica di dettaglio.

Nell'ambito dei Piani Stralcio Difesa Costa, l'AdB Campania Centrale e Campania Sud ed Interregionale del Sele hanno eseguito rilievi e studi per la linea di costa di competenza elaborando cartografie tematiche di dettaglio (cfr. cartografie dei vigenti Piano Stralcio di Bacino per la Difesa della Costa - ex AdB Sarno e ex AdB Nord Occidentale della Campania ed ex AdB Sinistra Sele e cartografie in corso di realizzazione per il Piano Difesa Costa AdB Campania Centrale)

1.1.2. Costa alta

Dalle informazioni trasmesse emerge un quadro conoscitivo parziale e meno approfondito, con evidenza che, in generale le unità tecniche regionali competenti, servizi geologici o autorità di bacino, sono spesso diverse da quelle delegate alla gestione degli arenili

Caratterizzazione geologica e pericolosità geomorfologica

Marche dispone di dati morfologici derivanti da rilievo Lidar topografico della parte emersa e una caratterizzazione delle rocce competenti e incompetenti.

Liguria ha elaborato carte morfologiche e analisi di caratterizzazioni geotecniche e litologiche, per le aree coperte dal Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero (PTAMC).

Basilicata dispone di rilievi morfologici della costa tirrenica derivati dal rilievo Lidar del 2010 e dal rilievo lidar associato alla CTR Basilicata 2013 e una mappa litologica elaborata dalla Carta geologica d'Italia e altre fonti bibliografiche..

Friuli Venezia Giulia fa riferimento ai dati derivati dalla Carta Geologica Tecnica regionale e la Puglia fa riferimento alla Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia, derivata per lo specifico tematismo – carta geolitologica – dalla Carta Geologica Ufficiale nazionale.

Toscana dispone di una carta morfologica a scala regionale e dati di analisi litologiche e geotecniche locali.

Sardegna, nell'ambito del Programma regionale di Azione Coste (PAC), ha realizzato per tutto il territorio regionale una distinzione tra falesie e versanti rocciosi, una ricognizione dei tratti franosi ad elevata criticità.

La delimitazione dei tratti rocciosi a rischio frana e delle aree a diversa pericolosità geomorfologica è inclusa tra gli elaborati del Piano di Assetto Idrogeologico per Basilicata, Marche e Puglia, del Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero per la Liguria e per il Lazio è a cura dell'Area regionale per la Difesa Suolo.

1.2. FORZANTI NATURALI DELLA DINAMICA COSTIERA

La dinamica dei litorali è influenzata da processi idrodinamici e di trasporto solido e la tendenza evolutiva è determinata dalle caratteristiche geologiche e morfologiche, ma per gli arenili prevalentemente

- dall'apporto solido fluviale, che rappresenta la principale fonte di immissione di risorsa sedimentaria nel sistema spiaggia;
- dall'esposizione al clima e ai processi idrodinamici, come il regime di marea, dei venti, le correnti litoranee e il moto ondoso, che provvedono alla redistribuzione dei sedimenti lungo la costa e alla dispersione verso il largo;

1.2.1. Dati per la determinazione del clima meteo marino e degli eventi estremi

Per la caratterizzazione del clima meteo marino lungo i litorali regionali i dati di riferimento per tutte le Regioni sono i rilievi delle reti nazionali di monitoraggio: per le onde i dati rilevati dalla Rete Ondametrica Nazionale, per la variazione del livello del mare lungo le coste i dati rilevati dalla Rete Mareografica Nazionale, per le forzanti meteorologiche (vento, pressione atmosferica e temperatura) i dati rilevati dall'Aeronautica Militare e i dati disponibili presenti negli archivi del Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (ECMWF).

Per una migliore determinazione locale del clima ondoso e degli eventi estremi alcune Regioni hanno installato strumentazione o implementato reti di monitoraggio regionali: Emilia Romagna dal 2007 rileva dati anche dalla boa regionale Nausicaa; Liguria dal 2011 rileva dati dalla boa regionale di Capo Mele; la Toscana dal 2008 rileva dati dalla boa onda metrica di Gorgona, dal 2010 rileva dati dalla boa onda metrica di Giannutri e dai correntometri al Gombo (PI) e Castiglione della Pescaia (GR); il Friuli V. G. ha più reti meteorologiche regionali, con tre boe ondametriche e più stazioni meteo marine nel golfo di Trieste; la Puglia ha implementato un sistema di monitoraggio meteo marino con tre boe ondametriche (I.Tremi, Santa Maria di Leuca e Taranto), mareografi e anemometri; la Basilicata ha installato una boa ondametrica nell'area ionica nella zona di San Basilio di Pisticci.

1.2.2. Clima meteo marino

Quasi tutte le Regioni hanno condotto, tramite convenzione con istituti di ricerca e università o nell'ambito di progetti europei, studi sul clima meteo marino dei litorali regionali:

- analisi statistiche delle variazioni di marea e della componente meteorologica,
- analisi dei parametri delle onde a largo rilevate da boe di misura,
- Clima meteo marino a riva, come illustrato nelle Linee Guida per la gestione della costa della Regione Veneto, ricavato dal clima ondoso al largo trasformato fino a riva con idonei modelli matematici di propagazione.
- analisi degli eventi estremi e propagazione lungo le coste.

1.2.3. Catalogo delle mareggiate e degli impatti

Emilia Romagna, a partire dal 1942, Sicilia, a partire dal 1980, e Marche, a partire dal 2013, dispongono di un catalogo degli eventi estremi che hanno colpito i litorali regionali, con classificazione delle mareggiate in funzione dell'intensità dell'evento meteorologico e dell'entità dei danni prodotti. Gli eventi storici, per cui non si dispone di misure per determinare l'intensità delle mareggiate, sono stati ricostruiti utilizzando come fonti informazioni bibliografiche, segnalazioni dei danni riportati dalla stampa o dalle amministrazioni comunali; l'Emilia Romagna per gli eventi antecedenti il 1992 ha fatto anche delle ricostruzioni meteorologiche, in particolare dell'intensità del vento, sulla base dei dati del ECMWF.

L'Autorità di Bacino Liri-Garigliano-Volturno dispone per il paraggio di competenza, oltre ad analisi dei dati di onda, vento e variazione del livello marino, anche di un catalogo delle mareggiate.

L'AdB Campania Centrale e l'AdB Campania Sud ed Interregionale del Sele dispongono di dati per il paraggio di competenza.

1.2.4. Trasporto solido

L'afflusso di sedimenti alle foci dei fiumi è il processo primario di alimentazione dei litorali. Le opere di sbarramento e di regimazione idraulica dei corsi d'acqua, la stabilizzazione dei versanti montani e il prelievo di inerti dagli alvei hanno ridotto notevolmente l'apporto di sedimenti alla foce destinato alla naturale distribuzione lungo i litorali, con conseguente innesco di fenomeni erosivi e regressione delle spiagge lungo tutta la penisola.

La diminuzione degli apporti solidi fluviali causata dal trattenimento dei sedimenti in corrispondenza delle opere di regimazione idraulica e di sbarramento fluviale lungo il reticolo idrografico dei principali corsi d'acqua costituisce una delle concause storiche di impoverimento degli accumuli lungo le coste e dei processi regressivi ad essi connessi; gli stessi sedimenti sono causa delle problematiche di interrimento dei bacini idrici artificiali e, nello stesso tempo, rappresentano un interessante fonte disponibile di alimentazione che potrebbe essere possibile gestire per il ripascimento dei tratti litoranei in regressione

Le correnti litoranee trasversali e longitudinali la riva, con azioni di asporto, trasporto e deposito, sono responsabili del processo di distribuzione dei sedimenti lungo la riva.

1.2.5. Trasporto fluviale

8 regioni su 14 dispongono di dati di stima sul trasporto solido fluviale a mare; Calabria, Emilia-Romagna, Liguria, Marche, Molise, Toscana e Veneto hanno dati a scala regionale, L'Autorità di Bacino Liri-Garigliano-Volturno per il paraggio di competenza, altri dispongono di dati bibliografici o derivanti da studi sperimentali limitati a specifici corsi d'acqua, svolti da Autorità di Bacino.

Per l'Emilia-Romagna è disponibile una stima del trasporto fluviale su tutti i principali corsi d'acqua regionali ma solo su due (Reno e Fiumi Uniti) sono stati effettuati approfondimenti e monitoraggi dedicati.

La stima dell'apporto di sedimenti alla foce è ottenuta mediante modello matematico o attraverso interpretazione a scala di bacino idrografico di dati diretti rilevati su corsi d'acqua.

Generalmente i dati a disposizione sono datati, anche a 20-30 anni fa, e gli aggiornamenti più recenti, periodo 2010/2012, sono parziali, relativi a pochi corsi d'acqua.

1.2.6. Trasporto litoraneo

10 regioni su 14 possiedono dati sul trasporto solido litoraneo, 7 a copertura regionale, le restanti a copertura parziale, l'Autorità di Bacino Liri-Garigliano-Volturno per il paraggio di competenza.

La stima del trasporto solido litoraneo è ottenuta mediante modellistica numerica, correlata alle caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

Il Veneto dispone anche di un geodatabase con dati di velocità e direzione del trasporto solido longitudinale per cella litoranea.

Per l'Emilia-Romagna gli studi dei primi Piani Costa e i successivi aggiornamenti, attraverso i rilievi delle reti di monitoraggio costiero, hanno portato ad una stima del trasporto litoraneo e alla definizione delle celle litoranee confluite poi nel sistema informativo-gestionale SICELL. Studi particolareggiati sulla dinamica sedimentaria sotto costa, e in particolare sull'evoluzione delle foci, delle linee di riva e dei fondali sono state condotte nell'ambito del sistema informativo del mare e della costa (SIC).

L'AdB Campania Centrale e l'AdB Campania Sud ed Interregionale del Sele dispongono di dati in merito

1.3. DATI E CAMPAGNE DI MONITORAGGIO

1.3.1. Modello digitale del terreno (DTM)

Tutte le Regioni dispongono per la fascia costiera emersa, sia alta che bassa, di un modello digitale del terreno (DTM) a risoluzione 2mx2m derivante dal rilievo effettuato nel 2008 dal MATTM nell'ambito del Progetto Nazionale per il Telerilevamento.

Alcune Regioni, quali Basilicata, Emilia Romagna, Lazio, Friuli Venezia Giulia, Marche e Veneto, hanno successivamente acquisito rilievi più aggiornati, anche pluriennali per il Veneto, in genere a maggiore risoluzione (1mx1m), ma limitatamente a specifiche aree del territorio costiero regionale.

1.3.2. Rilievi batimetrici

Le regioni hanno eseguito negli anni più campagne di rilievo batimetrico, con *singlebeam*, *multibeam*, *lidar* batimetrico, *gps-rtk*.

Tutte dispongono di rilievi pluriennali, anche molto recenti (2012-2015), derivanti da campagne di monitoraggio o da attività di indagine conoscitiva in fase di programmazione e progettazione di interventi di protezione su aree costiere in crisi.

Solo Emilia Romagna, Lazio, Marche, Puglia, Toscana e Veneto dichiarano la disponibilità di una copertura regionale, ma in generale, anche in conseguenza dell'elevato onere economico e esecutivo di questo tipo di misure, sono prevalentemente rilievi disomogenei per copertura spaziale, temporale e tecnica di acquisizione.

1.3.3. Rilievi topografici

Anche per i rilievi topografici e topo-batimetrici le Regioni hanno eseguito numerose campagne di misura per il monitoraggio dell'evoluzione dei litorali e dei fondali antistanti, per la realizzazione degli interventi di difesa costiera e di opere portuali (monitoraggio *ante* e *post operam*).

L'Emilia Romagna ha implementato una specifica Rete di Monitoraggio a copertura regionale (topo-batimetrica, linea di riva, subsidenza) con GPS per le spiagge emerse e sommerse, a partire dal 1983 per la linea di riva e dal 1984 per la topo-batimetria e la subsidenza. In occasione dei rilievi 1993 e 2012 ha effettuato anche campagne di caratterizzazione sedimentologica. A partire dal 2005 il rilievo della subsidenza è stato integrato con analisi interferometrica tramite tecnica SqueeSARTM.

1.3.4. Altri rilievi

La regione Sardegna ha condotto nel 2013 una campagna di acquisizione fotografica delle coste alte riprese da mare, per la rilevazione puntuale dei dissesti e di elementi strutturali particolarmente significativi per la descrizione e il monitoraggio dei tratti costieri rocciosi ad alta criticità, ossia di tratti di costa in frana in cui sono presenti elementi a rischio.

La regione Puglia, nell'ambito delle azioni di monitoraggio delle coste alte previste nel Piano di Assetto Idrogeologico, ha effettuato nel 2009 rilievi mediante laser scanner da versante; inoltre dispone di un rilievo fotografico (foto prospettiche ad altissima risoluzione) dell'intera costa realizzato nell'anno 2008.

1.4. PROTEZIONE COSTIERA E PROGRAMMI DI INTERVENTO

Tutte le Regioni dispongono di un catasto degli interventi eseguiti, sia con opere di difesa costiera sia con ripascimenti. I dati, anche piuttosto aggiornati (2006-2015), sono disponibili su mappe cartografiche e in alcuni casi organizzati in geodatabase, alla scala di rappresentazione tipica delle carte tecniche regionali.

1.4.1. Interventi di protezione e ripristino dei litorali sabbiosi

Opere di difesa costiera - I cataloghi delle opere di difesa costiera sono tutti a copertura regionale. La regione Emilia Romagna e Lazio dispongono anche di uno storico degli interventi a partire dal 1943.

Solo la Liguria, per le aree coperte dal Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero (PTAMC) – Golfo del Tigullio e tratto Alassio – Finale Ligure, ha eseguito una valutazione dell'efficacia delle opere di difesa.

Ripascimenti - Abruzzo, Basilicata, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Liguria, Marche, Sardegna, Sicilia, Toscana, Veneto (11 su 13) dichiarano di aver eseguito interventi di ripristino dei litorali mediante ripascimento artificiale e di disporre di dati, anche storici, di delimitazione dell'area e di alcuni parametri tecnici (p.e. volume, caratterizzazione dei sedimenti). I dati tecnici sono organizzati per alcuni in un geodatabase, per altri in schede tecniche riepilogative (Veneto) o non organizzate ma desumibili da decreti attuativi (Friuli V. G., Toscana) e elaborati tecnici degli interventi (Basilicata).

Analisi quantitative sui volumi di sabbia necessari al ripristino delle spiagge - Abruzzo, Basilicata, Emilia Romagna, Lazio, Liguria, Marche, Toscana, Veneto e l'Autorità di Bacino Liri-Garigliano-Volturno, per il paraggio di competenza, hanno condotto analisi quantitative sui volumi di sabbia necessari al ripristino mediante ripascimento: il Veneto sulla base del trend evolutivo recente e degli interventi programmati, le Marche mediante stime basate su calcoli speditivi del profilo di equilibrio delle spiagge.

1.4.2. Interventi di consolidamento delle coste alte

Il quadro degli interventi che emerge è incompleto e parziale: la messa in sicurezza dei versanti rocciosi in area costiera rientra in generale tra gli interventi in materia di difesa del suolo e afferiscono a unità tecniche regionali, servizi geologici o autorità di bacino, spesso diverse da quelle deputate alla gestione e tutela delle aree costiere, con la conseguenza che le informazioni sono scollegate dai cataloghi degli interventi di protezione o ripristino dei litorali sabbiosi.

Basilicata, Calabria, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Liguria, Marche e Sardegna dichiarano la disponibilità di informazioni sugli interventi di consolidamento delle coste alte, generalmente catalogate nel sistema nazionale Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI), nel Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo (ReNDIS) o nel Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) a cura di Autorità di Bacino.

1.4.3. Aree e programmi di intervento.

Abruzzo, Basilicata, Calabria, Marche, Molise, Puglia, Veneto, Sardegna e Sicilia hanno fornito indicazioni sugli interventi finanziati e in corso d'esecuzione.

Solo 7 Regioni, Abruzzo, Basilicata, Calabria, Emilia Romagna, Lazio, Marche, Veneto, dichiarano un quadro aggiornato dei litorali su cui sono stati programmati interventi.

2. STRUMENTI DI PIANO E LINEE GUIDA

	Piani operativi di intervento	Piani di gestione e tutela della costa	Piani di assetto idrogeologico	Linee guida, indirizzi operativi	Norme tecniche
Abruzzo	Si Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Fattibilità di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale. Piano Regionale Demanio Marittimo	Si Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Fattibilità di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale	Si Piano Stralcio per la Difesa dal rischio idrogeologico	Si Analisi di Rischio della Costa Abruzzese e Fattibilità Interventi di riqualificazione morfologica a scala regionale	Si Norme di Attuazione (per entrambi i piani)
Basilicata		SI Piano Regionale per la Gestione delle Coste	SI Piano Stralcio per la Difesa dal rischio idrogeologico	SI Norme Tecniche di attuazione Parte D del Piano Regionale per la Gestione delle Coste per il quale è stata attivata la procedura di VAS	SI Norme di Attuazione (per entrambi i piani)
Calabria	Si	No	Si Piano Stralcio per Erosione Costiera	Si Progettazione opere	Si Vincoli
Campania					
Emilia Romagna	Si Programmazione annuale	SI Piano Costa e s.i.		SI Gestione Integrata Zone Costiere	
Friuli V. G.	No	No	Si	No	No
Lazio	Si Programmazione annuale	SI Sistema gestionale SICELL	Si	Si Gestione Integrata Zone Costiere	
Liguria	Si Piano di Tutela Ambiente Marino e Costiero (PTAMC)	Si PTAMC	Si	Si Indirizzi metodologici per l'elaborazione del Piano	Si Interventi di difesa e ripascimenti stagionali
Marche	Si. Piano di Gestione integrata delle aree costiere (PGIAC)	Si. PGIAC	Si,	Si. Norme Tecniche di Attuazione del PGIAC	Si. gestione materiali di dragaggio in area portuale, marina, fluviale e litoranea
Molise	Si Programmazione pluriennale	no	Si	Si Piano regionale di utilizzazione delle aree del demanio marittimo a finalità turistico-ricreative (PRUA)	Si Norme di attuazione dei Piani

Puglia	No	Si Piano Regionale delle Coste	Si	Si Individuazione interventi per coste basse in crisi Atto di Indirizzo per la definizione e classificazione delle aree a pericolosità geomorfologica in ambito costiero Linee Guida per la gestione delle biomasse vegetali deposte sulla spiaggia	
Sardegna	Si Programmazione annuale	no	SI	Si, Gestione integrata delle spiagge; Indirizzi urgenti per la gestione della fascia costiera; Linee guida per la predisposizione dei Piani di Utilizzo dei Litorali (PUL); Norme tecniche di attuazione PAI/PGRA aggiornate con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 30.07.2015, introduzione dell'art. 41 che disciplina sulle inondazioni costiere	
Sicilia			Si	No	No
Toscana	Si Documento operativo dalla LR. 80/2015	Si Piano Gestione Integrata della Costa ai fini del Riassetto Idrogeologico	Si	Si	Si
Veneto		Si	Si	si Ripascimenti e manutenzione	

TABELLA 1 - DATI REGIONALI SULLE COSTE

		Costa	Costa Bassa	Costa Alta			Costa Fittizia			
				Versante		Falesia	Op. Portuali		Op. radenti	Foci
		km	km	km	km	km	km	km	km	km
Abruzzo	<i>quantità</i>	134,86	92,9	23,44	23,44	0	18,52	5,32	11,38	1,82
	<i>periodo</i>	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Basilicata	<i>quantità</i>	73	43,4	29,6	29,6			12		0,950
	<i>periodo</i>	2012	2012	2012	2012			2012		2012
Calabria		709,8	457,3	252,4						
Campania	<i>quantità</i>	515,93	157,70	253,00	86,00	167,00	105,23	36,30	65,05	3,88
Emilia R.	<i>quantità</i>	140	140	0			8,5			
	<i>periodo</i>	2011								
Friuli V.G.	<i>quantità</i>	93	52	27			14			
	<i>periodo</i>									
Lazio	<i>quantità</i>	314,5	233,8	32,2			48,5			
	<i>periodo</i>	2005	2005	2005			2005			
Liguria	<i>quantità</i>	350	108	197			45			
	<i>periodo</i>	2013								
Marche	<i>quantità</i>	197,5	167,95	29,55			9,96	7,91		2,05
	<i>periodo</i>	2012	2012	2012			2012	2012		
Molise	<i>quantità</i>	35,84	33,59			0,95	1,3			
	<i>periodo</i>	2008								
Puglia	<i>periodo</i>	995	370	533	313	220	92			
	<i>periodo</i>	2008	2008	2008			2008			
Sardegna	<i>quantità</i>	2241,18	582,06	1528,96	1401,51	127,45	130,16	32,72	97,44	
	<i>periodo</i>	2008	2008		2008	2008	2008	2008	2008	
Sicilia										
Toscana	<i>quantità</i>	379	201	178			9,2 (4,6%)			
	<i>periodo</i>	2010								
Veneto	<i>quantità</i>	138,9	138,9	0			8,7 (6,3%)			
	<i>periodo</i>	2012								

TABELLA 2 - DATI REGIONALI SULLE VARIAZIONI DELLE COSTE

		Variazione costa alta		Variazioni costa bassa						Cordoni dunali		
		Arretramento	Avanzamento	Arretramento			Avanzamento			Stabilità		Arretramento
		km	km	km	mq	(%)	km	mq	(%)	km	km	km
Abruzzo	quantità periodo	0 2008-2017	0 2008-2017	54,5 2008-2017	654.000 2008-2017	58,67 2008-2017	5,1 2008-2017	61.200 2008-2017	5,49 2008-2017	28,3 2008-2017	5 2008-2017	3 2008-2017
Basilicata	quantità periodo	ND 2010-2012	ND 2010-2012	25 2010-2012	200.000 2010-2012	23% 2010-2012	7 2010-2012	75.000 2010-2012	8,6% 2010-2012		28 2010-2012	10 2010-2012
Calabria	quantità periodo			278,8 1985-2013	6.482.209 1985-2013		178,6 1985-2013	5.405.732 1985-2013				
Campania	quantità	13,2	1,5	85,4	54%		43,1	27%		29,2	52,8	22,8
Emilia R.	quantità periodo			44 2006-2012	560.000 (h) (50,5%) 2006-2012			550.000 (h) (49,5%) 2006-2012			34,6	17
	quantità periodo				5.296.700 (h) (53,3%) 1943-2005			4.828.000 (h) (47,7%) 1943-2005				
Friuli V.G.	quantità periodo											
Lazio	quantità periodo	0		102,9 2005-2011	196.743 (a) 2005-2011			134.643 (a) 2005-2011				
Liguria	quantità periodo	0		18 2013	100.000 2003-2013		32	350.000 2003-2013		58 2003-2013	0	0
Marche	quantità	0,94 (b)	1,73 (b)	19,52 (b)	364.400 (b)		34,03 (b)	599.700 (b)			11,1	
	periodo	12,18 (c) 2012	14,08 (c) 2012	61,6 (c) 2012	177.500 (c) 2012		75,05 (c) 2012	263.100 (c) 2012				
Molise	quantità periodo			19 (g) 1992-2003	348.609 (g) 1992-2003		10 1992-2003	113.075 (g) 1992-2003		6 1992-2003	12,23	
Puglia	quantità periodo	137		375 2008							165 2004	134 2004
Sardegna	quantità			84,35(14,49 %)								

	periodo			(f)						
Sicilia										
Toscana	quantità periodo			78,8 (39,3%) 2005-2010	795.549	47,6 (23,7%)	403.626 (e)	65,75 (32,7%) (d)		
Veneto	quantità periodo			51,8 (37,3%) 2007-2012	870.687 2007-2012	78,4 (56,4%) 2007-2012	1.439.277 2007-2012		98	
	quantità periodo			49,5 2003-2007	512.905 2003-2007	79,5 2003-2007	1.391.415 2003-2007		98	
	quantità periodo			67,2 2000-2003	1.179.340 2000-2003	60,9 2000-2003	1.287.076 2000-2003		98	

(a) : mq/anno

(b) : perdita di almeno 10 metri

(c) : perdita compresa tra 0 e 10 metri

(d) :tassi inferiori a +/-0,5 m per anno

(e) :sui tratti con erosione > +/-0,5 m per anno

(f) : spiagge ad elevata criticità rispetto ai processi erosivi

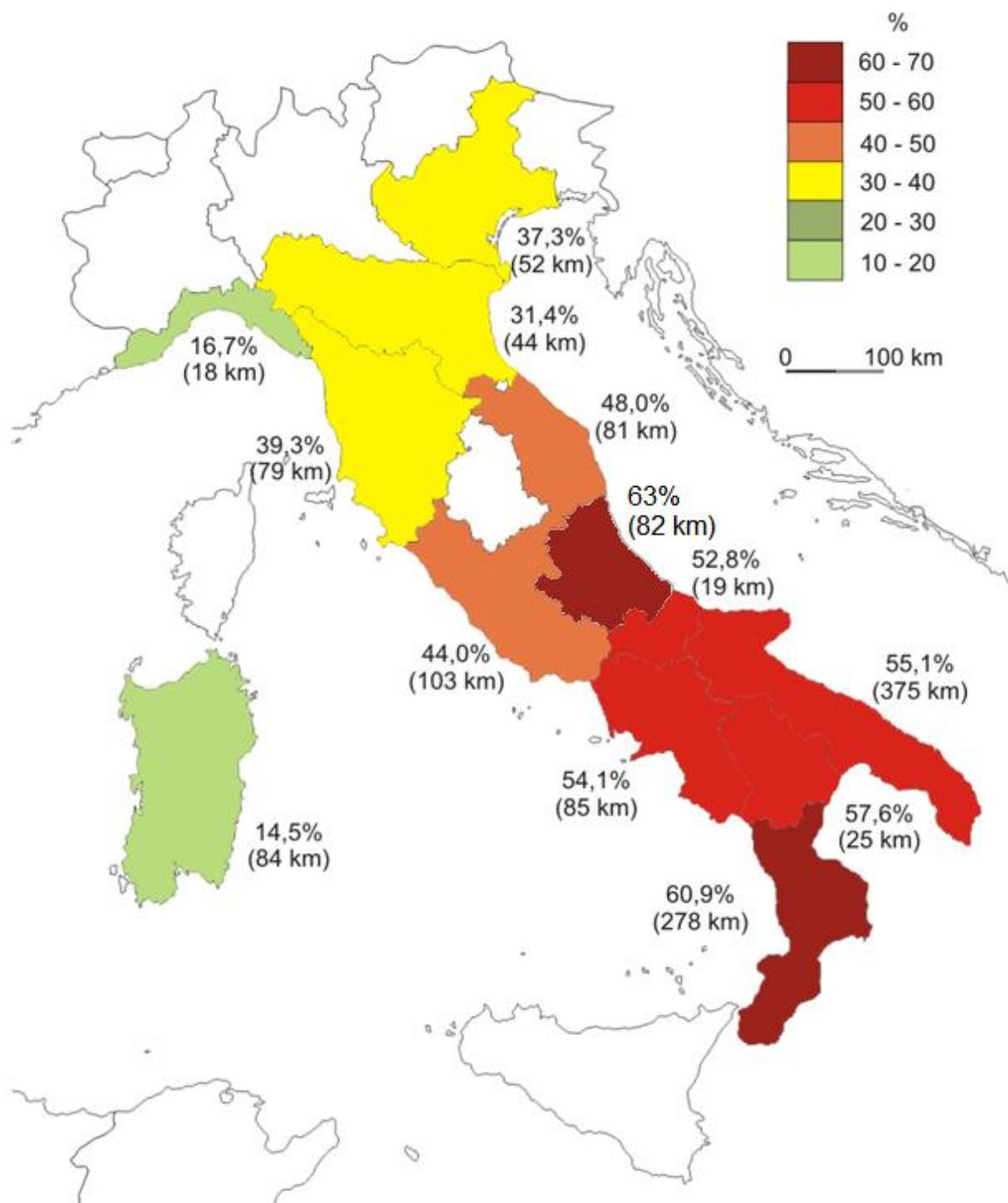
(g) : la quantità comprende anche i dati relativi alla costa alta

(h) : conversione dei valori forniti in ettari

TABELLA 3 - DATI REGIONALI SUI VOLUMI DI SABBIA APPORTATI SULLE COSTE

		Sabbie apportate		
			da foce, cave a terra, dragaggi lagune	da cave marine
		mc	mc	mc
Abruzzo	<i>quantità</i>	925.000		925.000
	<i>periodo</i>	1999-2006		
	<i>quantità</i>	1.050.000	38.000	1.012.000
	<i>periodo</i>	2008-2017		
Basilicata				
Calabria	<i>quantità</i>	1.200.000	1.200.000	0
	<i>periodo</i>	2008-2013	2008-2013	
Campania				
Emilia R.	<i>quantità</i>	2.823.989		
	<i>periodo</i>	2006-2012		
Friuli V.G.	<i>quantità</i>	1.012.000		
	<i>periodo</i>	2004-2013		
Lazio	<i>quantità</i>	569.562		
	<i>periodo</i>	2005-2011		
Liguria	<i>quantità</i>	1.500.000		
	<i>periodo</i>	2003-2013		
Marche	<i>quantità</i>	981.000	400.000	581.000
	<i>periodo</i>	2005-2013		
Molise	<i>quantità</i>			
	<i>periodo</i>			
Puglia	<i>quantità</i>			
	<i>periodo</i>			
Sardegna	<i>quantità</i>	382.000		
	<i>periodo</i>	2002-2008		
Sicilia				
Toscana	<i>quantità</i>	1.000.000		
	<i>periodo</i>	1980-2015		
Veneto	<i>quantità</i>	4.874.746	3.834.386	1.040.360
	<i>periodo</i>	2003-2015	2003-2015	2003-2015

SCHEMA - PERCENTUALE COSTA IN EROSIONE



ALLEGATO 2

OPERE DI DIFESA E MISURE DI MITIGAZIONE DEI FENOMENI EROSIVI

INDICE

INTRODUZIONE	199
1. INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA: ASPETTI TECNICI ED AMBIENTALI	201
1.1 Interventi di protezione e per la riduzione delle perdite di sedimenti	203
1.1.1 <i>Criteri generali</i>	203
1.1.2 <i>Difese distaccate</i>	203
1.1.3 <i>Scogliere permeabili con elementi artificiali</i>	206
1.1.4 <i>Barriere in geotessuto</i>	207
1.1.5 <i>Sistemi di assorbimento e sfruttamento dell'energia del moto ondoso</i>	207
1.1.6 <i>Difese aderenti</i>	208
1.1.7 <i>Difese trasversali</i>	209
1.1.8 <i>Sistemi di drenaggio</i>	211
1.1.9 <i>Aspetti ambientali connessi alla realizzazione delle opere</i>	212
1.2 Interventi di alimentazione con sedimenti della fascia costiera	215
1.2.1 <i>Criteri generali</i>	215
1.2.2 <i>Ripascimenti artificiali</i>	215
1.2.2.1 <i>Valutazione dei costi di dragaggio e ripascimento</i>	217
1.2.3 <i>Ripascimento con sabbie litoranee mediante by pass</i>	221
1.2.4 <i>Interventi di ripristino e protezione delle dune</i>	222
1.2.5 <i>Aspetti ambientali connessi alla realizzazione delle opere</i>	224
2. CRITERI DI SCELTA DEGLI INTERVENTI E VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA E DEGLI EFFETTI DELLE OPERE	227
2.1 Scelta degli interventi: aspetti programmatici	227
2.2 Utilizzo della modellistica nelle opere costiere	233
2.3 Metodi di analisi costi/benefici sviluppati	235
2.4 Metodi di valutazione dell'efficacia degli interventi	238
BIBLIOGRAFIA	241

INTRODUZIONE

L'erosione costiera è un processo generalizzato e continuo in atto lungo le coste sabbiose, che si erano ampliate progressivamente fino a circa la metà del XX secolo a causa degli ingenti apporti solidi conseguenti al dissesto dei versanti e alle piene fluviali incontrollate. Gli antichi centri urbani venivano costruiti in aree sicure all'interno dei bacini idrografici, stabili sotto l'aspetto idrogeologico, e in aree non alluvionabili o facilmente difendibili con arginature. L'incremento demografico e lo sviluppo tecnologico hanno portato ad un notevole miglioramento della stabilità dei versanti e alla costruzione di invasi artificiali, necessari per l'approvvigionamento idrico, per la laminazione delle piene, per la produzione di energia idroelettrica e per il supporto ad una moderna agricoltura in grado di fornire alimenti ad un numero sempre maggiore di persone e con crescenti esigenze di benessere.

Nel contesto attuale, i volumi di sedimenti erosi dai versanti sono pertanto in costante diminuzione, sia per il controllo esercitato sulle frane e sull'erosione dei suoli, sia a causa dei bacini artificiali presenti ormai in quasi tutti i maggiori corsi d'acqua italiani. Di conseguenza, milioni di metri cubi di sedimenti restano accumulati nei laghi artificiali anziché raggiungere il mare (vedi Allegato 3 – Cap. 3. Sedimenti accumulati nei bacini idrografici). Pertanto, la maggior parte degli interventi necessari per la riduzione del dissesto idrogeologico sui bacini montani (rimboschimenti, stabilizzazione delle frane, costruzione di briglie e traverse per ridurre l'erosione del suolo causato dai torrenti) e la protezione delle aree urbanizzate soggette a fenomeni alluvionali con casse di espansione o bacini di laminazione, hanno come conseguenza la riduzione degli apporti di sedimenti al mare.

La gestione delle risorse idriche e delle componenti ambientali dei bacini idrografici rappresenta quindi la causa principale dell'erosione costiera. La costruzione di porti su litorali sabbiosi o di opere di difesa costruite in emergenza per proteggere centri abitati o infrastrutture di comunicazione possono inoltre aggravare localmente i fenomeni. Infatti, la realizzazione di interventi lungo la costa, se non supportata da idonea progettazione ad una scala adeguata, può risultare inefficace e non risolvere compiutamente le problematiche connesse con l'erosione. Inoltre, la messa in opera di strutture per la difesa costiera potrebbe dar luogo a più generali impatti di natura ambientale, che risultano particolarmente significativi in presenza di habitat e/o specie sensibili.

Per tali motivi, negli anni è aumentata la necessità di pianificare e progettare gli interventi di difesa costiera, in accordo con i criteri propri della gestione integrata (GIZC – Gestione integrata delle zone costiere), tenendo conto non solo dell'efficacia di un'opera nel contrastare l'erosione, ma anche di come le modifiche indotte nelle matrici ambientali possano influire sulle risorse economiche e sociali, sulla componente paesaggistica, sulla conservazione delle risorse ecologiche e della biodiversità.

La verifica dell'efficacia di un intervento di difesa nel contrastare i fenomeni erosivi richiede una chiara definizione degli obiettivi che si intendono raggiungere con l'intervento stesso (vedi Linee Guida Cap. IV.1.8 - La "linea di costa ottimale" o "spiaggia di progetto") e successivamente uno studio dell'evoluzione della fascia costiera nel tempo al fine di verificare il grado di raggiungimento degli obiettivi. In particolare, poiché qualunque opera marittima introduce una modifica della morfologia costiera e interferisce con il trasporto litoraneo dei sedimenti, la scelta delle migliori soluzioni di intervento per contrastare i fenomeni erosivi deve essere supportata da un'attenta analisi del complesso dei fattori (marini, continentali e antropici) che maggiormente influiscono sulla dinamica costiera, sia a scala di bacino idrografico che degli ambiti costieri sottesi (unità fisiografiche).

Più precisamente sono da approfondire gli aspetti relativi a:

- ⇒ morfologia della costa ed al complesso degli interventi antropici (di tipo insediativo, industriale o di protezione del litorale);
- ⇒ incidenza degli apporti solidi fluviali e litoranei sul bilancio sedimentario costiero;
- ⇒ incidenza dell'esposizione ai fattori meteo-marini (onde, marea, vento, correnti) sul flusso longitudinale e trasversale dei sedimenti lungo la costa e sui fenomeni di erosione/accumulo.

Nel presente Allegato sono descritte le caratteristiche delle più comuni tipologie di intervento di difesa costiera, le modificazioni generalmente indotte sulla dinamica costiera (i.e. su idrodinamica e trasporto solido) e le principali ripercussioni attese sulle diverse componenti ambientali.

Viene svolta, inoltre, una disamina delle principali informazioni e dei parametri ambientali da considerare nell'ambito della pianificazione/programmazione degli interventi, ai fini della salvaguardia della costa e della valutazione degli effetti che possono aversi, a breve e lungo termine, nelle aree limitrofe.

Si fa cenno, infine, alle principali tecniche di modellistica utilizzabili a supporto della progettazione degli interventi di difesa della costa e ad alcuni strumenti e buone pratiche per la valutazione dell'efficacia degli interventi, proponendo, in particolare, una metodologia semplice e schematica, da utilizzare a cura degli Enti attuatori.

1. INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA: ASPETTI TECNICI ED AMBIENTALI

Gli interventi di difesa costiera realizzati per salvaguardare le coste dai fenomeni di erosione e allagamento possono, tuttavia, ostacolare la libera propagazione del moto ondoso e causare alterazioni nelle aree costiere limitrofe. In generale, oltre a proteggere la costa, gli edifici e le infrastrutture in prossimità delle aree di intervento, la realizzazione di opere di difesa provoca alterazioni del trasporto litoraneo, tipicamente caratterizzati da accumuli nella zona protetta e perdite nelle aree limitrofe. Occorre, dunque, pianificare gli interventi di difesa non come opere singole, ma come componenti di un sistema complessivo di difesa, da studiare nella scala dell'unità fisiografica, al fine di limitare ogni possibile effetto, diretto e indiretto, sull'ambiente costiero (erosione, esondazione, intrusione del cuneo salino, alterazione degli habitat preesistenti, ecc.).

Non esiste, in generale, l'opera "migliore in assoluto". Caso per caso, in funzione degli obiettivi della pianificazione costiera, è necessario:

- analizzare accuratamente le caratteristiche fisiche dell'unità fisiografica in esame, la dinamica litoranea e il suo bilancio sedimentario;
- definire le cause che mettono in crisi il tratto di litorale
- scegliere la tipologia e l'insieme di opere compatibili con le analisi realizzate;
- valutare gli effetti indotti, sia dal punto di vista dell'efficacia che delle possibili conseguenze ambientali indesiderate, con strumenti modellistici idonei a supportare la comparazione, la scelta finale e l'ottimizzazione dell'opera.

La necessità di considerare il percorso progettuale e gli aspetti ambientali allo stesso "livello gerarchico" delle caratteristiche di efficacia e di economicità è ormai un concetto consolidato, in quanto gli aspetti ambientali sono intrinsecamente collegati all'efficacia delle opere stesse.

La scelta più idonea in termini di tipologia e dimensione dell'intervento deve essere effettuata in funzione dell'obiettivo da raggiungere e, quindi, del tipo di erosione in atto oltre che dei principali aspetti fisici che incidono sulla tendenza evolutiva del litorale nell'area di intervento: caratteristiche morfologiche e sedimentologiche, esposizione ai fattori meteo-marini, bilancio sedimentario, ecc. (e.g. Stive et al., 2002; Van Rijn, 2005).

Le tipologie di intervento possono essere di tipo indiretto (se prevedono il controllo, la prevenzione e la gestione delle risorse del territorio) e diretto (se provocano una modifica del profilo di spiaggia). Sebbene, gli interventi di tipo indiretto siano in grado di fornire una risposta risolutiva alla riduzione degli apporti solidi, gli effetti sono apprezzabili con decenni di ritardo.

In generale, la difesa di un tratto di costa si può realizzare attraverso interventi di tipo diretto che consentono:

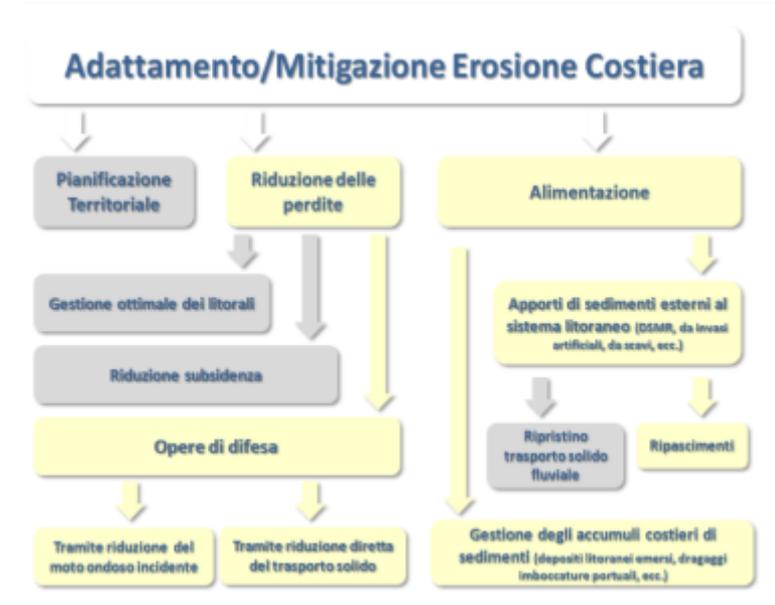
- ⇒ la riduzione della risalita e della tracimazione delle onde e il sostegno del terreno a tergo (es. difese aderenti);
- ⇒ la protezione dall'azione erosiva dell'onda (es. barriere distaccate e pennelli);
- ⇒ il rifornimento artificiale di sabbia per bilanciare le perdite di sedimenti (ripascimenti liberi e/o protetti).

Nel presente elaborato vengono affrontati esclusivamente gli aspetti legati alla funzionalità e agli effetti complessivi degli interventi di difesa di tipo diretto, maggiormente utilizzati in ambito nazionale,

facendo principalmente riferimento a pubblicazioni riconducibili a U.S. Army Corps of Engineers (2011), Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio (2006), APAT (2007) e Paganelli et. al, 2015.

Si rimanda ai testi specializzati per i dettagli strettamente tecnici legati alla progettazione delle opere.

Al fine di rendere questa trattazione congruente con l’impostazione delle Linee Guida che rispondono a criteri di natura più “gestionale” che ingegneristica della difesa delle coste, è utile fare riferimento allo schema generale, di seguito riportato, delle azioni di mitigazione ed adattamento all’erosione costiera di cui al Cap II (Problematica erosione e necessità di gestione).



Nel quadro delle strategie per la mitigazione dell’erosione costiera (quando si agisce sulle cause) e adattamento a tale fenomeno (quando si agisce per contenere gli effetti), le opere di difesa possono essere inserite nelle azioni tese alla riduzione delle perdite e, indirettamente, in quelle che sono le azioni di ri-alimentazione delle spiagge.

In effetti la ri-alimentazione delle spiagge non difende le spiagge ma le ricrea in sostituzione, spesso, di quell’alimentazione naturale che

avveniva in precedenza e che, per svariate cause, si è ridotta o interrotta.

La distinzione a livello gestionale delle due tipologie di interventi è evidente:

- dalle opere di difesa ci si aspetta una riduzione locale dell’erosione costiera ma non ci si può aspettare in generale una rigenerazione degli arenili erosi (se non a discapito di altri arenili); le opere poste a difesa di una spiaggia devono quindi essere in generale affiancate da interventi di ri-alimentazione se si vuole raggiungere una spiaggia di progetto, ritenuta necessaria per il recupero della funzionalità originaria, ed affiancati altresì da una ri-alimentazione di manutenzione se permane comunque un trend erosivo;
- dalla ri-alimentazione degli arenili ci si aspetta una ricostruzione delle spiagge ed un recupero della loro funzionalità ma non ci si può attendere una riduzione del fenomeno erosivo in quanto non si incide sulle condizioni che lo hanno determinato e che continuano a sussistere; gli interventi di ri-alimentazione, per mantenere la spiaggia di progetto, devono quindi essere ripetuti con una intensità pari al trend erosivo registrato.

Con tale suddivisione rimane molto più chiaro cosa ci si può attendere da una tipologia di intervento e cosa non è possibile ottenere, aiutando le Amministrazioni ad orientarsi tra le diverse tipologie di opere in relazione al tipo di obiettivo da raggiungere.

Nel seguito gli interventi verranno analizzati e descritti secondo questo schema che, fra l’altro, ha il pregio di includere anche quelle soluzioni meno consuete, inquadrandone i principi funzionali nell’ambito delle soluzioni “classiche”, al fine di una migliore comprensione dei loro reali caratteri innovativi.

1.1. INTERVENTI DI PROTEZIONE E PER LA RIDUZIONE DELLE PERDITE DI SEDIMENTI

1.1.1. Criteri generali

Mantenendo lo scopo di una classificazione dal punto di vista “gestionale” delle opere di difesa costiera, è utile differenziare i diversi principi funzionali su cui tali opere si basano in modo da poterle inquadrare dal punto di vista degli effetti attesi e delle implicazioni.

Tenendo presente che ogni classificazione comporta delle necessarie semplificazioni e che talune opere includono diversi principi funzionali, sono comunque distinguibili due grandi categorie di opere i cui principi funzionali prevalenti rispondono alle seguenti descrizioni:

- Opere che tendono a ridurre il moto ondoso incidente sul tratto di costa in erosione. Questo genere di opere fonda il proprio principio di funzionamento sullo smorzamento del moto ondoso incidente, creando una zona di relativa “calma” verso la costa e riducendo quindi indirettamente il trasporto solido che generava erosione. Dalla soluzione estrema delle barriere radenti alla costa stessa, alle barriere distaccate emerse fino alle barriere distaccate sommerse (in massi naturali o elementi artificiali prefabbricati), queste opere agiscono prevalentemente sul moto ondoso dissipandolo in maggiore o minore misura mediante il frangimento “anticipato” o le resistenze idrauliche che si innescano nei flussi e riflussi attraverso la porosità della barriera. Nella zona di relativa calma retrostante, laddove le opere non sono radenti, le condizioni di trasporto solido mutano ed in genere (se non si innescano fenomeni indesiderati come forti correnti di “rip”) si ha la deposizione della sabbia proveniente dalle zone limitrofe non protette (generando quindi fenomeni di erosione) con progradazione della spiaggia o addirittura la formazione di tomboli. I pennelli che vengono a volte realizzati a tergo delle barriere, svolgono una funzione di contenimento delle correnti di rip, esercitando tuttavia anche un’azione di trattenimento del trasporto solido longitudinale. Le barriere distaccate possono interferire direttamente anche sul trasporto solido trasversale (con diverse ed alterne dinamiche) ma la loro funzione principale rimane quella di ridurre il moto ondoso incidente nel tratto di costa retrostante.
- Opere che tendono ad intercettare il trasporto solido. Queste opere non tendono a ridurre il moto ondoso incidente ma sono realizzate principalmente per intercettare in maggiore o minore misura il trasporto solido. Tra queste opere possono essere inclusi tipicamente i pennelli ma anche opere non convenzionali come i sistemi drenanti. L’obiettivo è quello di bloccare il trasporto solido longitudinale in un certo tratto di costa con la conseguenza di ridurre significativamente l’alimentazione dei tratti di spiaggia sottoflutto con possibile innesco di fenomeni erosivi.

Queste due categorie generali di opere riescono ad includere la maggior parte degli interventi tesi a ridurre le perdite di sedimenti che nel seguito vengono descritti più nel dettaglio.

1.1.2. Difese distaccate

Le difese distaccate (o barriere distaccate) sono costruite ad una certa distanza dalla linea di riva per proteggere le coste dall’impatto diretto delle onde. Generalmente hanno un andamento parallelo alla costa, e sono realizzate con giaciture planimetriche diverse in funzione del settore direzionale principale delle onde. Esplicano la loro funzionalità creando una zona di bassa agitazione (o zona d’ombra) a tergo delle strutture. Gli effetti principali consistono nella riduzione dell’energia delle onde che insistono sulla riva, per i fenomeni di riflessione, diffrazione e frangimento in corrispondenza delle barriere.

Tali opere sono costituite da strutture fisse, isolate o realizzate in serie intervallate da varchi. In base alla quota di coronamento (quota di cresta) rispetto al l.m.m. sono distinte in emerse (opere che separano in modo netto le acque costiere dal mare aperto) e sommerse (opere a cresta bassa). La profondità di imbasamento delle barriere varia, in funzione delle condizioni progettuali, e coincide all'incirca con quella della barra naturale che si forma durante le mareggiate più frequenti.

Queste opere presentano una sezione trasversale trapezoidale e sono costituite da una fondazione, da un nucleo di rocce di piccole dimensioni, da uno strato esterno protettivo (mantellata), caratterizzato da massi naturali o artificiali (unità in cemento) e da un elemento di protezione al piede sul lato mare. Si ricorre ai massi in cemento per opere in condizioni di moto ondoso intenso, o nei casi in cui non si disponga di idonee cave di prestito. La natura e la disposizione del materiale di cui è costituito lo strato esterno della barriera incidono sulla dissipazione dell'energia dell'onda incidente e quindi sull'aliquota dell'energia riflessa.

Qualora il fondo sia costituito da materiale incoerente e le geometrie delle opere siano appositamente predisposte, la protezione favorisce i processi di sedimentazione dietro le barriere e, quindi, la formazione di protondimenti della spiaggia, salienti o tomboli, che raccordano la spiaggia con le barriere.

E' opportuno osservare che le barriere, soprattutto quelle emerse, possono limitare la fruibilità e lo sviluppo turistico e socioeconomico di zone costiere di interesse per la balneazione (provocando ad es.: depauperamento del paesaggio, formazioni di correnti di ritorno pericolose per la balneazione e per la stabilità delle testate della barriera e peggioramento della qualità delle acque nella zona protetta).

Una variante di adozione australiana sono le cosiddette "**headlands**" (punto fisso della costa), costituite da barriere tra loro opportunamente distanziate. In questo caso, la vicinanza della struttura alla riva facilita la formazione di tomboli, lo scalzamento al piede della struttura, l'erosione delle spiagge vicine e la creazione di baie crenulate. Tali opere sono realizzate in aree in cui il fronte d'onda insiste sulla costa mediamente in modo obliquo, siano esse rettilinee, concave o convesse.

Anche le **piattaforme-isola**, scogliere artificiali di forma pressoché circolare, possono svolgere funzioni analoghe alle barriere. In questo caso, la forma circolare consente un rapido smorzamento dell'onda riflessa, limitando i fenomeni di scalzamento al piede della struttura lato mare e le variazioni del profilo di spiaggia. Tali strutture riducono solo marginalmente il flusso sedimentario nella zona protetta e nella fascia adiacente. Se ben progettate possono portare alla formazione di salienti e tomboli appena emergenti e con un'interferenza solo parziale con il trasporto lungo riva.

I principali effetti conseguenti alla presenza delle opere distaccate, emerse e sommerse, sono:

- ⇒ spostamento verso il largo della corrente litoranea e formazione di una barra sabbiosa ad una certa distanza dalla linea di riva;
- ⇒ creazione di discontinuità nel trasporto solido litoraneo e conseguente riduzione dell'apporto di sedimenti dalla spiaggia protetta ai litorali limitrofi, con eventuale innesco/accentuazione del fenomeno erosivo nel litorale sottoflutto; si evidenzia, tuttavia, che questo effetto è più rilevante nel transitorio, nella fase immediatamente successiva alla realizzazione delle opere, ma può essere molto attenuato una volta raggiunta una nuova situazione di equilibrio, a meno che la capacità di trasporto solido sottoflutto non rimanga superiore all'alimentazione proveniente da sopraflutto; aumento della torbidità dell'acqua e della deposizione della frazione sedimentaria più fine, a causa della ridotta azione delle onde (e quindi del minor ricambio idrico) a tergo delle strutture;
- ⇒ scalzamento al piede della struttura sul lato mare (soprattutto a seguito di progettazione e realizzazione inaccurata).

Barriere distaccate emerse

Le barriere distaccate emerse hanno la quota di coronamento superiore al l.m.m. e sono tracimabili solo in determinate condizioni meteo-marine. Esse danno luogo a zone di calma a tergo delle opere. Per la protezione di lunghi tratti di costa, sono tipicamente realizzate in serie intervallate da varchi, per consentire l'accesso al mare e agevolare il ricambio idrico a tergo. La presenza di varchi, in particolare, innesca la diffrazione delle onde incidenti. Il dimensionamento dell'opera condiziona la formazione di tomboli nella zona protetta.

I principali effetti delle opere distaccate emerse sono i seguenti:

- ⇒ deposizione nella zona protetta ed erosione in corrispondenza dei varchi; in particolare, si può ottenere una configurazione festonata della linea di costa con formazione di tomboli;
- ⇒ variazioni morfologiche nel sistema spiaggia-duna, con eventuale formazione di nuove avandune nel retro-spiaggia, soprattutto nel caso di formazione di tomboli stabili;
- ⇒ locale approfondimento dei fondali per la formazione di correnti di ritorno (rip currents) che si instaurano, in corrispondenza dei varchi, per compensare il trasporto di massa verso riva che avviene quando si ha la tracimazione delle strutture;
- ⇒ nel caso in cui si formi un tombolo che collega la struttura alla spiaggia, il trasporto litoraneo viene interrotto come avviene con i pennelli, con forte impatto sul tratto di litorale posto sottoflutto (Bownan e Pranzini, 2003).
- ⇒

Barriere distaccate sommerse

Le barriere sommerse hanno la quota di coronamento inferiore al l.m.m., quindi, rispetto alle barriere emerse sono normalmente tracimabili dal moto ondoso e riducono l'impatto visivo. Possono però emergere in condizioni di bassa marea, pertanto, nella fase di progettazione, è importante un'accurata analisi della variazione dei livelli marini, in funzione degli obiettivi di assetto e di protezione del litorale che si vogliono raggiungere. Basano il loro funzionamento sui fenomeni di rifrazione e di *shoaling*. In linea di principio sono continue, ma possono essere intervallate da varchi (es. per esigenze di accesso sicuro al mare aperto delle piccole imbarcazioni).

In presenza di varchi i fenomeni di diffrazione e rifrazione delle onde in prossimità delle testate favoriscono la deposizione dei sedimenti a tergo della struttura con meccanismi simili, anche se meno marcati, di quelli che si hanno in presenza delle barriere emerse.

Generalmente sono realizzate su bassi fondali, ma la profondità di imbasamento (e quindi anche la distanza dalla linea di riva) può variare molto con la scelta di collocare la barriera al di fuori o internamente alla zona naturale dei frangenti. Diversamente da un sistema di elementi emersi, le barriere sommerse consentono una maggiore agitazione ondosa a riva, che agevola il ricambio idrico nelle zone protette. Inoltre, la risposta dei litorali alla presenza dell'opera porta alla formazione di una linea di riva più regolare, nel caso di strutture lunghe e ininterrotte, e di una linea di riva ad andamento festonato, nel caso di scogliere più brevi e intervallate da varchi. In generale, le variazioni indotte sui processi costieri (riduzione del trasporto solido trasversale e longitudinale, variazioni dell'andamento della linea di riva, aumento della torbidità nei settori protetti) sono di minore entità rispetto a quanto osservato nel caso di barriere emerse.

I principali effetti delle opere distaccate sommerse sono:

- ⇒ fissare la linea dei frangenti e determinare la dissipazione selettiva dell'energia delle onde;
- ⇒ favorire il contenimento dei sedimenti sul fondo, facilitandone il flusso verso riva e ostacolandone il trasporto verso il largo;
- ⇒ innalzamento del livello medio marino e possibile incremento della velocità delle correnti litoranee a

tergo delle opere, conseguente al trasporto di massa verso riva legato alla tracimazione delle onde, in particolare durante intense mareggiate.

Parte degli effetti osservati nel caso delle barriere emerse vengono mantenuti, ma in forma attenuata, nel caso di barriere emerse con varchi.

1.1.3. Scogliere permeabili con elementi artificiali

Nel corso del tempo sono state sviluppate delle tipologie di interventi, classificabili come "non convenzionali", per l'impiego sia di nuovi materiali (es. geotessuti, polipropilene ecc.) sia di nuove tecnologie (es. sistemi per catturare energia dal moto ondoso). Le soluzioni "non convenzionali" si prefiggono lo scopo di salvaguardare le coste e di essere realizzate in modo sostenibile. Molte di queste opere sono utilizzabili ad integrazione o in alternativa delle più comuni soluzioni classiche.

La valutazione di queste opere quindi in termini di efficacia rispetto al fenomeno erosivo che si vuole contrastare, viene condotta con gli stessi metodi (modellistici, empirici, ecc.) impiegati per le barriere convenzionali, tenendo conto, laddove possibile, di alcune specificità legate, ad esempio, alla loro permeabilità.

Le scogliere sommerse possono essere realizzate con elementi artificiali di varie caratteristiche, materiali, forme e dimensioni. Sono generalmente permeabili al moto ondoso e alla circolazione idrica e svolgono diverse funzioni sia come trappole locali per i sedimenti sia di rifugio della fauna ittica demersale. In alcune di esse, ad esempio, la forma a campana o piramidale e la superficie forata dei singoli elementi favoriscono la colonizzazione da parte di varie specie, oltre a trattenere i sedimenti per effetto delle turbolenze che si creano a livello locale. Di solito sono fabbricati in acciaio, cemento o fibra di vetro e combinati in diverse configurazioni.

Di recente diffusione è l'utilizzo delle stampanti 3D per creare barriere con blocchi "prefabbricati", difficilmente realizzabili con le tecniche tradizionali. Il sistema di stampa 3D permette di realizzare elementi tridimensionali diversi (per forma, dimensioni, colore, porosità, etc.) a partire da materiali differenti (quali ad esempio sabbie locali) e quindi facilmente integrabili con il fondale. Inoltre, poiché i diversi materiali utilizzabili sono cementificati con cloruro di magnesio esaidrato, le caratteristiche strutturali e la resistenza degli elementi migliorano con la permanenza in acqua salata.

Rispetto alle scogliere artificiali tradizionali (moduli prefabbricati in CLS, acciaio o fibra di vetro), questo sistema permette di ridurre i tempi di realizzazione, il materiale di scarto derivante dalla lavorazione e gli impatti ambientali attesi in fase di cantiere, poiché le caratteristiche del processo produttivo consentono di realizzare cantieri mobili in prossimità dell'area d'intervento. Inoltre, lungo l'intero ciclo di vita di queste opere, il manufatto può favorire l'aumento o il mantenimento della biodiversità locale, costituendo substrati più idonei alla colonizzazione degli organismi bentonici e per le aree di nursery, e la sua naturale disgregazione rilasciare infine la stessa sabbia di cui è costituito il fondale marino.

Peraltra ancora non esistono applicazioni pratiche significative per la verifica di questi vantaggi di natura ambientale ed esecutiva.

Gli effetti dissipativi dell'energia del moto ondoso sono paragonabili a quelli esercitati da massi naturali dello stesso volume ma occorre tener conto delle verifiche sulla stabilità in relazione al minore peso specifico.

1.1.4. Barriere in geotessuto

I Geotubi e Geocontainer sono strutture tubolari costituite da un involucro in geotessuto, polipropilene o poliestere, riempito con sedimenti di diversa natura. I Geotubi, caratterizzati da lunghezza e diametro pari

rispettivamente a circa 20 m e 3 m, sono particolarmente indicati per fondali profondi, mentre i Geocontainer, di dimensioni inferiori, sono tipicamente adottati a profondità inferiori e si prestano in particolar modo per interventi emergenziali radenti.



Questa tipologia di barriere è spesso impiegata come rivestimento di pendii verso il mare o come strutture sotto costa. Tuttavia, rispetto ad altre strutture, i costi di realizzazione sono piuttosto variabili a causa della difficoltà di posizionamento.

La durata dell'intervento dipende dalle caratteristiche tecniche del materiale geotessile, e quindi dall'entità della degenerazione provocata dal sole e dall'attacco del moto ondoso. Infatti, nonostante negli ultimi anni la resistenza dei materiali sia stata notevolmente incrementata, questi sistemi sono spesso soggetti a danneggiamenti che portano alla fuoriuscita del materiale contenuto all'interno dei contenitori e, conseguentemente, alla generazione di potenziali impatti, anche visivi.

Gli effetti ambientali sono riconducibili principalmente alla fuoriuscita del materiale in caso di rottura dei contenitori di geotessile. Al fine di limitare l'entità di questi effetti (i.e.

intorbidimento delle acque e pericolo di contaminazione) è preferibile utilizzare, qualora possibile, la sabbia locale per il riempimento (Jackson et al, 2002).

1.1.5. Sistemi di assorbimento e sfruttamento dell'energia del moto ondoso

Negli ultimi decenni hanno avuto un notevole sviluppo i sistemi per la produzione di energia dal moto ondoso e dalle correnti che, oltre ad essere delle interessanti alternative per la produzione da fonti rinnovabili, possono essere un valido sostegno per la difesa delle coste. Catturando infatti l'energia delle onde, queste centrali riducono l'impatto sulla costa e i conseguenti fenomeni erosivi locali.

Tali opere, concepite per lo sfruttamento energetico del moto ondoso e quindi non finalizzate specificatamente alla risoluzione dei fenomeni erosivi, devono essere considerate alla stregua di barriere sommerse che hanno il vantaggio di ridurre il moto ondoso incidente, se efficaci, con minori frangenti (assorbimento dell'energia da organi meccanici) e quindi con minori correnti di rip

In ogni caso valgono le stesse considerazioni circa le barriere sommerse ed i limiti delle stesse nell'evitare di esportare l'erosione nei tratti limitrofi a quelli protetti.

Considerando che lo sviluppo delle tecnologie in questo campo mira senz'altro a rendere più efficiente la prestazione energetica nonché a curare gli aspetti di durabilità di queste opere piuttosto che a valorizzare la loro efficacia in termini di riduzione dell'erosione costiera, si rimanda alle trattazioni specializzate per maggiori dettagli.

1.1.6. Difese aderenti

Le difese aderenti vengono realizzate mediante il posizionamento di strutture rigide o semi-rigide parallele e aderenti alla linea di costa, che possono estendersi sulla fascia emersa. Tali opere sono spesso realizzate in condizioni di emergenza e con una estensione limitata ai soli tratti di costa in erosione. Sono molto efficaci nel mitigare l'azione meccanica ed erosiva delle onde incidenti e nel prevenire le inondazioni dovute a forti mareggiate. Sono classificabili in opere aderenti rigide e morbide. L'aspetto che contraddistingue questo genere di opere è che, per impedire ulteriori regressioni della linea di costa, si rinuncia, in maniera totale o parziale, alla spiaggia emersa sostituendo ad essa elementi naturali o artificiali di maggiore stabilità.

Alle **difese aderenti morbide** appartengono le strutture di stabilizzazione di arenili a matrice prevalentemente sabbiosa, consistenti in una copertura di materiale ghiaioso o ciottoloso (ripascimenti artificiali in ghiaia/ciottoli). Queste opere sono realizzate in siti particolarmente critici per la salvaguardia e la messa in sicurezza delle infrastrutture a ridosso dell'arenile. L'impiego di materiale più grossolano



aumenta la stabilità dell'arenile perché favorisce l'assorbimento dell'energia del flutto montante. Nel contempo, si ha la classazione verticale del materiale per effetto del rimaneggiamento operato dalle onde. Ciò porta ad una maggiore ripidità del profilo di spiaggia, in particolare nella fascia di raccordo fra la cresta di berma e la battigia, ed alla formazione di una cresta di berma che tende ad accrescersi con l'accumulo di ghiaia, soprattutto dopo eventi di tempesta, fino a costituire una sorta di barriera.

Appartengono alle **difese aderenti rigide** i rivestimenti con mantellate di massi naturali e artificiali, le scogliere radenti, i muri di sponda e gli argini a mare. La presenza del rivestimento delle opere radenti rigide anzitutto elimina, o almeno riduce, la tracimazione delle onde. In secondo luogo, in funzione della scabrezza della superficie, può aumentare (o ridurre) la risalita del flutto montante e, nel contempo, accentuare i fenomeni di riflessione (o dissipazione) dell'energia d'onda. Si assiste, inoltre, ad un cambiamento del profilo di spiaggia (emersa e sommersa), per il possibile scalzamento al piede della struttura ed il conseguente trasporto dei sedimenti verso il largo ad opera delle onde riflesse. Ciò può portare alla perdita dei sedimenti trasportati oltre la profondità di chiusura, soprattutto nel caso di eventi meteo-marini di particolare intensità. Da questo possono scaturire possibili ripercussioni sugli scambi di sedimento tra spiaggia emersa e sommersa e, nei casi di una componente obliqua del moto ondoso, sull'estensione della spiaggia emersa nei tratti di costa adiacenti. Su coste con scarsa alimentazione da parte dei fiumi si può verificare, nel lungo periodo, un generalizzato abbassamento dei fondali lato mare e, in casi molto particolari, la ricostruzione di una spiaggia antistante la barriera. La descrizione dettagliata dei principali tipi di opere radenti (rivestimenti, scogliere aderenti, muri di sponda e argini a mare) può essere approfondita mediante consultazione di pubblicazioni precedenti.¹⁷⁴

¹⁷⁴ e.g. U.S. Army Corps of Engineers 2011 - APAT 2007 - Paganelli et al., 2015

1.1.7. Difese trasversali

Le difese trasversali sono opere rigide con la funzione primaria di intercettare le correnti litoranee ed interrompere, totalmente o parzialmente, il trasporto solido longitudinale. Generalmente trovano immediata applicazione in presenza di moto ondoso incidente obliquo alla costa e, pertanto, hanno un andamento planimetrico ortogonale o leggermente obliquo rispetto alla linea di riva.

Pennelli

I pennelli sono utilizzati lungo i litorali in erosione caratterizzati da un significativo trasporto solido longitudinale. Hanno la funzione di intercettare le correnti litoranee, permettendo l'avanzamento della spiaggia, o almeno il rallentamento dei fenomeni erosivi, nel tratto sopraflutto. Possono essere isolati oppure formare un campo (o sistema) di pennelli e, a seconda del contesto e della finalità dell'intervento, possono avere un andamento (spezzato, rettilineo o curvo) e una geometria (lunghezza, altezza, forma, spaziatura e allineamento) molto variabili.

Generalmente i pennelli presentano sezione trasversale trapezoidale, sono composti da uno strato di fondazione stabile (basamento), da un nucleo centrale e da uno o più strati di rivestimento esterno (mantellata o armatura) e da una sovrastruttura (coronamento). Il rivestimento esterno dei pennelli può essere realizzato con elementi naturali o artificiali di pezzatura adeguata, disposti in modo idoneo per sopportare le sollecitazioni ondose. Generalmente sono realizzati con massi naturali (*tout-venant*) e artificiali, meno frequentemente con altri materiali quali sacchi di sabbia, pali (di legno trattato, cemento o palancole), etc.

I pennelli sono definiti emersi, se la quota di coronamento è posta ovunque al di sopra del l.m.m., e parzialmente sommersi, se la quota di coronamento degrada da valori positivi a valori negativi procedendo da riva verso il largo. Dalla quota di sommergenza dipende anche il grado di permeabilità: a parità di profondità raggiunta dalla testata dell'opera, un pennello parzialmente sommerso è naturalmente più permeabile al trasporto solido longitudinale.

Tipicamente, i pennelli danno luogo alla formazione di protendimenti di spiaggia nella zona sopraflutto e di arretramenti, più o meno marcati, nella zona sottoflutto. Questo squilibrio è generalmente transitorio, e si stabilizza nella misura in cui l'accumulo nella zona sopraflutto raggiunge la saturazione. Diverso è il caso rispetto alla zona di sottoflutto all'ultimo pennello dove, se sussiste una capacità di trasporto longitudinale, l'erosione proseguirà ed in forma molto più intensa di quanto fosse prima della realizzazione dei pennelli (non usufruendo più dei quantitativi di sabbia provenienti da sopraflutto). Tale squilibrio può quindi essere opportunamente compensato mediante ripascimento nella zona sottoflutto. L'avanzamento della linea di riva sopraflutto è contraddistinto dalla presenza di sedimenti di granulometria maggiore e, quindi, da un irripidimento del profilo di spiaggia. Ciò porta anche ad una variazione della granulometria dei sedimenti e del profilo della spiaggia sottoflutto per la riduzione della capacità di carico delle correnti litoranee sopraflutto.

Se la difesa è costituita da una schiera di pennelli si genera una periodicità spaziale del trasporto solido longitudinale e la linea di riva assume la tipica configurazione a "dente di sega". Tale andamento può essere attenuato nei casi in cui la variabilità della direzione delle onde incidenti favorisce la formazione di profili tondeggianti o concavi tra i pennelli.

Nel caso di schiera di pennelli, per evitare di "inseguire" l'erosione è raccomandabile iniziare la costruzione del primo pennello procedendo in verso opposto alla deriva litoranea. Questa tecnica che "massimizza" l'intercettazione di flusso sedimentario da parte dei pennelli, può essere adottata laddove sottoflutto al primo pennello sussistano delle condizioni che rendono possibile tale operazione. In effetti se

l'intercettazione totale del flusso sedimentario favorisce l'"intrappolamento" di sabbia fra i pennelli, di contro "massimizza" gli effetti erosivi sottoflutto al primo pennello.

Tuttavia la realizzazione di pennelli "a secco" ovvero senza ripascimento, è fortemente sconsigliabile in molte circostanze in quanto non può (per ovvie ragioni) generare un avanzamento medio della linea di costa né una stabilizzazione della stessa se non si interviene lungo tutta l'unità fisiografica o almeno fino a dove è presente una capacità di trasporto longitudinale da parte del moto ondoso incidente, circostanze in verità non molto frequenti.

Nel caso auspicabile in cui si dovesse realizzare una serie di pennelli prima di un intervento di ripascimento, l'obiettivo dei pennelli diventa quello di "trattenere" la sabbia che verrà successivamente apportata (quanto prima) e da questo punto di vista è meglio "inseguire" l'erosione, distribuendola lungo il tratto di intervento, piuttosto che esacerbarla in corrispondenza del pennello di sottoflutto.

La spaziatura (o interasse) tra i pennelli è un parametro geometrico/strutturale che incide notevolmente sull'entità degli effetti prodotti da tali opere sulla dinamica costiera. Il rapporto tra l'interasse e la lunghezza dei pennelli è anch'esso un parametro importante perché regola la capacità di intercettazione del trasporto solido longitudinale e la stabilizzazione della linea di riva.

Gli effetti principali dei pennelli sulla locale dinamica costiera, di entità variabile in funzione delle caratteristiche geometrico/strutturale dell'opera e della direzione media delle onde, sono:

- ⇒ ostacolo per il trasporto solido litoraneo, con accrescimento sopraflutto ed accentuazione (più o meno marcata) del processo erosivo sottoflutto;
- ⇒ deformazione della linea di riva, che tende ad orientarsi ortogonalmente alla direzione media del moto ondoso sottocosta;
- ⇒ possibile erosione al fianco con aggiramento della radice dei pennelli, che può compromettere la stabilità della struttura, se i pennelli non sono correttamente ammorsati alla spiaggia.

Tra i principali tipi di pennelli si annoverano i pennelli impermeabili, permeabili e compositi.

I **pennelli impermeabili** possono essere realizzati con massi naturali o artificiali. Se emergenti e di lunghezza considerevole, tale da interrompere completamente il trasporto solido litoraneo, sono definiti "pennelli terminali". In questi casi si possono instaurare correnti di ritorno con possibile trasporto verso il largo dei sedimenti accumulati sopraflutto in prossimità della testata.

I **pennelli stabilizzatori** sono opere di dimensioni ridotte. Essi hanno la funzione di stabilizzare i lidi sabbiosi e di obbligare il profilo costiero a mantenere un certo andamento, senza impedire il trasporto solido longitudinale. La loro realizzazione può rallentare il flusso longitudinale dei sedimenti, con effetti su una ristretta fascia della spiaggia emersa (a pochi metri oltre la battigia) e sommersa, ma non influiscono sul trasporto dei sedimenti nella zona dei frangenti.

I **pennelli di transizione** sono progettati quando deve essere garantita la presenza di una spiaggia naturale (zona di transizione) contigua a quella protetta da un campo di pennelli. La parte terminale del sistema di pennelli rispetto alla direzione della corrente litoranea viene realizzata diminuendone gradualmente la spaziatura e la lunghezza (tecnica del tapering). Questo favorisce la riduzione degli effetti delle opere sul litorale.

I **pennelli permeabili** possono essere realizzati con massi naturali senza nucleo o con pali distanziati (di legno o in cemento) uniti da elementi prefabbricati o con gabbioni. Il grado di permeabilità del pennello influisce sul flusso e sulla deposizione dei sedimenti su entrambi i lati. La permeabilità può anche essere ottenuta mediante pennelli sommersi e/o segmentati. I pennelli permeabili favoriscono la diminuzione del

flusso longitudinale dei sedimenti, garantendo la permanenza del materiale grossolano sopraflutto ed al contempo la minore asportazione di detriti sabbiosi dal lato sottoflutto. Una volta insabbiati essi sono scavalcati (oltre che aggirati alla testata come i pennelli impermeabili) dal flusso dei sedimenti, permettendo il passaggio della componente granulometrica utile alla formazione della spiaggia. Questo limita l'erosione delle spiagge sottoflutto, che subiscono le conseguenze di un deficit sedimentario solo nella fase iniziale di riempimento, e lo sviluppo di una linea di riva a dente di sega.

I **pennelli compositi** sono dotati di segmenti laterali aggiunti alla sezione principale, che rendono la struttura più dissipativa e favoriscono la formazione di celle di circolazione che garantiscono un maggior sviluppo dell'arenile su entrambi i lati. Possono avere diverse configurazioni (inclinati, dentellati, con forma a T, a Y, etc.) ed assolvono la funzione di far conformare la linea di riva verso un equilibrio più stabile. Le strutture laterali, inoltre, prevengono i fenomeni di scalzamento al piede e, riparando la spiaggia sottoflutto, favoriscono l'accumulo di sedimenti e quindi un maggiore avanzamento della linea di riva alla radice sottoflutto della struttura.

L'utilizzo di pennelli a T (eventualmente con elementi longitudinali sommersi) è indicato in situazioni con limitato apporto di sedimenti e in spiagge soggette a onde di tempesta con attacco ortogonale alla costa. La risposta funzionale di un'opera trasversale a T è identica a quella di una barriera distaccata con tombolo (in assenza di tombolo la riduzione del trasporto sottoflutto è potenzialmente minore).

In zone poco alimentate dal trasporto solido fluviale o litoraneo questo tipo di opere possono provocare un abbassamento lento ma costante dei fondali antistanti dovuto alle modifiche indotte al campo di correnti sotto costa.

1.1.8. Sistemi di drenaggio

I sistemi di drenaggio basano il loro principio di funzionamento sul fatto che i sedimenti ben drenati sono più stabili e, pertanto, trovano applicazione in coste basse e sabbiose. Questi sistemi prevedono l'abbassamento della superficie freatica con la finalità di creare una zona non satura all'interno della falda. Il drenaggio delle sabbie viene indotto tramite l'inserimento di tubi drenanti in trincee ricavate in corrispondenza della linea di riva, nella zona di risalita delle onde (*swash zone*), e collegati ad una stazione di pompaggio per l'eliminazione dell'acqua.

I sistemi di drenaggio, tramite l'eliminazione dell'acqua, riducono la fluidificazione delle sabbie ed al contempo incrementano la capacità della spiaggia di assorbire l'energia del moto ondoso. Viene favorita così la deposizione della sabbia e l'ampliamento della berma.

In fase progettuale va eseguito uno studio accurato per valutare l'idoneità del contesto di intervento a questo tipo di opera ed il netto del materiale da movimentare. Un contesto non idoneo (es. granulometria troppo fine) potrebbe rendere inefficace il drenaggio.

I sistemi di drenaggio sono stati installati e monitorati in numerosi litorali nazionali, allo scopo di valutarne il funzionamento, gli effetti e le condizioni di manutenzione. Si ricorda, a titolo di esempio, il sistema realizzato ad Ostia (Roma) nel 2001 e dismesso nel 2003 a causa dei danni procurati da una mareggiata. Il monitoraggio di questo sistema ha messo in evidenza come il problema della manutenzione sia un aspetto di particolare rilevanza per questo tipo di intervento.¹⁷⁵

¹⁷⁵ Progetto "Drenaggio delle Spiagge – BMS del 2003", dettagli costruttivi e azioni di monitoraggio.

Su di un intervento realizzato ad Alassio (Liguria) è stato effettuato un monitoraggio per un anno attraverso *webcam*, rilievi batimetrici ed analisi sedimentologiche: l'effetto del drenaggio non è stato giudicato sufficiente a stabilizzare l'arenile (Bowman et al., 2007).

1.1.9. Aspetti ambientali connessi alla realizzazione delle opere

Tutte le modifiche 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, sugli habitat e sulle specie.

L'ambiente fisico subisce gli effetti dell'erosione principalmente in termini di variazione della natura del fondo, mentre gli effetti di movimentazione di sedimenti che includono anche i ripascimenti e le opere di difesa costiera in genere, sono principalmente riconducibili alle variazioni 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. Tali variazioni si ripercuotono sull'ecosistema marino in generale, alterando, in particolare, struttura e funzione dei popolamenti e degli habitat presenti.

Difese rigide

Gli effetti generati sugli ambienti di spiaggia a seguito della realizzazione di sistemi di difesa rigidi sono abbastanza conosciuti per quanto concerne le barriere aderenti e le barriere distaccate (Jaramillo et al., 2002; Chapman e Bulleri 2003, Martin et al. 2005; Dugan e Hubbard, 2006; Dugan et al. 2011; Rizkalla e Savage, 2011). Meno studiati risultano essere invece gli effetti associati alla presenza di pennelli, e più in generale di difese trasversali (Pinn et al., 2005; Walker et al., 2008; Martins et al., 2009; Fanini et al., 2009; Pattiaratchi et al. 2009).

I principali effetti delle difese rigide comportano in genere cambiamenti, perdita e/o frammentazione di habitat, con conseguenti effetti non trascurabili sulla composizione delle comunità bentoniche presenti in termini di diversità, abbondanza, biomassa, relazioni intra e inter-specifiche e sulla struttura trofica (Fletcher et al., 1997; Meyer-Arendt e Dorvlo, 2001; Chapman e Bulleri, 2003; Goodsell et al., 2007, 2009; Martin et al., 2005; Moschella et al. 2005; Dugan e Hubbard, 2006; Bulleri e Chapman, 2010). In generale, le strutture artificiali sono caratterizzati da una ridotta eterogeneità ambientale che determina una bassa diversità degli organismi epibionti associati (Moschella et al., 2005). Infatti a micro-scala (< 1 cm), l'origine e la composizione dei materiali di cui sono fatte le strutture naturali così come la rugosità della loro superficie hanno importanti effetti sia sulla colonizzazione sia sul funzionamento delle comunità associate (Green et al., 2012), e allo stesso tempo a piccola (>10 cm) e media-scala (1-10 m), cavità, fessure e fori forniscono un rifugio per molte specie (Bracewell et al., 2012; Cartwright and Williams, 2012; Firth and Growe, 2008, 2010; Firth and Williams, 2010; Skov et al., 2011). Nelle difese rigide artificiali, invece, generalmente questi microhabitat mancano determinando l'assenza di molte specie. Anche la tipologia di materiali con cui le strutture artificiali vengono costruite, diversa da quella degli habitat naturali locali, può condizionare il reclutamento larvale e la loro performance di sopravvivenza (Green et al., 2012). Inoltre, le strutture rigide artificiali sono soggette generalmente ad alti livelli di pressioni naturali (e.g. mareggiate, abrasione da trasporto solido) e antropiche (e.g. calpestio, lavori di manutenzione, raccolta di organismi) che ne determinano una riduzione della qualità dell'habitat e un aumento delle specie opportuniste e/o invasive (Airoldi e Bulleri, 2011; Bracewell et al., 2013; Firth et al., 2011). E' noto, inoltre, che la presenza di difese rigide crea nuovi substrati duri all'interno degli ambienti marini caratterizzati da substrato mobile. Questi nuovi "patch" di substrato duro possono favorire l'insediamento e la successiva crescita di specie tipiche di fondi duri prima assenti (Bulleri et al., 2000; Chapman e Bulleri, 2003; Bertasi, et al., 2007), che, nel caso di

specie invasive, possono concorrere ad alterare i meccanismi di interazione interspecifica (Chapman e Bulleri, 2003; Bulleri e Airoidi, 2005; Moreira et al., 2006; Glasby et al., 2007; Bulleri e Chapman, 2010). Ad esempio alcuni Autori hanno osservato che l'introduzione di specie non indigene può comportare non solo la modificazione dell'habitat originario, ma anche una maggiore competizione tra le specie, generando effetti negativi sui popolamenti originari. Il fenomeno del grazing ("pascolo") sembra essere molto più alto e impattante sulle strutture artificiali (Ferrario, 2013; Perkol-Finkel et al., 2012).

La presenza di difese rigide può inoltre indurre effetti non trascurabili sulle comunità bentoniche quali l'alterazione degli apporti larvali e della disponibilità di cibo, a causa delle possibili variazioni idrodinamiche indotte dalla loro realizzazione, che può ostacolare il trasporto lungo costa (Pinn et al., 2005; Dugan e Hubbard, 2006; Walker et al., 2008).

In particolare, Moschella et al. (2005) riportano che seppur alcuni tipi di strutture, come le difese distaccate sommerse, sono considerate assimilabili a substrati rocciosi naturali, nella realtà esse sono solo dei surrogati (di substrati duri). Le comunità epibiotiche presenti su queste strutture, infatti, anche se qualitativamente simili a quelle dei substrati rocciosi naturali, mostrano delle differenze quantitative in termini di diversità e di abbondanza (Bulleri et al. 2000). Tale diversità è legata soprattutto a fattori dipendenti dalle caratteristiche della struttura, quali: la natura del materiale (legno, massi, blocchi in calcestruzzo ecc.), l'età (ovvero il tempo trascorso dalla posa dell'opera) e la geometria (orientamento ed esposizione), l'orientamento e l'esposizione, fattori determinanti nella strutturazione dei popolamenti presenti (Connel e Glasby, 1999; Glasby, 2000; Pinn, et al., 2005, Gacia et al., 2007).

Nello studio condotto da Martin et al. (2005), relativo agli effetti ecologici indotti dalle barriere distaccate sommerse, gli Autori hanno rilevato come a seguito della realizzazione di tali strutture si generino effetti negativi non trascurabili sui sedimenti e sull'infauna (lato verso terra), soprattutto in presenza di strutture addizionali o dopo un ripascimento. L'intensità degli effetti dipende principalmente dalla composizione del popolamento bentonico originario. In generale, è stato osservato un aumento di biodiversità riconducibile sia all'insediamento di nuove specie sul fondo duro artificiale, sia alle variazioni dei popolamenti indotte dalle variazioni granulometriche del fondo in prossimità della struttura. Inoltre, in aree dove la pendenza naturale della spiaggia sommersa è molto graduale, la messa in posa di strutture artificiali caratterizzate da pareti verticali o fortemente pendenti restringe l'habitat intertidale diminuendo il range di transizione tra acque basse e acque alte a pochi metri, determinando inevitabilmente conseguenze nei rapporti area-specie e generando differenze nella struttura e nella composizione specifica dei popolamenti bentonici locali (Knot, 2004; Virgilio et al., 2006; Vaselli et al., 2008). Le opere rigide di difesa possono, inoltre, fungere da aree di nursery per la fauna ittica presente, con conseguente incremento del numero di specie di interesse commerciale.

Walker et al. (2008) hanno studiato gli effetti prodotti dalla presenza di un pennello lungo circa 100 m e largo 10 m (Palm Beach, Queensland, Australia) sulla macrofauna bentonica. Gli Autori hanno osservato, come peraltro atteso, variazioni delle caratteristiche morfodinamiche della spiaggia e della granulometria dei sedimenti superficiali intorno al pennello; fino a una distanza massima di 10-15 m. Questi cambiamenti hanno determinato variazioni nella composizione delle comunità bentoniche su entrambi i lati del pennello, anche se tale effetto è risultato spazialmente limitato (osservato entro i 10 m). Inoltre, gli Autori hanno osservato effetti limitati a zone ristrette e in particolare un aumento dei valori di abbondanza nelle stazioni poste sopraflutto (deposizione) rispetto a quanto osservato in quelle sottoflutto (erosione).

Un altro effetto dovuto alla presenza di strutture rigide è la capacità di favorire l'aggregazione della fauna mobile, principalmente pesci (Sanchez-Jerez et al., 2002; Duffy-Anderson et al., 2003), fornendo disponibilità di cibo, rifugio dai predatori e siti idonei per la riproduzione e il reclutamento (Martin et al., 2005). Non è ancora chiaro se la presenza di strutture artificiali, oltre a favorire i popolamenti ittici a scala

locale, possa avere effetti positivi anche a scala più ampia (scala regionale) (Sanchez-Jerez et al., 2002, Duffy-Anderson et al., 2003; Martin et al., 2005).

La letteratura riporta, inoltre, che la variazione di habitat indotta da strutture rigide può avere effetti significativi non solo sulla distribuzione dei pesci della fauna ittica, ma anche su tartarughe e uccelli (Moiser e Witherinton, 2002; Dugan e Hubbard, 2006; Rice, 2006; Rizkalla e Savage, 2011). Dugan e Hubbard (2006) hanno osservato che questi effetti sono principalmente dovuti al restringimento della spiaggia superiore e alla diminuzione di resti organici, con effetti negativi soprattutto per gli uccelli che usano la spiaggia per alimentarsi. In particolare, la presenza di difese aderenti influenza negativamente il successo della deposizione e della schiusa delle uova della tartaruga marina *Caretta caretta*, come riportato in Rizkalla e Savage (2011).

In accordo con quanto riportato da Firth et al. (2013), complessivamente il valore ecologico delle aree costiere in cui sono state realizzate opere rigide di difesa costiera sembra risultare alterato e minore rispetto alle zone naturali, riflettendosi sulla diversità biologica a livello di specie, di comunità e a livello genetico, sia a scala locale che a scale regionale (Fauvelot et al., 2009, 2012). Pertanto, la realizzazione di tali opere, il cui primario obiettivo è quello della difesa costiera, alla luce delle conoscenze acquisite in merito agli effetti prodotti su specie e habitat, deve auspicabilmente prevedere una pianificazione delle opere che contempli il mantenimento della biodiversità secondo un approccio ecosistemico alla protezione delle coste.

Sistemi di drenaggio

Trattandosi di una metodologia non convenzionale, questa tipologia di intervento è poco studiata e sono ad oggi carenti le informazioni relative ai disturbi che può esercitare sull'ambiente costiero. Rispetto agli interventi di difesa costiera convenzionali, alcuni autori ritengono che i sistemi di drenaggio comportino limitati effetti di tipo fisico (ad es. Sato et al., 2003) ed ambientale (Ioannidis e Th. V. Karamba, 2007) riconducibili, per tipo ed entità, principalmente alla quota di immissione dei tubi, alla loro dimensione e distanza dalla linea di riva.

Con specifico riferimento ai potenziali effetti che possono aversi in corso d'opera sulle specie florofaunistiche, il Danish Geotechnical Institute evidenzia che, poiché la deposizione della sabbia non avviene improvvisamente bensì gradualmente, queste hanno la possibilità di adattarsi alle modifiche morfologiche del profilo di spiaggia, così come alle variazioni di densità, umidità e temperatura della sabbia. Inoltre, contrariamente agli effetti attesi sul comparto fisico e riportati in letteratura riguardo all'abbassamento del livello della falda, gli Autori non hanno riscontrato danni agli apparati radicali della vegetazione alofila presente sulla spiaggia e sulle dune costiere. Tuttavia si evidenzia che gli effetti di tale variazione non sono ancora del tutto noti.

1.2. INTERVENTI DI ALIMENTAZIONE CON SEDIMENTI DELLA FASCIA COSTIERA

1.2.1. Criteri generali

Con gli interventi basati sul criterio dell'alimentazione della fascia costiera non si cerca di contrastare il fenomeno erosivo mediante la riduzione della sua intensità (riducendo l'azione delle onde o trattenendo il deflusso di sedimenti) ma si opera semplicemente cercando di rimpiazzare le perdite di sedimento che si registrano su un tratto di costa con altri sedimenti di diversa provenienza.

Quindi gli interventi di alimentazione o ripascimento artificiale si fondano su tre presupposti:

1. Non riducendo i trend erosivi esistenti, è scontato aspettarsi che questi permangano e determinino quindi la cadenza con la quale gli stessi ripascimenti devono essere ripetuti per mantenere le dimensioni della spiaggia di progetto
2. Se le perdite di sedimento sono attribuibili ad un deficit di apporti sedimentari da parte del reticolo idrografico o per effetto di fenomeni quali la subsidenza, occorrerà rintracciare fonti di sedimento esterne all'equilibrio litoraneo con verifica della rispondenza del sedimento di nuovo apporto oppure, nel caso in cui si ricorra a risorse litoranee, occorrerà valutare se tali impieghi non generino ulteriori squilibri
3. Se le perdite sono attribuibili a scompensi dell'equilibrio litoraneo (interruzione del flusso sedimentario con opere e conseguente accrescimento sopraflutto ed erosione sotoflutto) è opportuno che i ripascimenti vengano attuati con operazioni di by-pass, ristabilendo l'equilibrio preesistente

Anche nel caso dei ripascimenti è fondamentale fare riferimento ad una spiaggia di progetto per verificare il fabbisogno ricostruttivo e manutentivo e confrontarlo con le risorse disponibili.

Particolarmente importante per la verifica della convenienza di un approccio basato sulla semplice alimentazione rispetto ad un intervento che includa anche l'inserimento di opere che contrastino l'erosione, è la comparazione economica delle diverse soluzioni (vedi Linee Guida Cap. IV.3.2) analizzate nel corso della loro vita utile mediante un flusso di cassa e l'esame dei rispettivi Valori Attuali Netti.

1.2.2. Ripascimenti artificiali

Il ripascimento artificiale consiste nel versamento sulla spiaggia (emersa o sommersa) di sabbia, o di altro materiale idoneo, con lo scopo di ricostruire o mantenere una spiaggia in erosione. Il ripascimento agisce sul bilancio dei sedimenti di un tratto di costa, rendendolo positivo o nullo. A differenza degli interventi di tipo rigido, il ripascimento presenta il vantaggio di non provocare sfavorevoli ripercussioni sul regime dei litorali adiacenti che, anzi, possono beneficiare dell'incremento degli apporti di sedimenti. Tuttavia, è bene ricordare che tale intervento non risolve alla radice il problema dell'erosione e che spesso occorre ripeterlo con sequenza ciclica a causa dell'azione erosiva del mare. Pertanto, i limiti sono legati alla disponibilità dei materiali adatti ed alla stabilità dell'intervento di ripascimento, nonché ai costi di realizzazione e manutenzione.

La scelta del materiale di riporto richiede la valutazione, sia dei requisiti di qualità e di granulometria dei sedimenti da impiegare, sia delle caratteristiche granulometriche, mineralogiche e cromatiche dei sedimenti originari del sito da ripascere. In particolare, l'intervento può essere eseguito utilizzando sedimenti provenienti da fonti diverse quali: depositi sedimentari marini relitti (DSMR), sedimenti

accumulati lungo costa, sedimenti accumulati nei bacini idrografici, materiali estratti da cave terrestri, etc. (si veda l'Allegato 3 per maggiori dettagli).

Una ulteriore alternativa è costituita dal prelievo diretto di materiali sabbiosi dai fondali marini ad una profondità superiore a quella di chiusura del moto ondoso incidente. Inoltre, il ripascimento di un tratto di spiaggia in erosione può essere ottenuto anche stoccando del materiale idoneo in prossimità del suo limite sopraflutto, sfruttando cioè i naturali processi di trasporto lungo riva per ridistribuire il materiale.

La stabilità dell'intervento è solitamente garantita prevedendo l'utilizzo di sedimenti della stessa granulometria, o di poco superiore, rispetto a quella originariamente presente in situ. Tuttavia, l'uso di materiali di granulometria maggiore di quella originaria (es. nel caso di utilizzo di sedimenti estratti da cave terrestri), sebbene più stabili e resistenti all'azione del mare, possono dar luogo ad una spiaggia meno fruibile di quella originaria e caratterizzata da profili più ripidi. Inoltre, non va sottovalutato l'aspetto turistico-ricreativo e le conseguenti ricadute dal punto di vista economico. Per tali motivi, l'utilizzo di pezzature superiori ai 2 mm (ghiaie) deve essere limitato a siti particolarmente critici e di dimensioni ridotte, dalla cui salvaguardia dipende anche la messa in sicurezza delle infrastrutture ubicate a ridosso dell'arenile (strade, linee ferroviarie, ecc.) ma in tal caso è più corretto parlare di difese aderenti morbide.

Spesso si ricorre al ripascimento protetto per cercare di migliorare l'efficacia dell'intervento, limitandone al contempo gli oneri di manutenzione. Il ripascimento protetto consiste nel versamento di sedimento all'interno di opere rigide (barriere, pennelli o entrambe) che, riducendo l'energia delle onde e la velocità delle correnti lungo la riva, hanno lo scopo di limitare le perdite di sedimento dal settore di costa da proteggere. 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 sulla morfodinamica dell'area di intervento e dell'unità fisiografica in cui si trova.

Generalmente l'inserimento delle opere rigide riduce ma non annulla l'esigenza di ripascimenti manutentivi (soprattutto sottoflutto agli interventi) e quindi diventa importante confrontare il beneficio ottenuto da tali opere (in misura della riduzione della manutenzione) con il loro costo.

In generale, il ripascimento dovrebbe accompagnare tutte le opere che abbiano capacità di intercettazione di materiale, in modo che, completata l'opera, il materiale in transito non venga trattenuto nell'intervento e proceda verso la regione sottoflutto, nella logica della saturazione.

Le indagini da eseguire in fase di progettazione di intervento di ripascimento riguardano diversi aspetti relativi alla dinamica litoranea dell'area su cui si interviene, quali:

- ⇒ il bilancio e la direzione del trasporto dei sedimenti per il tratto di litorale oggetto dell'intervento;
- ⇒ la previsione dell'evoluzione della linea di riva al fine di garantire la funzionalità dell'intervento di ripascimento come sistema di difesa (posizione della linea di riva dopo il versamento ad un anno ed a T anni dal versamento);
- ⇒ la definizione di sezioni trasversali tipo di versamento e di esercizio.

Per quanto concerne gli effetti fisici associati al ripascimento, il versamento della sabbia sul litorale può indurre variazioni morfologiche e di substrato (in termini di granulometria) direttamente riconducibili all'avanzamento verso mare del profilo di equilibrio della spiaggia e all'aumento dell'ampiezza della spiaggia emersa. Un altro effetto atteso è quello dell'aumento temporaneo della torbidità, legato principalmente all'allontanamento della frazione più sottile, sia durante la fase di refluitamento sia al termine dell'intervento, per l'azione del moto ondoso sul sedimento appena deposto a basso grado di compattazione. Il tempo necessario affinché i livelli di torbidità tornino alla normalità è generalmente breve

e, più precisamente, è pari al tempo necessario al sedimento preso in carico dal moto ondoso di essere ridistribuito lungo la spiaggia (emersa e sommersa), fino al raggiungimento di un nuovo profilo di equilibrio.

Incrementi dei livelli di torbidità persistente, invece, potrebbero derivare dall'impiego di materiali con caratteristiche mineralogiche (durezza) troppo diverse da quelli presenti sulla spiaggia nativa. In questi casi è importante considerare che l'abrasione tra i sedimenti può indurre effetti sia in termini di incremento dei livelli di torbidità, sia sulla stabilità e sulla pendenza della spiaggia a causa della diminuzione di granulometria del sedimento abraso.

Nel caso dei ripascimenti protetti, dovranno, infine, essere considerati tutti quegli effetti normalmente associati alla realizzazione delle strutture rigide (pennelli e barriere), quali i fenomeni di scalzamento, le modifiche sul profilo di spiaggia e sul trasporto solido litoraneo, la riduzione del ricambio idrico con conseguenti alterazioni della qualità di acqua e sedimenti ecc..



1.2.2.1. Valutazione dei costi di dragaggio e ripascimento

Le attività di dragaggio e ripascimento delle sabbie prelevate da DSMR o anche da depositi litoranei che richiedono mezzi draganti aspiranti-autocaricanti e refluenti, possono essere valutate in termini di costo mediante specifiche analisi che meglio rispondono alle numerose variabili in gioco e che difficilmente possono essere sostituite da voci di tariffario senza incorrere in vistose sopravvalutazioni o sottovalutazioni.

Il metodo proposto fa riferimento a quanto in uso presso le amministrazioni del Nord Europa che sull'argomento hanno sviluppato un'esperienza unica nel suo genere.

Il prezzo P viene stabilito sulla base di tre elementi:

- Quantitativo di sabbia necessaria all'obiettivo progettuale QS (m3)
- Impegno in termini di tempo operativo TOP (gg) del convoglio dragante (draga, mezzi di assistenza, tubazioni, ecc.)
- Costi di ammortamento, equipaggiamento, manutenzione e consumi del convoglio AMC (€/gg)

Il prezzo per unità di volume (€/m3) viene determinato suddividendo il costo totale delle operazioni di dragaggio e ripascimento (comprehensive delle spese generali e utile d'impresa al 25%) per la quantità di sedimento da ripascere in modo da tener conto dell'effetto "quantità" che riduce la componente dei costi fissi (tipo la mobilitazione e smobilitazione del convoglio dragante - mob-demob).

$$P = TOP*AMC/QS$$

La prima operazione da eseguire è una stima dei tempi necessari all'esecuzione dei lavori, come di seguito specificato, che comprenda tempi di dragaggio, di trasporto, di refluentamento, di rifornimento includendo

nonché eventuali tempi necessari per l'asportazione ed il riposizionamento di eventuali strati superficiali di pelite od altre operazioni specifiche necessari ai lavori.

Attività	gg
A) Mob-Demob	Tempo necessario stimato per la mobilitazione del mezzo dragante e dell'intero convoglio. In effetti la smobilitazione può non essere tenuta in conto, considerando il serrato programma di utilizzo con cui tali mezzi vengono gestiti. L'ordine di grandezza varia in relazione alle dimensioni delle draghe: approssimativamente 20-30 gg per le Jumbo >10.000 m ³ , 10-20 gg per le draghe medie >2.000 m ³ , 5-10 gg per le medio-piccole
B) Preparazione mezzo dragante	Alla mobilitazione del mezzo segue la sua predisposizione per le attività specifiche che deve eseguire. Se le profondità di dragaggio sono convenzionali (20-60 m), la preparazione può essere trascurata. Per profondità maggiori è opportuno considerare 1-2 gg per la predisposizione di un'elinda idonea.
C) Attività di dragaggio e refluento	In considerazione del volume da dragare e dei tempi di realizzazione desiderati, occorre individuare la capienza e quindi la stazza del mezzo dragante. Vedi tabella "Ciclo di dragaggio e refluento"
D) Rifornimenti	In generale possono essere considerati 2-3 gg per mese di attività
SOMMA A-B-C-D	Tempo operativo draga netto riconosciuto sul prezzo (TOP) strettamente necessario per l'esecuzione dell'intervento
E) Maltempo	Stima dei giorni di maltempo che impediscono le attività di dragaggio. E' da considerare che nella valutazione dei costi di ammortamento del convoglio dragante si tiene già conto dei giorni/anno operativi e quindi tali soste non influiscono sul prezzo ma solo sulla valutazione dei tempi effettivi di lavoro. Ovviamente la stima dipende dal sito e dal periodo di attività; in genere si calcolano valori compresi tra il 5-12% del tempo operativo netto.
F) Fermo avarie e imprevisti	Stima dei tempi di fermo per avaria di qualche elemento del convoglio che impedisce le attività di dragaggio. Valgono le considerazioni di cui sopra.
SOMMA Tot.	Tempo operativo draga lordo (TOL) contrattualmente riconoscibile per le attività di dragaggio

Le attività di dragaggio (Attività C) di cui sopra possono essere stimate mediante il seguente schema:

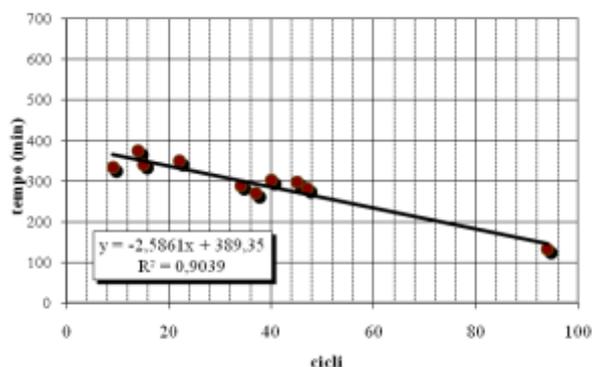
Tabella “Ciclo di dragaggio e refluentamento”

Attività	Quantità (m3)	Resa %	Quantità lorda (m3)	Carico a ciclo (m3)	N° cicli	Tempi di dragaggio e refluentamento	Distanza prelievo-	Velocità media (nodi)	Tempo di percorrenza (h)	Durata media ciclo (h)	Durata intervento
Rimozione Pelite											
Dragaggio e refluentamento											
Totali											

Quantità (m3): quantità di sabbia prevista da progetto e contabilizzate a riva ovvero di pelite superficiale da rimuovere

Resa %: resa legata al rapporto tra quantità di sedimento posto in opera e quantità da dragare. Per le sabbie la resa dipende principalmente dall’over-flow e ad alla dispersione del sedimento più fino, ed è stimabile nel 95-85% circa in relazione alla percentuale di fino. Nel caso di rimozione di pelite occorre considerare una resa molto più bassa dell’ordine del 20-30% (miscela pelite-acqua non sedimentabile)

Tempi di dragaggio e refluentamento (Regione Lazio 2007)



Quantità lorda (m3): quantità di sedimento da dragare effettivamente per raggiungere gli obiettivi di progetto

Carico a ciclo (m3): quantità di sedimento che può essere caricata nei pozzi della draga. Per le sabbie è da calcolare un 65-75% della capienza nominale dei pozzi della draga impiegata. Per la pelite (miscela acqua-pelite) può essere considerata una percentuale maggiore (75-85%) in quanto meno pesante

N° cicli: numero di cicli necessari per trasportare la quantità lorda

Tempi di dragaggio e refluentamento (h): valutazione dei tempi necessari per le operazioni di dragaggio e refluentamento, comprensiva dei tempi di ancoraggio, di collegamento alla tubazione refluyente, ecc.. In teoria i mezzi dovrebbero essere predisposti per tempi di caricamento e refluentamento di un’ora ciascuno (120 min tot). In pratica diverse circostanze portano ad aumentare questi tempi che solo per un numero di cicli elevato possono ridursi e tendere al teorico. Possono essere impiegati modelli empirici come quelli riportati nei grafici.

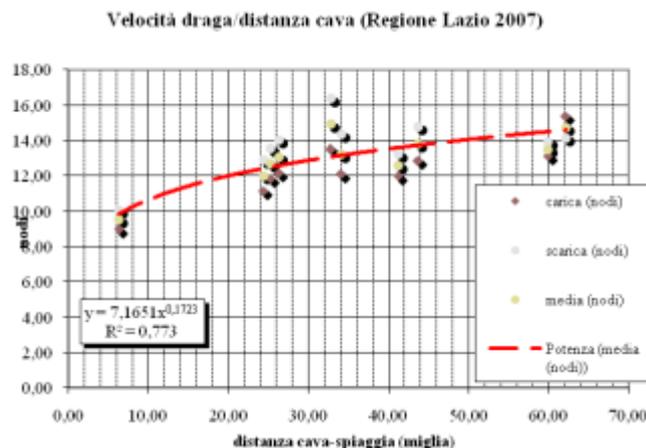
Distanza prelievo-deposito (Mn): distanza in miglia tra la zona di dragaggio e la zona/le zone di refluentamento. Nella tabella possono essere impostate diverse linee in relazione all’eventuali diverse zone di refluentamento.

Velocità media (nodi): velocità desumibile dalle caratteristiche del mezzo e ridotta in relazione alle condizioni di lavoro. In genere per distanze maggiori (minore incidenza dei rallentamenti in arrivo e partenza) le velocità tendono a quelle di crociera. Possono essere impiegati modelli empirici come quello riportato.

Tempo di percorrenza a/r medio (h): distanza prelievo-deposito diviso per la velocità media

Durata media ciclo (h): somma dei tempi di dragaggio e refluitamento + tempi di percorrenza

Tempo operativo netto TOP (gg): durata media del singolo ciclo (h) moltiplicato il numero di cicli (n) diviso 24 considerato che in genere le attività vengono svolte 24/24h.



I costi di ammortamento, equipaggiamento, manutenzione e consumi del convoglio dragante e refluyente sono già stati parametrizzati e sono disponibili, ad esempio, sul sito web dell'associazione CIRIA¹⁷⁶.

In genere tali costi sono espressi come costi settimanali e tengono conto oltre che dei costi di ammortamento ed assicurazione della draga, anche dei consumi di carburante, dell'equipaggio, del costo dell'imbarcazione idrografica, del rimorchiatore, del noleggio delle condotte di refluitamento, ecc..

Tali costi dipendono da alcuni parametri caratteristici del convoglio (es. capienza pozzi della draga, potenza delle pompe, potenza di propulsione, potenza jet-pompe) che risultano a loro volta funzione del quantitativo di sabbia da dragare (capienza dei pozzi x numero dei cicli), dal pescaggio massimo consentito (necessario al calcolo della lunghezza delle tubazioni di refluitamento), dei tempi previsti per il completamento dell'intervento (tempo di ciascun ciclo x numero cicli), ecc..

Per l'analisi del prezzo può essere adottato lo schema seguente:

¹⁷⁶ Construction Industry Research And Information Association www.ciria.org . "A guide to cost standards for dredging equipment 2009" <http://www.ciria.org/ItemDetail?iProductCode=C684&Category=BOOK>

Escavo subacqueo eseguito in terreni costituiti da materiali sciolti posti con superficie fino alla profondità di mt 100 sotto il l.m.m., eseguito con mezzi aspiranti, trasportato con mezzi idonei e posto a ripascimento costiero nelle zone indicate nel progetto con sistemi refluenti, esclusi oneri di spandimento e messa in sagoma a riva. Compresi altresì tutti gli oneri di regolarizzazione delle sponde della cava, asportazione della copertura pelitica da refluire direttamente sul fondo con mezzi idonei, entro una distanza di 2 miglia dalla zona di cava e preventivo rilevamento ordigni bellici salvo bonifica. Per m3 netto reso a ripascimento esclusi costi di spandimento e sagomatura dei profili di spiaggia.		
Nolo convoglio		
	u.m.	Prezzo
Ammortamento draga	<i>(Da manuali specializzati tipo CIRIA)</i>	€/week
Manutenzione e grandi riparazioni		€/week
Assicurazioni RC e contr.		€/week
Consumi		€/week
Equipaggio Draga		€/week
Barca idrografica a caldo		€/week
Rimorchiatore + MULTICAT a caldo		€/week
Condotte di refluento		€/week
Totale costo netto settimanale del convoglio	€/week	
Spese generali e utile d'impresa	25%	
Prezzo settimanale del convoglio	€/week	
Prezzo giornaliero del convoglio (AMC)	€/gg	
Tempo necessario all'esecuzione dei lavori per il dragaggio e il ripascimento, compreso l'asportazione e riposizionamento di eventuali strati superficiali di pelite, trasporto e refluento a riva, escluse soste per avaria, condimare, attività balneare estiva, ecc. (TOP)	gg	
Prezzo del dragaggio e ripascimento (AMCxTOP)	€	
Quantità netta di sabbia da movimentare (QS)	m3	
Prezzo unitario del dragaggio	€/m3	

1.2.3. Ripascimento con sabbie litoranee mediante by pass

I sistemi di *by-pass* vengono realizzati per ripristinare il trasporto dei sedimenti da un lato all'altro di opere marittime aggettanti, che intercettano il trasporto solido litoraneo (come opere portuali e trasversali), con l'obiettivo di ridurre al minimo le variazioni della linea di riva e dei fondali adiacenti l'opera. In funzione della velocità di accumulo e delle caratteristiche del trasporto sedimentario del litorale, si possono progettare diversi sistemi di *by-pass*. Essi sono classificabili, sulla base delle modalità

operative, in sistemi per intercettazione e per accumulo e, sulla base delle tempistiche operative, in continui e periodici.

Nei sistemi a intercettazione il *by-pass* viene effettuato quando il trasporto litoraneo longitudinale si presenta con caratteristiche di continuità, mentre in quelli ad accumulo viene effettuato in concomitanza dei picchi stagionali di trasporto sedimentario. Nei sistemi a intercettazione, quando la capacità di immagazzinamento è bassa, il *by-pass* è effettuato con continuità, su base giornaliera o settimanale. Quando il trasporto solido è elevato e la variabilità stagionale è significativa, è preferibile utilizzare sistemi ad accumulo, nei quali il *by-pass* è effettuato in modo intermittente o periodico, ad intervalli variabili da pochi mesi a qualche anno.

Oltre ai sistemi tradizionali di *bypass* che prevedono la movimentazione dei sedimenti via terra o via mare, si possono individuare differenti metodologie di movimentazione per intercettazione, quali ad esempio: stazione di pompaggio fissa a terra con testa dragante nella zona di dispersione; pompa a testa dragante rotante montata in posizione fissa sul molo sopraflutto o un corpo pontile che si diparte da quest'ultimo; pompa a testa dragante rotante montata in posizione mobile lungo il molo sopraflutto; sistema fisso o mobile montato su pontile.

I potenziali effetti fisici attesi sono riconducibili principalmente al meccanismo di aspirazione e refluento dei sedimenti, che può indurre un incremento della risospensione e quindi della torbidità delle acque in prossimità dell'area di intervento.

1.2.4. Interventi di ripristino e protezione delle dune

Le principali tecniche di ripristino e protezione di un cordone dunale sono:

- ripristino con tecniche di ingegneria convenzionale (ricostruzione morfologica delle dune);
- ripristino o restauro ambientale con tecniche di ingegneria naturalistica (barriere frangivento, restauro e consolidamento mediante la vegetazione, gestione degli accessi).

Spesso sono associate diverse tecniche al fine di fornire una protezione supplementare (es. dall'azione del vento o del moto ondoso) al cordone dunale ricostruito.

Ricostruzione morfologica delle dune costiere

Le tecniche di ricostruzione e consolidamento delle dune esplicano la loro funzionalità rallentando l'azione del vento ed agevolando il deposito dei sedimenti e lo sviluppo della vegetazione. In generale, si rendono necessari quando vi sono varchi all'interno del cordone che causano perdita di sabbia.

La tipologia di intervento è da correlare con la dimensione e lo stato di compromissione della duna. Nel caso di piccoli varchi si utilizzano captatori passivi di varia tipologia e forma (tavolate in fibre di cocco o juta, ramaglie prodotte da potature di pino o eucalipto, palizzate, elementi in plastica o di sabbia che simulano l'attrito prodotto dalla vegetazione).

Quando il cordone dunale è maggiormente compromesso, con varchi già ampiamente dilatati dall'azione del vento, è preferibile l'apporto di sedimento compatibile con quello esistente in situ. Si tende a sagomare il profilo del versante ricostruito in maniera da ridurre al minimo l'azione deflattiva del vento ed in maniera simile alle caratteristiche morfologiche del deposito.

In questi casi gli impatti sull'ambiente sono limitati alle fasi di prelievo e di ricollocazione di sabbia dai litorali vicini.

Restauro e consolidamento mediante la vegetazione

Gli interventi di ri-vegetazione hanno come principale obiettivo quello di favorire ed accelerare i meccanismi di stabilizzazione dei depositi eolici e quelli di colonizzazione da parte della vegetazione.

L'impianto della vegetazione può essere preceduto dalla preparazione del substrato con lo scopo di fertilizzare il terreno. Talvolta è anche previsto l'utilizzo di geotessili per limitare l'erosione eolica. La vegetazione di una duna mira ad attivare e/o accrescere i meccanismi di *feedback* tra la componente vegetale e quella fisica e, quindi, l'accrescimento e la stabilizzazione della duna.

La vegetazione utilizzata deve essere di provenienza autoctona e coerente con la vegetazione locale, sia per scongiurare il pericolo di introduzione di specie alloctone, sia per le possibili conseguenze di inquinamento genetico. La spaziatura e larghezza della piantagione è funzione della crescita (0.5 m – 1 m). Si rimanda a Paganelli et al (2015) per i dettagli sulle principali tecniche di vegetazione.

Barriere frangivento

Le barriere frangivento sono realizzate con lo scopo di controllare e contrastare i meccanismi di erosione eolica, favorendo la deposizione delle sabbie. Sono utilizzate quando l'erosione è concentrata soprattutto nella parte sommitale delle dune o quando è limitata alle dune embrionali.

Gli schermi frangivento sono generalmente fissati su una serie di pali, perpendicolarmente alla direzione del vento prevalente. La porosità ottimale delle barriere è del 40-50 %, con una spaziatura tra gli assi verticali minore di 5 cm. Possono essere realizzate sulla sommità dunale, lungo la cresta (specie in presenza di una strada longitudinale), sul versante marino e al piede della duna. Possono essere realizzate con una o più serie di schermi disposti lungo piani disgiunti, parzialmente sovrapposti o a formare delle celle diversamente orientate rispetto alla linea di riva (parallelamente, perpendicolarmente o diagonalmente) in funzione dell'azione eolica dell'area e delle caratteristiche morfo-topografiche locali. Generalmente, la distanza delle barriere dalla cresta della berma è maggiore di 60 m, in modo che non siano raggiungibili dalle onde, mentre la loro altezza aumenta in prossimità della cresta della duna.

Le barriere frangivento portano alla formazione di depositi eolici di grandezza proporzionale al tasso di trasporto eolico. Svolgono, inoltre, un'azione protettiva, sia diretta (protezione meccanica) sia indiretta (favorendo la cattura e l'intrappolamento di materiale vegetale, in grado di arricchire le sabbie dunali di sostanze nutritive, la condensazione e il trattenimento dell'umidità atmosferica, fondamentali come fonte idrica per la vegetazione xerofila) nei confronti della vegetazione.

Gestione degli accessi

Questa categoria di opere ha lo scopo di proteggere la vegetazione delle dune dal calpestio, controllando la pressione esercitata dagli utenti sulle dune costiere.

Le strutture più comunemente utilizzate sono le passerelle. Queste possono essere realizzate con l'impiego di una vasta gamma di materiali ed avere caratteristiche anche molto differenti, variando da solide strutture in legno a passerelle più "leggere". Le passerelle costituiscono percorsi obbligati e proteggono le dune e la vegetazione dunale dal calpestio e dall'innescarsi di fenomeni erosivi per la formazione di *blowout* (riduzione/interruzioni della continuità della copertura vegetale del cordone dunale che ha inizio dove cresce l'erosione a causa dell'azione eolica).

Gli unici effetti ambientali sono riconducibili alla fase di realizzazione (che prevede l'interramento dei pali montanti, la movimentazione di sedimento ed il parziale rimodellamento del tratto di duna interessato dal tracciato della passerella), pertanto, deve essere prestata particolare attenzione alla vegetazione presente nel sito di intervento.

1.2.5. Aspetti ambientali connessi alla realizzazione delle opere

Ripascimento

La letteratura riporta effetti significativi su diversi componenti ambientali quali comunità bentoniche, popolamenti ittici, fanerogame marine, artropodi terrestri e avifauna (Nicoletti et al., 2006; Speybroeck et al., 2006; Colosio et al., 2007; Defeo et al., 2009; OSPAR, 2009).

Nel complesso, gli effetti del ripascimento sono principalmente legati alle caratteristiche del sedimento sversato (quali granulometria e mineralogia), da valutare in rapporto sia alle caratteristiche del sedimento originario, sia alle modalità tecnico-progettuali proprie dell'intervento (quali la quantità di materiale sversato, la tempistica e la stagione di intervento, nonché le tecnologie impiegate per il trasporto e per il refluento del sedimento) (Speybroeck et al., 2006; OSPAR, 2009).

E' noto che gli effetti più rilevanti sono quelli agenti sui popolamenti bentonico e ittico demersale, mentre sono considerati trascurabili quelli sulle altre componenti biotiche (ad esempio il plancton). In generale, il refluento della sabbia comporta fenomeni di soffocamento e seppellimento, alterazione dei fondi su cui sono insediati i popolamenti, alterazione delle dinamiche di popolazione (con effetti importanti sulle aree di nursery e di riproduzione) e diminuzione delle risorse trofiche (Nicoletti et al., 2006; Peterson et al., 2006; Speybroeck et al., 2006; Defeo et al., 2009; OSPAR, 2009).

Laddove le attività di ripascimento hanno comportato modifiche rilevanti dal punto di vista della granulometria del substrato, sono state osservate importanti variazioni anche nella composizione degli organismi bentonici, con conseguente alterazione dell'ecologia della spiaggia (Rakocinski et al., 1996). La letteratura riporta variazioni temporanee di abbondanza, diversità e composizione specifica della fauna intertidale, della durata variabile da poche settimane a pochi mesi (BNP, 1995). Infatti, subito dopo il refluento del sedimento che comporta il possibile defaunamento (totale o parziale) dell'area direttamente interessata, ha inizio il recupero dei popolamenti coinvolti, attraverso specifici meccanismi di reclutamento quali la migrazione di adulti e giovanili dalle aree adiacenti, la migrazione verticale e l'immissione sulla spiaggia di organismi trasportati con il sedimento (van Dolah et al., 1984). In particolare, la migrazione verticale è risultata essere, per le specie di ambiente intertidale e/o subtidale, il meccanismo più efficace per sopravvivere al ripascimento (Maurer et al., 1986; BNP, 1995; Green, 2002). La questione fondamentale nella valutazione degli effetti indotti dal ripascimento non è pertanto la perdita temporanea degli organismi presenti sulla spiaggia, peraltro attesa, quanto la velocità di recupero di queste comunità dopo il ripascimento.

Il ripascimento può inoltre indurre effetti negativi anche sulla deposizione delle uova di artropodi a causa delle variazioni indotte sulla porosità del sedimento, come osservato da Jackson et al., (2007) lungo alcune spiagge del Delaware (USA), sottoposte a sversamento di sedimenti grossolani e caratterizzate dalla presenza dell'artropode Horseshoe crabs (Limulidae). Altri effetti del ripascimento sulla fauna ad artropodi sono inoltre riportati in Fanini et al. (2009) dove gli Autori confermano come la fauna ad artropodi (specie sopralitorali) risulti essere particolarmente sensibile alle variazioni granulometriche e ai cambiamenti qualitativi del substrato (avvenuti a seguito del ripascimento).

Studi specifici condotti lungo le coste del Lazio per valutare gli effetti del ripascimento sui popolamenti a *Donax trunculus* (mollusco bivalve di interesse commerciale) (La Valle et al., 2007; La Valle e Nicoletti, 2008; La Valle et al., 2011) hanno rilevato che la specie, pur scomparendo subito dopo il ripascimento (per seppellimento), ricompare a circa 4 mesi di distanza dal termine delle attività. Gli Autori ipotizzano che pianificando le operazioni di ripascimento in periodi specifici prima del periodo di reclutamento dei giovanili, gli effetti sulla specie possono essere minimizzati, evitando così anche importanti ricadute economiche sull'economia locale.

Diversi studi sono stati condotti per valutare gli effetti del ripascimento sulle fanerogame marine, in particolare sulla *Posidonia oceanica* (Ruiz et al., 1993; Ruiz e Romero, 2003, Nicoletti et al. 2005). Gli effetti attesi a breve termine sulle praterie di *P. oceanica* sono essenzialmente quelli legati all'aumento della torbidità dell'acqua. È noto che 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 del suo limite inferiore (Guidetti e Fabiano, 2000). Un altro effetto che può essere indotto dal ripascimento sulle praterie di *P. oceanica* è quello legato ai fenomeni di ipersedimentazione (oversedimentation), per la maggior mobilità del sedimento appena deposto. In particolare, Manzanera et al. (1998) hanno rilevato come la risposta di *P. oceanica* sia fortemente dipendente dall'intensità e dalla durata del fenomeno: anche modesti seppellimenti (5 cm) possono infatti causare una significativa mortalità fogliare.

Relativamente ai popolamenti ittici, i possibili effetti generati dalle attività di ripascimento possono comportare la diminuzione delle abbondanze durante le operazioni di refluitamento della sabbia, seppellimento di specie demersali, danni agli apparati branchiali dei pesci (per l'aumento del sedimento nella colonna d'acqua) e ridotta disponibilità di cibo (Green, 2002; Wilber et al.; 2003).

Ben documentati sono anche gli effetti del ripascimento sulle tartarughe marine, in particolare sulla deposizione e la sopravvivenza delle uova e sul successo della covata (Rumbold et al., 2001; Byrd, 2004; Nordstrom, 2005). Crain et al. (1995) ad esempio hanno osservato che il ripascimento può avere effetti non trascurabili sul successo della deposizione a causa dell'occultamento del nido, delle variazioni di geometria della camera di nidificazione e dell'aumento della pendenza delle spiagge (che può bloccare le tartarughe, impedendogli di raggiungere le aree di deposizione). Infine, il ripascimento può influire negativamente sulla capacità di sopravvivenza e sviluppo delle uova durante la fase di schiusa.

Relativamente alla fauna terrestre, Fenster et al. (2006) hanno studiato gli effetti del ripascimento sul coleottero *Cicindela dorsalis*. Gli Autori hanno dimostrato, in uno studio condotto lungo due spiagge della baia di Chesapeake (Virginia, USA), che il ripascimento non ha effetti negativi sulla distribuzione e sulla abbondanza di adulti e larve. Infatti, tale specie è in grado di spostarsi rapidamente, riuscendo a trovare habitat ottimali per il nutrimento degli adulti, per deporre le uova e per la successiva sopravvivenza delle larve.

Per quanto concerne l'avifauna, i principali effetti sono legati al refluitamento del sedimento che comporta la rimozione e/o il seppellimento sia dei resti organici sia delle prede disponibili. Inoltre la compattezza del sedimento può comportare una diminuzione dell'abilità di cattura delle prede, influenzando direttamente sulla capacità di alimentazione degli uccelli di spiaggia (Peterson et al., 2006).

Interventi di ricostruzione e protezione delle dune

I principali disturbi indotti dagli interventi di ricostruzione e protezione delle dune sono quelli legati a fenomeni di schiacciamento e calpestio (Devoti et al, 2011; Wallingford et al., 2000). Infatti, i mezzi pesanti e le macchine che vengono utilizzati per il trasporto dei materiali necessari per la realizzazione, in assenza di tracciati di accesso idonei, possono causare la distruzione diretta delle comunità vegetali, la

mobilitazione delle sabbie stabilizzate e la compattazione del suolo. A queste azioni possono associarsi disturbi di maggiore entità, che si ripercuotono sia sulla stabilità morfologica del sistema sia sulla sopravvivenza delle comunità vegetali interessate. Inoltre, il personale coinvolto nella realizzazione delle interventi, in mancanza percorsi (pedonali) idonei può causare danni alla vegetazione e favorire la formazione di blowouts.

Un altro aspetto da considerare è l'impatto legato alla dispersione nell'ambiente dei materiali utilizzati per la realizzazione delle strutture, soprattutto nel caso di utilizzo di materiale non biodegradabile.

Con specifico riferimento al restauro e al consolidamento delle dune mediante la vegetazione, un effetto non trascurabile è quello legato all'impianto di vegetazione e alle specie utilizzate. Al fine di non alterare le comunità vegetali presenti in loco e di minimizzare i possibili effetti di "inquinamento floristico" è infatti indispensabile utilizzare specie psammofile autoctone, selezionate in funzione delle esigenze ecologiche e delle diverse attitudini edificatrici (Wallingford et al., 2000; POSIDUNE, 2007). Il prelievo in natura delle specie da utilizzare in questi interventi è sconsigliato, poiché il prelievo di un elevato numero di individui potrebbe destabilizzare le sabbie, esporle all'azione eolica e renderle sensibili a eventi di mareggiata e all'overwash (Devoti et al, 2011; Wallingford et al., 2000). E' preferibile l'uso di piante provenienti da vivaio (POSIDUNE, 2007), riprodotte partendo da materiale vegetale di provenienza autoctona (Devoti et al, 2011; Piotto et al., 2010).

Gli interventi di ricostruzione morfologica, prevedendo l'impiego di sedimenti provenienti da una fonte esterna (terrestre o marina), possono indurre alcuni effetti non trascurabili e di seguito elencati:

- ⇒ i sedimenti con un pH diverso da quello dei sedimenti nativi possono avere effetti negativi sulla vegetazione locale;
- ⇒ lo sversamento di sabbia lungo la fascia di retrospiaggia può incrementare la quantità di sabbia trasportata dal vento verso l'entroterra, provocando il seppellimento della vegetazione retrostante o un'attivazione/riattivazione dei fenomeni di blowout;
- ⇒ lo sversamento di sabbia può provocare il seppellimento della vegetazione e delle comunità di invertebrati presenti, riducendo la stabilità delle avandune e causando una distruzione degli habitat;
- ⇒ l'impiego di sedimenti contenenti semi di vegetazione alloctona, può causare impatti negativi sulle comunità vegetali presenti in loco (Wallingford et al., 2000).

Generalmente, apporti di sabbia modesti, seppure frequenti, sono meno dannosi rispetto a interventi isolati che comportano la movimentazione di maggiore quantità di sedimenti.

Altri effetti indotti sull'ambiente dalla realizzazione di tutte le opere di difesa costiera sono quelli causati, in fase di cantiere, dal rumore e dal calpestio. E' noto infatti che il rumore, associato sia ai macchinari sia alla presenza dell'uomo, può indurre disturbi non trascurabili sulla fauna presente (quali pesci, rettili e mammiferi marini, uccelli), quali il possibile allontanamento o l'abbandono, talvolta definitivo, delle specie coinvolte dai siti di intervento. Analogamente, durante la fase di cantiere, non sono da sottovalutare gli effetti del calpestio e/o schiacciamento (Moffett et al., 1998; Schlacher et al., 2008a, 2008b). E' stato dimostrato, ad esempio, che il calpestio ha effetti negativi sui macroinvertebrati che vivono sulla spiaggia emersa, in particolare sulla fauna ad artropodi (Weslawski, et al. 2000, Scapini et al., 2005).

2. CRITERI DI SCELTA DEGLI INTERVENTI E VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA E DEGLI EFFETTI DELLE OPERE

2.1. SCELTA DEGLI INTERVENTI: ASPETTI PROGRAMMATICI

La scelta del sistema di difesa più idoneo a contenere e/o attenuare i fenomeni erosivi deve essere svolta considerando più soluzioni alternative oltre all'ipotesi di non intervento. In particolare, l'individuazione della tipologia di intervento deve essere supportata da indagini sulla dinamica litoranea e sulle cause che hanno portato all'arretramento della linea di riva. La scala spaziale delle indagini svolte dovrà avere una estensione adeguata a garantire che non sia compromessa l'integrità del litorale nell'intera unità fisiografica.

In Guiducci e Paoletta (2006) sono riportate le principali caratteristiche del sito di intervento (es. estensione della fascia attiva, pendenza della spiaggia, normale alla linea di riva, granulometria, trend erosivo), del moto ondoso a largo e a riva (es. inclinazione rispetto alla linea di riva della risultante energetica dei moti ondosi in un anno statistico medio, altezza, periodo, durata) e dell'intervento (es. tipologia, durata prevista per la costruzione, origine e caratteristiche del materiale di ripascimento).

Inoltre, in Cortemiglia et al. (1981) modificato (per i dettagli del quale si rimanda alle Linee Guida del MATTM, 2006) si riporta uno schema che fornisce delle indicazioni sul grado di idoneità delle opere di difesa convenzionali più diffuse in funzione, oltre che dei fattori ambientali comunemente utilizzati per la caratterizzazione fisica del paraggio (trasporto solido litoraneo, maree, onde ed l'instabilità morfologica), anche dei diversi fattori socio-economici e dei livelli di urgenza dell'intervento. A tal proposito si precisa che generalmente l'urgenza porta a scegliere le opere che possono essere attuate senza approfonditi studi (es. che coinvolgono piccoli volumi di materiale con costi limitati e che hanno la finalità di proteggere strutture e abitati costieri, anche a scapito della conservazione della spiaggia retrostante).

Inoltre, sono da ricordare le Istruzioni tecniche per la progettazione e l'esecuzione di opere di protezione delle coste (Del. Cons. Sup. LLPP n. 151 del 28.06.91).

Bisogna considerare che in fase progettuale la conoscenza del comportamento delle diverse tipologie di intervento in casi analoghi, può fornire il necessario complemento per la formulazione di soluzioni efficaci. A questo scopo potrebbe essere utile promuovere la creazione di data-base per la raccolta dei dati relativi ad interventi di protezione della costa già attuati, secondo uno standard esauriente e sintetico. A titolo di esempio nella figura seguente si riporta un modello di scheda, proposto da Guiducci e Paoletta (2006), per la raccolta di informazioni su:

- caratteristiche delle aree di intervento (es. estensione dell'unità fisiografica, l'importanza della marea e del moto ondoso; sedimentologia, idrologia, stato dell' antropizzazione e del dissesto del litorale, bacini idrografici afferenti, ecosistema marino costiero, stabilità morfologica del paraggio, trasporto solido);
- caratteristiche degli interventi presenti e di progetto (es. finalità, costo ed interferenza con il trasporto solido);
- studi specialistici svolti;
- monitoraggio dell'area (es. anche per la verifica della disponibilità di sedimenti e materiali per gli interventi di conservazione dei litorali).

SCHEDA N°		LOCALITÀ:					
ESTENSIONE UNITÀ FIOGRAFICA (km)			SVILUPPO INTERVENTO (km)				
STRUTTURE ESPOSTE							
CARATTERISTICHE DEL SITO							
NORMALE ALLA LINEA DI COSTA (°N)			RIFERIMENTO FONDALI				
VARIAZIONE MAREA DI PROGETTO(m)			SOVRALZO (m)				
PENDENZA SPIAGGIA	+2.0	0.0 m	0.0-5.0 m	0.0-10.0 m	0.0-15.0 m		
ESTENSIONE FASCIA ATTIVA	A terra (m s.l.m.m.)			A mare (m s.l.m.m.)			
GRANULOMETRIA D50 (mm)	+1.0 m	0.0 m	-3.0 m	-7.0 m			
EROSIONE (m)	Dal 1955 al 1978			Da 1978 a 1998			
CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO							
ONDA DI PROGETTO LARGO	Hs (m)		Tp (s)		Tempo di ritorno (anni)		
RISULTANTE ENERGIA LARGO	Direzione (°N)		Hs equivalente (m)		Tp equivalente (s)		
ONDA DI PROGETTO RIVA	Hs (m)		Tp (s)		Tempo di ritorno (anni)		
RISULTANTE ENERGIA RIVA	Direzione (°N)		Hs equivalente (m)		Tp equivalente (s)		
ONDA CON FREQUENZA 12 ORE PER ANNO RIVA							
CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO							
ENTE ATTUATORE							
ANNO PROGETTO	INIZIO COSTRUZIONE	FINE COSTRUZIONE	COSTO €				
TIPOLOGIA							
RIPASCIMENTO	Fonte 1	Volume (m ³)	Granulometria D50 (mm)				
RIPASCIMENTO	Fonte 2	Volume (m ³)	Granulometria D50 (mm)				
RIPASCIMENTO	Fonte 3	Volume (m ³)	Granulometria D50 (mm)				
RIPASCIMENTO	Fonte 4	Volume (m ³)	Granulometria D50 (mm)				
MODELLI FISICI SVOLTI							
MONITORAGGIO							
BATIMETRICO	TOPOGRAFICO	SEDIMENTOLOGICO					
INTERASSE (m)	FREQUENZA						
NOTE							

Scheda descrittiva delle informazioni da considerare a supporto della scelta e della valutazione delle tecniche di difesa (Guiducci e Paolella, 2006)

Il punto di partenza per una corretta gestione delle coste, finalizzata a perseguire lo sviluppo economico sostenibile delle coste italiane, richiede la definizione di alcuni fattori caratterizzanti il territorio:

- uso del suolo e ricognizione dei problemi,
- aspetti sedimentologici e geomorfologici della fascia emersa e sommersa,
- qualità delle acque,
- spetti paesaggistici, soprattutto delle “aree libere”,
- aspetti insediativi e infrastrutturali, evoluzione temporale e tendenze in atto,
- spiagge e ripascimenti, intesi come manutenzione costante e sostenibile che evitano l'emergenza,
- giacimenti sedimentari,

- 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.

In particolare, si rende necessario definire e condividere le unità “fisiografiche costiere principali” tramite la collaborazione fra i soggetti nazionali, regionali e locali competenti in materia di coste e aumentare la coesione tra le Regioni con esperienze diverse.

Per un’adeguata programmazione 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 dell’intervento e della variabilità delle caratteristiche della costa. Ciò consente di definire il giusto ambito entro cui un determinato indicatore può essere rilevato e monitorato.

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 preliminari per la redazione del piano sono da articolare in tre fasi:

- ⇒ Fase conoscitiva: raccolta, rilevamento e informatizzazione dei dati (es. topologici, climatici, geomorfologici e antropici) con riferimento all’UF;
- ⇒ Fase di perimetrazione: individuazione dei tratti costieri soggetti a pericolosità di erosione, valutazione dei livelli di pericolosità e definizione delle conseguenti misure di salvaguardia;
- ⇒ Fase di programmazione: programmazione delle azioni per la conservazione, difesa, recupero e valorizzazione della fascia costiera e quantificazione del fabbisogno economico.

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 piano della fase conoscitiva. In questa fase dovranno già essere individuati tutti i vincoli esistenti sul tratto costiero, come anche la definizione di alcuni fattori caratterizzanti il territorio:

- rappresentazione ed informatizzazione dei dati e delle informazioni raccolte;
- definizione della tipologia di costa (es. morfologia, batimetria, granulometrie dei sedimenti);
- tipologia dei beni a rischio;
- clima meteo-marino e caratteristiche degli eventi estremi, il regime delle correnti, dei venti e del livello del mare;

- 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 (es. aree residenziali, sede di servizi pubblici e privati di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive ed infrastrutture primarie), 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 e vie di comunicazione di rilevanza strategica.

Fase di perimetrazione

L'individuazione delle possibili situazioni di pericolosità di erosione, dipendenti dalle condizioni sedimentarie, morfologiche, antropiche e meteo-marine di un tratto di costa, va effettuata in funzione dei fattori scatenanti i processi di arretramento della linea di riva, dei fattori socio-economici e della conseguente associata vulnerabilità, quali (SICORA, Regione Abruzzo del 2006):

- studio delle tendenze evolutive del litorale;
- suddivisione della costa in tratti omogenei, sia per gli aspetti morfologici sia socioeconomici;
- definizione dei livelli di vulnerabilità e dei criteri di valutazione del rischio da adottare per la classificazione dei tratti di costa;
- selezione dei tratti di costa più critici e definizione delle prescrizioni da adottare

Sulla base dei risultati dell'attività conoscitiva e degli studi elencati, si potrà procedere con l'identificazione dei tratti costieri caratterizzati da diverse probabilità di erosione e diversi effetti sulle strutture in funzione degli eventi meteo marini estremi, quali ad esempio:

- tratti ad alta velocità di erosione e probabilità di effetti sulle strutture e allagamento per eventi meteo-marini con tempo di ritorno "Tr" < 5 anni);
- tratti a moderata velocità di erosione e probabilità di effetti sulle strutture e allagamento per eventi meteo-marini con tempo di ritorno "Tr" di 5 - 10 anni);
- tratti a bassa velocità di erosione e probabilità di effetti sulle strutture e allagamento per eventi meteo-marini con tempo di ritorno "Tr" >10 anni).

Per quanto attiene la valutazione del rischio di erosione dipendente da tali fenomeni, si fa riferimento alla sua formulazione ormai consolidata introdotta dall'UNESCO su cui occorre sviluppare specifiche considerazioni relativamente alla combinazione del rischio alluvione (eventi probabilistici) con il rischio erosione a lungo termine (eventi rilevabili con trend medi) come meglio illustrati nelle Linee Guida Cap. IV.3.2.

Come elementi a rischio correlati strettamente al fenomeno erosivo a lungo termine (trascurando il pericolo per l'incolumità delle persone) possono essere menzionati i seguenti aspetti:

- agglomerati urbani, aree sede di servizi pubblici e privati, di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive ed infrastrutture primarie;
- aree su cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo, in particolare quelli definiti a rischio ai sensi di legge;

- infrastrutture e le vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale;
- patrimonio ambientale e i beni culturali di interesse rilevante.

E' importante sottolineare quanto rilevato dalle Linee Guida Italia Sicura¹⁷⁷ riguardo alla necessità di fare riferimento allo schema UNESCO per la valutazione dei rischi ma soprattutto alla valutazione "quantitativa" degli stessi, cercando di superare le classificazioni quantitative che possono aiutare per la definizione delle priorità ma non contribuiscono all'analisi costi/benefici che rimane uno strumento fondamentale per una politica di interventi.

E' quindi auspicabile l'impiego anche di parametri semplificati ma che portino ad una valutazione (almeno) del danno economico atteso per l'opzione non intervento e del danno residuale per le diverse soluzioni prospettate.

Fase di programmazione

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

Per tutta l'UF di riferimento dovranno essere anche individuate e definite, su base tecnica ed economica, con gli opportuni studi, indagini ed elaborati grafici, tutti gli interventi strutturali e non strutturali di mitigazione del rischio, elencandone le priorità, nonché i vincoli territoriali, definendo le eventuali necessarie misure di delocalizzazione di insediamenti.

Dovranno essere previste anche attività di monitoraggio degli interventi, come anche specificato nell'Allegato 1, non trascurando gli aspetti della qualità delle acque e dei sedimenti.

Aspetti progettuali

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.

Per limitare le ripercussioni su aree molto più estese di quelle di intervento, prima di procedere alla progettazione di qualunque tipo di opera di difesa costiera è opportuno conoscere in maniera approfondita l'assetto fisico sia quello urbanistico del sito in esame, la sua naturale evoluzione, nonché la vocazione turistica o industriale, le eventuali vie di comunicazioni e i vincoli territoriali e/o paesaggistici. Il primo passo dell'iter progettuale è quindi 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.

¹⁷⁷ <http://italiasicura.governo.it/site/home/dissesto/linee-guida.html>

E' fondamentale individuare quindi con chiarezza l'obiettivo progettuale (spiaggia di progetto) secondo un metodo iterativo basato su un'ipotesi di spiaggia, sulla verifica della fattibilità e sulla conferma o sulla riformulazione dell'ipotesi nel caso la fattibilità non risulta possibile.

La progettazione e la costruzione di opere costiere, inoltre, dovranno comprendere un'adeguata valutazione di onde, livelli e correnti corredati di studi e prove preventive con modelli matematici (es. Lisi et. al, 2016) e fisici, aspetti geotecnici, resistenza dei materiali e procedure di costruzione.

L'acquisizione dei dati di base avviene nei quattro settori principali: morfologico, meteo-marino, territoriale ed ambientale.

La progettazione si articola sui seguenti temi fondamentali:

- studi propedeutici;
- scelta della spiaggia di progetto
- individuazione delle tipologie di intervento possibili
- verifica modellistica;
- verifica comparata delle soluzioni
- scelta della tipologia di intervento e sviluppo progettuale
- monitoraggio e gestione.

2.2. UTILIZZO DELLA MODELLISTICA PER LO STUDIO DELLE OPERE COSTIERE

Il sistema di difesa più idoneo a contenere i fenomeni erosivi può essere scelto a valle di indagini specifiche sulla dinamica litoranea e sulle cause dell'asportazione dei sedimenti che hanno portato ad un arretramento della linea di riva. La scelta del tipo di opere può essere determinata da molteplici fattori, sia di tipo strategico (finalità dell'intervento dal punto di vista della pianificazione, eventuale urgenza, ecc.), che tecnico:

- causa della instabilità morfologica del paraggio;
- eventi meteo-marini storici e conseguenti danni;
- interventi di difesa eventualmente presenti, sviluppo cronologico e valutazione dell'efficacia;
- clima meteo-marino e caratteristiche degli eventi estremi, regime delle correnti, dei venti e del livello del mare, rappresentativi di ogni tratto dell'unità fisiografica; per queste tematiche un riferimento prioritario è costituito dalla rete Ondametrica Nazionale e dalla rete Mareografica Nazionale;
- regime sedimentario (apporto fluviale, trasporto litoraneo longitudinale e trasversale).

La progettazione marittima ha una forte necessità di approfondimenti perché si interviene su un ambiente dinamico e quindi le influenze di un intervento possono ripercuotersi in una zona molto più estesa di quella interessata dall'opera. E' ormai prassi consolidata utilizzare le prove su modelli, sia fisici che matematici, come supporto alla progettazione.

In generale, l'utilizzo del modello fisico appartiene alla tradizione comune alle discipline dell'ingegneria legate alle problematiche dell'idraulica e della meccanica dei fluidi, nella misura in cui la complessità dei fenomeni in gioco non consente di ottenere soluzioni di natura analitica o teorico-numerica. Secondo tale prassi, vengono realizzati modelli che rappresentano, in scala ridotta, il caso reale oggetto di studio.

Ma è opportuno ricordare che gli ultimi decenni sono stati caratterizzati da notevoli sviluppi scientifici, sia nel campo delle tecniche sperimentali in laboratorio che delle simulazioni numeriche, queste ultime anche grazie agli straordinari progressi nell'ambito delle risorse di calcolo. Degni di nota sono inoltre i recenti sviluppi nel campo del telerilevamento che, attraverso l'analisi multispettrale e l'osservazione all'infrarosso, consentono misure quantitative impensabili nel passato.

In particolare, l'utilizzo della simulazione numerica nelle attività riguardanti l'ingegneria costiera, a partire dagli anni '90, si afferma con crescente decisione. A tale evoluzione hanno contribuito diversi fattori: da un lato i recenti indirizzi normativi a livello europeo, dall'altro i progressi sul piano tecnico-scientifico e le importanti nonché rapide innovazioni nel campo dell'informatica.

A fronte della diffusa accentuazione dei processi erosivi lungo numerosi, ampi tratti di litorale risulta sempre più strategico il ricorso ad interventi di protezione non più localizzati a difesa di un singolo tratto di costa, ma organicamente pianificati a più ampia scala, quella delle unità fisiografiche. Nell'affrontare lo studio a questa scala, risulta inevitabile il ricorso ai modelli numerici, che consentono di analizzare l'impatto di ogni intervento in riferimento all'intero insieme delle dinamiche che caratterizzano un tratto di costa, rendendo quindi possibile l'individuazione delle soluzioni ottimali attraverso il confronto di molteplici alternative di intervento o gestionali.

Partendo dai dati di clima ondoso al largo del sito in esame, gli strumenti di modellistica consentono di trasferire il moto ondoso sottocosta, comprendendo i meccanismi di trasformazione dell'onda. Infine, i modelli di dettaglio, bidimensionali o tridimensionali, possono determinare la capacità di trasporto di sedimenti nell'area in esame, in modo da verificare le possibili criticità lungo la costa.

I modelli di dettaglio descritti finora sono in grado di fornire informazioni sugli effetti locali delle strutture costiere in presenza di specifici eventi, ma si possono utilizzare modelli semplificati che permettano, con

tempi di calcolo modesti, la valutazione del bilancio di sedimenti basata sull'intero clima ondoso annuo anziché su alcune onde rappresentative e, se il tratto di costa è uniforme, la valutazione dell'evoluzione della linea di riva a lungo termine, sia nelle condizioni attuali che in presenza di opere.

Da tutto ciò emerge una considerazione: la modellistica nella progettazione viene tipicamente utilizzata allo scopo di effettuare analisi di scenari. Si tratta quindi di verificare la risposta del sistema alle modifiche conseguenti alla realizzazione di varie alternative progettuali. Come è stato evidenziato in precedenza, le opere costiere sono spesso associate ad effetti indesiderati sulla costa. Ma è opportuno osservare che non è sempre immediata la distinzione tra gli effetti indesiderati effettivamente indotti e quelli indotti solo apparentemente. Ad esempio, se nell'ambito di un litorale complessivamente soggetto ad erosione si esegue un intervento di protezione in un tratto limitato, sul quale l'erosione viene arrestata o mitigata, è importante stabilire se nella rimanente parte non protetta i processi erosivi proseguano inalterati, o risultino accentuati, oppure eventualmente attenuati, dalla presenza dell'opera nella parte protetta. Questa difficoltà può essere superata mediante un approccio integrato osservazione/modellistica di scenario. La modellistica teorico-numerica può quindi anche essere utilizzata con finalità di monitoraggio integrato.

Nonostante i progressi della modellistica negli ultimi decenni, molte problematiche di natura scientifica rimangono comunque aperte: effetto scala nelle prove sperimentali di laboratorio e difficoltà di soluzione numerica per i flussi turbolenti (onde frangenti). Inoltre, nelle regioni marino-costiere i fenomeni idrodinamici che innescano il movimento dei sedimenti sono tipicamente tridimensionali e non stazionari e, allo stato attuale, non esistono modelli che tengano conto in maniera completa ed esauriente di tutte queste caratteristiche. Le drastiche semplificazioni utilizzate nei modelli applicativi hanno tradizionalmente trovato una loro giustificazione nell'esigenza di effettuare, con limitate risorse di calcolo, previsioni a lunga scadenza (anni) lungo linee di costa anche molto estese (decine o centinaia di chilometri). Simili scale temporali e spaziali rendono proibitivo l'uso di modelli tridimensionali che tengano conto in forma deterministica di tutti i fenomeni in gioco. Anche i modelli bidimensionali, che possono essere utilizzati per lo studio dell'evoluzione del profilo di spiaggia nonché del comportamento di opere di difesa schematizzabili in un contesto bidimensionale, sono generalmente caratterizzati da notevoli semplificazioni, dovute alla complessità dei fenomeni in gioco. Le principali limitazioni sono legate alla corretta descrizione della turbolenza indotta dal frangimento delle onde e del meccanismo per la messa in sospensione del sedimento di fondo.

E' necessario quindi tener presente che la progettazione di opere di difesa costiera coinvolge problemi che appartengono alla frontiera della ricerca nell'idrodinamica marina.

2.3. METODI DI ANALISI COSTI/BENEFICI

Una preliminare valutazione delle opere di difesa “urgenti” da programmare e dei relativi fabbisogni per chilometro lineare di opere (rigide aderenti e non, ripascimenti e opere miste), stimati sulla base dei prezzi e delle esperienze attuali, richiede la definizione di aree della costa a rischio erosione (si veda anche paragrafo 1.4 – Aspetti programmatici e progettuali). Tali aree devono essere definite facendo riferimento a un adeguato intervallo di tempo ed alla verifica di quali beni ed infrastrutture (aree urbane, strade, ferrovie ed altre opere) sarebbero esposte, in tempi brevi, al rischio di erosione costiera. A tal fine deve essere ipotizzato un “significativo” proseguimento del processo erosivo in atto rispetto allo stato attuale

Una volta stimato il beneficio che un'opera di difesa riesce ad offrire in termini di ridotta erosione, rimane da valutare se l'entità di questo beneficio compensa i costi dell'opera stessa. Come illustrato nei paragrafi precedenti, un approccio corretto alla gestione delle aree costiere deve tener conto del trend evolutivo dei litorali allo stato attuale (e delle forzanti naturali e antropiche che agiscono a scala globale e locale) e delle stime di quanto un'opera di difesa può ridurre e/o stabilizzare il trend erosivo nel corso degli anni, limitando i costi di gestione e manutenzione. Per conseguire questo obiettivo uno strumento importante da prendere in considerazione nelle diverse fasi progettuali previste per la realizzazione delle opere (pianificazione, progettazione, esecuzione e manutenzione) è l'analisi costi/benefici: un'approfondita analisi dei costi/benefici per ogni diversa opera di mitigazione, consentirà di agevolare ai decisori la scelta gli investimenti più sicuri, tenendo conto dei diversi fattori ambientali ed antropici.

Una metodologia correntemente in uso per l'analisi costi/benefici in fase di progettazione e realizzazione delle opere prevede un approccio probabilistico, o “risk-based” (USACE, 2008). L'approccio probabilistico tiene conto sia dell'incertezza, cioè della variabilità nel tempo delle forzanti costiere, della performance delle opere di difesa e dei danni che esse possono subire, sia dei possibili effetti che possono verificarsi sulle aree adiacenti.

Ciò consente di individuare con buona approssimazione i vantaggi ed i rischi connessi alle opere e successivamente di attribuire loro un valore monetario (laddove è possibile).

Sarà quindi importante individuare le varie voci di costo riferite sia alle fasi di progettazione ed esecuzione, sia alla manutenzione, rimozione o modifica in caso di comprovati impatti negativi.

Nella seguente tabella sono riportate le principali voci di costo da considerare (USACE, 2008).

Tabella. Schema delle voci di costo da stimare (Tratto da: USACE, 2008 modificato).

Voce di costo	Descrizione
Costi iniziali	Progettazione e avvio lavori
Manutenzione	Stima delle spese annuali di manutenzione per conservare/ripristinare l'integrità funzionale e strutturale delle opere, eventualmente danneggiate da eventi di tempesta oltre che dai naturali processi legati alla "vita utile" dell'opera.
Rimozione/modifica	Stima dell'eventuale spesa per modificare il progetto o rimuovere completamente l'opera, in caso di significativi impatti
"Life-cycle"	Stima combinata dei costi iniziali, di manutenzione e di rimozione/modifica richiesti durante il periodo di "vita utile" dell'opera
Durata dell'opera	Stima del numero di anni, ovvero della "vita utile" dell'opera,
Danni	Stima dei costi causati dal danneggiamento strutturale e/o dalla diminuzione della funzionalità quando si verificano eventi eccezionali, con altezza d'onda significativa maggiore di quella dell'onda di progetto utilizzata per definire "la vita utile" dell'opera
Bilanciamento	Ricerca del bilancio più efficiente tra costi di costruzione e costi di manutenzione, tale che il costo totale sia il minimo possibile.

Oltre alle voci di costo elencate in tabella bisogna considerare l'eventualità del "fallimento" dell'opera, cioè che si verifichino danneggiamenti in condizioni di eventi con un'altezza d'onda significativa inferiore a quella dell'onda di progetto utilizzata per definire "la vita utile" dell'opera. In tal caso la progettazione ha "fallito" ed è preferibile riprogettare piuttosto che riparare e/o ricostruire.



La riduzione dell'erosione e dei danni causati da forti mareggiate sono i benefici primari fondamentali della protezione della costa. Esistono però altri benefici secondari. Ad esempio, il ripascimento protegge dall'erosione, ma crea altresì un beneficio per le attività turistico-ricreative e determina, con la tutela del paesaggio costiero, un incremento del valore delle abitazioni e/o delle attività commerciali.

I principali passi da compiere per una dettagliata analisi dei costi/benefici, secondo l'approccio "risk-based" (NOAA 2013 e USACE, 2008), sono i seguenti:

- redazione di un inventario dettagliato delle strutture costiere (residenziali, commerciali, pubbliche) e degli ambienti naturali più sensibili esposti a rischio;
- stima del valore, in modo da attribuire un costo dei danni a seguito di mareggiate; i costi non facilmente identificabili (es. quelli relativi agli ambienti naturali) possono essere considerati qualitativamente, legando la considerazione qualitativa a livelli di accettabilità (NOAA, 2013);
- identificazione e stima dei costi degli interventi da realizzare;
- calcolo dei danni provocati da eventi di tempesta in funzione delle variazioni indotte e dalla distanza tra la linea di riva di riferimento (che delinea il limite oltre il quale sono allocate le strutture da proteggere sulla spiaggia) ed il mare (figura);
- applicare il modello per l'ipotesi progettuale di non intervento, (NOAA 2013 e USACE, 2008) e per le ipotesi progettuali che prevedono diverse tipologie di intervento (singole o miste). Il risultato è espresso in termini del danno medio annuale (Annual Average Damage - AAD), e

più precisamente come la cumulata dei danni risultanti dagli eventi estremi con diversa frequenza di accadimento, mediata nel tempo (fig.3), (Melbourne Water Corporation, 2015).

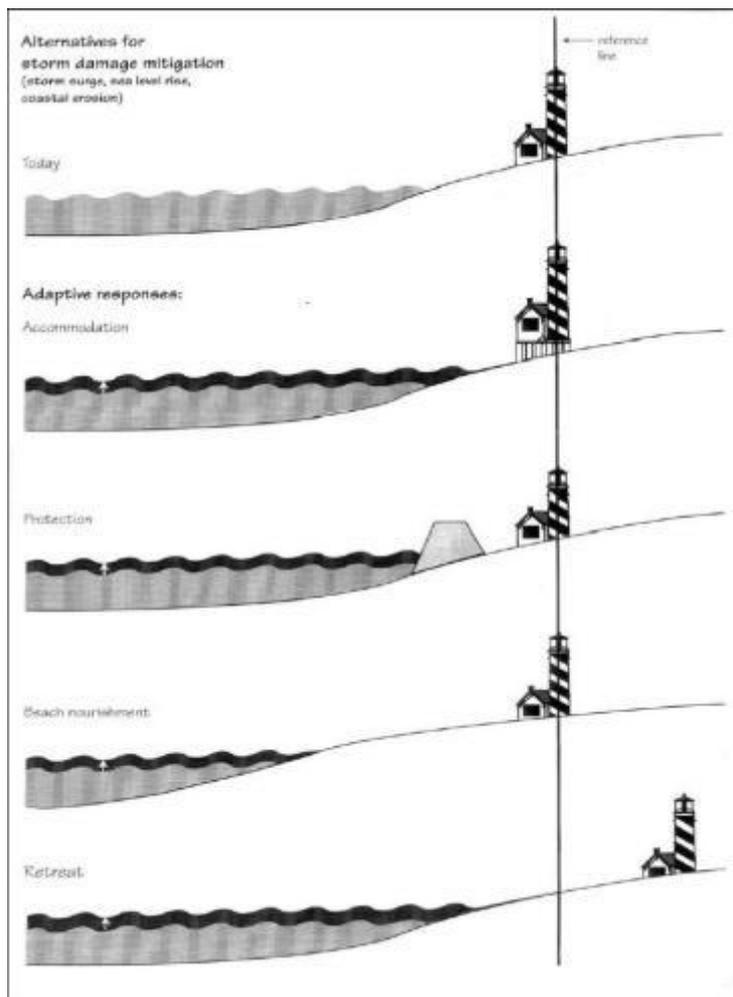


Figura. Soluzioni alternative per mitigare i danni da inondazione costiera (da USACE 2008).

L'applicazione del metodo fornisce la stima dei benefici totali annuali (sotto forma di danni prevenuti) ricavati dalla differenza tra il danno medio annuale stimato per ciascuna delle ipotesi progettuali di intervento considerate e quello stimato per l'ipotesi progettuale di non intervento (USACE, 2008).

La quantificazione del rapporto costi/benefici risulta così espressa:

$$BCR = \frac{\text{Benefici totali}}{\text{Costi "life - cycle"}} \quad (\text{USACE 2008})$$

Un approccio semplificato di quanto sopra è riportato nelle Linee Guida Cap. IV.3.2.

2.4. METODI DI VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DEGLI INTERVENTI

La valutazione dell'efficacia di un intervento di protezione costiera non può che essere basata sull'obiettivo che l'intervento stesso si pone. Ma, nei progetti l'obiettivo non è sempre enunciato chiaramente: il termine "difesa della costa", tipicamente utilizzato, è generico e inadatto. Infatti, l'efficacia di un intervento può essere valutata positivamente se ha realizzato lo scopo per il quale è stato eseguito, ma devono essere analizzati anche gli effetti collaterali indesiderati che si sono verificati, spesso evidenti solo dopo molto tempo, che non sono stati previsti, oppure sono stati sottovalutati nel progetto.

Nel *Coastal Engineering Manual* (CEM - Cap 2 della parte VI, "Types and functions of coastal structures") sono esaminate le tipologie e le funzioni delle strutture costiere, ponendo in evidenza i rispettivi limiti. Anche nelle "Raccomandazioni tecniche per la protezione delle coste" del CNR (1981) sono evidenziati potenzialmente potenziali effetti indotti sulla costa dalle varie tipologie di intervento. In Paganelli et al (2014) la rassegna delle opere illustrata in APAT (2007) viene completata e ampliata anche con la descrizione degli aspetti ambientali relativi alle varie tipologie.

Sono pertanto reperibili in letteratura tutti gli elementi per impostare un metodo di valutazione sull'efficacia di un intervento. Tale valutazione può quindi essere opportunamente eseguita analizzando i risultati sia in termini di protezione ottenibile che di effetti indesiderati, morfodinamici e ambientali, indotti dall'opera. E' possibile definire una griglia di parametri finalizzati alla valutazione dell'efficacia di un intervento. Tali parametri sono diversi, in funzione degli obiettivi dei singoli interventi di protezione, che possono essere classificati in diverse categorie.

Ad esempio, per quanto concerne le opere di difesa radenti, come è stato ampiamente illustrato in precedenza, l'obiettivo consiste nella stabilizzazione della linea di riva, che, quindi, viene raggiunto nella misura in cui:

- non si osservano arretramenti della linea di riva;
- la struttura non viene sormontata dalle mareggiate ordinarie;
- la struttura rimane stabile.

Questi indicatori possono essere determinati con un monitoraggio delle opere limitato ai soli aspetti di rilievo topografico e osservazione visiva delle condizioni della superficie lato mare della struttura.

Questa tipologia di opere induce effetti secondari ben noti che, qualora si verificano, non possono incidere sulla valutazione dell'efficacia, se correttamente previsti e considerati nella gestione della costa e alla luce delle previsioni fatte in fase di progettazione e gestione delle coste. Tali effetti secondari sono:

- la difesa radente impedisce la formazione di una spiaggia;
- i fondali antistanti, a causa della riflessione del moto ondoso su una superficie più riflettente della spiaggia eventualmente preesistente, possono approfondirsi;
- la costa adiacente non protetta è soggetta ad erosione accentuata;
- aspetto non naturale della costa e difficoltà di accesso al mare.

Una difesa radente risulta inefficace quando l'obiettivo non risulta completamente raggiunto a causa di errori di progettazione o di esecuzione. Possono verificarsi i seguenti casi:

- instabilità della struttura: ciò si manifesta con crolli o danneggiamenti di parti dell'opera;
- erosioni localizzate al piede che determinano lo scivolamento e conseguente abbassamento dell'opera, rendendola tracimabile durante le mareggiate;
- eccessivi costi di manutenzione.

L'individuazione delle cause che hanno determinato uno degli effetti descritti può portare a migliorare gli aspetti di progettazione quindi l'efficacia.

Applicando la stessa metodologia per le opere principali, è possibile proporre una tabella che riporta una serie di criteri da considerare per la valutazione dell'efficacia delle singole opere realizzate.

E' opportuno osservare che la stabilità della struttura assume significati diversi, nei vari casi. Per alcuni tipi di opere radenti, ad esempio, la stabilità è condizione fondamentale per l'efficacia. Per le barriere o i pennelli, invece, un assestamento strutturale modifica la permeabilità della struttura, ma non necessariamente ne compromette la funzionalità.

Tutti questi elementi, se inseriti nella definizione della "spiaggia di progetto", che non si limita a quella strettamente interessata dall'intervento ma estesa all'intera zona di influenza, risulteranno estremamente utili per un confronto a posteriori ed una valutazione dell'efficacia anche in termini economici.

Tabella di valutazione dell'efficacia delle opere realizzate

Opera	Anno di costruzione	Obiettivi dell'opera	Effetti collaterali	Manutenzione e ripristino (necessità e spese)	Stato dell'opera (es.: stabilità, analisi strutturale, stato funzionale)
Difese radenti		Arresto/riduzione dell' arretramento della linea di riva	Ostacolo alla formazione della spiaggia		
		Protezione dal sormonto delle strutture a tergo dell'opera	Approfondimento dei fondali antistanti		
			Accentuazione dei fenomeni erosivi lungo la costa adiacente non protetta		
			Aspetto non naturale della costa		
		Difficoltà di accesso al mare			
Pennelli		Ostacolo per le correnti litoranee	Erosione della spiaggia sottoflutto		
		Arresto/attenuazione del trasporto solido litoraneo	Formazione di profili di spiaggia a "dente di sega" nel caso di schiere di pennelli		
		Trattenimento dei sedimenti nella zona sopraflutto	Generazione di profili di spiaggia con ripidità non omogenea		
Barriere distaccate		Riduzione dell'altezza dell'onda nella zona protetta	Accentuazione dei fenomeni erosivi lungo la costa adiacente non protetta		
		Riduzione del trasporto di sedimenti lungo la costa			
		Incremento della deposizione dei sedimenti a tergo della struttura e conseguente progradazione della linea di riva	Formazione di <i>rip currents</i> , con conseguente erosione tra i varchi e influenza negativa sulla sicurezza della balneazione nella zona dei varchi		
			Scarso ricambio idrico a tergo delle strutture		
		Modifica della composizione granulometrica della spiaggia (aumento della componente fine)			
Ripascimenti		Avanzamento verso mare del profilo di equilibrio della spiaggia	Aumento temporaneo/persistente della torbidità		
		Aumento dell'ampiezza della spiaggia emersa	Nel caso dei ripascimento protetto, necessità di considerare gli effetti associati alle opere di protezione utilizzate		
By-pass		Ripristino del trasporto dei sedimenti da un lato all'altro di opere marittime aggettanti	Incremento della torbidità delle acque in prossimità dell'area di intervento		
		Riduzione delle variazioni della linea di riva e dei fondali adiacenti			

BIBLIOGRAFIA

- AIROLDI, L., BULLERI, F. (2011) - Anthropogenic disturbance can determine the magnitude of opportunistic species responses on marine urban infrastructures. *PLoS ONE* 6, e22985.
- APAT. 2007. Atlante delle opere di sistemazione costiera. Manuali e Linee guida 44/2007 ISBN 88-448-0237-6
- BERTASI F., COLANGELO M.A., ABBIATI M., CECCHERELLI V.U. (2007) - Effects of an artificial protection structure on the sandy shore macrofaunal community: the special case of Lido di Dante (Northern Adriatic Sea). *Hydrobiologia*, 586: 277-290.
- BOWMAN D. e PRANZINI E. (2003) - Reversed response within a segmented detached breakwater - the Gombo case, Tuscany coast, Italy. *Coastal Engineering*, 49: 263-274.
- BOWMAN D., FERRI S. e PRANZINI E. (2007) - Efficacy of beach dewatering - Alassio, Italy. *Coastal Engineering*, 54: 791-800.
- BYRD J.I. (2004) - The effect of beach nourishment on loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) nesting in South Carolina. A thesis of the degree requirements for the Master of Science in Environmental Studies at the Graduate School - College of Charleston: 154 pp.
- B.N.P. (1995) - Beach Nourishment and Protection. National Academies Press, 12/dic/1995, Washington. D. C.: 334 pp. URL <http://www.nap.edu/books/0309052904/html/index.html>.
- BULLERI F. e CHAPMAN M.G. (2010) - The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments. *Journal of Applied Ecology*, 47 (1): 26-35.
- BULLERI F., MENCONI M., CINELLI F., BENEDETTI-CECCHI L. (2000) - Grazing by two species of limpets on artificial reefs in the northwest Mediterranean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 255: 1-19.
- BULLERI F., AIROLDI L. (2005) - Artificial marine structures facilitate the spread of a nonindigenous green alga, *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*, in the North Adriatic Sea. *Journal of Applied Ecology*, 42: 1063-1072.
- BRACEWELL, S.A., SPENCER, M., MARRS, R.H., ILES, M., ROBINSON, L.A. (2012) - Cleft, crevice, or the inner thigh: "Another place" for the establishment of the invasive barnacle *Austrominius modestus* (Darwin, 1854). *PLoS ONE* 7, e48863.
- CARTWRIGHT, S.R., WILLIAMS, G.A. (2012) - Seasonal variation in utilization of biogenic microhabitats by littorinid snails on tropical rocky shores. *Mar. Biol.* 159, 2323–2332.
- CHAPMAN M.G., BULLERI F. (2003) - Intertidal seawalls – new features of landscape in intertidal environments. *Landscape and Urban planning*, 62: 159-172.
- COLOSIO F., ABBIATI M., AIROLDI L. (2007) - Effects of beach nourishment on sediments and benthic assemblages. *Marine Pollution Bulletin*, 54 (8): 1197-1206.
- COOMBES, M.A., et al. (2011) - Colonisation and weathering of engineering materials by marine microorganisms: an SEM study. *Earth Surf. Process. Landf.* 36, 582–593.
- CONNELL S. D. e GLASBY T. M. (1999) - Do urban structures influence the local abundance and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney harbour, Australia. *Marine Environmental Research*, 47: 373-387.
- CRAIN A.D., BOLTEN A.B., BJORNDAL K.A. (1995) - Effects of beach nourishment on sea turtles: review and research initiatives. *Restoration Ecology*, 3 (2): 95-104.
- DEFEO O., MCLACHLAN A., SCHOEMAN D.S., SCHLACHER T.A., DUGAN J., JONES A., LASTRA M., SCAPINI F. (2009) - Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81: 11-12.
- DUGAN J.E. e HUBBARD D.M. (2006) - Ecological responses to coastal armoring on exposed sandy beaches. *Shore & beaches*, 74: 10-16.
- DUGAN J.E., AIROLDI L., CHAPMAN M.G., WALKER S.J., SCHLACHER T. (2011) – Estuarine and Coastal Structures: Environmental Effects. A Focus on Shore and Nearshore Structures. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 8: 7-41.
- DUFFY-ANDERSON, J.T., MANDERSON, J.P., ABLE, K.W. (2003) - A characterization of juvenile fish assemblages around man-made structures in the New York New Jersey Harbor Estuary, USA. *Bull. Mar. Sci.*, 72: 877- 889.
- FANINI L., MARCHETTI G.M., SCAPINI F., DEFEO O. (2009) - Effects of beach nourishment and groynes building on population and community descriptors of mobile arthropodo-fauna. *Ecological Indicators*, 9: 167-178.

- FAUVELOT, C., BERTOZZI, F., COSTANTINI, F., AIROLDI, L., ABBIATI, M., 2009. Lower genetic diversity in the limpet *Patella caerulea* on urban coastal structures compared to natural rocky habitats. *Mar. Biol.* 156, 2313–2323.
- FAUVELOT, C., COSTANTINI, F., VIRGILIO, M., ABBIATI, M., 2012. Do artificial structures alter marine invertebrate genetic makeup? *Mar. Biol.* 159, 2797–2807.
- FENSTER M.S., KNISLEY C.B., REED C.T. (2006) - Habitat preference and the effects of beach nourishment on the federally threatened northeastern beach tiger beetle, *Cincidela dorsalis dorsalis*: Western Shore, Chesapeake Bay, Virginia. *Journal of Coastal Research*, 22 (5): 1133-1144.
- FERRARIO, F., 2013. Analysis and development of ecologically based approach0065s to coastal defence. (PhD Thesis) University of Bologna.
- FIRTH, L.B., CROWE, T.P., 2008. Large-scale coexistence and small-scale segregation of key species on rocky shores. *Hydrobiologia* 614, 233–241.
- FIRTH, L.B., CROWE, T.P., 2010. Competition and habitat suitability: small-scale segregation underpins large-scale coexistence of key species on temperate rocky shores. *Oecologia* 162, 163–174.
- FIRTH, L.B., KNIGHTS, A.M., BELL, S.S., 2011. Air temperature and winter mortality: implications for the persistence of the invasive mussel, *Perna viridis* in the intertidal zone of the south-eastern United States. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 400, 250–256.
- FIRTH, L.B., et al., Between a rock and a hard place: Environmental and engineering considerations when designing coastal defence structures, *Coast. Eng.* (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.10.015>
- FLETCHER C.H., MULLANE R.A., RICHMOND B.M. (1997) - Beach loss along armoured shorelines on Oahu, Hawaiian Islands. *Journal of Coastal Research*, 13: 209-215.
- GACIA E., SATTA M.P., MARTIN D. (2007) - Low crested coastal defence structures on the Catalan of the Mediterranean Sea: how they compare with natural rocky shores. *Scientia Marina*, 71 (2): 259-267.
- GLASBY T. M. (2000) - Surface composition and orientation interact to affect subtidal epibiota. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 248: 177-190.
- GLASBY T.M., CONNELL S.D., HOLLOWAY M.G., HEWITT C.L. (2007) - Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions? *Marine Biology*, 151: 887-895.
- GOODSELL, P.J., CHAPMAN, M.G., UNDERWOOD, A.J., 2007. Differences between biota in anthropogenically fragmented habitats and in naturally patchy habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 351, 15–23.
- GOODSELL, P.J., UNDERWOOD, A.J., CHAPMAN, M.G., 2009. Evidence necessary for taxa to be reliable indicators of environmental conditions or impacts. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 323–331.
- GREEN K. (2002) - Beach nourishment: a review of the biological and physical impacts. ASMFC (Atlantic States Marine Fisheries Commission). *Habitat Management Series*, 7: 174 pp.
- GREEN, D.S., CHAPMAN, M.G., BLOCKLEY, D.J. 2012. Ecological consequences of the type of rock used in the construction of artificial boulder-fields. *Ecol. Eng.* 46, 1–10.
- GUIDUCCI, F. PAOLELLA, G., 2006, Una scheda descrittiva degli interventi di protezione dei litorali – Applicazione agli interventi sulla costa tirrenica-cosentina, Giornata in onore del Prof. Edoardo Benassai – Guardia Piemontese (CS) –2006.
- GUIDETTI P., FABIANO M. (2000) - The use of lepidochronology to assess the impact of terrigenous discharge on the primary leaf production of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin*, 40 (5): 449-453.
- IOANNIDIS D. e TH. V. KARAMBA S. (2007) - 'Soft' shore protection methods: beach drain system. 10th Int. Conf. on Environmental Science and Technology, CEST2007, Kos Island, Greece: A-528-535.
- JACKSON N. L., SMITH D.R., TIYARATTANACHAI R., NORDSTROM K.F. (2007) – Evaluation of a small beach nourishment project to enhance habitat suitability for horseshoe crabs. *Geomorphology and Ecosystems*, 89 (1-2): 172-185.
- JACKSON, L., CORBETT, B., TOMLINSON, R., MCGRATH, J., STUART, G., 2007. *Narrowneck Reef: Review of Seven Years of Monitoring.*
- JACKSON, L.A., TOMLINSON R., MCGRATH, J., TURNER, I., 2002. Monitoring of a multi functional submerged geotextile reef breakwater. *Proceedings of the 28th International Conference on Coastal Engineering 7-12th July 2002 Cardiff, Wales.*
- JARAMILLO E., CONTRRAS H., BOLLINGER A. (2002) - Beach and faunal response to the construction of a seawall in a sandy beach of south central Chile. *Journal of Coastal Research*, 18: 523-529.
- KNOTT, N.A., UNDERWOOD, A.J., CHAPMAN, M.G., GLASBY, T.M., 2004. Epibiota on vertical and on horizontal surfaces on natural reefs and on artificial structures. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 84, 1117–1130.

- LALLI, F., BRUSCHI, A., LAMA, R., LIBERTI, L., MANDRONE, S., PESARINO, V., 2010, Coanda effect in coastal flows, *Coastal Engineering*, vol. 57 n.3, 2010.
- LALLI, F., BRUSCHI, A., LIBERTI, L., PESARINO, V., BASSANINI, P., 2012, Analysis of linear and nonlinear features of a flat plate breakwater with the boundary element method, *Journal of fluids and Structures*, Volume 32, July 2012, pag. 146-158.
- LA VALLE P., NICOLETTI L., FINOIA M.G., ARDIZZONE G.D. (2011) - *Donax trunculus* (Bivalvia: Donacidae) as a potential biological indicator of grain-size variations in beach sediment. *Ecological Indicators*, 11/5 (2011): 1426-1436.
- LA VALLE P., NICOLETTI L. (2008) - Beach nourishment and *Donax trunculus* (Linnaeus, 1758) populations in the Central Tyrrhenian Sea: negative or positive impact? In: Campostrini P. (Ed) *A changing coast: challenge for the environmental policies*. Proceedings of the IX International Conference LITTORAL 2008, Venice, Italy, 25-28 November 2008. Arzanà, Venice. (electronic publication).
- LA VALLE P., BELLUSCIO A., NICOLETTI L., PAGANELLI D., ARDIZZONE G.D. (2007) - Effects of beach nourishment on *Donax trunculus* in the Latium coasts (Central Tyrrhenian Sea, Italy). Proceedings of the Eighth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST'07. E. Özhan (Editor), 13-17 November 2007, Alexandria, Egypt.
- LARSON M., KRAUS N.C., WISE R.A. (1999) - Equilibrium beach profiles under breaking and non breaking waves. *Coastal Engineering*, 36: 59-85.
- LISI I., DI RISIO M., DE GIROLAMO P., GABELLINI M. 2016. "Engineering tools to the estimation and environmental management of sediments resuspension induced by dredging" Publication in the book "Coastal and Marine Environment", ISBN 978-953-51-4620-9.
- MANZANERA M., PÉREZ M., ROMERO J. (1998) - Seagrass mortality due to over-sedimentation: an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation*, 4: 67-70
- MARTIN D., BERTASI F., COLANGELO M.A., DE VRIES M., FROST M., HAWKINS S.J., MACPHERSON E., MORCHELLA P.S., SATTA M.P., THOMPSON R.C., SECCHERELLI V.U. (2005) - Ecological Impact of coastal defence structures on sediment and mobile fauna: evaluating and forecasting consequences of unavoidable modifications of native habitats. *Coastal engineering*, 52: 1027-1051.
- MARTINS G.M., AMARAL A.F., WALLENSTEIN F.M., NETO A.I. (2009) - Influence of a breakwater on nearby rocky intertidal community structure. *Marine Environmental Research*, 67: 237-245.
- MATTEOTTI G., RUOL P., 2003. L'impiego dei geosintetici nelle opere di ingegneria marittima e costiera, 2003
- MAURER D., KECK R.T., TINSMAN J.C., LEATHEM W.A., WETHE C.A., LORD C., CHURH T.M. (1986) - Vertical migration and mortality of benthos in dredged material: a synthesis. *International Revue der gesamten Hydrobiologie*, 71(1): 49-63.
- MELBOURNE WATER CORPORATION. 2015. Flood Management Strategy - Port Phillip and Westernport.
- MEYER-ARENDE K.J., DORVLO A. (2001) - Recreational development and shoreline modification along the north coast of Yucatan, Mexico. *Tourism Geographies*, 3: 87-104.
- MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO. Gruppo di lavoro della Direzione Generale per la Difesa del Suolo. 2006. DOCUMENTO PRELIMINARE PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI INDIRIZZI E DEI CRITERI PER LA DIFESA DELLE COSTE. Roma, Novembre 2006. 102 pp.
- MOISER A.E., WITHERINGTON B.E. (2002) - Documented effects of coastal armouring structures on sea turtle nesting behaviour. Proceedings of the 20th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation: 304-306.
- MOREIRA J., CHAPMAN M.G., UNDERWOOD A.J. (2006) - Seawalls do not sustain viable populations of limpets. *Marine Ecology-Progress Series*, 322: 179-188.
- MOSCHELLA P.S., ABBIATI M., ÅBERG P., AIROLDI L., ANDERSON J.M., BACCHIOCCHI F., BULLERI F., DINESEN G.E., FROST M., GACIA E., GRANHAG L., JONSSON P.R., SATTA M.P., SUNDELÖF A., THOMPSON R.C., HAWKINS S.J. (2005) - Low-crested coastal defence structures as artificial habitats for marine life: Using ecological criteria in design. *Coastal Engineering*, 52: 1053-1071.
- NICOLETTI L., PAGANELLI D., GABELLINI M. (2006) – Environmental aspects of relict sand dredging for beach nourishment: proposal of monitoring protocol. *Quaderno ICRAM n.5*: 155pp.
- NICOLETTI L., BELLUSCIO A., LA VALLE P., ARDIZZONE G.D. (2005) - Monitoring of *Posidonia Oceanica* Meadow after Beach Nourishment. In: "MEDCOAST '05 - Proceedings of the Seventh International Conference on the Mediterranean Coastal Environment", Özhan E. (Ed), 25-29 October 2005, Kusadasi, Turkey: 451-460.
- NOAA 2013. What will adaptation cost? An economic frame work for coastal community infrastructure. Final report, NOAA Coastal Services Center.

- NORDSTROM K.F. (2005) - Beach nourishment and coastal habitats: research needs to improve compatibility. *Restoration Ecology*, 13(1): 215-222.
- OSPAR (2009) - Assessment of the impact of coastal defence structures: 27 pp.
- PAGANELLI D., LA VALLE P., ERCOLE S., LISI I., TEOFILI C., NICOLETTI L., 2014.
- Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera. ISPRA, Manuali e Linee Guida 105/2014, ISBN: 978-88-448-0637-8, 73 p.
- PATTIARATCHI C.B., OLSSON D., HETZEL Y., LOWE R. (2009) - Wave-driven circulation patterns in the lee of groynes. *Continental Shelf Research*, 29 (16): 1961-1974.
- PERKOL-FINKEL, S., FERRARIO, F., NICOTERA, V., AIROLDI, L., 2012. Conservation challenges in urban seascapes: promoting the growth of threatened species on coastal infrastructures. *J. Appl. Ecol.* 49, 1457–1466.
- PETERSON C.H., BISHOP M.J., JOHNSON G.A., D'ANNA L.M., MANNING L.M. (2006) - Exploiting beach filling as an unaffordable experiment: benthic intertidal impacts propagating upwards to shorebirds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 338: 205-221.
- PINN E.H., MITCHELL K., CORKILL J. (2005) - The assemblages of groynes in relation to substratum age, aspect and microhabitat. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62: 271-282.
- PIOTTO B., GIACANELLI V., ERCOLE S. (a cura di) (2010) - La conservazione ex situ della biodiversità delle specie vegetali spontanee e coltivate in Italia: stato dell'arte, criticità e azioni da compiere. *Manuali e Linee Guida ISPRA*, 54/2010: 205 pp.
- POSIDUNE (2007) - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles - Cahier Technique étendu de Phase B, INTERREG IIIC Beachmed-e: 127 pp. <http://www.beachmed.it/Beachmede/SousProjets/POSIDUNE/tabid/99/Default.aspx>.
- RAKOCINSKI C.F., HEARD R.W., LECROY S.E., MCLELLAND J.A., SIMONS T. (1996) - Responses by macrobenthic assemblages to extensive beach restoration at Perdido Key, Florida, USA. *Journal of Coastal Research*, 12 (1): 326-353.
- REGIONE CALABRIA - AUTORITA' DI BACINO REGIONALE. 2006 - Accordo di Programma Quadro Difesa del Suolo - Erosione delle Coste. Linee guida per la progettazione ed esecuzione degli interventi. Catanzaro, Novembre 2006
- RICE C.A. (2006) - Effects of shoreline modification on a northern Puget Sound beach: microclimate and embryo mortality in surf smelt (*Hypomesus pretiosus*). *Estuaries and Coasts*, 29: 63-71.
- RIZKALLA, C.E., SAVAGE, A. (2011) - Impact of seawalls on loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) nesting and hatching success. *Journal of Coastal Research*, 27(1): 166-173.
- RUIZ J.M., ROMERO J. (2003) - Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Pollut. Bull.*, 46: 1523-1533.
- RUIZ J.M., MARIN A., CALVO J.F., RAMIREZ-DIAZ L. (1993) - Interactions between floodway and coastal constructions in Aguilas Bay (southeastern Spain). *Ocean and Coastal Management*, 19: 241-262.
- RUMBOLD D.G., DAVIS P.W., PERRETTA C. (2001) - Estimating the effect of beach nourishment on *Caretta caretta* (loggerhead sea turtle) nesting. *Restoration Ecology*, 9: 304-310.
- SANCHEZ-JEREZ P., GILLANDERS B.M., RODRIGUEZ-RUIZ S., RAMOS-ESPLA' A. (2002) - Effect of an artificial reef in *Posidonia* meadows on fish assemblage and diet of *Diplodus annularis*. *ICES J. Mar. Sci.*, 59 (Suppl.): 59-68.
- SATO M., NISHI R., NAKAMURA K., SASAKI T. (2003) - Short-term field experiments on beach transformation under the operation of a coastal drain system. *Soft Shore Protection*, Kluwer Academic Publishers, 7: 171-182.
- SCAPINI, F., CHELAZZI, L., COLOMBINI, I., FALLACI, M., FANINI, L. (2005) - Orientation of sand hoppers at different points along a dynamic shoreline in southern Tuscany. *Marine Biology* 147: 919-926.
- SKOV, M.W., HAWKINS, S.J., VOLKELT-INGE, M., PIKE, J., THOMPSON, R.C., DONCASTER, C.P., 2011. Patchiness in resource distribution mitigates habitat loss: insights from high-shore grazers. *Ecosphere* 2 (5) (art60).
- SPEYBROECK J., BONTE D., COURTENS W., GHESKIERE T., GROOTAERT P., MAELFAIT J.P., MATHYS M., PROVOOST S., SABBE K., STIENEN E.W.M., VAN LANCKER V., VINCX M., DEGRAER S. (2006) - Beach nourishment: an ecologically sound coastal defense alternative? A review. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 16: 419-435.
- STIVE M. J. F., AARNINKHOF S. G. J., HAMM L., HANSON H., LARSON M., WIJNBERG K. M., NICHOLLS R. J., CAPOBIANCO M. (2002) - Variability of shore and shoreline evolution. *Coastal Engineering*, 47 (2): 211-235.

- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2011) - Coastal Engineering Manual (CEM), Chapter V-3 "Shore Protection Projects". U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC), Vicksburg, Mississippi., EM 1110-2-1100 (Part V) 31 July 2003: 116 pp.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2003) - Coastal Engineering Manual (CEM), Chapter VII "Coastal Engineering for environmental enhancement". U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC), Vicksburg, Mississippi., EM 1110-2-1100 (Part V) 31 July 2003: 48 pp.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2008) - Coastal Engineering Manual (CEM), Chapter I "Planning and design process". U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC), Vicksburg, Mississippi., EM 1110-2-1100 (Part V) 1 August 2008: 21 pp.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2008) - Coastal Engineering Manual (CEM), Chapter III "Shore protection project". U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC), Vicksburg, Mississippi., EM 1110-2-1100 (Part V) 1 August 2008: 116 pp.
- VAN DOLAH R.F., CALDER D.R., KNOTT D.M. (1984) - Effects of dredging and open-water disposal on benthic macroinvertebrates in a South Carolina Estuary. *Estuaries*, 7(1): 28-37.
- VAN RIJN, L.C. (2005) - Principles of Sedimentation and Erosion Engineering in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. *Aqua Publications* (www.aquapublications.nl), The Netherlands: 600 pp.
- VASELLI, S., BULLERI, F., BENEDETTI-CECCHI, L., 2008. Hard coastal-defence structures as habitats for native and exotic rocky-bottom species. *Mar. Environ. Res.* 66, 395–403.
- VICINANZA, D., GUIDA, A., FERRANTE, V., CIAVOLA, P. (2010). "Performance of a Beach Dewatering System—Chiaiarella Beach, Procida Island, Italy", *Journal of Coastal Research*, ISSN 0749-0208, vol. 26 (4), pp. 753-761. : <http://dx.doi.org/10.2112/08-1165.1>
- VIRGILIO, M., AIROLDI, L., ABBIATI, M., 2006. Spatial and temporal variations of assemblages in a Mediterranean coralligenous reef and relationships with surface orientation. *Coral Reefs* 25, 265–272.
- WALLINGFORD H.R., BRAMPTON A., MOTYKA G., COATES T (2000) - A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems. Scottish Natural Heritage. URL <http://www.snh.org.uk/publications/online/heritagemanagement/erosion/sitemap.shtml>.
- WALKER S.J., SCHLACHER T.A., THOMPSON L.M.C. (2008) - Habitat modification in a dynamic environment: The influence of a small artificial groyne on macrofaunal assemblages of a sandy beach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79: 24-34.
- WILBER D.H., CLARKE D.G., RAY G.L., BURLAS M. (2003) - Response of surf zone fish to beach nourishment operations on the northern coast of New Jersey, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 250: 231-246.
- P. BORRELLO, R. DE ANGELIS, E. PALLOTTINI, F. SACCOMANDI, S. CAPPUCCI, L. AGUZZI, S. CASTELLI, V. PARODI, C. CUNEO, N. UNGARO, B. SIRCHIA, F. SERENA, C. MANCUSI, A. BINI, J. VIACAVA, G. BOVINA, S. CORSINI (2010). Formazione e gestione delle *banquettes* di *Posidonia oceanica* sugli arenili". ISPRA, Manuali e linee guida 55/2010 Pp. 124 www.isprambiente.gov.it
- G. DE FALCO, M. BAROLI, S. SIMEONE, G. PIERGALLINI (2002). La rimozione della *Posidonia* dalle spiagge: Conseguenze sulla stabilità dei litorali. Risultati Progetto ARENA.
- S. SIMEONE, G. DE FALCO (2013). *Posidonia oceanica* banquette removal: sedimentological, geomorphological and ecological implications. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, pp. 1045-1050
- DE FALCO, G., SIMEONE, S., BAROLI, M., 2008. Management of Beach-Cast *Posidonia oceanica* Seagrass on the Island of Sardinia (Italy, Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, 24 (4c), 69-75.

ALLEGATO 3

RISORSA SEDIMENTI

Tipologia di risorse sedimentarie disponibili per la ricostituzione del bilancio costiero: descrizione e inquadramento. Prima comparazione tra le disponibilità ed il fabbisogno lordo

INDICE

1. DEPOSITI SEDIMENTARI MARINI RELITTI (DSMR)	247
1.1. Definizione dei Depositi Sedimentari Marini Relitti	247
1.1.1. Definizione dei DSMR	247
1.1.2. Caratteristiche dei DSMR: Mar Tirreno centro-settentrionale	248
1.1.3. Caratteristiche dei DSMR: Mar Tirreno meridionale	250
1.1.4. Caratteristiche dei DSMR: Mar Ligure	250
1.1.5. Caratteristiche dei DSMR: Sardegna occidentale e settentrionale	253
1.1.6. Caratteristiche dei DSMR: piattaforma della Sicilia settentrionale	254
1.1.7. Caratteristiche dei DSMR: piattaforma continentale dell'Adriatico	256
1.1.8. Caratteristiche dei DSMR: Piattaforma continentale della Puglia	259
1.2. Impiego dei DSMR in Europa, nel Mediterraneo e in Italia	267
1.2.1. Quadro degli usi nel Nord Europa e nel Mediterraneo	267
1.2.2. Quadro degli usi in Italia	269
1.3. Stato dell'arte relativo alla caratterizzazione dei DSMR e definizione delle potenzialità	270
1.3.1. Definizione delle Potenzialità dei DSMR	270
1.3.2. Quadro delle conoscenze in Italia	271
1.4. Aspetti ambientali	273
1.4.1. Dragaggi dei DSMR e movimentazione dei sedimenti	273
1.4.2. Protocollo monitoraggio ambientale	275
2. SEDIMENTI ACCUMULATI LUNGO LA COSTA	277
2.1. Stato delle conoscenze e delle pratiche di riutilizzo	277
2.2. Stima dei volumi e caratterizzazione	279
2.3. Aspetti ambientali	280
3. SEDIMENTI ACCUMULATI NEI I BACINI IDROGRAFICI	282
3.1. Stima dei volumi e caratterizzazione	282
3.2. Aspetti ambientali	284
4. ALTRE RISORSE (TERRE DA SCAVO)	286
4.1. Stato delle conoscenze e delle pratiche di utilizzo	286
4.2. Stima dei volumi e caratterizzazione	287
4.3. Aspetti ambientali	288
5. PROSPETTIVE E POSSIBILI STRATEGIE	290
6. CONCLUSIONI	293
7. BIBLIOGRAFIA	295
8. ANNESSO 1: Dati dragaggi 1997-2016	300
9. ANNESSO 2: Censimento Depositi Sedimentari Marini Relitti	303

1. DEPOSITI SEDIMENTARI MARINI RELITTI (DSMR)

1.1. DEFINIZIONE DEI DEPOSITI SEDIMENTARI MARINI RELITTI

1.1.1. Definizione dei DSMR

I giacimenti di sabbie relitte sulla piattaforma continentale sono corpi sedimentari formati in condizioni di livello del mare molto diverse rispetto all'attuale e quindi attualmente non in equilibrio con l'ambiente deposizionale.

I principali depositi si sono formati durante l'ultimo massimo glaciale (20.000 anni fa, basso stazionamento eustatico) al ciglio della piattaforma continentale o durante la successiva risalita (fino a 7.000 anni fa, trasgressione) in ambiente prevalentemente fluviale o litorale o di piattaforma interna con forte idrodinamismo.

I depositi di sabbie relitte presenti sulle piattaforme continentali sono estremamente variabili per caratteristiche e quantità, in funzione di diversi fattori quali estensione della piattaforma, presenza di corsi d'acqua, morfologia dei fondali.

I volumi possono comunque essere ingenti (molti milioni o decine di milioni di metri cubi per ogni singolo deposito).

Le caratteristiche dei depositi possono essere molto variabili per complessità ed omogeneità, con spessori ed estensioni molto diversi (da pochi metri a molte decine di metri, da pochi km² a centinaia di km²), per tessitura (da ghiaiosi a sabbiosi, con percentuali variabili di pelite da nulla a predominante), per mineralogia (da silicoclastici a carbonati bioclastici), per profondità (da 120 sino alla profondità di chiusura del sistema litorale).

I depositi di basso stazionamento sono posti a profondità elevata, spesso di volume ingente e composizione frequentemente bioclastica. Questi depositi di basso stazionamento o trasgressivi sono ricoperti dalle peliti di piattaforma di alto stazionamento (formatesi negli ultimi millenni) che, se di spessore notevole, ne possono impedire la coltivazione.

In genere i depositi fluviali sono molto eterogenei, di spessore relativamente limitato e con caratteristiche mineralogiche funzione dell'area sorgente (bacino scolante).

I depositi litoranei sono in genere più omogenei, prevalentemente costituiti da sabbie medio-fini (anche se si possono trovare anche depositi ghiaiosi); essendo in genere costituiti dalla porzione sommersa del litorale, la componente pelitica può a volte essere molto importante.

I depositi generati per trasporto da correnti marine sono estremamente variabili ma in genere composti da sedimento sabbioso non troppo grossolano ma ben classato e senza componente pelitica.

L'individuazione dei DSMR avviene essenzialmente su base sismostratigrafica, tarata mediante a carotaggi mirati per la definizione delle caratteristiche litologiche e mineralogiche del sedimento. Ne consegue che il grado di conoscenza del deposito è estremamente variabile in funzione delle specifiche dei piani di campionamento adottati.

1.1.2. Caratteristiche dei DSMR: Mar Tirreno centro-settentrionale

Sulla piattaforma continentale del Mar Tirreno centro-settentrionale (Toscana e Lazio) la ricerca dei depositi sabbiosi coltivabili come inerti per ripascimento di litorali in erosione è in fase di avanzata realizzazione. Sono state individuate diverse zone con presenza di depositi sabbiosi potenzialmente coltivabili (Chiocci e La Monica, 1999; 2003; Chiocci *et al.*, 2008a; 2008b; Falese, *et al.*, 2008, Chiocci e Falese, 2012; Chiocci e Falese, 2014a,b; Martorelli *et al.*, 2014).



Figura 1.1.1

La notevole articolazione e la grande estensione (se rapportata all'estensione media della piattaforma continentale del Mediterraneo) della piattaforma continentale tosco-laziale, ha consentito la formazione e la preservazione di corpi deposizionali sabbiosi, soprattutto durante l'ultima risalita eustatica, e il loro non completo seppellimento da parte dei depositi pelitici dell'attuale fase di alto stazionamento del livello del mare. L'eterogeneità dei depositi sabbiosi rispecchia la notevole complessità della piattaforma continentale del Mar Tirreno centro-settentrionale. Nell'area, infatti, sono stati individuati corpi appartenenti sia alla fase di caduta-basso stazionamento (terrazzi deposizionali sommersi), sia alla fase di risalita del livello del mare (corpi lenticolari associati ad alto morfologico, terrazzi deposizionali sommersi, cordoni litorali relitti, dune sottomarine e riempimento di paleoalvei).

Nella Fig. 1.1.1 sono sinteticamente localizzati i diversi corpi deposizionali sabbiosi sulla piattaforma continentale del Tirreno centro-settentrionale (Toscana e Lazio) e meridionale (Calabria tirrenica) tra cui si distinguono: 1) terrazzo deposizionale sommerso; 2) corpo lenticolare associato ad alto morfologico; 3) cordoni litorali relitti; 4) dune sottomarine; 5) parasequenze trasgressive; 6) riempimento di paleoalveo.

I terrazzi deposizionali sommersi –TDS (Chiocci e Orlando, 1996) sono corpi messi in posto durante la fase di caduta-basso stazionamento (FSST-LST) in prossimità del ciglio della piattaforma continentale (tra -120 e -150 m) e durante la successiva trasgressione (TST) a profondità maggiori di quelle del livello di base del moto ondoso. Tali depositi, generalmente, hanno una morfologia esterna terrazzata (con una spianata sommitale e una scarpata frontale), una configurazione dei riflettori interni, ad alta ampiezza e continuità, progradante e, spesso, sono sub-affioranti sul fondo del mare. Sulla piattaforma tosco-laziale i principali TDS sono stati individuati sui fondali antistanti: l'Isola di Capraia (Fig. 1.1.2), l'Isola del Giglio, Ladispoli, Capo d'Anzio e l'arcipelago pontino (Chiocci e Orlando, 1996; Roveri e Correggiari, 2004; Casalbore *et al.*, *in press*): Questi depositi sono generalmente costituiti da sabbie grossolane con una abbondante componente scheletrica.

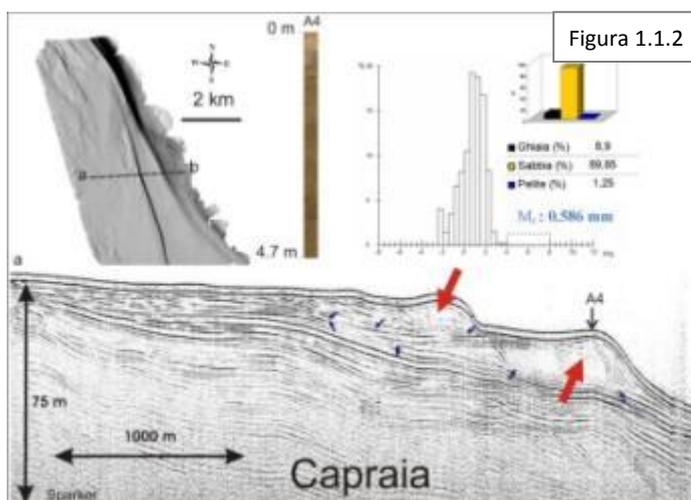


Figura 1.1.2

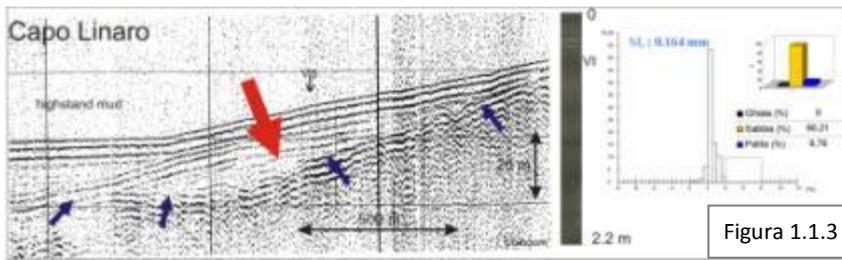


Figura 1.1.3

I corpi lenticolari associati ad alti morfologici (CL) si formano durante la risalita del livello del mare e sono localizzati in genere in prossimità di alti morfologici, i quali probabilmente creano delle zone protette per la

sedimentazione litorale. Questi depositi sono stati individuati sui fondali dell'Isola d'Elba e al traverso di Capo Linaro (Fig. 1.1.3), di Capo d'Anzio e del Lago di Fogliano; tali depositi sono costituiti prevalentemente da sabbia fine-media

I cordoni litorali relitti (PL) sono depositi che presentano una morfologia esterna caratterizzata da base piatta (solitamente coincidenti con la discordanza LGM¹⁷⁸) e tetto convesso, interpretati come cordoni litorali trasgressivi formati durante la

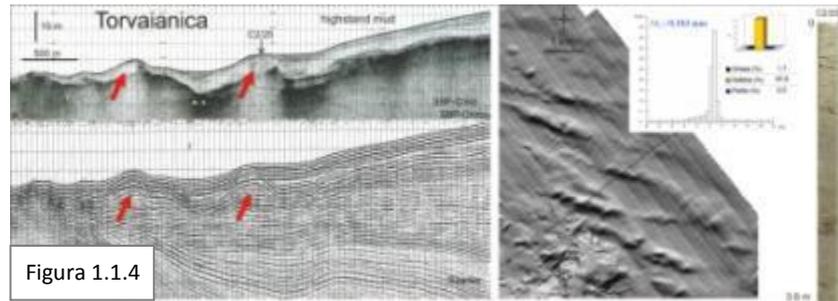


Figura 1.1.4

risalita del livello del mare e il cui tetto sarebbe stato successivamente rielaborato dal moto ondoso. La struttura interna è genericamente progradante con set di accrescimento di spessore decimetrico. Paleocordoni litorali sono presenti al largo delle coste della Versilia, al traverso di Piombino, Montalto di castro, Torvaianica (Fig.1.1.4) e nel Golfo di Gaeta; tali depositi sono prevalentemente costituiti da sabbie fini con livelli ghiaiosi.

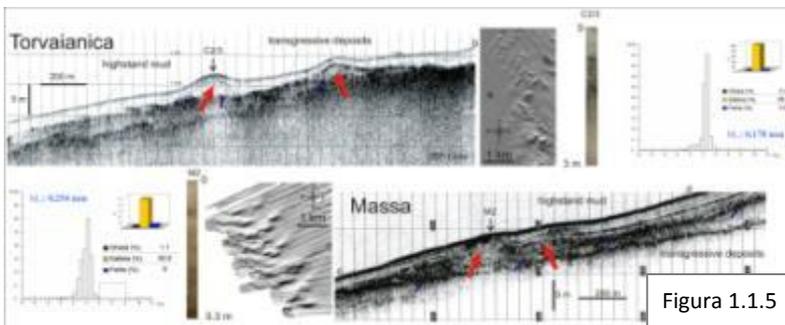


Figura 1.1.5

Le dune sottomarine (DS), caratterizzate dall'aver una facies acustica quasi trasparente, una geometria esterna allungata e una superficie di tetto convessa, si sarebbero formate ad opera delle correnti costiere successivamente alla trasgressione marina (sommersione della spiaggia e delle dune prima emerse). Campi di dune sottomarine sono presenti al largo di Massa e di Torvaianica (Fig. 1.1.5). Tali depositi sono costituiti prevalentemente da sabbie fini.

Riempimento di paleoalvei fluviali (PA). I paleoalvei sono prodotti dell'erosione fluviale delle valli formatesi durante la regressione marina, quando la piattaforma continentale emersa era soggetta ad erosione areale. Le valli sono state

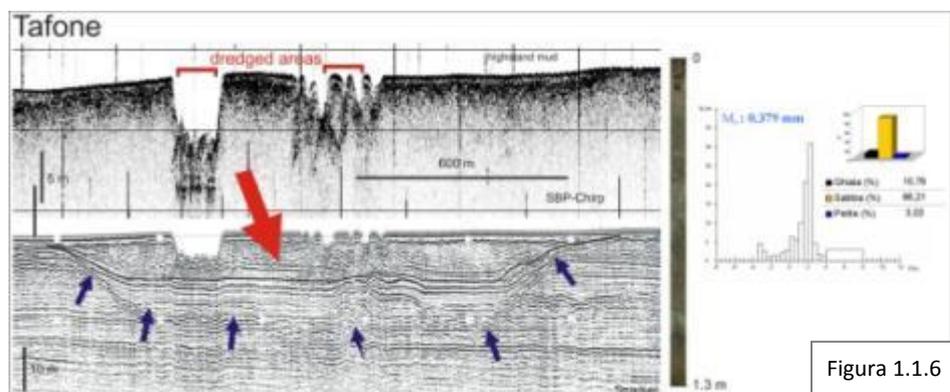


Figura 1.1.6

¹⁷⁸ Ultimo Massimo Glaciale

riempite da sedimenti fluviali durante l'abbassamento del livello marino e infine erose durante l'innalzamento (*ravinement surface*). I principali paleoalvei sono stati individuati tra il Fosso del Chiarone e il Fiume Marta (Fig. 1.1.6) e tra Capo d'Anzio e la foce del Fiume Garigliano. I riempimenti di paleoalvei risultano costituiti da sedimenti molto eterogenei: da sedimenti prevalentemente pelitici a sabbie fini a ghiaie in matrice sabbiosa.

1.1.3. Caratteristiche dei DSMR: Mar Tirreno meridionale

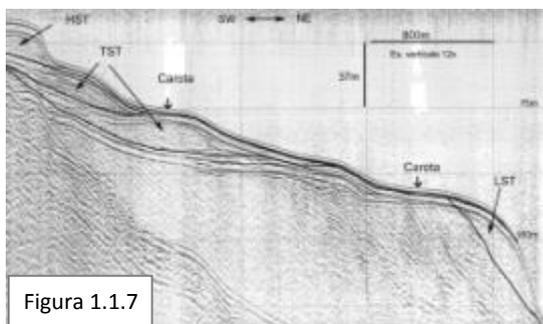


Figura 1.1.7

Sulla piattaforma continentale del Tirreno meridionale

(Calabria) il livello di conoscenza è modesto rispetto a quello riguardante la Piattaforma toscano-laziale ed è essenzialmente bibliografico, poiché non sono mai state fatte ricerche per l'individuazione e caratterizzazione di depositi sabbiosi relitti da utilizzare a scopi di ripascimento. Sulla piattaforma calabra i depositi di interesse minerario sono rappresentati dai TDS appartenenti sia al *systems tract* di basso stazionamento sia a quello trasgressivo, e dalle

parasequenze trasgressive.

I TDS sono stati individuati: al traverso di Fuscaldo (Pennetta, 1996), tra Nocera Scalo e Santa Eufemia (Mongardi *et al.*, 2004), al traverso di Pizzo e tra Briatico e Capo Vaticano (Chiocci e Orlando, 2004), al traverso di Nicotera e al traverso di Taureana (Fig. 1.1.7). Le parasequenze trasgressive, individuate tra la foce del Fiume Noce e Fuscaldo (Pennetta, 1996) e tra Fuscaldo e Briatico, (Martorelli, 2000), sembrano essere costituite da sabbia e ghiaia. Nel profilo sismico sparker perpendicolare alla costa al traverso di Pizzino (Fig. 1.1.8), è possibile vedere al di sopra della superficie LGM_U tre parasequenze trasgressive (TST-1, TST-2, TST-3) e i depositi di stazionamento alto (HST), questi ultimi affetti da fenomeni di creep nei sedimenti più superficiali (Martorelli *et al.*, 2010).

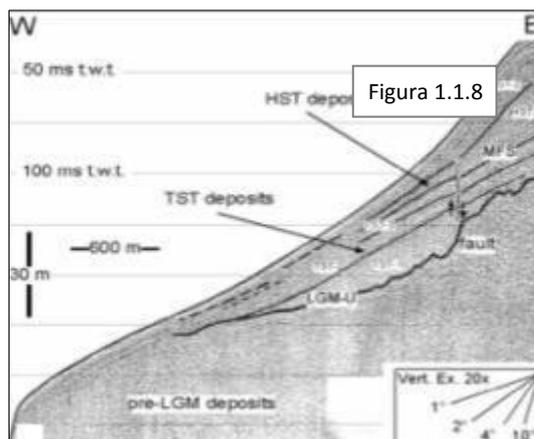


Figura 1.1.8

1.1.4. Caratteristiche dei DSMR: Mar Ligure

Le ricerche sulla piattaforma continentale della Liguria dei DSMR sono ancora in atto sia per la delimitazione delle cave che per gli aspetti ambientali. Pur essendo conosciuta la localizzazione di diversi

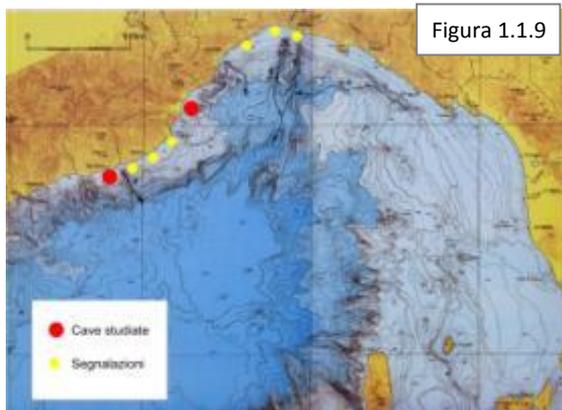


Figura 1.1.9

depositi sulla base della copertura sismostratigrafica di *survey* geofisici, con i progetti Interreg UE Beachmed e Beachmed-e (2004-2007), si sono effettuate specifiche campagne di *survey* e di campionamento volte a delimitare le cave sottomarine ed a determinare le caratteristiche sedimentologiche dei depositi.

Le testimonianze sui fondali liguri dei DSMR sono dunque molto abbondanti, ma la variabilità morfologica e strutturale del margine e la limitata estensione della piattaforma continentale (Corradi *et al.*, 1980 (a), (b);

Corradi *et al.*, 1984;), hanno condizionato la formazione, la preservazione e la continuità laterale dei corpi sedimentari. Tuttavia sono frequenti le segnalazioni di depositi riferibili ai DSMR, suscettibili di coltivazione.

La Fig. 1.1.9 (Carta IIM 1250, mod. – Aut. 12/88 18.07.1988) riporta indicativamente le posizioni dei principali siti individuati in aree esterne ai parchi marini o con copertura dei fanghi olocenici limitata e le due cave studiate nei progetti Beachmed. I corpi sedimentari sono riferibili a depositi relativi alle fasi di trasgressione del livello marino.

Le indagini per la delimitazione dei depositi sono state condotte solo su quei settori di fondale sui quali lo spessore dei sedimenti attuali (olocenici HST) fosse limitato (≤ 4 m) e che rendesse sostenibile la coltivazione della cava. La presenza diffusa di praterie di Fanerogame marine ha costituito un ulteriore limite alla localizzazione dei siti, essendo prioritaria la preservazione dell'ambiente. A questo scopo le indagini (prospezioni e campionamenti) sono state interrotte verso terra ad una batimetria di garanzia di 40 metri (Corradi *et al.*, 2004, Corradi *et al.*, 2005; Ivaldi *et al.*, 2006; Bozzano *et al.*, 2006).

I TDS, si ritrovano frequentemente lungo tutta la piattaforma continentale ligure. La Fig. 1.1.10 (a) mostra i depositi sui fondali di Diano Marina (IM).

In Fig. 1.1.10 (b) sono riportate le caratteristiche tessiture dei layer più profondi raggiunti dal carotaggio nel sito C8 ubicato sui fondali tra Albenga e Loano (SV). Il carotaggio di questi depositi ha consentito di recuperare sedimenti ghiaiosi ben cerniti di spiaggia, depositati durante la trasgressione versiliana.

I PL, in Liguria sono caratterizzati da depositi talvolta privi (o quasi) di copertura pelitica (HST). Spesso è possibile riconoscere più cordoni litorali poggianti sulla superficie di trasgressione e con una posizione stratigrafica che evidenzia il carattere regradante dei depositi. (Fig. 1.1.11 (a) e (b) carota C1).

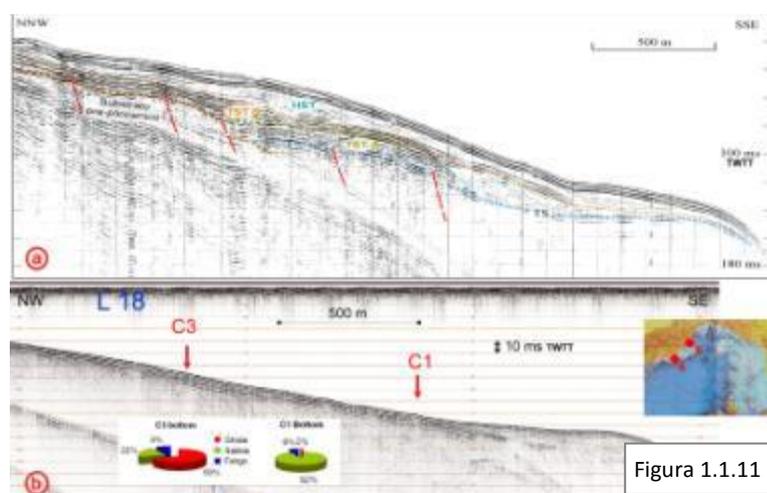


Figura 1.1.11

Talvolta questi depositi sono addossati o sovrainposti ad emergenze di substrato (CL), carota C3, della piattaforma interna della Liguria centro-occidentale. I sedimenti campionati hanno fornito indicazioni di tessiture caratteristiche di sistemi litorali sabbioso-ciottolosi.

I DS sono stati riconosciuti sui fondali del settore Albenga – Loano e ritenuti idonei o suscettibili di coltivazione sulla base della sismostratigrafia e delle facies sismiche individuate. La calibrazione non è potuta avvenire, in quanto questo deposito, sottoposto ad un cordone grossolano relitto di spiaggia, non è stato raggiunto dai carotaggi effettuati. I DS

sono ubicati sui fondali antistanti la più ampia piana costiera ligure (Albenga) e possono aver delimitato sistemi barriera-laguna (Fig. 1.1.12).

Paleo conoidi deltizie (PCD),

depositi caratterizzati da conoidi deltizie torrentizie e fluviali. La loro distinzione dai PA è dovuta alla continuità laterale con i depositi litorali relitti (PL) con i quali vanno in transizione, testimoni di spiagge interdeltizie. In particolare nel caso studiato in Beachmed¹⁷⁹ (cava di San Remo) si sono mappati due

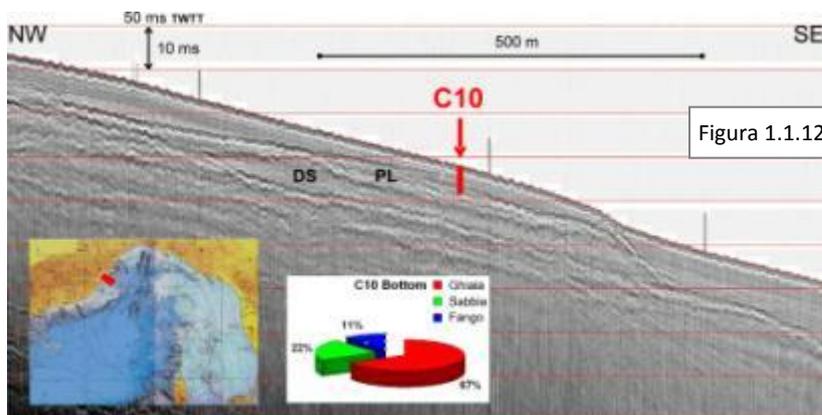


Figura 1.1.12

sistemi delta/spiaggia, corrispondenti a due fasi della trasgressione Versiliana. I sedimenti campionati sono contrassegnati da sedimenti grossolani, misti, con una componente ghiaiosa abbondante (Fig. 1.1.13).

A seguito delle attività di ricerca finanziate dai progetti Beachmed¹⁸⁰, si sono dunque ubicate le cave di:

- San Remo (Fig. 1.1.13 a) rappresentata da depositi PCD, PA, PL, corrispondenti a due fasi della trasgressione. La delimitazione della cava, figura x6 (a) e la stima del volume dei sedimenti, contrassegnata in figura dal limite rosso, è stata fatta sulla base dello spessore dei depositi, tralasciando quelle porzioni di PL non rilevanti per volume o per eccessiva copertura pelitica olocenica (HST) (Balduzzi *et al.*, 2009).
- Cava di Albenga-Loano (Fig. 1.1.13 b) rappresentata da depositi TDS, PL, CL, DS. Si tratta di sistemi litorali trasgressivi che hanno segnato episodi di stasi e ripresa della trasgressione Versiliana (Balduzzi *et al.*, 2005; Corradi *et al.*, 2008; Balduzzi *et al.*, 2008).

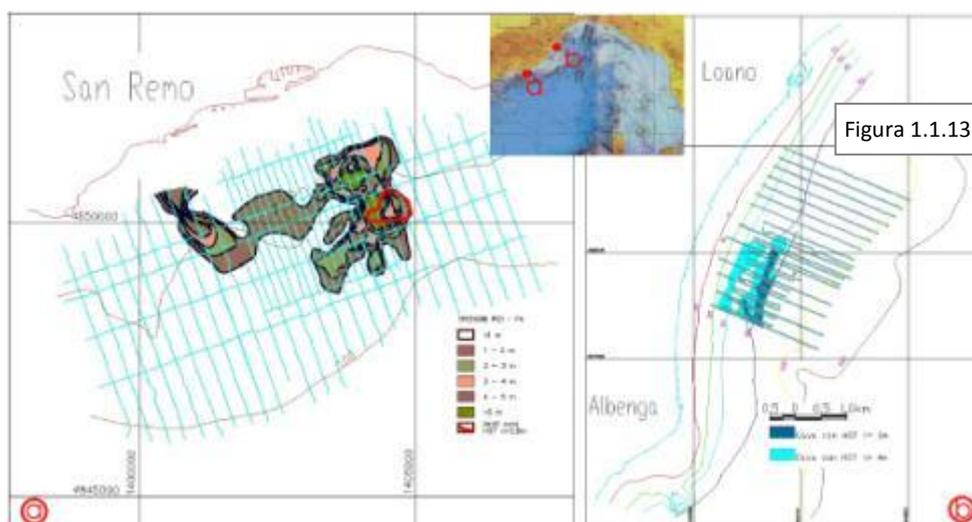


Figura 1.1.13

La delimitazione delle cave è stata eseguita alla scala di 1:10.000 per le prospezioni geofisiche, ritenuta idonea per una stima accurata dei volumi disponibili. La calibrazione dei survey geofisici è stata

effettuata con carotaggi a vibrazione con aste di 6 metri, al fine di verificare le caratteristiche tessiturali dei sedimenti dei paleo depositi e quelle dei fanghi HST che li ricoprono. Sulla base delle specifiche adottate per batimetria, distanza dalla costa, copertura pelitica, la cava di San Remo dispone di circa 2.5 Mm³, mentre quella di Albenga – Loano ha una disponibilità di circa 5Mm³ (tarati con i carotaggi) e di 8.5 Mm³ individuati solo sulla base delle facies sismiche.

¹⁷⁹ Progetto europeo Beachmed – Programma MEDOCC (2002-2004)

¹⁸⁰ Progetto europeo Beachme-e – Programma INTERREG IIIC Sud (2005-2008)

1.1.5. Caratteristiche dei DSMR: Sardegna occidentale e settentrionale

Relativamente alla piattaforma continentale della Sardegna occidentale e settentrionale, si dispone di una copertura continua di dati morfobatimetrici (Multibeam) tra i 50 e 600/700 m di profondità, e rilievi morfobatimetrici localizzati in alcune aree costiere a bassa profondità (Sinis, Golfo di Oristano, Piscinas). E' disponibile, associato al dato morfobatimetrico il dato di backscatter. E' stata acquisita inoltre un'estesa copertura di dati sismici ad altissima risoluzione (Chirp 3.5 kHz) e alcune centinaia di km di profili sparker, localizzati in particolare lungo la piattaforma centro occidentale. Nello stesso settore sono state realizzate campionature del sedimento superficiale (bennate e box corer) e cinque vibrocarotaggi fino a tre metri di profondità. Questi dati hanno consentito l'individuazione e la mappatura di DSMR, nonché determinazione dello spessore e dei volumi degli stessi e la loro caratterizzazione sedimentologica.

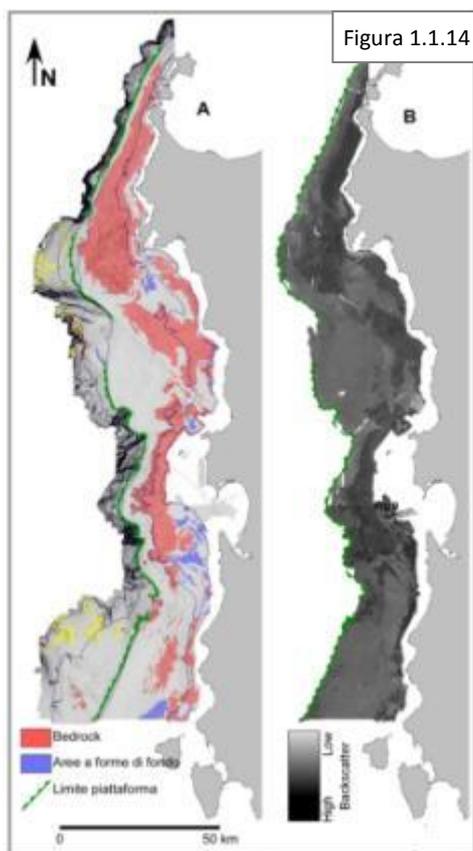


Figura 1.1.14

Il modello digitale del fondale della piattaforma – scarpata superiore della Sardegna occidentale è riportato in Figura 1.1.14 A. Le aree con trasparenza in rosso indicano i settori con il basamento roccioso affiorante o sub-affiorante, prevalenti fino a circa 130 m di profondità. L'affioramento del basamento denota il prevalere dei fenomeni erosivi durante i periodi di basso stazionamento del livello del mare, e lo scarso apporto di sedimenti durante lo stazionamento alto. Il substrato roccioso è dislocato in alti e bassi strutturali controllati dalla tettonica del margine. All'interno del substrato sono presenti bacini sedimentari di limitate dimensioni occupati da aree a forme di fondo, identificate con la trasparenza azzurra in Figura 1.1.14 A. Le aree a forme di fondo occupano una superficie di ~90 km² tra 50 e 100 m di profondità. I dati di backscatter (Figura 1.1.14 B) indicano un netto contrasto acustico dei depositi associati alle aree con forme di fondo. Si osserva una alternanza di valori bassi e elevati di backscatter che denotano la presenza di sedimenti più fini alternati a sedimenti grossolani: questo pattern sedimentario è

associato alla presenza di *sorted bedforms*.

I DSMR più estesi si trovano nel settore compreso tra il Golfo di Oristano e l'offshore di Capo Frasca (Fig. 1.1.15). Il dato di backscatter evidenzia la presenza del substrato litoide affiorante nel settore distale, e di depositi di sedimenti più fini (basso backscatter, grigio chiaro) alternati a sedimenti grossolani (alto backscatter grigio scuro). Le analisi sedimentologiche hanno consentito di suddividere i sedimenti che caratterizzano i DSMR in 4 gruppi: (i) sabbie fangose, (ii) sabbie fini; (iii) sabbie medie e (iv) ghiaie sabbiose. Tale suddivisione risulta anche di natura spaziale con i sedimenti maggiormente fangosi localizzati nel settore più meridionale dell'area indagata, le sabbie fini che corrispondono alle aree occupate da forme di fondo (*sorted bedforms*) e le sabbie medie localizzate all'imboccatura del Golfo di Oristano. La stratigrafia dei depositi evidenzia la presenza di una copertura sedimentaria di pochi metri acusticamente trasparente,

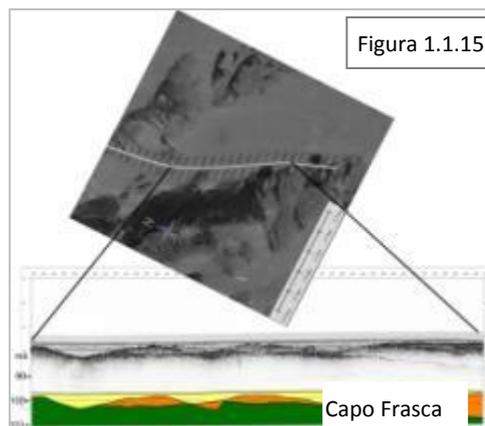


Figura 1.1.15

sovrapposta ad un livello più potente. I depositi superficiali sono riconducibili alle facies sedimentarie a granulometria fine (sabbie fangose, sabbie fini e sabbie medie).

Questo corpo superficiale presenta spessori al massimo di 4 m (Fig. 1.1.16). La carta degli spessori del corpo sedimentario superficiale (Fig. 1.1.17), mostra che gli spessori maggiori sono presenti nel settore occidentale come riempimento di una depressione canaliforme.

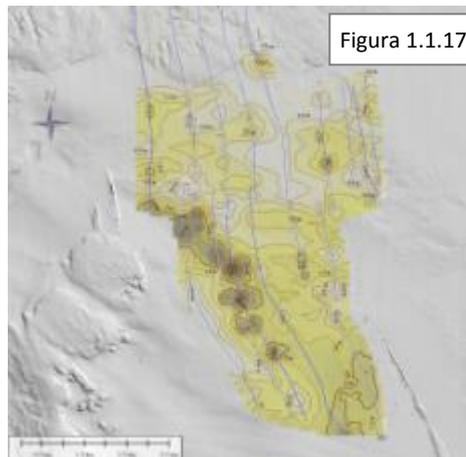


Figura 1.1.17

Il volume del corpo sedimentario superficiale, per il settore Golfo di Oristano – Piscinas, è stato stimato in $44 \times 10^6 \text{ m}^3$.

I depositi più grossolani, costituiti da sabbie grossolane e ghiaie, mostrano spessori più rilevanti, nell'ordine della decina di metri, e poggiano sul substrato pliocenico e miocenico.

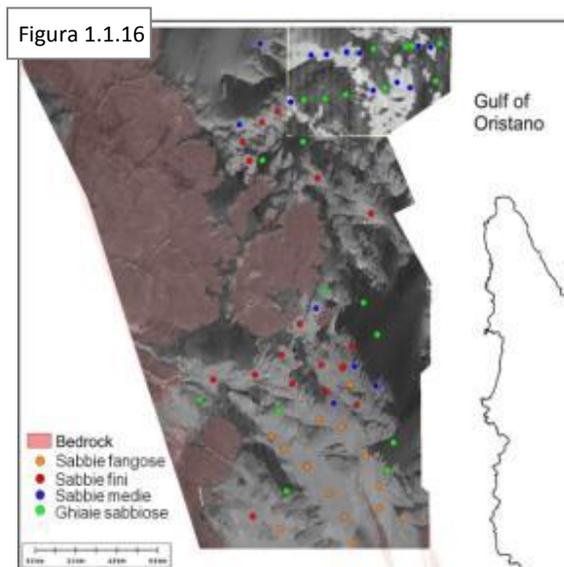


Figura 1.1.16

1.1.6. Caratteristiche dei DSMR: Sicilia settentrionale

Le ricerche di DSMR nell'*offshore* della Sicilia settentrionale sono state condotte nei golfi di Palermo e Termini Imerese (Fig. 1.1.18). In queste aree è presente un grid di profili sismici con varia risoluzione e penetrazione, acquisiti con sorgente CHIRP, Sparker multiplex ed airgun, una copertura continua di dati morfo-batimetrici tra 50 e 1500 m di profondità, nonché rilievi Side Scan Sonar lungo la fascia costiera del Golfo di Palermo. La presenza di numerosi campionamenti di fondo (bennate, box corer e carotaggi sia a gravità che a vibrazione) permette di calibrare i dati geofisici e di caratterizzare i sedimenti fino alla profondità di 6 m.

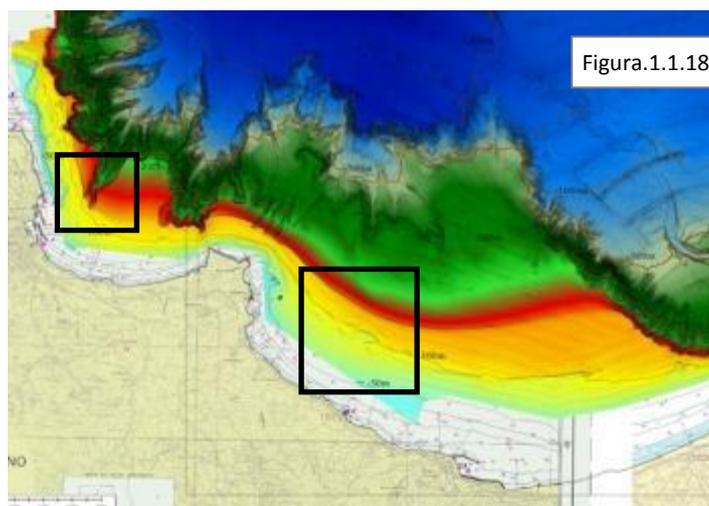


Figura.1.1.18

Il settore indagato fa parte del margine continentale nord-siciliano (Lo Iacono *et al.*, 2011), caratterizzato da una piattaforma continentale con estensione variabile e da una scarpata molto acclive avente una morfologia irregolare (Fig. 1.1.19). Nell'insieme le caratteristiche del sistema piattaforma-scarpata sono riconducibili ad un margine continentale immaturo, con attività tettonica persistente che ancora oggi influenza gli stili deposizionali nei vari ambienti sedimentari costieri e marini (Lo Iacono *et al.*, 2014).

L'analisi sismostratigrafica ha permesso di riconoscere un substrato roccioso pre-pliocenico, talora affiorante, costituito da successioni carbonatiche e silicoclastiche, e una successione sedimentaria plio-pleistocenica, costituita da depositi silico-clastici e carbonato-clastici, al cui interno sono riconoscibili diverse superfici di discontinuità che individuano numerose sequenze sismiche; la più alta di queste è

costituita dai depositi accumulatisi durante l'ultima oscillazione glacioeustatica. Le successioni sedimentarie sono tuttora interessate da attività tettonica ed emissioni di fluidi.

Nell'area in studio la tipologia più diffusa di DSMR, è quella di cunei progradanti corrispondenti a corpi litorali relitti (spiagge), ubicati sul margine della piattaforma continentale (Fig. 1.1.19) ed accumulatisi quando la posizione della linea di riva era prossima a quella del ciglio della piattaforma, nei periodi in cui, in occasione delle fluttuazioni eustatiche occorse durante il Pleistocene glaciale, il livello del mare si trovava a quote di 110-120 m più basse rispetto alla sua quota attuale (Sulli *et al.*, 2012).

Nel Golfo di Palermo i corpi progradanti più sviluppati si osservano lungo il margine di piattaforma (la cui profondità è mediamente di 122 m) del settore orientale, davanti M.te Pellegrino (Fig. 1.1.20), e lungo il settore occidentale, in corrispondenza di C.po Mongerbino, a profondità comprese tra 102 e 150 m, per ampiezze variabili tra 370 e 850 m. Gli spessori dei depositi, costituiti da sabbie e in misura minore ghiaie con componente bioclastica, sono compresi tra 10 e 50 m mentre la copertura dei depositi pelitici di età olocenica si assottiglia rapidamente da terra verso il ciglio della piattaforma dove, in alcuni punti, è del tutto assente.

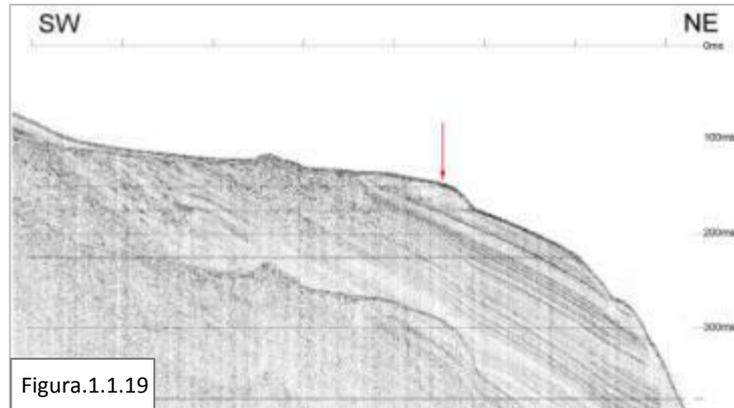


Figura.1.1.19

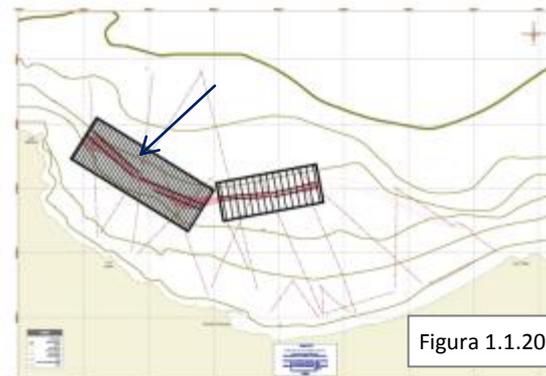


Figura 1.1.20

Nel Golfo di Termini Imerese (Fig. 1.1.20) la piattaforma continentale è poco acclive (1-2.7°), con estensione variabile (1.5-8 km) limitata da un ciglio a profondità di 130-140 m. La piattaforma interna è caratterizzata da alti morfologici, rotture di pendio e falesie sommerse che delimitano terrazzi d'abrasione marina, affioramenti rocciosi e paleoalvei fluviali ricoperti da sedimenti.

I DSMR più estesi si trovano nel settore nord-occidentale del golfo di Termini Imerese, a profondità comprese tra 110 e 140 m (Fig.1.1.21), per una estensione di circa 30

km², con un volume complessivo di circa 150 milioni di m³ ed una copertura pelitica compresa tra 0.2 e 3.8 m. Nell'area sono state effettuati ad hoc numerosi vibrocarotaggi, a profondità comprese tra 97 e 125 m, finalizzati alla caratterizzazione di questi depositi, che hanno messo in evidenza la granulometria prevalentemente da sabbiosa fine a sabbiosa grossolana, con composizione quarzosa, feldspatica e in misura minore carbonatica (con frammenti prevalentemente inorganici). La colorimetria secondo il metodo di Munsell ha evidenziato la prevalenza di sedimenti della categoria 10Y4/2 (Grayish Olive).

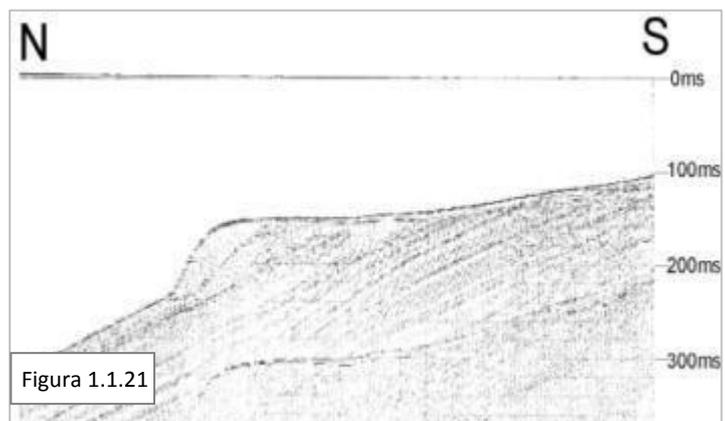


Figura 1.1.21

1.1.7. Caratteristiche dei DSMR: Alto Adriatico

Lo studio dell'evoluzione del mare Adriatico¹⁸¹, bacino allungato in direzione NO-SE e caratterizzato nella parte settentrionale e centrale da un'estesa piattaforma continentale a basso gradiente assiale (ca. 0,02°), ha permesso di individuare antichi sistemi costieri, rimaneggiati dai processi erosivi che hanno accompagnato la risalita del livello del mare durante l'ultimo ciclo glacio-eustatico (depositi trasgressivi). Le indagini attraverso metodi indiretti (dati geofisici quali profili sismo-acustici ad altissima risoluzione) e diretti (dati geognostici quali vibrocarotaggi) hanno permesso di caratterizzare la porzione sabbiosa di questi depositi.

I sistemi costieri sommersi vengono definiti "relitti" perché rappresentano antiche spiagge che si sono formate durante la migrazione verso terra della linea di riva ed in seguito annegate. Generalmente la conservazione di questi depositi sedimentari dipende dalla dinamica costiera, dal basso gradiente della piattaforma, dalle modalità di risalita del livello del mare, dalle geometrie e dalle dimensioni dei depositi originari¹⁸². I corpi sabbiosi, che rappresentano i siti sfruttabili per il ripascimento (depositi sabbiosi marini relitti, DSMR), preservati sotto la superficie di rimaneggiamento marino trasgressiva rappresentano ciò che rimane di barre litorali o scanni interposti tra il mare aperto e bacini lagunari più o meno aperti; in particolare sembrano preservate solamente le parti basali (facies subtidali) di questi apparati, mentre le parti medio-superiori (facies di battigia ed eoliche, potenzialmente quelle migliori in termini tessiturali) sono state erose e riciclate nella costruzione di nuovi sistemi di spiaggia durante la trasgressione.

Il vantaggio nell'utilizzare i DMRS si concretizza nel rimettere in gioco considerevoli quantitativi di sedimento che sono stati progressivamente sottratti al sistema costiero durante le fasi di innalzamento eustatico del livello del mare compensando, almeno in parte, la riduzione di apporti solidi dai fiumi e le perdite per compattazione e subsidenza.

In Adriatico, attraverso la collaborazione con alcune regioni costiere e con una esperienza di trasferimento tecnologico con privati, l'Istituto di Scienze Marine CNR-ISMAR ha reso possibile l'individuazione di una serie di depositi in parte studiati in dettaglio in parte ancora da definire in termini di caratteristiche e cubature. Nelle mappe 1, 2, 3 (Fig.1.1.22) vengono rappresentati i limiti dei depositi sabbiosi in giallo e i siti dove sono stati effettuati vibrocarotaggi e carotaggi convenzionali per definire le caratteristiche dei DSMR. La cartografia di base rappresentata nelle mappe si riferisce alle sei carte superficiali adriatiche dei fogli della Carta Geologica dei Mari Italiani a scala 1:250.000. Sono stati riportati anche i profili geofisici che caratterizzano le varie tipologie di depositi sabbiosi.

La porzione più settentrionale della piattaforma è caratterizzata da depositi sabbiosi trasgressivi discontinui che poggiano sull'antica pianura alluvionale che risale alla fine del massimo glaciale (19.000 anni fa). Questi depositi che sono formati da antichi depositi fluviali rimaneggiati in fase di risalita ed hanno spessori variabili che non superano alcuni metri, ma che in alcuni casi costituiscono consistenti giacimenti sabbiosi per la loro estensione laterale e relativa omogeneità interna (mappa 1). Si trovano in un intervallo di profondità tra i -20 ed i -32 m.

Nell'esempio RV_C ubicato nella mappa 1, si può notare come i depositi sabbiosi siano privi di copertura pelitica e si presentano con una base disomogenea ed accidentata che rende necessario uno studio di dettaglio per definire al meglio le loro cubature.

¹⁸¹ http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/index_marine.html

¹⁸² Belknap e Kraft 1981

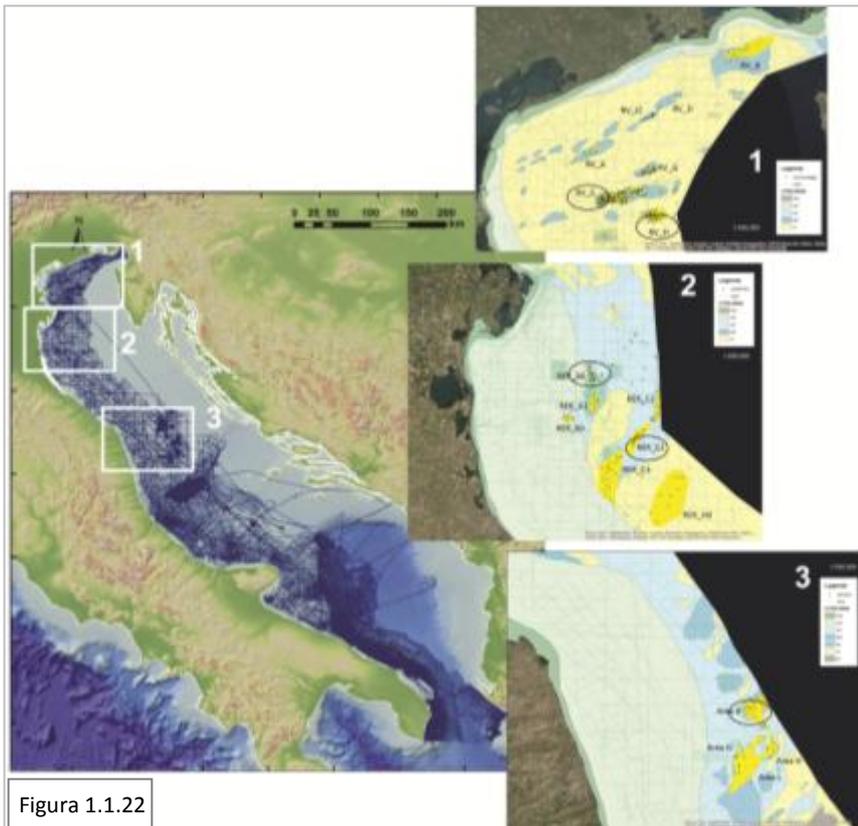


Figura 1.1.22

La caratterizzazione dei depositi sabbiosi in Adriatico è sinteticamente riportata in Fig. 1.1.22 dove sono evidenziati i tracciati dei profili sismici ad alta risoluzione che costituiscono l'archivio di CNR ISMAR, mentre nelle tre mappe di dettaglio a destra sulla base della Carta Geologica dei Mari Italiani 1:250.000 sono evidenziati in giallo i depositi sabbiosi fino ad oggi studiati e ubicati i vibrocarotaggi relativi a queste ricerche.

Nell'esempio ubicato in mappa 1 dell'area RV_H, dall'analisi di un profilo Chirp Sonar acquisito nel punto dove è stato prelevato il vibro-carotaggio RV11_H113 (Fig.1.1.23), la base del deposito

appare tabulare e la distribuzione del sedimento sabbioso abbastanza omogenea. La carota è stata analizzata con l' XRF core scanner per caratterizzare la composizione degli elementi che compongono i deposito sabbioso e si evidenziano due unità una caratterizzata da sedimentazione marina (quella superficiale con alti contenuti di Ba e Br) ed una più terrigena (quella sottostante) di origine fluviale.

Nella porzione di piattaforma continentale italiana a sud del delta del Po (mappa 2 – Fig. 1.1.24) i depositi affiorano nella parte assiale del bacino e sono rappresentati da rilievi allungati preservati dopo l'erosione di sistemi barriera-laguna e/o scanni e barre deltizie.

Alimentati dal fiume Po nelle varie fasi di risalita si sono formati con una complessa successione di ambienti salmastri dove le porzioni sabbiose, sempre limitate in volume, vengono preservate nella parte sommitale e contengono un leg conchigliare che viene identificato con la superficie erosiva di rimaneggiamento marino (rs). Nella maggioranza dei casi questi depositi non sono coperti da sedimenti pelitici tranne che nelle zone più prossime al prodelta fangoso del fiume Po dove la sedimentazione fine recente può coprirli con una coltre decimetrica (spessore massimo di copertura fangosa 0,25 m).

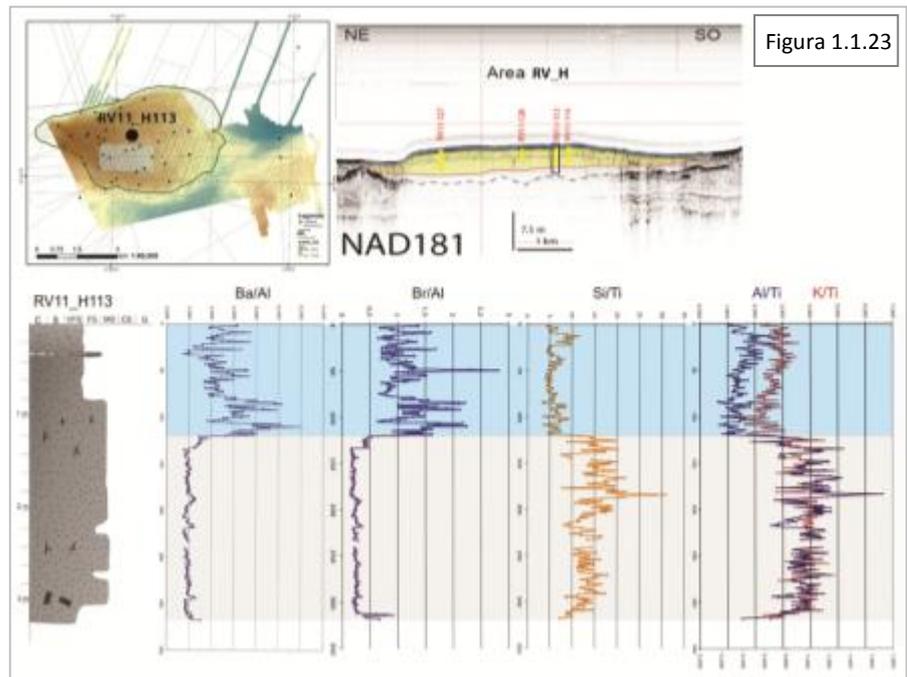


Figura 1.1.23

Questi depositi che si estendono al largo della Regione Emilia Romagna ad una profondità compresa tra i -33 ed i -59 m, sono stati studiati e continuano ad essere oggetto di nuove acquisizioni di dati perché si sta cercando di acquisirne con estremo dettaglio la loro morfologia e ed i loro spessori per poterli usare al meglio come risorsa strategica per ripascimenti ripetuti. Data la grande mole di dati acquisita negli anni in collaborazione tra CNR ISMAR e Servizio Geologico Sismico e dei Suoli ed ARPAE della Regione Emilia Romagna e' stato impostato il primo geodatabase della risorsa sabbia offshore (vedi paragrafo in_Sand, Correggiari *et al.*, 2016).

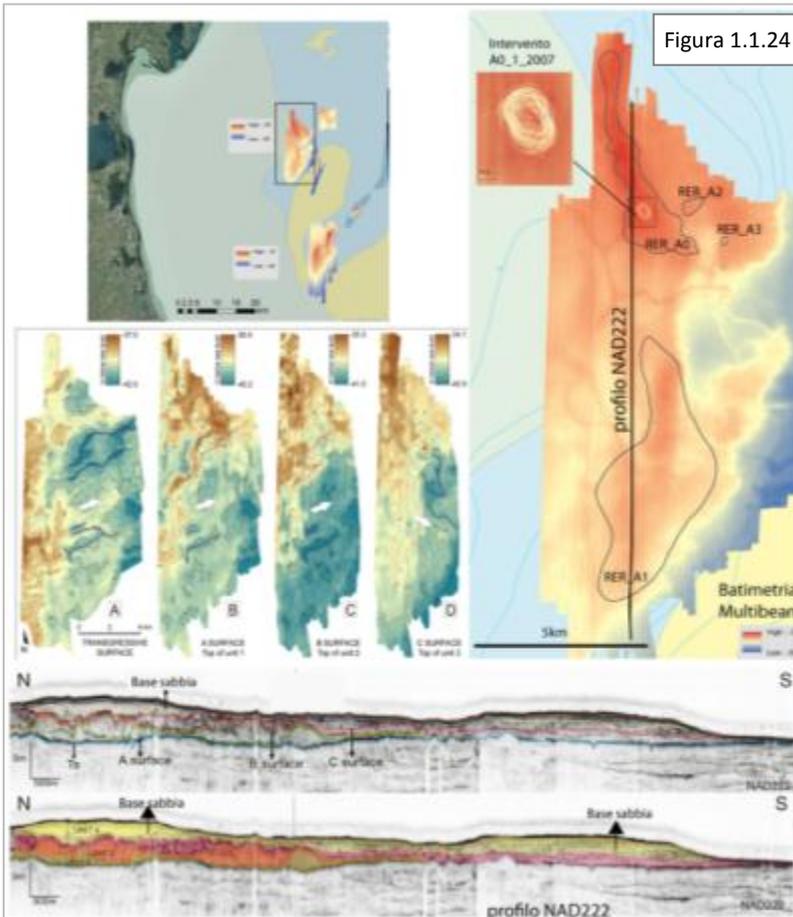


Figura 1.1.24

Nell'esempio ubicato in mappa 2 dell'area RER_A (Fig.1.1.24), questi depositi sabbiosi al largo della regione Emilia Romagna sono stati studiati con estremo dettaglio per definire l'evoluzione degli ambienti deposizionali dove si sono formati. L'acquisizione di un fitto grigliato di profili Chirp sonar di alta qualità e di batimetrie multifascio abbinata a molti vibrocarotaggi, costituiscono un bagaglio di dati indispensabile per definire corpi sabbiosi di queste dimensioni (Correggiari *et al.*, 2011, Moscon *et al.*, 2015)¹⁸³.

Il profilo Chirp (Fig.1.1.25) e' stato acquisito in fase di monitoraggio di interventi di dragaggio già avvenuti nel 2002 e nel 2007.

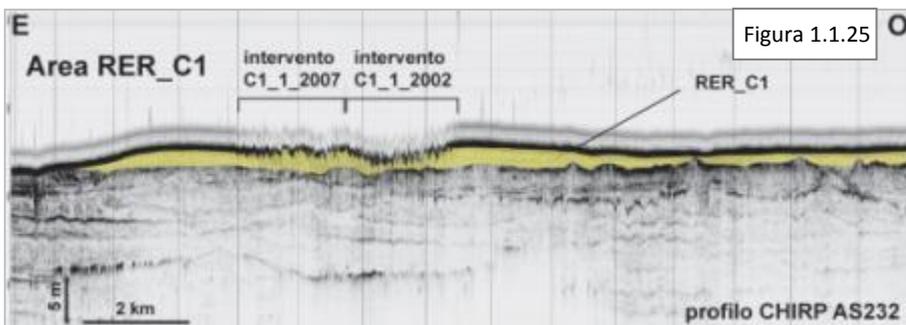


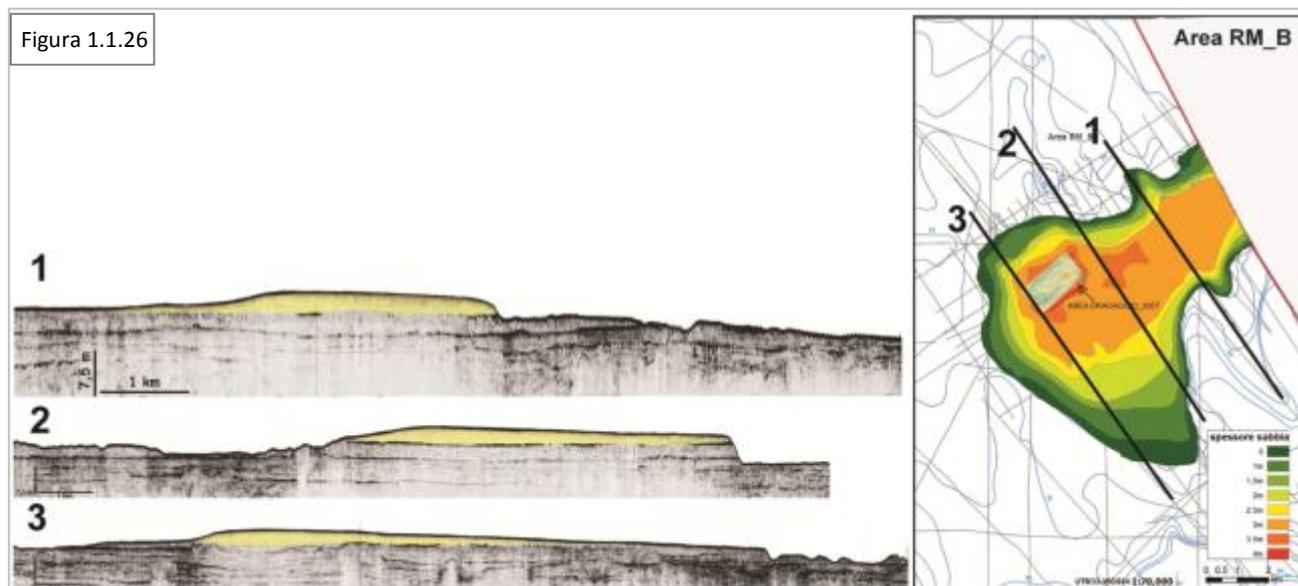
Figura 1.1.25

Il profilo Chirp (Fig.1.1.25) e' stato acquisito in fase di monitoraggio di interventi di dragaggio già avvenuti nel 2002 e nel 2007.

Nella porzione meridionale della piattaforma Adriatica (mappa 3) sono stati individuati i depositi costieri che si sono messi in posto durante le prime fasi dell'ultima risalita del livello del mare (post 19.000 anni fa). Questi depositi sono stati oggetto di uno studio nell'ambito di un progetto di trasferimento tecnologico (2006-2010) di CNR ISMAR con una impresa privata (ora denominata Arenaria srl). I depositi in quest'area sono caratterizzati da una base sostanzialmente planare non hanno copertura pelitica e si estendono per una ampia porzione del fondale vicino al limite della piattaforma italiano-croata ad una profondità compresa tra i -85 ed i -98 m. Le caratteristiche granulometriche sono comunque assimilabili ad una sabbia fine ben classata come quasi tutti i depositi presenti sulla piattaforma adriatica.

¹⁸³ Moscon G, Correggiari A., C. Stefani, A. Fontana, A. Remia (2015) "Very-high resolution analysis of a transgressive deposit in the Northern Adriatic Sea (Italy)" *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 28 (2), 121 - 129

Nell'area RM_B (Fig. 1.1.26) il deposito sabbioso è parte di un cuneo costiero di spiaggia emersa e sommersa con abbondanti resti conchigliari e sabbie ben cernite. E' stato preservato in un alto morfologico che ha subito una notevole erosione e si appoggia su sedimenti lagunari e torbosi salmastri. Il deposito è già stato oggetto di attività di dragaggio ai fini di ripascimento costiero nel 2007.



L'area RM_B è ubicata al largo della Regione Marche vicino alla linea di limite piattaforma continentale tra Italia e Croazia. Nell'esempio sono riportati i profili Chirp Sonar e nella mappa gli spessori di sabbia presenti nel deposito e il Multibeam del dragaggio effettuato nel 2007 (da Arenaria s.r.l.).

1.1.8. Caratteristiche dei DSMR: Piattaforma continentale della Puglia

In rapporto ai depositi sedimentari marini relitti presenti sulla Piattaforma Continentale Adriatica prospiciente il territorio costiero della Regione Puglia va evidenziato che gli studi dedicati alla ricerca dei giacimenti potenzialmente utilizzabili per il ripascimento delle spiagge in erosione, sono stati avviati nel 2010 attraverso una approfondita analisi ed interpretazione dei dati scientifici presenti in letteratura¹⁸⁴.

Sulla base dei risultati di tale analisi la Regione Puglia per il tramite dell'Autorità di Bacino della Puglia ha avviato un "Piano operativo per l'individuazione di giacimenti di sabbia sottomarini utilizzabili per il ripascimento artificiale dei litorali sabbiosi in erosione della Regione" - D.G.R. Puglia n. 955 del 13.05.2013".

Il Raggruppamento Temporaneo di Imprese aggiudicatario dell'esecuzione delle indagini, costituito da organismi pubblici e privati (CNR - ISMAR, CoNISMa, SO.PRO.MAR. S.p.A.), ha avviato le attività nell'Ottobre 2015 e le stesse saranno concluse nei primi mesi del 2017.

Sulla base delle indicazioni preliminari contenute nel Rapporto Tecnico citato le indagini sulla piattaforma continentale pugliese sono state indirizzate su tre Macroaree che sulla base dei dati disponibili risultavano essere le più idonee ai fini del perseguimento degli obiettivi minerari. Tali macroaree sono state individuate:

- al largo del Gargano e del Golfo di Manfredonia (Macroarea A);
- sul versante Adriatico al largo delle Province di Brindisi e Lecce (Macroarea B);
- sul versante Jonico al largo delle Province di Taranto e Lecce (Macroarea C).

¹⁸⁴ Rapporto tecnico sullo stato delle conoscenze e le prospettive della ricerca per il reperimento di depositi sabbiosi relitti sulle piattaforme continentali della Puglia, idonei al ripascimento dei litorali in erosione. Luglio 2010 - CoNISMa) www.adb.puglia.it/public/request.php?524

Di seguito si fornisce una breve descrizione dei primi risultati delle indagini in corso sulla base dei Rapporti intermedi prodotti dall'RTI esecutore delle indagini che fornisce le dovute informazioni sulla piattaforma continentale pugliese.

Macroarea A

In base agli studi condotti da ISMAR CNR (Trincardi et al., 2011), le unità sismo-stratigrafiche costituenti la piattaforma continentale pugliese corrispondente alla macroarea A (Fig. 1.1.27) si possono suddividere in:

1. Unità di stazionamento alto tardo olocenica (HST);
2. Unità trasgressiva tardo pleistocenica-olocenica (TST);
3. Unità di stazionamento basso dell'ultimo glaciale (LST)
4. Unità pre-tirreniane.

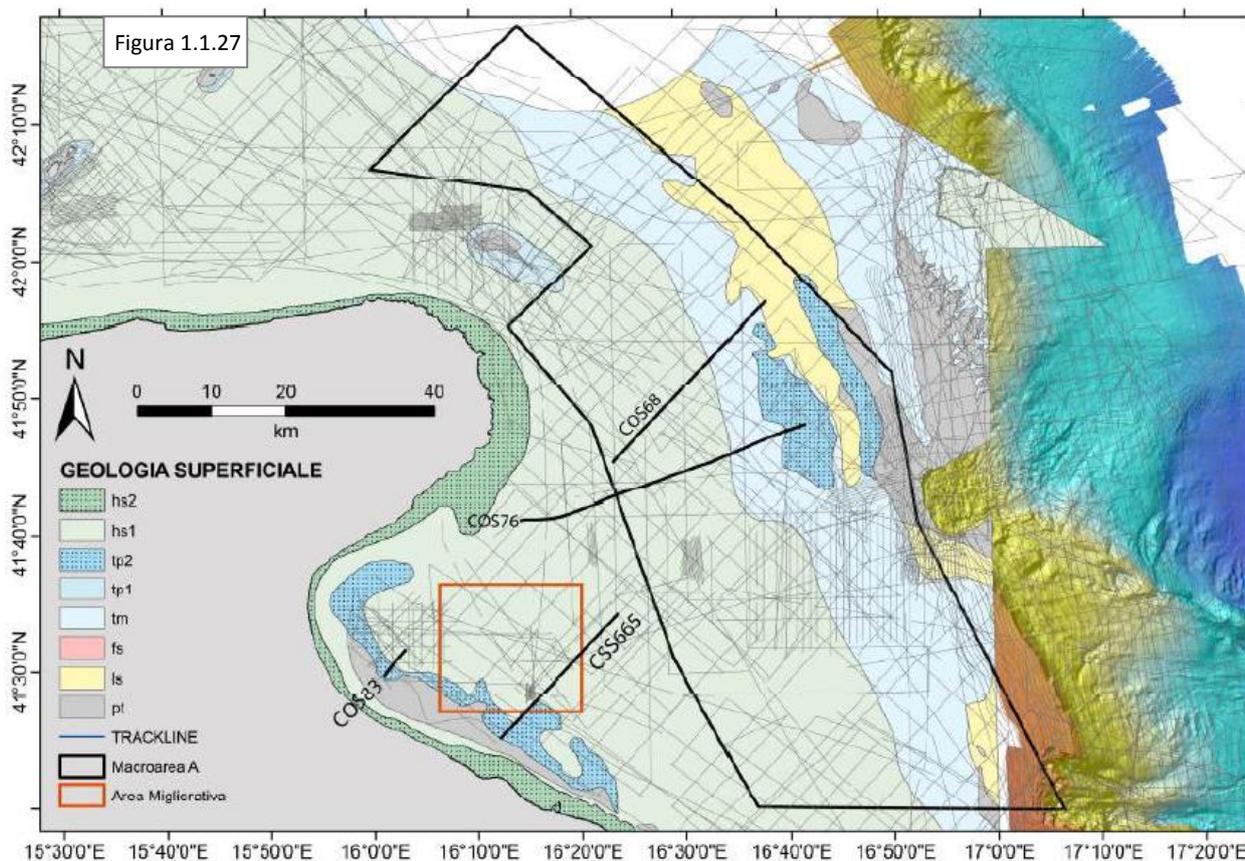


Figura 1.1.27 – Schematizzazione della macroarea A in cui sono rappresentati i vari depositi mappati dagli studi condotti da ISMAR-CNR (pt= unità pre-tirreniane, ls = unità LST, tm, tp1 e tp2 sono le tre sottounità del TST, hs1 e hs2 le ulteriori suddivisioni di HST). In nero sono indicate le tracce di navigazione dei profili CHIRP mostrati nelle figure successive.

Unità di stazionamento alto (HST)

È l'unità più recente ed è rappresentata da sedimenti pelitici con spessori fino a 30-35 m. Questa unità si è formata durante gli ultimi seimila anni, quando il livello del mare aveva già raggiunto la posizione attuale. Gli spessori rimangono superiori o intorno a 10 m fino a profondità batimetriche di 60-70 m. L'HST è composto da due facies: hs1, costituito da un complesso pelitico di prodelta-piattaforma e hs2, presente solo lungo la fascia costiera, costituito da un complesso sabbioso di spiaggia con sabbie fini ben cernite (Fig. 1.1.27).

Unità trasgressiva (TST)

Immediatamente sotto i depositi HST, si trovano i depositi che registrano la risalita post glaciale del livello marino, avvenuta tra 18-20 e seimila anni fa. Questi sono suddivisi in sottounità (TST inferiore, TST intermedio e TST superiore che corrispondono alle sigle tp2, tp1, tm). Il TST è presente sia nelle aree di piattaforma interna, sia in quelle di piattaforma esterna, fino ad una profondità batimetrica di circa 100-110 m. In questa parte più esterna e profonda della piattaforma i depositi trasgressivi sono rappresentati quasi esclusivamente dal TST inferiore, che, a differenza delle altre due sottounità, può presentare al suo interno livelli di silt, sabbie fini, conglomeratiche e bioclastiche. I depositi trasgressivi affiorano lungo fasce principali: nella fascia tra 100 e 160 m affiorano depositi trasgressivi marini (tm) e, localmente, depositi sabbiosi attribuiti ad ambienti di spiaggia sommersa (tp2), come desumibile dal profilo sismico CHIRP riportato in 1.1.28.

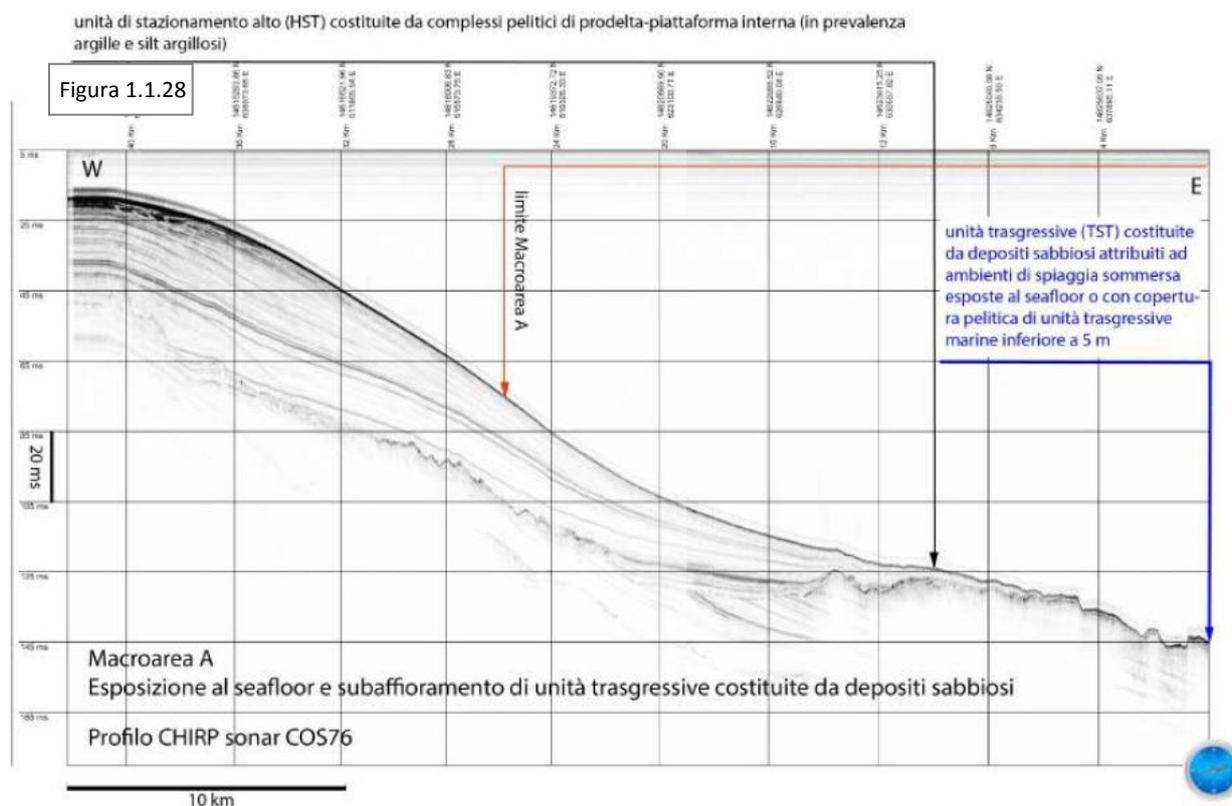


Figura 1.1.28 – Profilo sismico CHIRP che illustra i possibili depositi di sabbia di TST affioranti in piattaforma esterna, a profondità superiori a 120 m.

Solo a Nord del Promontorio del Gargano, tra 45 e 60 m di profondità, affiora la parte apicale di un corpo progradazionale (tp1). Nella parte centrale del Golfo di Manfredonia, a profondità comprese tra 15 e 30 m, subaffiorano i depositi sabbiosi a bioclasti (tp2) di antichi ambienti transizionali di barriera-laguna, che sono probabilmente i più promettenti da un punto di vista minerario per questo settore di piattaforma.

Unità di stazionamento basso dell'ultimo glaciale (LST)

I depositi che registrano la fase glaciale di basso stazionamento del livello marino, avvenuta circa 20 mila anni fa, formano un cuneo cliniforme e sono separati da quelli di TST da una superficie erosiva. L'unità comprende depositi fangosi con lenti di sabbia fine prevalentemente bioclastica che affiorano in aree di piattaforma esterna e sulla scarpata superiore, dove è presente un'unità a geometria progradazionale di spessore ridotto che rappresenta un ambiente di delta subacqueo.

Unità pre-tirreniane

Unità più vecchie dell'ultimo ciclo glaciale interglaciale affiorano a fondo mare lungo la costa meridionale del Golfo di Manfredonia e in corrispondenza della scarpata continentale superiore. Queste unità comprendono depositi progradazionali indifferenziati originatisi durante le oscillazioni eustatiche pleistoceniche (pt in Fig. 1.1.27).

Il TST inferiore (tp2) e l'LST rappresentano pertanto gli obiettivi minerari della macroarea A. Il TST inferiore ricopre complessivamente una superficie di circa 200 km² e ha spessori fino a 15-18 m; l'LST si estende su una superficie di circa 180 km² e ha spessori massimi di 15-20 m, ma potrebbe essere composto da sedimenti sabbiosi troppo litificati per poter essere sfruttati.

Macroarea B

Le unità sismo-stratigrafiche costituenti la piattaforma continentale pugliese corrispondente alla macroarea B non sono conosciute nel dettaglio come nel caso della macroarea A. Negli anni compresi tra il 2009 e il 2014, l'ISMAR CNR ha acquisito una grande quantità di dati, soprattutto dati CHIRP e multibeam, grazie ai quali è stato possibile identificare una serie di settori della piattaforma caratterizzati dalla presenza di sabbie sia a fondo mare che sepolte da spessori di sedimenti fini, che variano da qualche metro (4-5) a decine di metri (Fig. 1.1.29).

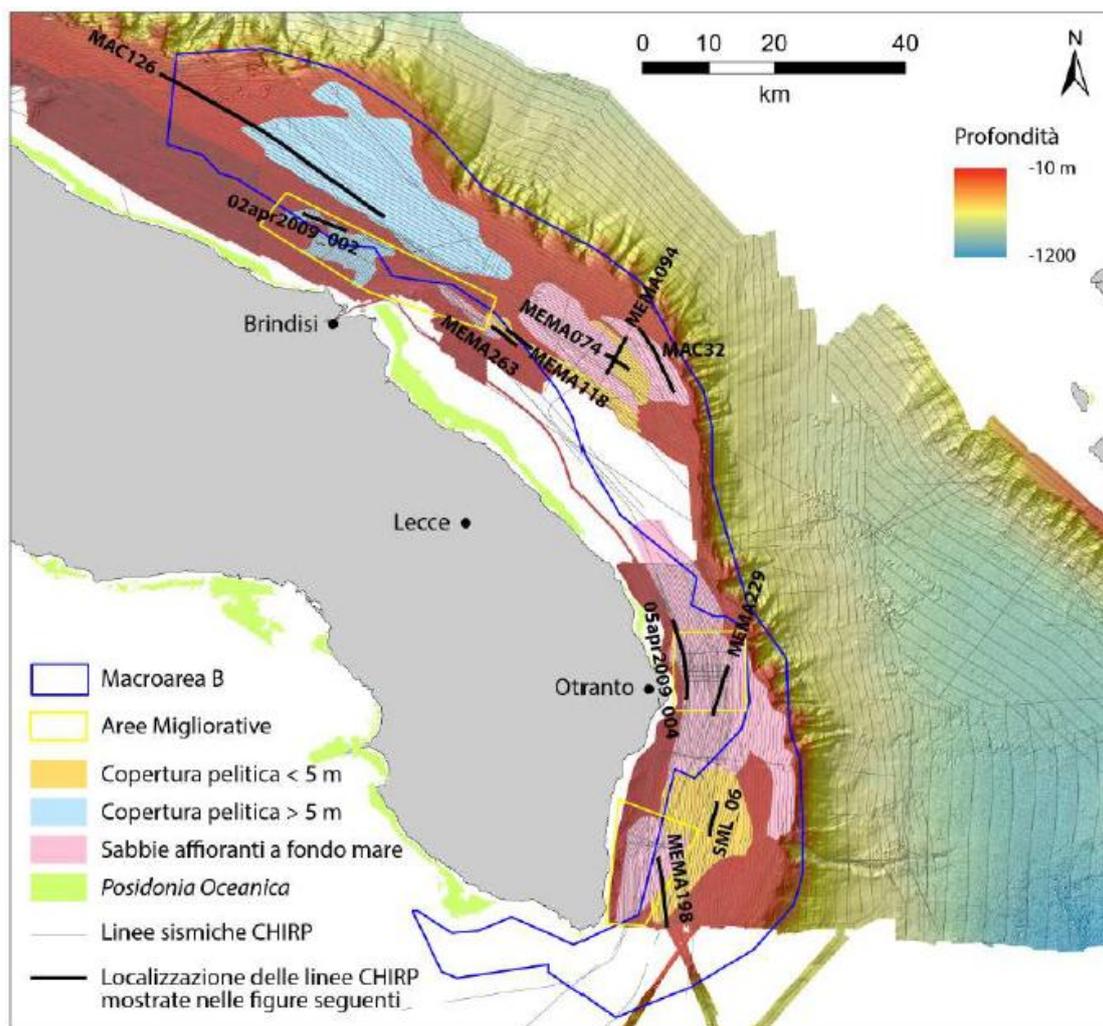


Figura 1.1.29 – Analisi complessiva della macroarea B (poligono blu). Sono indicate macroscopicamente le aree con probabile sabbia a fondo mare (poligoni rosa), le aree con sabbia nel sottofondo e ricoperta da uno spessore di sedimenti fini inferiori a 5 m (poligoni gialli), le aree con sabbia nel sottofondo a profondità maggiore di 5 m (poligoni celesti). In nero sono indicate le tracce di navigazione dei profili CHIRP mostrati nelle figure successive.

I lavori tecnico-scientifici svolti sul litorale leccese adriatico (S. Cataldo-Vernole-Frigole, Torre Chianca, Torre Rinalda) da Marano (2005) si sono concentrati in due aree: a nord (Punta Penne) e a sud (Punta della Contessa) di Brindisi. Qui è stato individuato un corpo sabbioso definito “cuneo di accrescimento costiero”, costituito da sabbie fini classate e localizzato nella fascia batimetrica compresa tra i 12 e i 70 m che confligge in parte con la mappatura a Posidonia oceanica e che pertanto deve essere escluso dal potenziale minerario della macroarea B.

In un tratto a cavallo con la macroarea B (Fig. 1.1.30) è stato possibile circoscrivere un’area dove la copertura pelitica appare meno spessa che in altri settori. Durante le indagini a mare, attraverso vibrocarotaggi e ulteriori prospezioni sismiche è in fase di verifica l'effettiva presenza di sabbie subito al di sotto delle peliti, quale sia il contatto tra i due depositi e se sono sabbie sfruttabili ai fini del ripascimento.

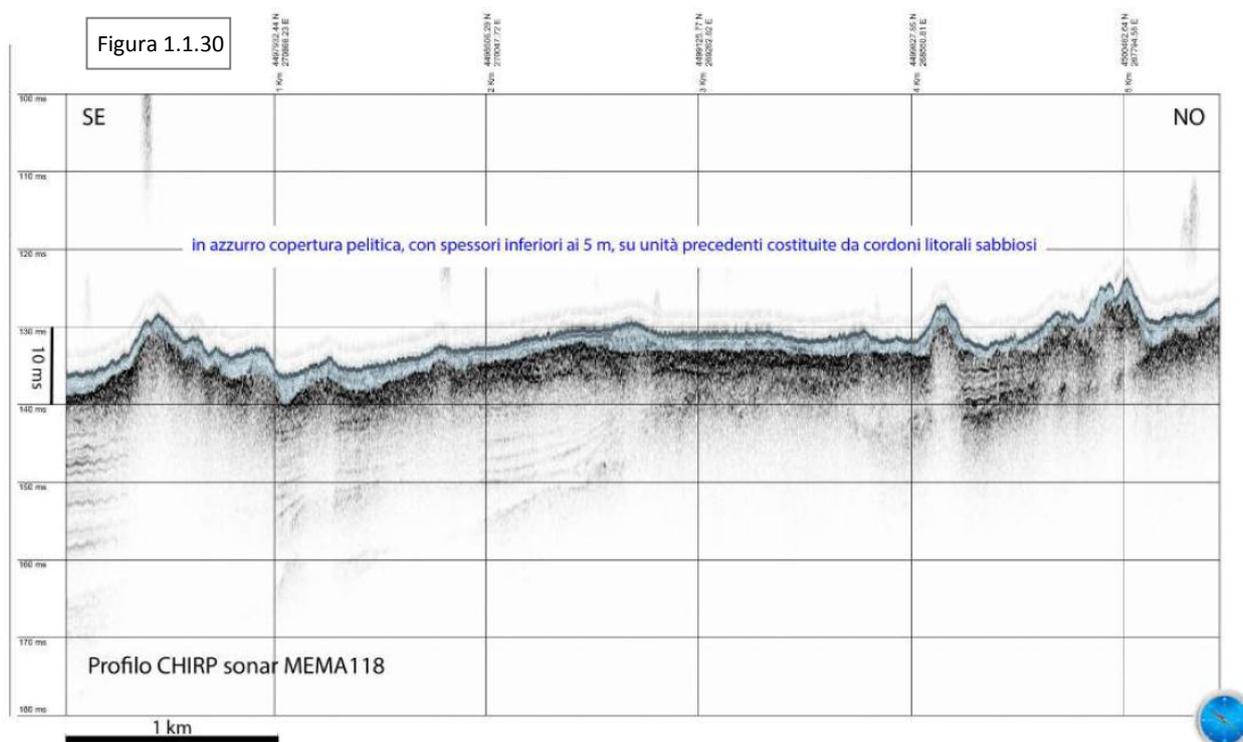


Figura 1.1.30 – Esempio di profilo CHIRP che mostra le antiche linee di costa presenti a cavallo della parte settentrionale della macroarea B. Qui i cordoni sabbiosi sono coperti da uno spessore variabile di sedimenti fini (in azzurro), ma che risulta, da analisi preliminari, complessivamente inferiore ai 5 m.

Settori dove depositi simili non hanno copertura pelitica sembrano trovarsi all'interno della macroarea B ma a quote batimetriche più elevate, molto vicine al ciglio della piattaforma, il che non renderebbe conveniente il loro sfruttamento, soprattutto a parità di materiale presente a quote batimetriche inferiori.

Il settore di piattaforma esterna, nel settore centrale della macroarea B è caratterizzato da un’alternanza di relitti erosivi, attribuibili a cordoni litorali o sistemi barriera-laguna formati durante la risalita del livello marino nell’ultimo post-glaciale, e piccoli vulcani di sedimento legati alla sfuggita di fluidi dai sedimenti sottostanti. Alcuni di questi relitti erosivi di natura apparentemente sabbiosa sono di discrete dimensioni e sono in fase di approfondimento attraverso le indagini dirette.

All’altezza del settore centro-meridionale della macroarea B è presente un vasto campo di dune che costituisce la più estesa area sfruttabile di tutta la macroarea. Queste dune si trovano a profondità di 70-90 m. Si tratta di depositi interamente rielaborati in campi di dune a grande scala con orientamento delle creste trasversale alla piattaforma continentale e indicativo di un trasporto da nord a sud ad opera di correnti sottomarine. Si tratta quindi di depositi costieri successivamente rielaborati dalla dinamica delle correnti marine. Lo sfruttamento di campi di dune di sabbia presenti sulle piattaforme continentali per il

ripascimento costiero è una pratica molto comune e consolidata in molti paesi del mondo, anche perché la dinamica di questi corpi è tale per cui scarsissima è la possibilità che si instaurino in questi ambienti comunità di organismi macrobentonici.

Qui i campionamenti effettuati nel 2012 da ISMAR CNR (Fig. 1.1.31) sono in grado di fornire alcune caratteristiche preliminari delle sabbie che compongono questi grandi corpi di duna.

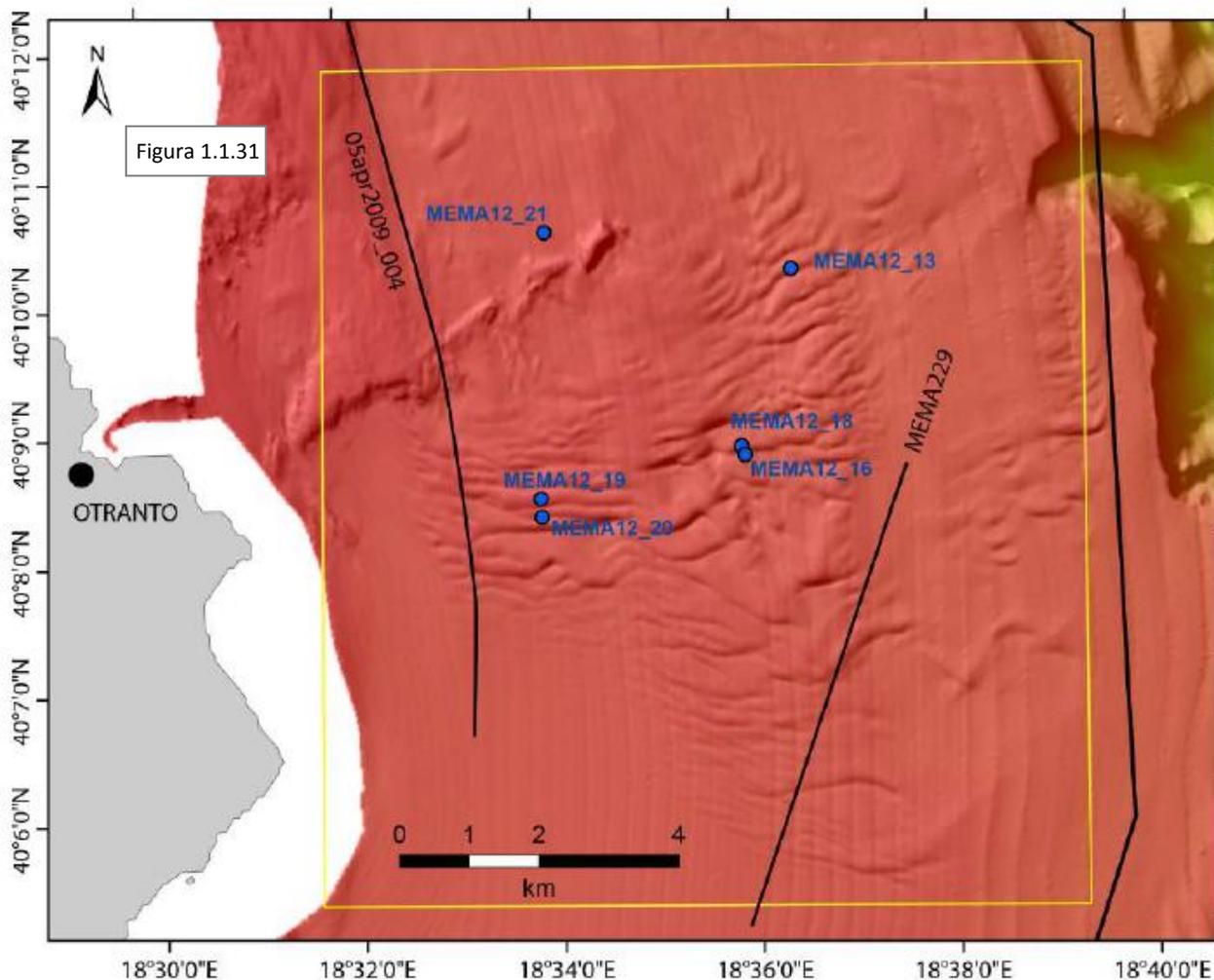


Figura 1.1.31 – Batimetria multibeam in corrispondenza del grande campo di dune prospiciente Otranto. In blu, alcuni campioni (benne e boxcore) acquisiti nel 2012 dal ISMAR CNR.

Nella parte più meridionale della macroarea B, nel settore di mare prospiciente Tricase, alcune strutture di dubbia interpretazione, forse delle antiche linee di riva, sono presenti ed esposte al fondo mare e costituite da materiale probabilmente grossolano le cui facies al momento non sono note.

Sempre nel settore meridionale della macroarea B, nella zona centrale della piattaforma, sono presenti depositi verosimilmente sabbiosi, sotto una copertura sottile di sedimenti pelitici (Fig. 1.1.31). Anche in questa zona la sismica sparker e i vibrocarotaggi in corso di esecuzione chiariranno la natura di tali depositi.

Macroarea C

L'assetto sismostratigrafico della piattaforma del settore ionico della Puglia, in linea generale, dal basso verso l'alto, risulta costituito da una serie sedimentaria clinostratificata (di età plio-pleistocenica) troncata da una netta superficie di erosione subaerea; la successione termina con la Sequenza Deposizionale Tardo Quaternaria.

La serie clinostratificata (di età plio-pleistocenica) presenta un assetto progradante dato da riflettori a grande ampiezza e continuità che immergono verso mare.

La superficie di erosione subaerea relativa all'ultimo massimo glaciale (Last Glacial Maximum unconformity) (LGMu) si estende su tutta la piattaforma continentale ed è generalmente caratterizzata, dal punto di vista sismico, da un forte coefficiente di riflessione e da una netta discordanza angolare con i depositi sottostanti. La morfologia è generalmente piatta e regolare. Tale superficie si è formata circa 20.000-18.000 anni fa quando a causa dell'immobilizzazione di grandi masse d'acqua nei ghiacciai continentali e nelle calotte polari, il livello del mare si è abbassato fino ad una quota prossima ai -120 m rispetto all'attuale.

Sulla LGMu giace la Sequenza Deposizionale Tardo Quaternaria (SDTQ): questa, sulla piattaforma, è essenzialmente costituita dal system tract trasgressivo (TST) e dal system tract di alto stazionamento (HST).

I depositi del TST, formati durante la risalita del livello del mare (da 18.000 a 8.000 anni fa), sono abbastanza rari, in quanto la trasgressione è stata in genere di tipo non deposizionale. Questi depositi, che costituiscono ciò che rimane dei sedimenti costieri che si andavano formando durante la risalita del mare, rappresentano l'obiettivo primario della ricerca in quanto generalmente costituiti da depositi sabbiosi.

I depositi del HST, la cui formazione è iniziata circa 8.000 anni fa, quando il livello del mare si è stabilizzato a quote prossime a quelle attuali, sono costituiti da sedimenti pelitici (sterile minerario).

Infine, in piattaforma esterna, a volte sono presenti cunei sedimentari formati in fase di regressione forzata (FSST), interpretati come depositi di spiaggia sommersa, e di basso stazionamento del livello del mare (LST). Questi ultimi, interpretati come terrazzi deposizionali sommersi (TDS) sono cunei sedimentari depositi a profondità maggiori di quelle del livello di base del moto ondoso, sono generalmente caratterizzati da una configurazione interna progradante e producono una tipica morfologia terrazzata. Anche i TDS, essendo generalmente costituiti da sedimenti grossolani, costituiscono un importante obiettivo minerario.

La piattaforma continentale della Puglia ionica ha un'ampiezza variabile tra 2 km (al traverso di Ginosa Marina) e 22 km (a sud di Gallipoli). Il ciglio non è sempre ben definito ed è posto a profondità comprese tra 110 e 140 m. Tale piattaforma è caratterizzata dalla presenza di superfici terrazzate con scarsa penetrazione dei profili sismici sub bottom profiler 3.5 kHz.

Sono presenti più ordini di terrazzi, prevalentemente ubicati nelle fasce batimetriche comprese tra 100 e 110 m e tra 50 e 60 m, (Fig. 1.1.32).

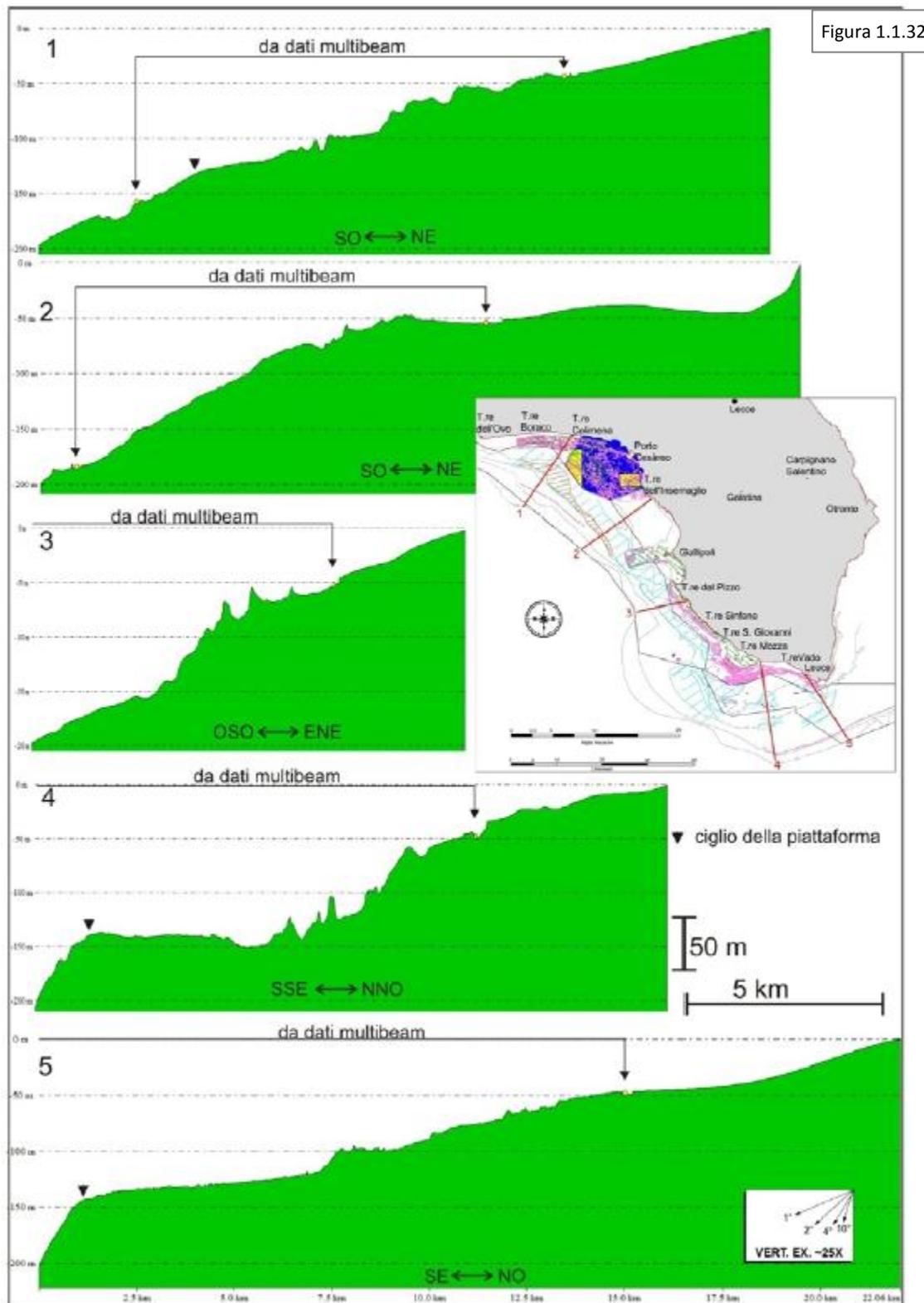
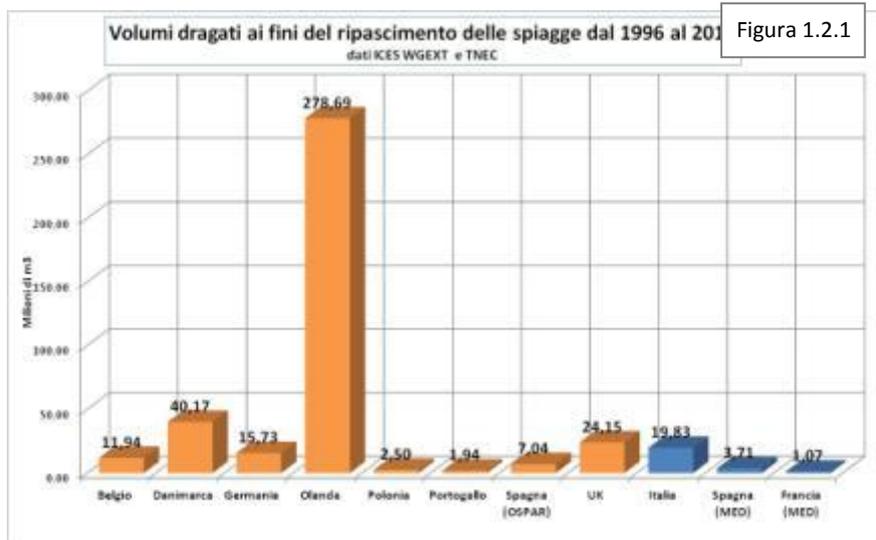


Figura 1.1.32 – Profili batimetrici rappresentativi del settore di piattaforma continentale compreso tra T. re Boraco e Leuca.

1.2. IMPIEGO DEI DSMR IN EUROPA, NEL MEDITERRANEO E IN ITALIA.

1.2.1. Quadro degli usi nel Nord Europa e nel Mediterraneo

L'impiego dei DSMR per il ripascimento delle spiagge è molto sviluppata nei paesi del Nord Europa e le statistiche riportate dal WGEXT (*Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem*) dell'ICES, sono molto eloquenti rispetto all'intenso uso dei sedimenti marini lungo la piattaforma Nord, Nord-Ovest dell'Europa dall'Atlantico, alla Manica, al Mare del Nord fino al Mar Baltico (Paesi OSPAR).



I dati del grafico (Fig. 1.2.1), relativi solo ai dragaggi destinati al ripascimento delle spiagge, vanno interpretati anche in considerazione della differente importanza che il sistema litoraneo rappresenta per il contesto Mediterraneo rispetto a quello delle regioni OSPAR.

Da rilevare tuttavia la sensibilità per questo genere di sfruttamento delle risorse marine che ha portato alla creazione del suddetto *Working Group* internazionale specifico in seno ad un'istituzione come l'ICES (*International Council for the Exploration of the Sea*) che attualmente non include l'Italia.

Nella prospettiva dell'applicazione della direttiva sulla Pianificazione degli Spazi Marittimi (DIRETTIVA 2014/89/UE) e della Direttiva quadro sulla Strategia Marina (*Direttiva quadro 2008/56/CE*), risulta particolarmente importante poter condividere con gli altri paesi esperienze e metodi di analisi circa gli effetti dell'estrazione dei sedimenti marini, nonché ipotesi di nuove ed appropriate regolamentazioni in merito a questo genere di sfruttamento delle risorse marine.

Fra gli obiettivi del TNEC può quindi essere incluso quello di una prossima partecipazione ai lavori del WGEXT che al momento non include alcun partner italiano.

In ambito europeo è anche da evidenziare l'attività del gruppo EMSAGG¹⁸⁵, che dal 1998 si occupa di promuovere azioni per e scambi di buone pratiche nel settore del dragaggio e dell'utilizzo degli inerti marini. Questa organizzazione indipendente, il cui obiettivo è quello di coinvolgere tutti gli stakeholders pubblico-privati interessati a questa tematica, costituisce un network formato da imprese che operano nel dragaggio, industrie che lavorano con gli inerti marini, Agenzie governative per la pianificazione delle attività a mare, economisti, agenzie governative ambientali, Università ed Istituti di Ricerca¹⁸⁶.

¹⁸⁵ European Marine Sand and Gravel Group– www.ciria.org/emsagg

¹⁸⁶ Pubblicazioni "OSPAR Commission" (www.ospar.org) e le recenti "Helcom Guidelines for management of dredged material at sea" e "Baltic Marine Environment Protection Commission" (www.helcom.fi).

Fra gli obiettivi del TNEC occorre includere quindi una partecipazione più sistematica a iniziative internazionali quali il WGEXT ed EMSAGG. In particolare risulterebbe strategico stimolare ed animare la partecipazione di altri membri del Mar Mediterraneo in considerazione del fatto che non esistono analoghe attività in questo bacino che peraltro presenta esigenze simili a quelle del Nord Europa se non ancora più accentuate in materia di difesa della costa, sensibilità ambientale e adattamento ai cambiamenti climatici.

In un'ottica di sviluppo di politiche macroregionali o di bacino, occorre quindi perseguire quelle iniziative che favoriscano processi di sviluppo, scambio e condivisione di buone pratiche come, ad esempio, quelle avviate nel progetto MEDSANDCOAST¹⁸⁷ in cui è stata predisposta una prima ricognizione bibliografica dei giacimenti di sabbia presenti nel Mediterraneo.

Dai risultati che emergono da tale progetto, risulta comunque una diffusa attività di ricerca che ha coinvolto pressoché tutti i paesi del Mediterraneo con dei risultati significativi dal punto di vista delle risorse individuate (Fig. 1.2.2).

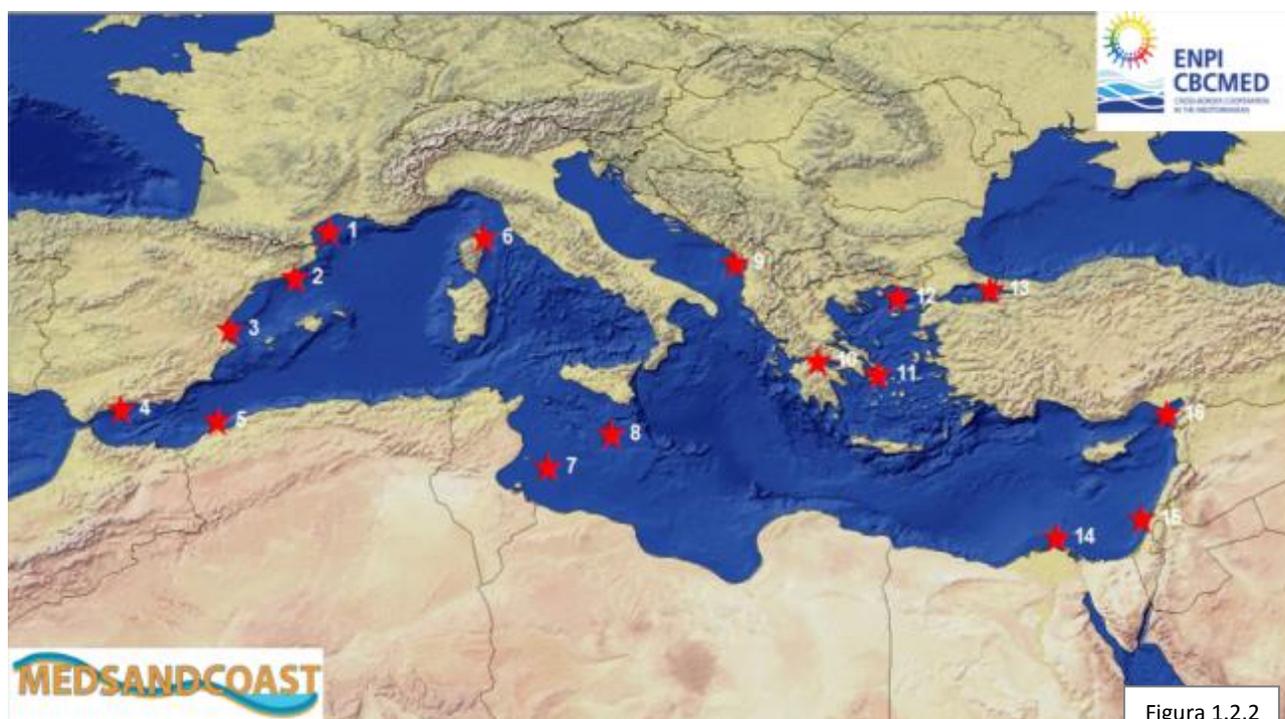


Figura 1.2.2

Nella tabella che segue si riporta una breve sintesi delle informazioni disponibili sui giacimenti considerati

	Paese	DSMR	Tipologia e rif. Bibliografico	Potenzialità Mm3	Profondità (m)
1	Francia	Golfo del Leone - Hérault	Paléo-rivages (Bassetti et al 2006)		90-120
2	Spagna	Piattaforma Catalana	Paléo-deltas et bancs sableux (Duràn Canals et al 2014)	370	40-100
3	Spagna	Golfo di Valencia	Bancs sableux (Duràn et al 2015)	22	55-85
4	Spagna	Malaga - Mare di Alboran	Paléo-rivages (Hernández-Molina Somoza et al 2002)		100
5	Algeria	Golfo d'Oran	Probables Paléo-rivages (Leclair 1972 - Caulet 1973)		80-120
6	Francia	Corsica est	Paléo-rivages (Deptuk et al. 2008)		50-100
7	Tunisia	Isola di Djerba	Probables Paléo-rivages (Burolet 1979)		10-71
8	Malta	Costa meridionale	Paléo-rivages grésieux (Osler & Algan 1999)		
9	Montenegro	Dobra Voda	Paléo-rivages (Del Bianco et al 2015)		100-200
10	Grecia	Golfo di Corinto	Paléo-fronts de deltas (Lykousis et al. 2007)		100
11	Grecia	Mare Egeo Nord-Est	Paléo-rivages du stade 6 (Annastakis & Piper 2013)		100
12	Grecia	Mar di Tracia	Paléo-rivages et Paléo-deltas (Piper & Perrissoratis 1991)	42	25-35
13	Turchia	Bosforo	Paléo-deltas du Dryas Récent (Gokasan et al 2005)		30
14	Egitto	Piattaforma del Nilo	Paléo-rivages de sables carbonatés (Summerhayes Sestini et al 1978)		30
15	Israele	Gaza - Mont Carmel	Paléo-dunes littorales grésieuses ou "Kurkar" (Almagor & Gill 2000)		50-100
16	Turchia	Delta Seyhan e Ceyhan	Paléo-rivages ou Paléo-deltas (Skene Piper et al. 1998)		150

con i dati raccolti nell'ambito del progetto (la tabella non include i giacimenti presenti sulla piattaforma italiana, trattati nei paragrafi successivi).

¹⁸⁷ "Modèles innovants de gouvernance des ressources des zones côtières-marines pour une défense stratégique des littoraux Méditerranéens" Programma ENPI <http://medsandcoast.facecoast.eu/>

Dal punto di vista dei quantitativi dragati da DSMR nel Mediterraneo , oltre al dato italiano che verrà trattato nel successivo paragrafo, sono da segnalare le attività di dragaggio condotte in Spagna che soprattutto tra gli anni ‘80-‘90 ha visto la realizzazione di numerosi interventi in particolare sulla costa catalana e valenciana.

A titolo di esempio la sola società di dragaggi DRAVO S.A. dal 1987 al 2016 ha movimentato, per ripascimenti sulle spiagge spagnole del Mediterraneo, circa 20 Mm³ da DSMR. Considerando l’attività della DRAVOSA può rappresentare verosimilmente il 65% del mercato spagnolo, l’attività di dragaggio da DSMR per ripascimento delle spiagge in Spagna è stata dell’ordine di 33 Mm³ con un trend medio di circa 1,0 Mm³/anno.

1.2.2. Quadro degli usi in Italia

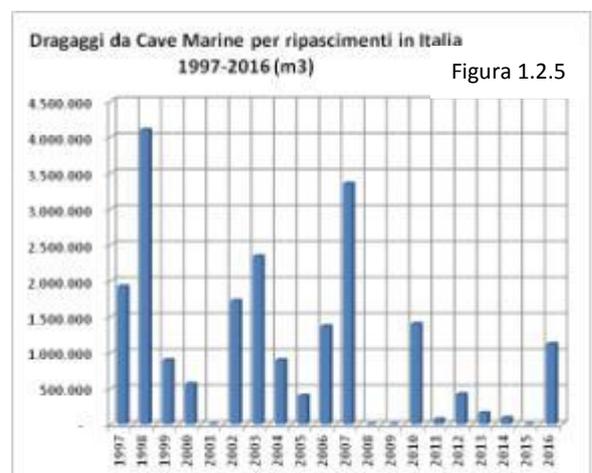
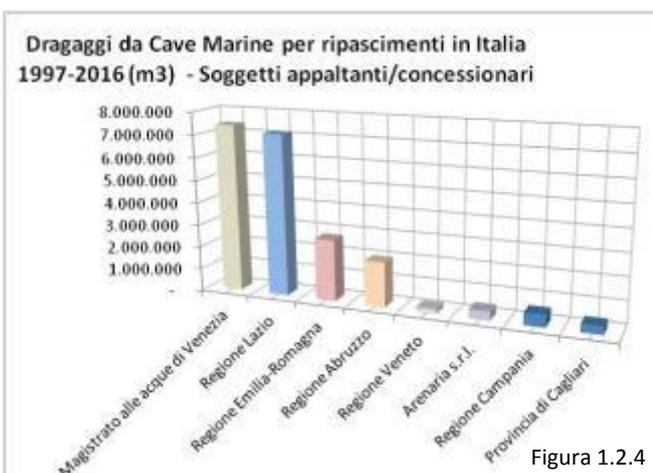
A livello nazionale le prime attività di dragaggio dei DSMR per il ripascimento delle spiagge risalgono agli interventi del Magistrato delle Acque per gli interventi misti (opere rigide + ripascimento) di Cavallino e Pellestrina (1994-1997), mentre il primo ripascimento morbido fu realizzato ad Ostia dalla Regione Lazio (1999).

Un elenco degli interventi di dragaggio per ripascimento con prelievi da DSMR effettuati in Italia dal 1997 al 2016 (Fig. 1.2.3) è riportato nell’"Annesso 1: Dati dragaggi 1997-2016" mentre una sintesi riferita ai soggetti appaltanti/concessionari è rappresentata dal grafico di Fig. 1.2.4.

Con circa 20,8 Mm³ estratti in 18/19 anni, la media nazionale annua di estrazione da DSMR di sedimenti per ripascimenti, è di circa **1,10 Mm³/anno**, con un trend simile a quello della Spagna.



Tuttavia gli interventi non si distribuiscono uniformemente nel tempo e quindi non si può parlare di un uso “sistematico” dei DSMR (Fig. 1.2.5).



1.3. STATO DELL'ARTE RELATIVO ALLA CARATTERIZZAZIONE DEI DSMR E DEFINIZIONE DELLE POTENZIALITÀ

1.3.1. Definizione delle Potenzialità dei DSMR¹⁸⁸

Un aspetto particolarmente importante per valutare le possibilità di intraprendere una politica di impiego sistematico dei DSMR per il ripascimento dei litorali, riguarda le potenzialità realmente efficaci degli stessi. In effetti l'accessibilità dei DSMR è limitata da numerosi fattori tra cui il battente d'acqua (minimo per non interferire con le dinamiche litorali, massimo per poter essere coltivato con le tecniche di dragaggio oggi disponibili), dallo spessore della copertura pelitica nonché da specifiche questioni ambientali (prossimità ad aree sensibili per la fauna e la flora marina), infrastrutturali (presenza di condotte, cavi, ecc.) o da altra vincolistica (poligoni militari, zone interdette, ecc).

In riferimento a queste limitazioni ed all'approfondimento del livello di caratterizzazione dei DSMR, sono state proposte 4 diverse valutazioni per la stima dei volumi di sedimento potenzialmente disponibili per operazioni di ripascimento (Fig. 1.2.6):

- **Potenzialità teorica (PT):** volume totale di sedimenti relitti, individuati principalmente su base sismostratigrafica, interpretati sulla base della facies sismica e giacitura come verosimilmente sabbioso-ghiaiosi (ma potenzialmente anche comprendenti peliti, non sismicamente discriminabili), indipendentemente dalla profondità, dai vincoli e dalla copertura delle peliti di alto stazionamento. Tale valore può essere calcolato sull'intera piattaforma continentale in esame.
- **Potenzialità accessibile (PA):** volume di sedimento verosimilmente medio-grossolano (per facies sismica e ambiente deposizionale ricostruito), compreso tra una profondità ritenuta sufficiente per non interferire in modo diretto con le dinamiche litoranee (variabile in relazione ai paraggi e verosimilmente compresa tra 10-20m) e la profondità tecnicamente raggiungibile dagli attuali mezzi draganti (100-150 m) con uno spessore di max. 2 m di copertura di peliti di alto stazionamento e libero da eventuali altri vincoli che ne impediscano la coltivazione (aree ambientalmente protette o comunque sensibili, presenza di cavidotti o infrastrutture, aree interdette e poligoni militari, ecc.); la definizione anche in questo caso è prevalentemente su base sismostratigrafica, anche in assenza di campioni. La localizzazione di questi depositi e dei relativi vincoli (naturali od antropici), unitamente ad un eventuale campionamento (anche molto scarso), porta alla definizione di zone di interesse pratico su cui concentrare le indagini successive.
- **Potenzialità presunta (PP):** volume di sedimento sabbioso o ghiaioso incluso in quello definito "accessibile", ricostruito in base alla similitudine (orizzontale e verticale) della facies sismica con depositi contigui verificati con campionamento diretto. La Potenzialità Presunta può essere caratterizzata con l'ausilio di carotaggi a maglia larga al fine di un'attendibile interpretazione dei dati geosismici.
- **Potenzialità verificata e utile (PU):** volume di sedimento sabbioso incluso in quello definito "presunto", realmente verificato da carote la cui stratigrafia viene interpolata entro una limitata distanza (centinaia di metri in funzione delle eteropie laterali nel deposito derivate dalla facies deposizionale e dall'omogeneità delle stratigrafie delle carote recuperate) ed al netto di ulteriori vincoli estrattivi (strati a salvaguardia della natura del fondo, ecc).

¹⁸⁸ Definizioni elaborate dall'Università di Roma "La Sapienza" – Dipartimento Scienze della Terra nell'ambito del progetto europeo MEDSANDCOAST (Protocollo SAND+)

Nel corso degli incontri avuti con le diverse Università ed Istituti che si sono interessati di ricerca e caratterizzazione dei DSMR¹⁸⁹ è emerso un generale apprezzamento di una tale distinzione delle potenzialità

soprattutto per quelle realtà geologiche particolarmente complesse dove la caratterizzazione richiede successive campagne di approfondimento.

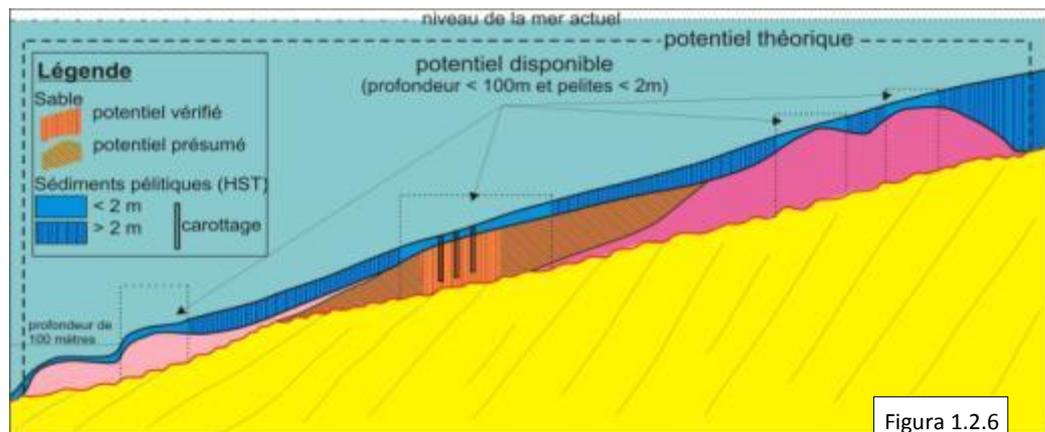


Figura 1.2.6

In effetti in talune realtà (vedi giacimenti del Nord Adriatico) i DSMR si presentano con caratteristiche morfologiche e sedimentologiche così uniformi che i margini di distinzione tra le potenzialità (ad esempio tra potenzialità presunta e potenzialità verificata e utile) si riducono fino ad annullarsi. Rimane in queste circostanze comunque significativa la distinzione relativa alla potenzialità accessibile soprattutto laddove sono previsti molteplici usi del mare e dove quindi possono insorgere limitazioni all'uso dei DSMR per precedenti diritti che insistono sugli spazi marittimi (concessioni estrattive, cavidotti, ecc.).

La stima delle potenzialità dei DSMR deve quindi poter essere intesa utile per gli aspetti gestionali di tali risorse, dovendo distinguere quelli che sono gli obiettivi operativi, che devono necessariamente far riferimento alle potenzialità verificate ed utili, dagli obiettivi strategici connessi alla valutazione degli scenari a lungo termine, che possono essere riferiti anche alle potenzialità teoriche e accessibili.

Quest'ultime devono poter essere definite non solo per stabilire se fattibili o meno le future politiche di alimentazione delle spiagge (specifico interesse della Amministrazioni) ma anche in relazione alla necessità di programmare le attività di ricerca (DSMR di maggiore o minore interesse strategico) per evidenti ragioni di carattere economico e per concentrare quest'ultime verso le realtà più promettenti e idonee alle politiche di alimentazione.

1.3.2. Quadro delle conoscenze in Italia

Sulla base delle definizioni di potenzialità precedentemente descritte, è stato svolto dal TNEC un censimento dei DSMR nazionali fino ad oggi individuati sulla piattaforma continentale.

Occorre sottolineare che quanto riportato non si riferisce quindi alle potenzialità disponibili in assoluto ma solo a quelle fino ad ora indagate. E' quindi verosimile che tali potenzialità siano destinate ad assumere valori più importanti.

¹⁸⁹ Atelier "La recherche des sables submergés résidus et la gestion des données", tenutosi a Roma il 10/06/2016 nell'ambito del progetto europeo MEDSANDCOAST



Un quadro sintetico delle potenzialità dei DSMR è riportata nell'“Annesso 2: Censimento Depositi Sedimentari Marini Relitti”.

Per quanto riguarda le **Potenzialità Teoriche (PT)**, per le quali è sicuramente necessario un miglior “allineamento” tra i ricercatori circa la corrispondenza tra la definizione e lo stato delle conoscenze dei diversi DSMR, si possono rintracciare giacimenti lungo gran parte della piattaforma continentale (Fig. 1.2.7), con una disponibilità attualmente stimabile in circa **22,5 miliardi di m³** di sedimenti, valore destinato a crescere in relazione alle nuove ricerche di giacimenti.

Tuttavia la potenzialità teorica, considerato il grado di incertezza associato, rappresenta un riferimento il cui

interesse si limita all'esistenza di zone della piattaforma continentale “promettenti” dal punto di vista della risorsa.

La **Potenzialità Accessibile (PA)**, per come è stata definita, consente di ritenere che il valore di **circa 3,7 miliardi di m³** di sedimento sia un quantitativo effettivamente rappresentativo di quanto attualmente individuato e disponibile per l'elaborazione di piani di coltivazione (Fig. 1.2.8).

Anche il valore della potenzialità accessibile è destinato verosimilmente ad aumentare in modo significativo in quanto interi giacimenti, di cui è stata peraltro valutata la potenzialità teorica, non sono stati ancora considerati in mancanza di elaborazioni più approfondite (vedi giacimenti calabri, pontini, ecc.).

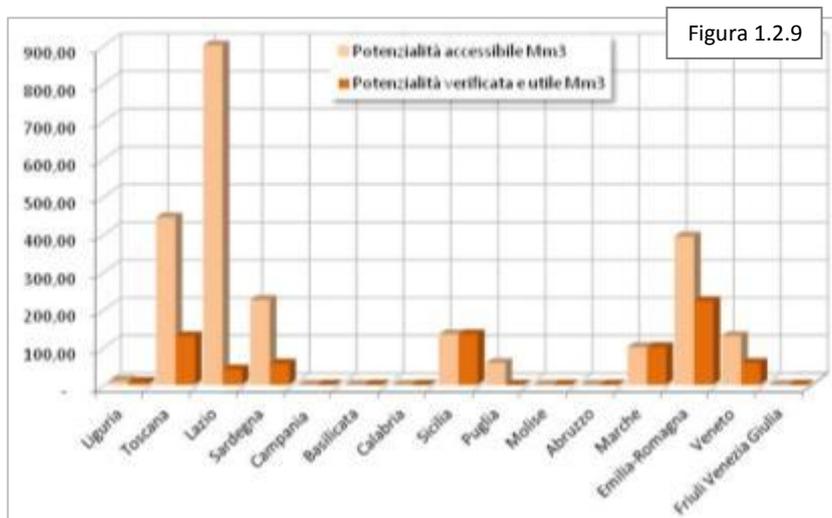


*Considerando che la Potenzialità Accessibile rappresenta il valore su cui basare le scelte strategiche a medio-lungo termine per far fronte all'erosione ed agli effetti del CC come il Sea Level Rise, è da ritenere come obiettivo fondamentale del TNEC il completamento del quadro delle ricerche dei giacimenti entro i prossimi anni, mediante la celere predisposizione di uno specifico **Programma Nazionale per l'individuazione di giacimenti di sabbia sottomarini utilizzabili per il ripascimento artificiale dei litorali sabbiosi**.*

Il coinvolgimento degli altri Paesi del Mediterraneo sui temi di tale Programma risulta ovviamente un obiettivo altrettanto strategico nonché sinergico se riferito anche al reperimento di fondi mediante progetti mirati su tale argomento.

Per gli obiettivi a breve termine si può fare riferimento alla **Potenzialità Presunta (PP)** ed alla **Potenzialità Verificata ed Utile (PV)** che, in questa prima fase di elaborazione dei dati, assumono valori del tutto simili dell'ordine di **930 Mm³**.

Nel grafico di Fig. 1.2.9, che rappresenta la distribuzione regionale della potenzialità “accessibile” e “verificata e utile”, si evidenzia come la differenza tra i due tipi di potenzialità siano talvolta (es. Lazio, Puglia, ecc) considerevoli mentre in altri casi non sussiste praticamente alcuna differenza (es. Sicilia e Marche – depositi in concessione ad Arenaria s.r.l.).



Ciò potrebbe derivare dal fatto che in alcuni casi la potenzialità, indicata come “verificata e utile” sia in effetti solo “accessibile”, in quanto semplicemente non ancora suffragata da sufficienti vibrocarotaggi; tuttavia ciò potrebbe dipendere anche dal grado di uniformità del deposito e dall’interpretazione (soggettiva) del ricercatore.

Anche per tale ragione è opportuno che il mondo della ricerca trovi standard di definizione in modo da poter consegnare alle Amministrazioni un quadro più omogeneo delle risorse in grado di poter far compiere quelle scelte necessarie per fronteggiare il fenomeno erosivo e gli effetti del CC.

1.4. ASPETTI AMBIENTALI

1.4.1. Dragaggi dei DSMR e movimentazione dei sedimenti

Considerando il dragaggio dei depositi sedimentari relitti (DSMR) da un punto di vista prettamente ambientale, il principale aspetto da considerare è quello relativo alla qualità chimica del sedimento da movimentare, in quanto la risospensione può diventare un importante meccanismo per la reintroduzione di contaminanti nella colonna d’acqua e nel ciclo del particolato, con effetti su habitat e specie coinvolti.

Per tale motivo, la qualità chimica del sedimento superficiale (sia di quello sabbioso da destinare al ripascimento, sia dell’eventuale coltre pelitica) deve essere sempre attentamente valutata in termini di contaminanti organici ed inorganici. Poiché non esistono in Italia norme specifiche che definiscono i valori chimici di riferimento da utilizzare per valutare la qualità e la compatibilità chimica dei DSMR per il ripascimento dei litorali, si fa riferimento agli standard di qualità ambientale definiti ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 172/2015. Per quanto riguarda la presenza di metalli ed elementi in traccia, è importante poter discriminare l’origine naturale o antropica di eventuali concentrazioni anomale e verificare la mobilità degli elementi considerati e quindi la potenziale disponibilità per l’ambiente. In taluni casi concentrazioni elevate sono infatti riconducibili a valori di *background* e non a contaminazione antropica (Paganelli *et al.*, 2007).

Considerato che il dragaggio dei depositi di sabbie a fini di ripascimento, a differenza ad esempio dei dragaggi portuali, non risponde a una condizione di obbligo e/o di necessità, è quindi auspicabile che vengano sottoposti a dragaggio solo quei depositi di sabbie per i quali le indagini ambientali abbiano potuto escludere fenomeni di contaminazione in atto.

In generale, è noto che il dragaggio dei DSMR può comportare effetti fisici e biologici non trascurabili sull'ambiente marino (Boyd e Rees; 2003; Boyd *et al.*, 2005; Cooper *et al.*, 2011; Robinson *et al.*, 2005; Desprez *et al.*, 2010.).

Tra i principali effetti attesi sull'ambiente fisico sono da considerare quelli che agiscono sul fondo e sulla colonna d'acqua (Hitchcock e Bell; 2004; Tillin *et al.*, 2011; Spearman, 2015). Gli effetti sul fondo sono principalmente localizzati all'interno dell'area dragata (Spearman, 2015) e sono riconducibili a variazioni morfologiche (formazione di depressioni e solchi generati dall'azione diretta della draga), e sedimentologiche che comportano variazioni tessiturali e geotecniche dei sedimenti superficiali, per l'esposizione dei livelli di sedimento sottostanti (Kenny e Rees, 1994, 1996; Nonnis *et al.*, 2011).

I più significativi effetti sulla colonna d'acqua implicano variazioni di torbidità dovute all'aumento dell'*input* sedimentario associato alla formazione di plume di torbida, superficiale e di fondo (Hitchcock *et al.*; 1999; Hitchcock e Bell; 2004). Di particolare rilevanza è la formazione della *plume* superficiale, associata all'*overflow* generato durante il dragaggio dallo scarico fuoribordo di una miscela di acqua e sedimenti. La *plume*, allungata nella direzione della corrente prevalente, può determinare la dispersione e la successiva rideposizione del sedimento risospeso anche esternamente alle aree dragate, arrivando a coinvolgere, in funzione delle caratteristiche idrodinamiche locali e della natura del sedimento movimentato, anche aree piuttosto lontane. In ambiente mediterraneo, i valori riportati in letteratura (Hitchcock e Bell, 2004, Duclos *et al.*, 2013, Capello *et al.*, 2014, Spearman, 2015, Roman-Sierra *et al.*, 2011), relativi alla distribuzione spaziale delle principali frazioni granulometriche caratterizzanti la *plume* osservata per diversi dragaggi di sabbie marine, hanno permesso di individuare un buffer di 5 km (pari a circa 3 Mn), che può essere considerato il limite "cautelativo" all'interno del quale si possono avere effetti significativi sull'ambiente marino a causa della deposizione dei sedimenti risospesi.

Per quanto concerne il comparto biotico, gli effetti più rilevanti sono quelli attesi a carico delle comunità bentoniche (Robinson *et al.*, 2005 ; Marzialetti *et al.* 2006; La Porta *et al.*, 2009 Loia *et al.*, 2009; Desprez *et al.*, 2010) e dei popolamenti ittici demersali (Ardizzone *et al.*, 2004).

Il principale impatto sulle comunità bentoniche consiste nella defaunazione degli organismi presenti all'interno delle aree effettivamente dragate. Effetti sui popolamenti bentonici potrebbero essere rilevati anche esternamente all'area dragata, per effetto della rideposizione della *plume* di torbida. Gli effetti dell'estrazione delle sabbie devono essere attentamente valutati soprattutto in presenza di habitat e/o specie particolarmente sensibili alle variazioni dei parametri abiotici e agli stress ambientali (ad esempio praterie di *Posidonia oceanica*, biocenosi del Coralligeno e relative *facies* ecc.).

Gli effetti del dragaggio sugli organismi nectonici interessano principalmente i popolamenti ittici demersali che vivono a stretto contatto con il fondo per esigenze alimentari o riproduttive. La movimentazione dei sedimenti e la conseguente presenza di solidi sospesi nella colonna d'acqua possono comportare infatti effetti di abrasione del corpo e di occlusione degli apparati branchiali. La diminuzione della penetrazione della luce indotta dalla risospensione può diminuire inoltre le capacità visive dei pesci influenzandone il comportamento trofico e l'efficienza predatoria. Particolare attenzione deve essere posta alle aree di riproduzione e alle aree di *nursery* delle specie ittiche di interesse commerciale, al fine di minimizzare eventuali impatti sulle attività di pesca, con possibili ripercussioni ecologiche e socio-economiche soprattutto a livello locale.

1.4.2. Protocollo monitoraggio ambientale

Sul tema degli aspetti ambientali inerenti il dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento, ISPRA nel 2006 ha pubblicato una proposta di protocollo di monitoraggio ambientale (Nicoletti *et al.*, 2006), sviluppato e condiviso nell’ambito dei progetti europei BEACHMED e BEACHMED-e. Tale documento è stato adottato come strumento di riferimento per gli studi di impatto ambientale dei dragaggi di sabbie relitte a fini di ripascimento dalla Regione Veneto (DGR n.1019 del 23 marzo 2010) e dalla Regione Lazio (Determinazione n. A07042 del 10 luglio 2012).

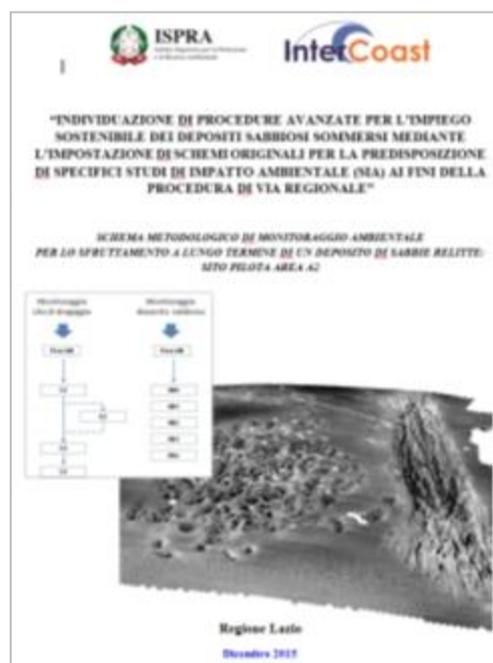
Il protocollo è stato revisionato e aggiornato con specifico ed esclusivo riferimento all’area di dragaggio, nell’ambito del progetto POR FESR 2007-2013 “INTERCOAST” (ISPRA 2015), in collaborazione con la Regione Lazio.

Il protocollo prevede l’esecuzione di una serie di indagini ambientali da effettuarsi nelle diverse aree interessate dagli effetti delle attività movimentazione:

- l’area di dragaggio, area della piattaforma continentale in cui è presente il deposito di sabbie relitte che si intende coltivare;
- l’area di trasporto, che si estende dal sito di dragaggio a quello di ripascimento;
- l’area di ripascimento, che interessa la spiaggia oggetto del ripascimento vero e proprio.

Il protocollo è articolato in uno studio di caratterizzazione (*ante operam*) e uno studio di monitoraggio ambientale, da condurre durante e dopo le attività di movimentazione dei sedimenti.

Per quanto riguarda l’area di dragaggio, esso prevede uno studio di caratterizzazione preliminare ambientale, con la raccolta di dati al fine di acquisire informazioni dettagliate e approfondite sulle principali criticità ambientali-amministrative (zone di protezione ambientale, usi legittimi del mare, ecc.) e sui parametri ambientali (ad esempio morfologia e batimetria del fondo, granulometria e chimica dei sedimenti ecc.) dell’area in cui sono presenti uno o più depositi di sabbie relitte. Tale fase ha lo scopo di valutare se le attività di movimentazione del fondo possano essere svolte con effetti sostenibili sull’ambiente e di valutare se devono essere presi opportuni e specifici accorgimenti tecnici (restrizioni).



Lo studio di monitoraggio ambientale prevede l’analisi degli effetti indotti sull’ambiente durante (monitoraggio in corso d’opera) e dopo l’esecuzione delle attività di movimentazione dei sedimenti (monitoraggio *post operam*). Nello specifico:

- La Caratterizzazione Preliminare Ambientale (denominata Fase AB) prevede la raccolta e l’analisi dei dati di letteratura disponibili su un’area vasta, estesa almeno 3 mn attorno ai depositi di sabbie relitte, al fine di valutare la compatibilità ambientale del deposito rispetto al dragaggio. Laddove le informazioni ambientali risultassero mancanti, insufficienti o non adeguate si prevede l’esecuzione di specifiche indagini sperimentali;
- La Caratterizzazione del sito di dragaggio (Fase C1), consiste nell’esecuzione di indagini sperimentali all’interno del sito individuato per il dragaggio e nelle sue immediate vicinanze e ha lo scopo di raccogliere le informazioni necessarie per stabilirne la sostenibilità ambientale rispetto al dragaggio;

- Il Monitoraggio in corso d'opera (Fase C2), da eseguire solo se nelle vicinanze del sito di dragaggio sono presenti habitat e/o specie sensibili), prevede l'esecuzione di indagini sperimentali mirate a monitorare l'evoluzione spazio-temporale della *plume* di torbida generata dal dragaggio e verificare tempestivamente l'eventuale interessamento di habitat e specie sensibili ;
- Il Monitoraggio *post operam* (Fase C3) consiste nell'esecuzione di indagini sperimentali mirate a ricostruire gli effetti a medio e lungo termine del dragaggio e le modalità e i tempi di risposta dell'ambiente.

Per ulteriori dettagli e approfondimenti si rimanda a ISPRA (2015), mentre per quanto concerne le altre aree di indagine (area di trasporto e area di ripascimento) a quanto riportato in Nicoletti *et al.*, 2006.

2. SEDIMENTI ACCUMULATI LUNGO LA COSTA

2.1. STATO DELLE CONOSCENZE E DELLE PRATICHE DI RIUTILIZZO

Sebbene la movimentazione delle sabbie litoranee rappresenti una pratica senz'altro più accessibile di intervento per la manutenzione delle spiagge in erosione, la definizione delle potenzialità di questa risorsa risulta di più complessa determinazione in quanto legata a innumerevoli fattori locali. Nel seguito si propongono le tipologie di depositi litoranei più ricorrenti e meglio caratterizzabili ai fini del loro uso per il ripascimento delle spiagge.

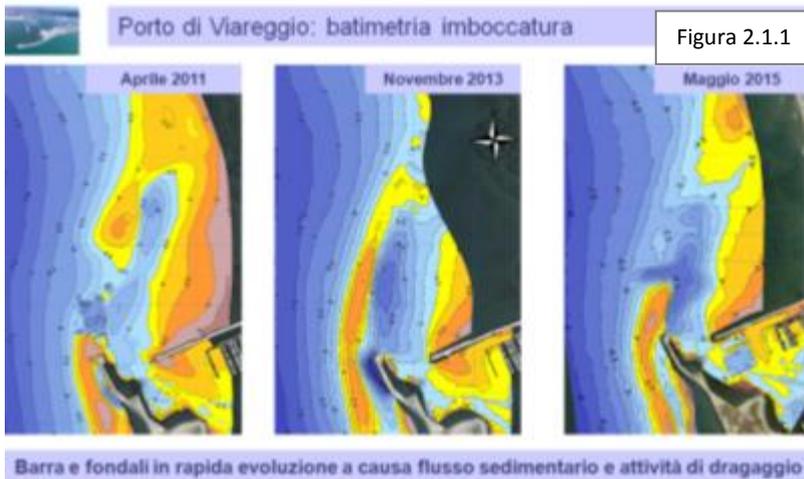


Figura 2.1.1

- **Barre sommerse alle imboccature dei porti o di foci armate:** sabbie che si depositano sistematicamente di fronte alle imboccature dei porti esposti ad un trasporto solido longitudinale (longshore) in litoranei sabbiosi (Fig. 2.1.1); questi depositi sommersi possono essere movimentati con mezzi marittimi ed impiegati per il ripascimento mediante refluito diretto (con draghe aspiranti-refluenti) o refluito indiretto (con

draghe auto caricanti).

- **Depositi emersi e sommersi a ridosso di opere aggettanti:** in genere questi depositi si presentano anche con un'importante parte emersa che si accumula a ridosso di opere aggettanti tra cui moli portuali di sopraflutto, moli di foci fluviali armate, pennelli, ecc. (Fig. 2.1.2). Questi depositi si prestano alla movimentazione di superficie con



Figura 2.1.2



Figura 2.1.3

interventi di *back-pass* (ricarica delle spiagge sopraflutto via terra mediante dumper) ovvero di *by-pass* (ricarica delle spiagge sottoflutto) con l'ausilio di mezzi marittimi draganti e l'impiego di tubazioni tradizionali (amovibili dopo l'intervento) o fisse eventualmente equipaggiate di una pompa di rilancio (booster). Fra gli esempi di *by-pass* con tubazione fissa può essere citato l'esempio del Porto di Riccione (Fig. 2.1.3).

- **Barre sommerse alle foci fluviali o bocche lagunari:** in condizioni di forte apporto sedimentario alle foci fluviali (foci progradanti) si assiste alla formazione di barre che non riescono ad essere rimosse dalle correnti indotte dalle ondate incidenti. In questi casi si può procedere alla movimentazione dei sedimenti con l'ausilio di mezzi marittimi draganti aspiranti refluenti (se le zone di ripascimento sono in prossimità della barra) o con mezzi marittimi auto caricanti. Esempi di prelievi da barre alle foci fluviali o bocche lagunari con tubazione fissa sono quello in fase di realizzazione a Bibiona (VE) dove le sabbie vengono prelevate dalla foce del Tagliamento e quello in funzione a Lido di Volano (FE) con prelievo dallo Scanno di Goro (Fig. 2.1.4).



- **Barre di avanspiaggia:** in carenza di risorse sedimentarie si può ricorrere all'impiego di sabbie dell'avanspiaggia, interessando tratti ai limiti del profilo attivo o all'interno di quest'ultimo, in presenza o meno di opere quali barriere sommerse in massi. Nel primo caso si eseguono dragaggi di limitata profondità (1 m) alle batimetriche intorno ai 9-10 m su superfici di estensione sufficiente per il fabbisogno. L'obiettivo è quello di ottenere quantità di sabbia per il ripascimento senza alterare significativamente il profilo esistente. Alla semplicità dell'intervento corrisponde in genere un ripascimento molto "volatile" in quanto le sabbie prelevate sulla parte bassa del profilo attivo sono in



generare le più fini ed inoltre il profilo tenderà naturalmente a riassumere la sua conformazione naturale. Questo vale ancora di più per i dragaggi di avanspiaggia effettuati a batimetriche ancora minori. Nel caso dell'intervento a Follonica (Appalto SALES 2012), circa 70.000 m³ sono stati prelevati dalla fascia di spiaggia sommersa immediatamente a ridosso (lato mare) della barriera sommersa di massi e collocati sulla spiaggia emersa (Fig.2.1.5).

In relazione alle casistiche e tipologie dei depositi litoranei, risulta più complessa la definizione delle potenzialità che in effetti può derivare solo da una specifica analisi delle peculiarità litoranee.

In questo senso è molto utile un sistema di caratterizzazione dei tratti litoranei come quello adottato dalla Regione Emilia Romagna e denominato Sistema Gestionale delle celle litoranee (SICELL)¹⁹⁰. Questo sistema è stato sviluppato nel 2010 nell'ambito del progetto europeo COASTANCE (Programma MED)¹⁹¹ come strumento informativo di supporto alla gestione e difesa della costa. SICELL risponde all'esigenza di avere a disposizione un sistema conoscitivo del trend evolutivo e della disponibilità dei sedimenti litoranei al fine di ottimizzare le operazioni di dragaggio e movimentazione dei sedimenti in funzione del mantenimento in equilibrio del sistema costiero.

¹⁹⁰ <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa/sicell-2006-2012/sicell-1>

¹⁹¹ <http://www.coastance.eu/>

2.2. STIMA DEI VOLUMI E CARATTERIZZAZIONE

Il censimento delle movimentazioni di sedimenti autorizzate ai sensi dell'art.21 della L.179/2002 in ambito marino-costiero, effettuato in occasione della predisposizione del presente Allegato 3, è solo parzialmente rappresentativo della situazione a livello nazionale in quanto ancora privo di una serie di dati.

Tuttavia è evidente che la gestione dei sedimenti litoranei rappresenta un elemento cruciale per la manutenzione degli stessi in quanto questa risorsa, sotto certi aspetti, può ritenersi rinnovabile e spesso molto affine ai sedimenti preesistenti.

Occorre inoltre considerare che la movimentazione dei sedimenti deve coprire quella parte di fabbisogno generata dal trasporto longitudinale che rappresenta una quota preponderante del fenomeno erosivo. Nella tabella 2.2.1 sopra riportata si evidenzia una significativa attività di movimentazione che viene stimata complessivamente in circa 1,2 Mm³/anno.

Tabella 2.2.1	Depositi Litoranei - quantità media m3/anno (movimentazioni autorizzate)					
	Regione	Dragaggi portuali	Barre di avanspiaggia	Depositi alle foci o bocche lagunari	Depositi emersi e sommersi artificiali	totale
	Liguria	43.842	19.236	520	0	63.598
	Toscana	80.000	0	0	0	80.000
	Lazio	113.863	55.534	1.500	19.458	190.355
	Sardegna	nd	nd	nd	nd	nd
	Campania	43.525	26.025	0	0	69.550
	Basilicata	nd	nd	nd	nd	nd
	Calabria	215.000	20.000	20.000	0	255.000
	Sicilia	np	np	np	np	np
	Puglia	nd	nd	nd	nd	nd
	Molise	nd	nd	nd	nd	nd
	Abruzzo	25.000	0	0	0	25.000
	Marche	60.000	50.000	5.000	0	115.000
	Emilia-Romagna	10.000	50.000	80.000	0	140.000
	Veneto	0	0	222.554	0	222.554
	Friuli Venezia Giulia	45.250	0	34.000	0	79.250
	totale	636.480	220.795	363.574	19.458	1.240.307

nd = non disponibile; np=non pervenuto

Questo dato annuo è di poco superiore a quanto dragato annualmente dai DSMR (circa 1,10 Mm³/anno). L'impiego dei depositi litoranei per il ripascimento manutentivo delle spiagge è quindi già di fatto una

Tabella 2.2.2	Depositi Litoranei - quantità media m3/anno (valori potenziali)					
	Regione	Dragaggi portuali	Barre di avanspiaggia	Depositi alle foci o bocche lagunari	Depositi emersi e sommersi artificiali	totale
	Liguria	0	0	150.000	0	150.000
	Toscana	80.000	0	0	0	80.000
	Lazio	200.000	50.000	50.000	50.000	350.000
	Sardegna	nd	nd	nd	nd	nd
	Campania	nd	nd	nd	nd	nd
	Basilicata	0	0	10.000	0	10.000
	Calabria	215.000	20.000	20.000	0	255.000
	Sicilia	38.000	np	np	np	np
	Puglia	nd	nd	nd	nd	nd
	Molise	nd	nd	nd	nd	nd
	Abruzzo	25.000	0	0	0	25.000
	Marche	100.000	50.000	5.000	0	155.000
	Emilia-Romagna	115.000	92.500	321.500	150.000	679.000
	Veneto	70.000	0	580.000	0	650.000
	Friuli Venezia Giulia	45.250	0	34.000	0	79.250
	totale	888.250	212.500	1.170.500	200.000	2.471.250

nd = non disponibile; np=non pervenuto

realità importante in un quadro di gestione integrata dei sedimenti per la difesa delle coste dall'erosione e dagli effetti del CC.

Dato che la disponibilità di questo genere di risorsa dipende fortemente dalla capacità di gestione dei litorali, assume una particolare importanza la valutazione della sua potenzialità in relazione alle esperienze delle diverse Regioni. Nella tabella 2.2.2 sono riportate le quantità di sedimento che potenzialmente potrebbero essere movimentate da depositi litoranei ai fini del ripascimento degli arenili in uno

scenario a medio-lungo termine.

In questo caso la quantità assume il valore molto significativo di circa **2,5 Mm³/anno** facendo diventare di assoluto interesse tale risorsa il cui uso andrebbe opportunamente incentivato.

2.3. ASPETTI AMBIENTALI

Per procedere correttamente alla valutazione degli aspetti ambientali inerenti la movimentazione dei sedimenti accumulati lungo costa è opportuno considerare che si tratta di un gruppo di sedimenti estremamente eterogeneo. Esso infatti annovera sia sedimenti come quelli appartenenti agli stock sabbiosi, la cui rimozione può essere opzionale, sia quelli provenienti dal dragaggio delle foci fluviali e dei bacini portuali in cui, ai fini di ripristinare e/o mantenere la navigabilità, la rimozione potrebbe essere necessaria anche in caso di contaminazione.

Nel primo caso la valutazione della qualità del sedimento è quindi finalizzata a verificare l'effettiva sostenibilità ambientale della movimentazione. Nel secondo caso la verifica della qualità ambientale deve poter discriminare il sedimento che può essere utilizzato ai fini di ripascimento, da quello idoneo per altre destinazioni d'uso. In entrambi i casi considerati, la valutazione della sostenibilità ambientale della movimentazione non può prescindere dalla valutazione della qualità chimica e microbiologica del sedimento, al fine di mettere in evidenza la presenza di eventuali fenomeni di contaminazione.

Per la caratterizzazione ambientale, con specifico riferimento alla qualità chimica del sedimento, si può fare riferimento al D.Lgs. 152/2006 e al D.Lgs. 172/2015. La destinazione d'uso dei sedimenti dragati in ambito costiero (aree costiere e fluviali, aree portuali e relative imboccature) va valutata in base ai requisiti dell'allegato tecnico al Decreto 15 luglio 2016, n. 173. "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini" (attuazione dell'art. 109 del D.Lgs. 152/06).

Per quanto concerne la qualità microbiologica del sedimento da movimentare a fini di ripascimento, in mancanza di riferimenti normativi specifici, è indicata l'intensificazione del monitoraggio microbiologico da eseguire in ottemperanza alla normativa sulla qualità delle acque di balneazione.

Da un punto di vista più generale è noto che la movimentazione dei sedimenti costieri può produrre effetti non trascurabili sul fondo, sull'idrologia della colonna d'acqua e sul comparto biotico. Il dragaggio può inoltre indurre effetti non trascurabili sulla dinamica costiera; interventi non adeguatamente progettati possono infatti anche favorire ed intensificare i fenomeni erosivi in loco e nelle zone adiacenti. La natura e l'entità degli effetti generati dal dragaggio dipendono strettamente dalle caratteristiche ambientali dell'area dragata, dai quantitativi e dalla natura del materiale movimentato, dalla qualità del sedimento da movimentare (NRCA, 1992; OSPAR, 2014; McCook *et al.*, 2015), nonché dalle tecniche utilizzate per la movimentazione (mezzi impiegati e sistemi di escavazione adottati).

Nello specifico, a breve e a medio termine il prelievo di sedimenti in ambito costiero può indurre l'alterazione delle caratteristiche morfo-batimetriche e idrodinamiche, con effetti rilevanti soprattutto a scala locale (PIANC, 2010; CEDA, 2015). Un caso particolare è inoltre quello relativo al dragaggio in ambito fluviale in cui le alterazioni indotte sulle caratteristiche morfo-batimetriche del fondo e conseguentemente sul regime idrodinamico alla foce potrebbero favorire e/o intensificare l'intrusione del cuneo salino, con effetti non trascurabili sugli acquiferi costieri (NRCA; 1992). La movimentazione di sedimenti in ambito costiero potrebbe altresì modificare le caratteristiche tessiturali dei sedimenti superficiali e favorire un incremento dei fenomeni di risospensione a causa del peggioramento delle caratteristiche geotecniche del sedimento (Brambati e Fontolan, 1990), con conseguenti variazioni nei *patterns* di sedimentazione (CEDA, 2015).

Il dragaggio può determinare effetti sulle caratteristiche idrologiche della colonna d'acqua principalmente a causa delle variazioni di concentrazione di sostanza organica e di nutrienti e di eventuali contaminanti, con

possibili effetti sul mantenimento del buono stato ecologico, come richiesto ai sensi della direttiva 2000/60/CE. L'aumento di solidi sospesi lungo la colonna d'acqua generato dal dragaggio e l'incremento, anche se temporaneo, della torbidità possono determinare alterazioni anche importanti sulla componente vegetale del benthos e del plancton.

Le alterazioni indotte sul fondo e sulla colonna d'acqua possono a loro volta ripercuotersi sul comparto biotico, con effetti sulla struttura e sulla composizione specifica delle comunità bentoniche e ittiche litorali, incluse specie protette e specie di interesse commerciale (La Valle *et al.*, 2007; 2011). Pertanto nella valutazione della sostenibilità ambientale della movimentazione dei sedimenti costieri, particolare attenzione deve essere posta alla presenza di habitat e/o specie protette; il dragaggio potrebbe infatti indurre effetti non trascurabili sul loro stato di conservazione.

E' da sottolineare che anche nel caso dei dragaggi portuali, che avvengono in un ambiente fortemente modificato e per i quali la caratterizzazione ambientale è principalmente focalizzata alla definizione della qualità chimica del sedimento (Pellegrini *et al.*, 2002), gli effetti del dragaggio possono propagarsi esternamente al bacino stesso, con possibili ripercussioni anche importanti sull'ambiente marino circostante.

Si sottolinea infine che in caso di interventi ripetuti, anche a brevi intervalli temporali, sarà opportuno formulare accurate ipotesi di impatto al fine di verificare se le alterazioni attese sono accettabili da un punto di vista ambientale, stimando anche i possibili effetti cumulativi.

3. SEDIMENTI ACCUMULATI NEI I BACINI IDROGRAFICI

3.1. STIMA DEI VOLUMI E CARATTERIZZAZIONE

La regolazione dei corsi d'acqua naturali per le diverse e spesso imprescindibili finalità di sviluppo e sicurezza del territorio (irrigazione, energia idroelettrica, uso potabile, laminazione delle piene, stabilizzazione degli alvei e delle sponde, ecc.), mediante la realizzazione di dighe, traverse, soglie, argini ed altre opere, ha comportato una graduale ed inesorabile riduzione del trasporto solido che ha rappresentato e rappresenta una delle principali cause dei processi erosivi litoranei.

Data la vastità dell'argomento, ci si limiterà ad esaminare la problematica dell'interrimento degli invasi artificiali che, oltre a costituire una "trappola" per i sedimenti che, per loro natura, sarebbero transitati verso valle, riduce la capacità dell'invaso, limitandone la funzionalità sino a precluderla totalmente (Fumanti e Serva, 2015):

Per tali motivi sarebbe quanto mai opportuno, con periodicità variabile a seconda dei casi, attuare interventi di rimozione del materiale d'interrimento o



attraverso procedure specifiche che determinino il rilascio totale o parziale di detto materiale lungo il corso d'acqua (spurgo, fluitazione) o attraverso la sua asportazione diretta. In particolare, l'asportazione diretta

Regione ¹⁹²	Dighe (n)	Volume invasabile (milioni m3)
PIEMONTE	60	373,63
VALLE D'AOSTA	8	144,42
LOMBARDIA	77	3863,67
TRENTINO ALTO ADIGE	37	647,68
VENETO	18	237,96
FRIULI VENEZIA GIULIA	12	190,86
LIGURIA	13	60,69
EMILIA ROMAGNA	25	158,96
TOSCANA	51	321,11
UMBRIA	12	430,4
MARCHE	17	119,07
LAZIO	21	519,06
ABRUZZO	14	370,38
MOLISE	7	202,91
CAMPANIA	17	293,1
PUGLIA	9	541,42
BASILICATA	14	910,41
CALABRIA	24	684,46
SICILIA	47	1128,98
SARDEGNA	59	2564,28
ITALIA	542	13.763,45

Tabella 3.1.1

del sedimento dal bacino può essere condotta sia a serbatoio pieno, utilizzando sistemi di pompaggio posizionati su piattaforme galleggianti (dragaggio), sia a serbatoio vuoto, dopo aver effettuato lo svasso totale del serbatoio, utilizzando macchinari idonei alla rimozione del materiale sedimentato.

Sebbene il riutilizzo del materiale dragato dagli invasi mediante fluitazione sia pienamente in linea con la Direttiva 2006/12/CEE (recupero dei rifiuti) e con la Raccomandazione 2002/413/CE relativa al ripristino del trasporto solido dei corsi d'acqua (Molino e Albergo, 2009), in questo Capitolo viene trattato il solo caso dell'asportazione diretta del sedimento dall'invaso.

Le "grandi dighe", definite dalla legge 21 ottobre 1994, n. 584 come opere di sbarramento di altezza maggiore di 15 metri o che determinano un volume di invaso superiore ad un milione di metri cubi, sono circa 542, con capacità potenziale di invaso di circa 13.700 Mm³¹⁹² (Tab. 3.1.1).

¹⁹² Dati ottenuti dal Registro Italiano Dighe (2015)

Il numero dei piccoli invasi, secondo differenti stime, è compreso fra 8.843 e 15.400, con capacità potenziale di invaso complessiva dell'ordine di 300 Mm³ (Bazzoffi e Vanino, 2012)

Si stima che in Italia il tasso potenziale di interrimento nei grandi invasi sia compreso fra un valore minimo dello 0,1% ed un massimo dell'1%, rispettivamente in condizioni di bacino idrografico boscato o ad agricoltura intensiva. Negli invasi di medie e piccole dimensioni questi valori variano fra 0,3% e 2% (Bazzoffi e Vanino, 2012).

Considerando un valore medio di interrimento annuo (0,5%) per i soli grandi invasi, è possibile quindi stimare un quantitativo di circa 68,8 Mm³ di sedimenti che viene sottratto al trasporto solido ed all'alimentazione dei litorali italiani ogni anno.

Di questo quantitativo occorre stabilire la percentuale presumibile di sabbia che ovviamente varia notevolmente in relazione alle caratteristiche geomorfologiche e sedimentologiche dei bacini idrografici sottesi.

Prendendo come spunto l'indagine eseguita su 17 invasi presenti nel sud dell'Italia (Bazzoffi e Vanino, 2012), si rilevano valori estremamente differenziati (86% sabbia nella Diga di Farneto, 0% nella diga di Disueri). Anche assumendo un valore verosimilmente cautelativo (5-10% sabbia) si ottiene un **volume annuo di sabbia trattenuto dal sistema dei grandi invasi dell'ordine compreso tra 3-7 Mm³/anno.**

Si evidenzia la sostanziale coerenza, in termini di ordini di grandezza, tra questo dato, relativo al deficit di apporto di sabbia generato dai grandi invasi, e la stima dell'erosione netta annua ottenuta dai dati MATTM (2006), valutata nell'ordine di 2,54 Mm³/anno (erosione permanente per trasporto trasversale).

Tabella 3.1.2		Depositi di sedimenti accumulati nei Bacini Artificiali				
Regione	capacità morta di progetto Mm3	stima sedimenti già accumulati %	totale Mm3	stima sedimenti rimovimentabili annualmente dai piani di gestione %	sedimenti movimentati da alveo m3/anno	totale Mm3/anno
Liguria	0,10	100,0%	0,10	5,0%	124.749	0,13
Toscana	nd					-
Lazio	58,36	100,0%	58,36	0,3%		0,18
Sardegna	116,69	16,7%	19,46	0,3%		0,06
Campania	29,58	50,0%	14,79	0,3%		0,04
Basilicata	100,00	50,0%	50,00	0,3%		0,15
Calabria	nd					-
Sicilia	np					-
Puglia	64,21	20,0%	12,84	0,3%		0,04
Molise	12,85	20,0%	2,57	0,3%		0,01
Abruzzo	nd					-
Marche	7,00	100,0%	7,00	0,3%		0,02
Emilia-Romagna	nd					-
Veneto	230,00	16,0%	36,80	0,3%		0,11
Friuli Venezia Giulia	29,44	100,0%	29,44	0,3%		0,09
totale	648,23		231,36			0,82

in rosso = valori attribuiti ai fini di una prima stima

Considerando che l'età media dei grandi invasi si aggira intorno ai 57 anni¹⁹³, una stima approssimativa dei volumi di sabbia trattenuti dal sistema dei grandi invasi italiani, è quantificabile intorno ai 200-400 Mm³.

Dall'indagine parziale (Tab. 3.1.2) effettuata nell'ambito del TNEC, risultano stimati circa 231 Mm³ di sedimenti attualmente accumulati negli invasi, comprendendo peraltro sedimenti di diversa granulometria.

Queste considerevoli quantità di sabbia presentano attualmente un grado di disponibilità al riuso molto basso. Dall'indagine TNEC eseguita non si è riusciti ad ottenere valori significativi relativamente alla stima

¹⁹³ Corso di formazione Progettazione di Gestione di Invasi Artificiali – Vincenzo Chieppa – ISPRA 2012

dei sedimenti rimovimentati annualmente. Dalla Tab. 3.1.2 risulta che nell'ipotesi di un molto parziale riuso di tali sedimenti (nella quantità dello 0,3%), si otterrebbe un quantitativo dell'ordine di 0,8 Mm³/anno.

Tuttavia occorre tenere conto che questa indagine deve essere completata e soprattutto estesa a tutte le Regioni (anche quelle non costiere) il cui territorio viene interessato dai bacini idrografici che sfociano lungo le coste nazionali.

In effetti le operazioni di fluitazione svolte negli invasi di monte, pur se non considerate in questo paragrafo, costituiscono un fattore importante per il ripristino del trasporto solido, di cui sarebbe molto utile un'analisi ed una stima ai fini di un parziale riequilibrio nell'alimentazione delle coste sabbiose.

Nel prossimo futuro, dovrà essere messo in atto un importante sforzo sia dal punto di vista progettuale che organizzativo affinché questa risorsa torni ad essere un rilevante fattore di rialimentazione dei litorali.

3.2. ASPETTI AMBIENTALI

Gli effetti ambientali indotti dalle attività di dragaggio dei sedimenti accumulati nei bacini idrografici (invasi) sono strettamente legati alle caratteristiche ambientali del bacino, al quantitativo e alle caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche dei sedimenti da dragare (volume di materiale solido sedimentato nel serbatoio e volumi medi di sedimentazione annuale), nonché alle tecniche previste per la movimentazione (mezzi impiegati e sistemi di escavazione adottati). Si fa infatti presente (cfr par. 4.2) che in questo documento viene trattato il solo caso del dragaggio¹⁹⁴ (ai fini di ripascimento), poiché la fluitazione pur avendo il vantaggio di ripristinare il normale trasporto solido del corso d'acqua, non fornisce di fatto una risorsa di sedimento utile ai fini del ripascimento ed esula pertanto dai temi trattati. Il sedimento accumulato negli invasi artificiali e sottoposto a dragaggio può acquisire le caratteristiche di sottoprodotto quando soddisfa le condizioni riportate all'art. art. 12 comma 1 del *D.lgs.* 205/2010 (Molino, 2014).

E' noto che la movimentazione di sedimento contaminato in ambiente acqueo comporta l'immissione di contaminanti lungo la colonna d'acqua, con effetti non trascurabili sullo stato ecologico del bacino (ai sensi della 2000/60/EC), nonché sullo stato di conservazione di habitat e/o specie protette eventualmente presenti. E' quindi opportuno che in fase di caratterizzazione ambientale oltre a valutare l'eventuale presenza di contaminazione chimica nei sedimenti sia anche valutata la presenza nell'area da sottoporre a dragaggio, o nelle sue immediate vicinanze, di habitat e/o specie protette o sensibili.

Per tali motivi, da un punto di vista ambientale, la movimentazione dei sedimenti accumulati nei bacini idrografici ai fini di ripascimento deve essere subordinata, oltre che alla valutazione della compatibilità fisica (granulometrie adeguate) alla valutazione della qualità chimica e microbiologica del sedimento da movimentare.

Per quanto concerne la qualità chimica dei sedimenti accumulati nei bacini artificiali, bisogna considerare che attualmente non sono disponibili norme specifiche. Il *D.Lgs.* 152/06 infatti riporta gli standard di qualità per le acque superficiali interne, per le acque marino costiere e di transizione e per i sedimenti marino costieri e di transizione, ma non riporta nessuna indicazione per circa i sedimenti fluviali e lacustri, naturali

¹⁹⁴ Oggetto di questo documento è infatti la definizione dello stato dell'arte relativamente all'utilizzo in Italia delle possibili fonti di sedimento da destinare al ripascimento dei litorali in erosione (depositi sabbiosi marini relitti, depositi costieri, invasi artificiali e terre da scavo), con particolare riferimento alla caratterizzazione delle diverse tipologie di depositi nonché agli aspetti ambientali ed economici connessi al loro sfruttamento.

o artificiali. Lo stesso decreto (Titolo III, art. 114) prevede che le operazioni di gestione dei sedimenti degli invasi artificiali siano effettuate sulla base di specifici progetti di gestione. Alcune ipotesi per la definizione degli standard di qualità dei sedimenti lacustri sono riportati in letteratura (ISPRA, 2011).

E' importante sottolineare che sebbene l'asportazione meccanica di sedimenti sicuramente si presenta come una scelta di minore impatto a carico del corso d'acqua, apre tuttavia scenari diversi connessi alla caratterizzazione, classificazione e destinazione e finale dei sedimenti (ARPAT, 2009).

In definitiva i fattori da prendere in considerazione ai fini di valutare i principali effetti ecologici relativi alla movimentazione del sedimento accumulato negli invasi artificiali sono:

- immissione di contaminati lungo la colonna d'acqua in caso di movimentazione di sedimento contaminato;
- aumento della concentrazione dei solidi sospesi nella colonna d'acqua e conseguente aumento della torbidità, da valutare sia in termini di intensità che di durata;
- impatto sugli habitat protetti e sulle specie di fauna e di flora, che possono essere particolarmente sensibili alle variazioni di torbidità soprattutto in alcune fasi del ciclo vitale,
- verifica dell'effetto del dragaggio sullo stato ecologico del corpo idrico, in accordo con il DM 260/2010 (Criteri tecnici per la classificazione dei corpi idrici superficiali) e la 2000/60/EC (WFD), che prevedono il monitoraggio EQB quali ad esempio macroinvertebrati, fauna ittica, macrofite, ecc.

4. ALTRE RISORSE (TERRE DA SCAVO)

4.1. STATO DELLE CONOSCENZE E DELLE PRATICHE DI UTILIZZO

Fra le altre risorse di una certa rilevanza sono da considerare i sedimenti ottenuti da interventi di scavo.

In Liguria vi è una consolidata tradizione di interventi di ripascimento di spiagge utilizzando materiali provenienti da lavori di scavo (gallerie, fondazioni, sbancamenti). In questa Regione fin dalla costruzione della prima linea ferroviaria costiera, nella seconda metà dell'800, il materiale di risulta degli scavi è sempre stato versato direttamente in mare formando spiagge ghiaiose che ancora oggi costituiscono un bene paesaggistico e turistico consolidato. La stessa prassi è stata seguita per tutte le grandi opere realizzate nel secondo dopoguerra che hanno visto ingenti versamenti di materiale di scavo indifferenziato (raddoppio ferroviario e rete autostradale in primis).

Tali interventi, se da un lato hanno ridotto in maniera sensibile le problematiche di erosione in gran parte del territorio ligure, dall'altro hanno talvolta generato pesanti impatti ambientali, in particolare alle biocenosi costiere che hanno risentito dell'elevata torbidità indotta dalla frazione fine del materiale versato o addirittura del seppellimento diretto.

Solo sul finire del secolo scorso le nuove norme in materia ambientale hanno ridotto in maniera sensibile il ricorso a tali pratiche inducendo la Regione Liguria a varare una serie di norme volte a non rinunciare a questa importante fonte di materiale, ritenuta essenziale per il mantenimento delle spiagge della regione anche in attuazione di quanto contenuto nelle disposizioni di legge (segnatamente i disposti degli artt. 184-bis e 184-ter del D.Lgs 182/2006 e ss.mm.) in materia di riduzione della produzione di "rifiuti".

Negli ultimi anni l'iter autorizzativo individuato dalla Regione Liguria è stato perfezionato e sono stati effettuati diversi interventi di ripascimento utilizzando il materiale proveniente dallo scavo di gallerie e da sbancamenti, mentre altri sono stati autorizzati e sono in corso di realizzazione. I monitoraggi morfo-sedimentologici e biologici effettuati fino ad ora sugli interventi già realizzati non hanno evidenziato particolari criticità.

Altro caso di particolare rilievo è rappresentato dal Comune di Riccione in Emilia-Romagna che, attraverso il proprio regolamento edilizio, ha reso obbligatorio, per qualunque soggetto pubblico e privato, il conferimento all'Amministrazione stessa dei materiali di scavo idonei al ripascimento delle spiagge. Si tratta di materiali di escavo che, per provate caratteristiche di qualità chimiche, batteriologiche e granulometriche, devono essere esclusi da quelle opzioni previste dalla normativa "Terre e rocce da scavo" circa gli utilizzi per rinterri, riempimenti, rilevati o il riutilizzo all'interno dello stesso cantiere edile, e che devono obbligatoriamente essere conferiti all'Amministrazione comunale, presso sito di stoccaggio autorizzato, per il successivo trattamento e riutilizzo per operazioni di ripascimento dell'arenile.

E' auspicabile la condivisione delle procedure autorizzative da parte delle Regioni costiere, mettendo in evidenza le differenti specificità delle coste e dei sedimenti adottabili per il ripascimento.

4.2. STIMA DEI VOLUMI E CARATTERIZZAZIONE

Dall'inchiesta eseguita in merito a questa risorsa presso le Regioni costiere italiane ha evidenziato che in Regioni come la Liguria, il Veneto e l'Emilia Romagna si svolgono un semi-sistematico uso di questi sedimenti arrivando a quantitativi significativi (Tab. 4.2.1).

Per la Regione Liguria tale quantitativo viene stimato in circa 20.000 m³/anno mentre il volume potenziale di scavo proveniente da grandi opere in corso di realizzazione presso la Regione Liguria (terzo valico ferroviario, raddoppio ferroviario di ponente, gronda autostradale di Genova, scolmatore del Bisagno) ammonta a più di 10 milioni di metri cubi di cui almeno 2/3 milioni potenzialmente utilizzabili per il ripascimento delle spiagge ghiaiose. Per cui è verosimile che il quantitativo di 20.000 m³/anno possa essere considerato anche nel prossimo futuro.

Per la Regione Veneto il quantitativo dei sedimenti apportati sulla costa da scavi è di 72.400 m³/anno e derivano da opere di scavo nell'ambito della realizzazione di piani urbanistici o di singole costruzioni, condotte prevalentemente nel territorio del comune di Jesolo e in minima parte di S. Michele al Tagliamento; il valore rappresenta la media annua negli anni dal 2003 al 2015.

Per l'Emilia Romagna il quantitativo di materiale per ripascimenti proveniente da operazioni di scavo nell'entroterra si aggira intorno ai 10-15.000 m³/anno (media su circa 6 anni con punte anche di 20.000 m³/anno). Da quanto riferito tuttavia questi quantitativi sono destinati a decrescere perché è stata completata una serie di interventi e le previsioni edificatorie dei prossimi anni sono molto ridotte. Peraltro le modalità di applicazione di tale pratica sono in studio anche presso altre amministrazioni comunali costiere dell'Emilia-Romagna.

In Toscana una fonte alternativa di sedimenti di origine terrestre è tradizionalmente costituita dai ravaneti: accumuli di ghiaia e ciottoli derivanti dall'attività estrattiva apuana. Questi frammenti, prevalentemente di marmo, sono stati utilizzati in ripascimenti artificiali a Marina di Pisa, San Rossore, Marina di Massa, Marina di Carrara per un volume stimato di 200-300.000 m³ per creare spiagge in ghiaia che hanno dimostrato una elevata stabilità anche in assenza di difese costiere.

Nell'ottica di una piena utilizzazione della roccia scavata per la produzione di blocchi e di lastre, imposta fra l'altro dalla LR N° 3/2015, il riutilizzo di questi materiali può andare a coprire le necessità di progetti di ripascimento in tratti di litorale in cui le sabbie non sarebbero stabili o lo sarebbero solo a fronte della costruzione di pesanti opere di difesa.

Annualmente vengono prodotti circa 1.000.000 m³ di materiali, non tutti assorbiti dalle tradizionali utilizzazioni (cementifici, rilevati stradali, opere di riempimento e altri usi), ma, il fatto che questi materiali devono essere rimossi per motivi ambientali e/o di sicurezza li rende a costi competitivi, con un'azione virtuosa che mette a sistema la rimodellazione e messa in sicurezza del territorio montano con la difesa delle coste.

L'utilizzazione dei materiali di risulta dell'attività estrattiva dovrebbe comunque essere stimolata su tutto il territorio nazionale, dove le cave di roccia sono spesso in prossimità della costa e presentano litologie

Regione	Prelievi da scavi/cave Mm3/anno
Liguria	0,07
Toscana	0,02
Lazio	0,00
Sardegna	nd
Campania	nd
Basilicata	nd
Calabria	nd
Sicilia	np
Puglia	nd
Molise	nd
Abruzzo	nd
Marche	0,00
Emilia-Romagna	0,01
Veneto	0,07
Friuli Venezia Giulia	nd
totale	0,18

nd = non disponibile; np=non pervenuto

estremamente diversificate che possono rispondere alle diverse esigenze di resistenza all'abrasione o colorimetrica.

Tali quantitativi rappresentano una risorsa assolutamente non trascurabile dell'ordine di **0,18 Mm³/anno** che occorre gestire opportunamente mediante l'individuazione degli interventi potenzialità con queste caratteristiche, la predisposizione di un'opportuna regolamentazione anche sulla base delle esperienze già maturate, nonché la predisposizione di idonei strumenti per la caratterizzazione di tali sedimenti.

4.3. ASPETTI AMBIENTALI

L'impatto ambientale direttamente associato alla produzione e/o all'estrazione di rocce e terre da scavo non è oggetto di questa trattazione in quanto le rocce e terre da scavo sono un sottoprodotto di specifiche opere e/o attività produttive (quali gallerie, fondazioni, sbancamenti ecc.). Pertanto l'impatto ambientale (dell'estrazione) è di fatto ricompreso nell'ambito degli studi di impatto delle opere e/attività cui si deve la loro produzione, laddove previsto¹⁹⁵.

Per quanto concerne l'impiego di tali materiali per il ripascimento dei litorali in erosione, il sedimento dovrà essere caratterizzato, con specifica attenzione agli aspetti inerenti la qualità chimica e petrografica, nonché il contenuto in frazione fine. I criteri per l'utilizzazione di materiale di scavo per il ripascimento sono stabiliti dalla DGR 1446/2009 (criteri generali da osservarsi nella progettazione degli interventi stagionali di ripascimento degli arenili).

E' noto infatti, che l'impiego di materiale contaminato e/o di non idonee caratteristiche petrografiche, ad esempio costituito da rocce contenenti amianto, potrebbe indurre impatti importanti su tutto l'ecosistema marino, con ricadute importanti anche sulla salute umana. Inoltre, consistenti percentuali di fine (direttamente presente nel materiale sversato e/o prodotto per effetto dello sfregamento fra i granuli) comporterebbero un consistente aumento della torbidità lungo la colonna d'acqua, con effetti non trascurabili soprattutto in presenza di habitat e/o specie sensibili.

Per quanto riguarda la componente geochimica tale DGR individua, per ogni unità fisiografica, i limiti in tenore di metalli ammesso nei materiali di ripascimento sulla base della caratterizzazione geochimica degli "stream sediments" effettuata sui bacini versanti afferenti ciascuna unità fisiografica. In tal modo sono ammessi materiali che non eccedono il fondo naturale dei bacini versanti.

Per quanto riguarda la frazione pelitica (passante ai 63 micron) la stessa DGR 1446/2009 individua aree sensibili per la presenza di biocenosi dove è ammesso materiale con frazione fine massima del 5% mentre nelle aree "non sensibili" la percentuale ammessa è dell' 8%.

Nel caso di scavo in rocce eterogenee o "weak rocks" è richiesta anche la caratterizzazione tramite prove di usura (tipo Slake Durability Test o Los Angeles modificata) per poter valutare anche la resistenza all'usura nel tempo e la eventuale produzione di materiale fine dovuta allo sfregamento dei granuli.

Oltre al monitoraggio morfo-sedimentologico volto a valutare l'efficacia dell'opera è previsto un monitoraggio bionaturalistico per valutare l'impatto dell'intervento sugli habitat e sulle biocenosi. Questo

¹⁹⁵ La normativa attuale in merito alla gestione delle terre e rocce da scavo è disciplinata dal D.Lgs. 152/06 s.m.i., dalla Legge 98/2013 (artt. 41 e 41 bis) e dal D.M. Ambiente 10 agosto 2012, n. 161. L'attuale quadro giuridico di riferimento prevede nel dettaglio l'applicazione delle seguenti norme:

- Attività o opere soggette a VIA o ad AIA, qualunque sia il volume di materiale derivante: Procedura di cui al Decreto 161/2012
- Attività o opere non soggette a VIA o ad AIA, qualunque sia il volume di materiale derivante: Procedura di cui all'art. 41bis del DL 69/2013 convertito nella L 98/2013

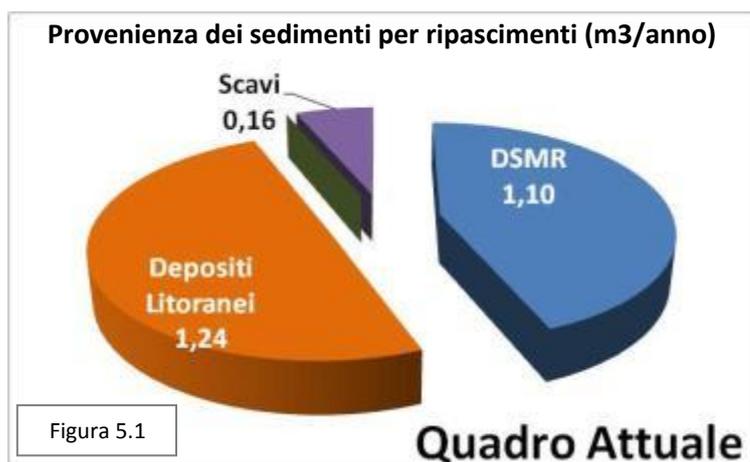
prevede rilievi biologici subacquei e transetti video ripetuti nel tempo volti a verificare eventuali sofferenze della prateria di *Posidonia oceanica* e delle popolazioni bentoniche.

Più in generale, ai fini della gestione delle terre e rocce da scavo, la Liguria ha individuato i “Criteri per l’utilizzo e la gestione delle terre e rocce da scavo” (Allegato alla DGR 878/06) precisando i criteri per l’accertamento della loro qualità (chimica e petrografica), gli utilizzi ambientalmente compatibili, nonché le prescrizioni di carattere ambientale da seguire in fase di scavo, trasporto e deposito. Il decreto individua, inoltre, come prioritario, l’impiego di rocce e terre da scavo di qualità idonea per il ripascimento degli arenili. Ai progettisti è richiesta la caratterizzazione del materiale di scavo al fine di verificare i limiti suddetti e la presentazione di un piano di trattamento che permetta al materiale scavato di rientrare nei limiti ammessi. Nel caso di grandi opere la caratterizzazione deve essere effettuata già nel Piano di Utilizzo delle Rocce e Terre da scavo previsto dall’art. 186 del D.Lgs. 152/2006 e dal D.m. 161/2012 e ss.mm. e ii.. Successivamente, la Regione, a seguito dell’entrata in vigore del DL 9/2013 convertito nella L 98/2013 (a completamento del quadro normativo contenuto nel Regolamento approvato con decreto ministeriale n.161/2012), con la DGR 1423/2013 "Aggiornamento indirizzi operativi per la applicazione del regolamento Terre e rocce di scavo. DM 161/2012 e DL 69/2013", ha aggiornato le proprie linee guida, individuando fra l’altro i criteri per la definizione della qualità ambientale delle rocce da scavo, in accordo con quanto indicato nel decreto legislativo 152/2006.

5. PROSPETTIVE E POSSIBILI STRATEGIE

L'attuale situazione di utilizzazione dei sedimenti per il ripascimento dei litorali (Fig. 5.1), riguarda un quantitativo complessivo di circa 2,49 Mm³/anno, pressoché equamente diviso tra risorse da depositi marini (DSMR) e depositi litoranei, con un piccolo contributo anche dalle risorse costituite dagli scavi nell'entroterra.

Non si registrano contributi dalla risorsa costituita dai depositi accumulati nei bacini artificiali.



Come accennato nell'ambito delle Linee Guida, occorre distinguere tra le risorse che costituiscono un nuovo apporto per il sistema litoraneo (DSMR, depositi nei bacini artificiali, scavi) da quelle che rappresentano solo una diversa collocazione del "budget" sedimentario litoraneo (depositi litoranei).

Una strategia di approvvigionamento di sedimenti in grado di far fronte alle dinamiche erosive costiere (sia trasversali permanenti che longitudinali) ed agli effetti dei CC, deve quindi tener conto di queste differenziazioni e delle potenzialità di ciascuna delle risorse esaminate.

Premettendo ancora una volta la necessità di verificare i dati raccolti, appare cionondimeno utile delineare un primo quadro logico di gestione dei dati raccolti al fine di delineare una strategia sostenibile di adattamento a questi fenomeni nonché di mitigazione degli stessi.

A tale scopo si richiama la stima dei fabbisogni lordi a medio e lungo termine di cui alle Linee Guida, sviluppata in prima approssimazione sulla base dei rilievi delle linee di costa 1960-2000:

Tipologia di erosione litoranea	Medio termine 2020 (Mm ³ /anno)	Lungo termine 2080 (Mm ³ /anno)	Modalità di compensazione
Trasporto Trasversale	2,54	2,54	Con nuovi apporti di sedimenti
Trasporto Longitudinale	4,85	4,85	Anche mediante movimentazioni longitudinali (by-pass)
Effetti del CC	1,30	2,50	Con nuovi apporti di sedimenti
Totale			

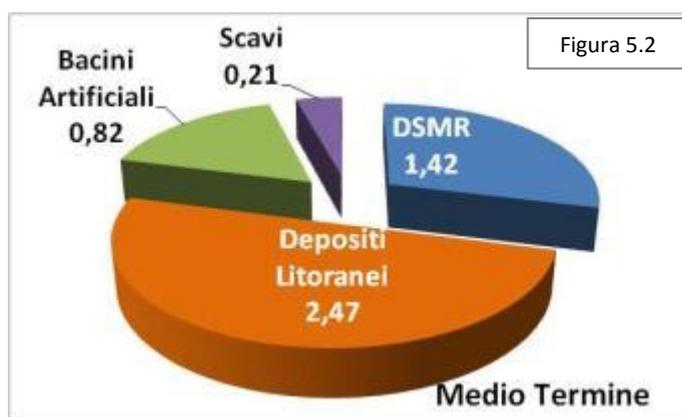
Per quanto riguarda la mitigazione dei fenomeni erosivi, si rimanda agli interventi di protezione e gestione dei litorali che saranno finalizzati alla riduzione quantitativa dei trend erosivi o comunque alla riduzione dei fabbisogni.

In effetti l'adozione di tali interventi porterà ad una riduzione dei fabbisogni (fabbisogni netti) mediante azioni non solo di tipo "attivo" come i sistemi di difesa (riduzione dei trend erosivi - almeno localmente) ma anche con azioni di tipo "passivo" quali per esempio la delocalizzazione di infrastrutture e l'arretramento programmato della linea di riva.

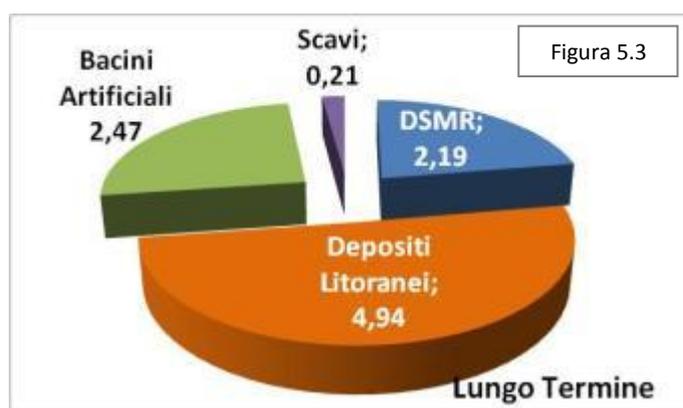
L'efficacia degli interventi sulle coste deve essere commisurata, fra l'altro, a quanto tali interventi riescono a ridurre il fabbisogno sia in termini di riduzione dei trend erosivi (minor fabbisogno per minore capacità erosiva rispetto all'obiettivo di mantenimento della linea di riva) che di accettazione di arretramenti (minor fabbisogno per rinuncia totale o parziale, a mantenere la linea di riva). A parità di efficacia gli interventi dovrebbero poi essere confrontati tra loro in termini di costo al fine di determinare quale intervento, almeno dal punto di vista economico, risulta più conveniente.

Supponendo in prima approssimazione che il fabbisogno lordo coincida con il fabbisogno netto, in attesa che i programmi degli interventi si possano tradurre in termini di efficacia ovvero di riduzione del fabbisogno lordo, una strategia per il medio e lungo termine può essere impostata secondo le seguenti linee:

- L'erosione dovuta a perdite di tipo permanente (inclusi fenomeni di subsidenza) ed agli effetti dei CC, comportano un fabbisogno totale di circa 5 Mm³/anno; per compensare queste perdite occorre apportare sedimenti da risorse "esterne" quali DSMR, bacini artificiali e scavi. Considerata la natura di risorsa non rinnovabile dei DSMR, occorre sviluppare a medio e lungo termine



metodiche per la rimobilizzazione dei sedimenti nei bacini artificiali in modo da passare dall'attuale mancato uso, a 0,82 Mm³/anno nel medio termine (Fig. 5.2) e 2,47 Mm³/anno nel lungo termine (Fig. 5.3), in modo da equiparare i prelievi da DSMR e raggiungere il fabbisogno stimato. I quantitativi provenienti dagli scavi potranno giocare un ruolo importante, soprattutto in alcune Regioni, che tuttavia, in prospettiva, è ancora di difficile quantificazione.



- L'erosione dovuta trasporto longitudinale dovrà essere compensata con le movimentazioni lungo i litorali e dovrà passare dagli attuali 1,24 Mm³/anno, a 2,47 Mm³/anno nel medio termine (come già stimato nel censimento TNEC 2016), a 4,94 Mm³/anno nel lungo termine.

Il quadro degli obiettivi di mobilitazione dei sedimenti a livello nazionale può essere sintetizzato come nella tab. 5.4.

Rispetto al quadro dei fabbisogni lordi si avrebbe ancora un deficit nel medio termine (4,92 Mm³/anno contro un fabbisogno totale di 8,69 Mm³/anno), mentre nel lungo termine verrebbe raggiunto l'equilibrio. Questi numeri, di cui occorre, come più volte ribadito, verificare l'entità mediante numerose e più dettagliate elaborazioni, stanno tuttavia a significare un volume di attività di una certa consistenza per il contrasto all'erosione ed agli effetti dei CC, stimabile, nel lungo termine, in circa 100

Risorse	Attuale Mm ³ /anno	Medio termine Mm ³ /anno	Lungo Termine Mm ³ /anno
DSMR	1,10	1,42	2,19
Depositi Litoranei	1,24	2,47	4,94
Bacini Artificiali	0,00	0,82	2,47
Scavi	0,16	0,21	0,21
Totale	2,49	4,92	9,81

M€/anno. E' interessante confrontare tale importo con il "Valore aggiunto prodotto dall'economia del mare" calcolato per il 2014 che risulta di 43,7 miliardi di €¹⁹⁶, o anche confrontarlo con i proventi dai canoni delle concessioni demaniali marittime che risultano essere, a livello nazionale, dello stesso ordine di grandezza¹⁹⁷.

¹⁹⁶ Tratto da Unioncamere-Si.Camera, Quarto Rapporto sull'Economia del Mare, 2015

¹⁹⁷ Tratto da "Federalismo demaniale marittimo, canoni di concessione e costi di ripascimento dei litorali" - Vittorio Ferri e Riccardo Matteucci - Università Milano Bicocca - RTBicocca – Note turismo n. 2-2011

6. CONCLUSIONI

Dall'esame dei dati a disposizione e dei censimenti effettuati nell'ambito delle attività del TNEC, emerge un quadro che testimonia un discreto livello sia di percezione che di iniziative concrete già intraprese da parte delle Regioni costiere in relazione al fenomeno dell'erosione costiera e degli effetti dei CC sui litorali.

Il fatto che già vengano mobilitati annualmente circa 2,49 Mm³/anno lungo i litorali italiani da parte delle stesse Regioni ed altri soggetti tra cui il Magistrato delle Acque, diversi Comuni, Autorità portuali nonché soggetti privati, sta a dimostrare che esiste una crescente sensibilità circa la necessità di utilizzare i sedimenti per un'efficace gestione dei litorali nonché una significativa capacità operativa ed un discreto know-how anche nei confronti di altri Paesi europei.

Ai fini di una corretta gestione dei sedimenti occorre operare una distinzione, non solo teorica, tra i sedimenti che vengono trasportati longitudinalmente (creando zone in arretramento e zone in avanzamento) e quelli che vengono persi dal sistema "litorale" per effetto del trasporto trasversale o, in via indiretta, per effetto della subsidenza o dell'innalzamento del livello del mare.

In effetti, per compensare la perdita dovuta a questi ultimi, occorre apportare dei sedimenti "esterni" all'attuale sistema "litorale" ovvero ricorrendo a risorse quali i Depositi Sedimentari Marini Relitti (DSMR) oppure ai sedimenti intrappolati nei bacini artificiali o dagli scavi/cave dell'entroterra.

Le indagini già condotte da molte Regioni sui DSMR, portano a considerare questa risorsa di grande interesse, la cui disponibilità potenziale "accessibile" potrebbe aggirarsi sui 3,7 miliardi di m³, di cui verificati ed utili all'estrazione circa 930-750 milioni di m³.

Per far fronte alle perdite per trasporto longitudinale e compensare gli arretramenti delle spiagge con i sedimenti accumulatisi nelle spiagge in avanzamento, si può ricorrere alla movimentazione dei depositi litoranei (emersi o sommersi) di cui un esempio tipico sono le barre che si formano alle imboccature dei porti.

Tuttavia, dalle prime elaborazioni effettuate a scala nazionale, emerge che le esigenze complessive sono dell'ordine di circa 10 Mm³/anno, fatti salvi successivi approfondimenti ed ulteriori analisi di dettaglio, di cui la metà attribuibile a perdite permanenti da compensare, come si è detto, con apporti esterni.

Dovendo escludere la possibilità di far ricorso alla sola risorsa dei DSMR per ovvie ragioni di localizzazione di quest'ultime (distanze dai luoghi di ripascimento) e per la loro natura intrinsecamente non rinnovabile, emerge un'imprescindibile necessità strategica di mobilitare le risorse di sabbia intrappolate nei bacini artificiali, stimate in circa 200-400 Mm³.

Considerando che quindi il problema dell'individuazione, della caratterizzazione e dell'uso sostenibile delle diverse risorse di sedimenti necessita nel prossimo futuro di considerevoli sforzi per definire con più attendibilità la disponibilità effettiva delle risorse, risulta fondamentale che il TNEC assuma un ruolo di promozione e coordinamento di un programma di attività relativamente alla Risorsa Sedimenti, di cui è possibile riassumere alcuni degli obiettivi fondamentali.

- *La promozione di un equilibrato processo di rialimentazione del sistema litoraneo, ricorrendo a diversi tipi di risorse sedimentarie (da cave marine, da depositi litoranei, dalla rimobilitazione dei sedimenti nei bacini artificiali, ecc.) e ad una parallela riduzione delle perdite del sistema (opportune opere di difesa, gestione e manutenzione sostenibile degli arenili, riduzione della subsidenza laddove manifesta tassi importanti, ecc.).*
- *La definizione dell'efficacia degli interventi sulle coste, commisurata in particolar modo a quanto tali interventi riescono a ridurre il fabbisogno sia in termini di riduzione dei trend erosivi (minor fabbisogno per minore capacità erosiva rispetto all'obiettivo di mantenimento della linea di riva) che di accettazione di arretramenti (minor fabbisogno per rinuncia totale o parziale, a mantenere la linea di riva).*
- *La sistematica, uniforme e dettagliata valutazione quantitativa del fenomeno erosivo al fine di poter individuare, sulla base di dati sempre più attendibili, le opportune strategie da intraprendere per un adattamento sostenibile al fenomeno a livello nazionale.*
- *La partecipazione più sistematica a iniziative internazionali quali il WGEXT ed EMSAGG ed in particolare un'azione di coinvolgimento di altri membri del Mar Mediterraneo in considerazione del fatto che non esistono analoghe attività in tale bacino che peraltro presenta esigenze simili a quelle del Nord Europa se non più accentuate in materia di difesa della costa e adattamento ai cambiamenti climatici.*
- *L'individuazione prioritaria di tecniche e metodiche di rimobilitazione dei sedimenti intrappolati nei Bacini artificiali, anche mediante la prefigurazione di governance specifiche con il coinvolgimento dei soggetti gestori al fine di rendere i costi più competitivi.*
- *Il completamento del quadro delle ricerche dei giacimenti entro i prossimi anni, mediante la celere predisposizione di uno specifico **Programma Nazionale per l'individuazione di giacimenti di sabbia sottomarini utilizzabili per il ripascimento artificiale dei litorali sabbiosi.***

BIBLIOGRAFIA

- ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A., CARPENTIERI P., COLLOCA F. GABELLINI M., LA VALLE P., NICOLETTI L. (2004). Caratterizzazione di un sito costiero per il prelievo di sabbie relitte: le variazioni stagionali del popolamento Ittico. *Biol. Mar. Medit.* **11** (2): 551-555.
- ARPAT (2009). Gli invasi artificiali. Elementi per una gestione sostenibile. Baldaccini G., Doni A., Rossi S. Eds.: 55 pp.
- BAZZOFFI, VANINO (2012). L'interrimento degli Invasi ad uso Irriguo nelle Regioni meridionali: rilievi diretti, metodologie e modellistica. INEA 2012.
- BALDUZZI I., BOZZANO A., CORRADI N., FERRARI M., IVALDI R., MARCHESINI A. (2008). Discovery of Versilian deposits suitable for beach nourishment on the continental shelf of Western Liguria. *Chemistry and Ecology*, 24(S1): 197-206. <http://dx.doi.org/10.1080/02757540801963352>.
- BALDUZZI I., BOZZANO A., CORRADI N., FERRARI M., IVALDI R., MORELLI D. (2005). Submarine sources of sand and gravel: discovery of littoral deposits related to the Versilian transgression between Albenga and Loano, Western Liguria. 5° Forum Italiano di Scienze della Terra, Spoleto 21–23 Settembre 2005, Epitome, (abs), p. 85..
- BALDUZZI I., CORRADI N., FERRARI M., IVALDI R. (2009). Trangressive submarine deposits for beach nourishment (Ligurian Sea, N.W. Mediterranean), 27th IAS Meeting of Sedimentologists, Medimont International Proceedings, pp. 49-54.
- BAZZOFFI, VANINO (2012). L'interrimento degli Invasi ad uso Irriguo nelle Regioni meridionali: rilievi diretti, metodologie e modellistica. INEA 2012.
- BOYD S.E., REES H.L. (2003) – An examination of the spatial scale of impact on the marine benthos arising from marine aggregate extraction in the central English Channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **57**: 1-16.
- BOYD S.E.; LIMPENNY D.S, REES H.L., COOPER K.M. (2005). The effects of marine sand and gravel extraction on the macrobenthos at a commercial dredging site (results 6 years post-dredging). *ICES Journal of Marine Science*, 62: 145-162.
- BOZZANO A., CORRADI N., FANUCCI F., IVALDI R. (2006). Late Quaternary deposits from the Ligurian continental shelf (NW Mediterranean): A response to problems of coastal erosion. *Chemistry and Ecology*, 22(S1): S349-S359 , ISSN: 0275-7540.
- BRAMBATI, FONTOLAN, (1990). Sediment resuspension induced by clam fishing with idraulic dredges in the Gulf of Venice (Adriatic sea). A preliminary experimental approach. *Bollettino di Oceanologia teorica e applicata*, VIII (2): 113-121.
- CAPELLO M., CUTRONEO L., FERRANTI M.P., BUDILLON G., BERTOLOTTO R.M., CIAPPA A., COTRONEO Y., CASTELLANO M., POVERO P., TUCCI S. (2014). Simulations of dredged sediment spreading on a *Posidonia oceanica* meadow off the Ligurian coast, Northwestern Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, 79: 196-204.,
- CASALBORE D., FALESE F.G., MARTORELLI E., ROMAGNOLI C., CHIOCCI F.L. Submarine depositional terraces as a proxy for paleo-sea level reconstructions in the Tyrrhenian Sea (Italy): problems and perspectives (*in press*).
- CEDA (2015). Information Paper Environmental Monitoring Procedures.
- CHIOCCI F.L., FALESE F.G. (2012). Prima Rendicontazione Scientifica “Risultati delle indagini eseguite nell’area di interesse minerario A2-Montalto di Castro (2012); Convenzione Regione Lazio, Dip. di Scienze della Terra “Sapienza” Roma.
- CHIOCCI F.L., FALESE F.G. (2014a). Seconda Rendicontazione Scientifica “Risultati delle indagini svolte nelle aree di interesse minerario C2-D1, D2, D3 e D4 (2014). Convenzione Regione Lazio, Dip. di Scienze della Terra “Sapienza” Roma.
- CHIOCCI F.L., FALESE F.G. (2014b). Terza Rendicontazione Scientifica “Risultati delle indagini eseguite nelle aree di interesse minerario D5, D6, E1 ed E2” (2014). Convenzione Regione Lazio, Dip. di Scienze della Terra “Sapienza” Roma.
- CHIOCCI F.L., LA MONICA G.B. (1999). Individuazione e caratterizzazione dei depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma continentale della Regione Lazio e valutazione di un loro utilizzo ai fini di ripascimento dei litorali in erosione. Rapporto finale della prima fase. Convenzione Regione Lazio, Dip. di Scienze della Terra “Sapienza” Roma.
- CHIOCCI F.L., LA MONICA G.B. (2003). Individuazione e caratterizzazione di depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma continentale del Lazio e valutazione di un loro utilizzo ai fini di ripascimento dei litorali in erosione. Rapporto conclusivo della seconda fase. Convenzione Regione Lazio, Dip. di Scienze della Terra “Sapienza” Roma.

- CHIOCCI F.L., ORLANDO L. (1996). Lowstand terraces on Tyrrhenian Sea steep continental slopes. *Marine Geology*, **134**: 127-143.
- CHIOCCI F.L., ORLANDO L. (2004). Terrazzi deposizionali sommersi nel settore meridionale del Golfo di S. Eufemia (Calabria). *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, **58**: 75-80.
- CHIOCCI F.L., LA MONICA G.B., FALESE F.G. (2008a). Rapporto conclusivo. Convenzione Regione Lazio, Dip. di Scienze della Terra "Sapienza" Roma.
- CHIOCCI F.L., LA MONICA G.B., FALESE F.G. (2008b). Individuazione e caratterizzazione dei depositi sabbiosi relitti da utilizzare a fini di ripascimento delle spiagge del litorale toscano – Atti Festa della Geografia per l'anno del Pianeta Terra- Firenze, 12-5 novembre 2008.
- CORRADI N., BALDUZZI I., FERRARI M., SICILIANO VIGLIERI E. (2008). La ricerca di cave sottomarine di sedimenti idonei al ripascimento delle spiagge della Liguria : il caso di Albenga – Loano. In: Lo studio e la rappresentazione della costa ligure nel progetto europeo Beachmed-e. Regione Liguria, pp. 26-38.
- CORRADI N., FANUCCI F., FIRPO M., PICCAZZO M., TRAVERSO M. (1980a). L'olocene della piattaforma continentale ligure da Portofino a La Spezia. *Ist. Idrogr. Marina, F.C. 1099, Genova.*, pp. 14, tavv.2.
- CORRADI N., FANUCCI F., GALLO G., PICCAZZO M. (1980b). La sedimentazione olocenica della piattaforma continentale ligure (da Portofino a Capo Mortola). *Ist. Idrogr. Marina M., F.C. 1097, Genova*, pp. 14, tavv. 2.
- CORRADI N., FANUCCI F., FIERRO G., FIRPO M., PICCAZZO M., MIRABILE L. (1984). La piattaforma continentale ligure: caratteri, struttura ed evoluzione. Rapporto tecnico finale del Progetto Finalizzato "Oceanografia e Fondi Marini" del CNR, Roma, pp. 1-34.
- CORRADI N., FERRARI M., FANUCCI F., FIERRO G. (2005). The search for submarine relic sands on the Ligurian Continental Shelf. 5° Forum Italiano di Scienze della Terra, Spoleto 21–23 Settembre 2005, Epitome, (abs), p. 221.
- CORRADI N., IVALDI R., BALDUZZI I., BOZZANO A. (2004). La ricerca delle sabbie sulla piattaforma continentale ligure: campagna di geologia marina per la localizzazione dei depositi sedimentari idonei al ripascimento dei litorali. U.E. Interreg IIB Medocc Beachmed. Quaderno tecnico della Regione Liguria, pp. 29-59.
- CORREGGIARI A., AGUZZI M., REMIA A., PRETI M. (2011) Caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche dei giacimenti sabbiosi in Mare Adriatico Settentrionale utilizzabili per il ripascimento costiero. *Studi Costieri*, 19: 13-34.
- CORREGGIARI A., PERINI L., REMIA A., LUCIANI P., FOGLINI F, GRANDE V., MOSCON G., CALABRESE L, LORITO S. (2016). Sistema Informativo per l'utilizzo della risorsa Sabbia offshore nei progetti di protezione costiera: geodatabase in_Sand. Rapporto tecnico Centro Stampa della Regione Emilia-Romagna, ISBN 978-88-8186-012-8.
- COOPER, K.M. (2005) Cumulative effects of marine aggregate extraction in an area east of the Isle of Wight - a fishing industry perspective. CEFAS Lowestoft, SCIENCE SERIES TECHNICAL REPORT Number **126**: 28pp.
- COOPER K.M., CURTISA M., WAN HUSSINB W.M.R., BARRIO FROJÁNA C.R.S., DEFEBW E.C., NYEA V., PATERSON D.M. (2011). Implications of dredging induced changes in sediment particle size composition for the structure and function of marine benthic macrofaunal communities. *Marine Pollution Bulletin*, 62: 2087-2094
- DESPREZ M., PEARCE B., LE BOT S. (2010). The biological impact of overflowing sands around a marine aggregate extraction site: Dieppe (eastern English Channel). *ICES Journal of Marine Science*, 67:270-277.
- DUCLOS P.A, LAFITE R., LE BOT S., RIVOALEN E., CUVILLIEZ A. (2013). Dynamics of Turbid Plumes Generated by Marine Aggregate Dredging: An Example of a Macrotidal Environment (the Bay of Seine, France). *Journal of Coastal Research*, 29, 6: 25-37.
- FALESE F.G., MARTORELLI E., MINORENTI V. (2008). Mitigation of coastal erosion by the use of marine sands: examples from the Tyrrhenian Sea continental shelves. *Rend. Soc. Geol. It.*, 3: 363-364 (Poster).
- FERRI V., MATTEUCCI R. (2011). Federalismo demaniale marittimo, canoni di concessione e costi di ripascimento dei litorali. Università Milano Bicocca – RT Bicocca – Note turismo n. 2
- FUMANTI F., SERVA L. (2015). La valorizzazione dell'idroelettrico. L'interrimento degli invasi: cause, effetti e rimedi. 31-03-2015. tratto da: <http://astrolabio.amicidellaterra.it/node/688>
- GAREL E., BONNE W., COLLINS M.B. (2009). Offshore sand and gravel mining.. In: "Encyclopedia of Ocean Sciences", Steele, J.H., Turekian, K.K. and Thorpe, S.A. (eds). Elsevier Ltd, Amsterdam: 4162-4170.
- HITCHCOCK D.R., BELL S. (2004). Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits. *Journal of Coastal Research*, 20 (1): 101-114.

- HITCHCOCK D.R., NEWELL R.C., SEIDERER L.J. (1999). Investigation of benthic and surface plumes associated with marine aggregate mining in the United Kingdom. Final Report. Contract Report for the U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service. Contract Number 14-35-0001-30763. Coastline Surveys Ltd Ref. 98-555-03 (Final): 168 pp.
- ISPRA (2011). Standard di qualità dei sedimenti fluviali e lacustri. Criteri e proposta, Rapporti, 154/2011.
- ISPRA (2015). Individuazione di procedure avanzate per l'impiego sostenibile dei depositi sabbiosi sommersi mediante l'impostazione di schemi originali per la predisposizione di specifici Studi di Impatto Ambientale (SIA) ai fini della procedura di via regionale. Schema metodologico per lo sfruttamento a lungo termine di un deposito di sabbie relitte: sito pilota area A2. Regione Lazio Progetto POR FESR 2007-2013 "INTERCOAST": 37 pp.
- IVALDI R., BOZZANO A., CORRADI N., FERRARI M. (2006). Last cycle regressive-trasgressive deposits of the Western Ligurian shelf. *Geophysical Research Abstracts*, **8**: 08564-2006 Sref-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-08564 © European Geosciences Union 2006. <http://www.cosis.net/abstracts/EGU06/08564/EGU06-J-08564.pdf>.
- LO IACONO, C., SULLI, A., AGATE, M., LO PRESTI, V., PEPE, F., CATALANO, R. (2011). Submarine Canyon morphologies in the Gulf of Palermo (Southern Tyrrhenian Sea) and possible implications for geohazard. *Mar. Geophys. Res.* **32**, 127–138.
- LO IACONO, C., SULLI, A., AGATE, M. (2014). Submarine canyons of north-western Sicily (Southern Tyrrhenian Sea): variability in morphology, sedimentary processes and evolution on a tectonically active margin. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **104**, 93–105.
- KENNY A.J., REES H.L. (1994). The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos: early post-dredging recolonization. *Marine Pollution Bulletin*, **28**: 442-447.
- KENNY A.J., REES H.L. (1996). The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos: results of 2 years post-dredging. *Marine Pollution Bulletin*, **32**: 615-622.
- LA PORTA B., TARGUSI M., LATTANZI L., LA VALLE P., PAGANELLI D. & NICOLETTI L. (2009). Relict sand dredging for beach nourishment in the central Tyrrhenian sea (Italy): effects on benthic assemblages. *Marine Ecology*, **30** (1): 97-104.
- LA VALLE P., BELLUSCIO A., NICOLETTI L., PAGANELLI D., ARDIZZONE G.D. (2007). Effects of Beach Nourishment on *Donax trunculus* in the Latium Coasts (Central Tyrrhenian Sea, Italy) Proceedings of Eighth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 07, E. Ózhan (Editor), 13-17 November 2007, Alexandria, Egypt.
- LA VALLE P., NICOLETTI L., FINOIA M.G., ARDIZZONE G.D. (2011). *Donax trunculus* (Bivalvia: Donacidae) as a potential biological indicator of grain-size variations in beach sediment. *Ecological Indicators*, **11/5** (2011): 1426-1436.
- LOIA M., LA VALLE P., LATTANZI L., LA PORTA B., TARGUSI M., NICOLETTI L. (2009). Effetti Del Dragaggio Di Sabbie Relitte sul Popolamento A Policheti In Un'area Al Largo Di Anzio (Tirreno Centrale) *Biol. Mar. Mediterr.* **16** (1): 276-277
- LORITO S., LUCIANI P., CALABRESE L., PERINI L. (2012). MARE ... Istruzioni per l'uso. Versione 2.2 2014. Dir. Ambiente Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. Regione Emilia Romagna: 12 pp.
- MARTORELLI E. (2000). Evoluzione recente di due settori tettonicamente attivi del margine continentale tirrenico, ricostruita mediante analisi comparata di dati geofisici ad alta risoluzione e campionamenti mirati. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
- MARTORELLI E., CHIOCCI F.L., ORLANDO L. (2010). Imaging continental shelf shallow stratigraphy by using different high-resolution seismic sources: an example from the Calabro-Tyrrhenian margin (Mediterranean Sea). *Brazilian Journal of Oceanography*, **58**: 55-66.
- MARTORELLI E., FALESE F., CHIOCCI F.L. (2014). Overview of the variability of Late Quaternary continental shelf deposits off the Italian peninsula. *Geological Society, London, Memoir*, **41**: 171-186 (Progetto IGCP 426).
- MARZIALETTI S., GABELLINI M., LA PORTA B., LATTANZI L., LA VALLE P., PAGANELLI D., PANFILI M., TARGUSI M., NICOLETTI L. (2006). Attività di dragaggio ai fini di ripascimento al largo di Montalto di Castro (VT): effetti sul popolamento a policheti. *Biol. Mar. Mediterr.*, **13** (1): 601-605.
- MATTM (2006). Documento Preliminare per l'individuazione degli indirizzi e dei criteri per la difesa della costa.
- McCOOK, L.J.; SCHAFFELKE, B.; APTE, S.C.; BRINKMAN, R.; BRODIE, J.; ERFTEMEIJER, P.; EYRE, B.; HOOGERWERF, F.; IRVINE, I.; JONES, R.; KING, B.; MARSH, H.; MASINI, R.; MORTON, R.; PITCHER, R.; RASHEED, M.; SHEAVES, M.; SYMONDS, A.; WARNE, M.St.J. (2015). Synthesis of current knowledge of the biophysical impacts of dredging and disposal on the Great Barrier Reef: Report of an Independent Panel of Experts, Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville.

- MOLINO B., ALBERGO G. (2009). L'interrimento degli invasi artificiali: un problema una risorsa. Cave e Cantieri, Dicembre 2009.
- MOLINO A.M. (2014). L'utilizzo di sedimenti lacuali: il caso dei sedimenti dell'invaso di Ponte Liscione (CB). Università degli Studi di Napoli "Federico II", Dip. di Ingegneria Civile, Edile, Ambientale. Tesi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il territorio. a.a. 2013/2014.
- MONGARDI S., CORREGGIARI A., TRINCARDI F. (2004). Terrazzi deposizionali sommersi al largo di Capo Suvero (Calabria). *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, **58**: 63-74.
- MOSCON G., CORREGGIARI A., C. STEFANI, A. FONTANA, A. REMIA (2015). Very-high resolution analysis of a transgressive deposit in the Northern Adriatic Sea (Italy). *Alpine and Mediterranean Quaternary*, **28** (2): 121 - 129
- NICOLETTI L., PAGANELLI D., GABELLINI M. (2006). Environmental aspects of relict sand dredging for beach nourishment: proposal for a monitoring protocol. Quaderno ICRAM n. 5: 159 pp.
- NONNIS O., PAGANELLI D., PROIETTI R., NICOLETTI L. (2011). Physical effects related to relict sand dredging for beach nourishment in the Tyrrhenian sea: the Anzio case. *Journal of Coastal Research*, **SI 64**: 1380-1384.
- NRCA (1992). Guidelines for the planning and execution of coastal and estuarine dredging works and disposal of the dredged materials. Natural Resources Conservation Authority (NRCA) and U.S. Agency for International Development (USAID) By Cowell L. Lyn.
- OSPAR (2014). Guidelines for the Management of Dredged Material OSPAR Commission (Agreement 2014-06): 39 pp.
- PAGANELLI D., MAGGI C., GABELLINI M. (2007). La compatibilità chimica nel ripascimento con sabbie relitte: il caso degli elementi in traccia a Montalto di Castro (VT). *Studi Costieri*, **13**: 111-120.
- PELLEGRINI D., ONORATI F., VIRNO LAMBERTI C., MERICO G., GABELLINI M., AUSILI A. (2002) – Aspetti tecnico-scientifici per la salvaguardia ambientale nelle attività di movimentazione dei fondali marini. Dragaggi portuali. Quaderni ICRAM n. 1: 201 pp.
- PENNETTA M. (1996). Margine Tirrenico orientale; morfologia e sedimentazione tardo Pleistocenica-Olocenica del sistema piattaforma scarpata continentale tra Capo Palinuro e Paola. *Boll. Soc. Geol. It.*, **115**, 2: 339-354.
- PIANC (2010). Permanent International Association of Navigation Congresses, Dredging and port construction around coral reefs, PIANC EnviCom, Report **108**. ISBN: 978-2-87223-177-5.
- ROBINSON J.E., NEWELL R.C., SEIDERER L.J., SIMPSON N.M. (2005). Impacts of aggregate dredging on sediment composition and associated benthic fauna at an offshore dredge site in the southern North Sea. *Marine Environmental Research*, **60**: 51-68.
- ROMAN-SIERRA J., NAVARRO M., MUÑOZ-PEREZ J.J., GOMEZ-PINA G. (2011). Turbidity and Other Effects Resulting from Trafalgar Sandbank Dredging and Palmar Beach Nourishment. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **137**, 6: 332–343.
- ROVERI M., CORREGGIARI A. (2004). Terrazzi deposizionali sommersi nell'Arcipelago Toscano (margine orientale del canale di Corsica). *Memorie descrittive della carta geologica d'Italia*, **58**: 11-26.
- SPEARMAN J. (2015). A review of the impacts of sediment dispersion from aggregate dredging. *Marine Pollution Bulletin* (Online): 1879-3363.
- SULLI A., AGATE M., MANCUSO M., PEPE F., PENNINO V., POLIZZI S., LO PRESTI V., GARGANO F., INTERBARTOLO F. (2012). Variability of depositional setting along the north-western Sicily continental shelf (Italy) during Late Quaternary: effects of sea level changes and tectonic evolution. *Alpine and Mediterranean Quaternary*, **25** (2), 141-156.
- TILLIN H.M., HOUGHTON A.J., SAUNDERS J.E., HULL S.C. (2011). Direct and Indirect impacts of marine Aggregate Dredging. *Marine ALSF Science Monograph Series*, **1**. MEPF 10/PI44. Edited by R.C. Newell and J. Measures: 41 pp.

SITI WEB CONSULTATI

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa/sicell-2006-2012/sicell-1>
<http://bolognacharter.facecoast.eu/>
<http://chl.erdc.usace.army.mil/cem>
<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2979>
<http://medsandcoast.facecoast.eu/>
<http://www.bibione5aqua.it/sabbiodotto.html>

<http://www.ciria.org/ItemDetail?iProductCode=C684&Category=BOOK>

<http://www.coastance.eu/>

http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/index_marine.html

<https://www.rijkswaterstaat.nl/English/about-us/publications/factsheets/index.aspx>

Annesso 1: Dati dragaggi 1997-2016

Mare	SITO A LARGO DI	SIGLA	Profondità (m)	Tecnica di Dragaggio	Soggetto Concessionario/Appaltante	Anno	Volumi dragati (m3)	Destinazione
Mar Adriatico	Tagliamento e Adige			Trailer/suction	Magistrato alle acque di Venezia	1997	1.921.604	Cavallino (VE)
Mar Adriatico	Tagliamento e Adige			Trailer/suction	Magistrato alle acque di Venezia	1998	4.097.119	Litorale di Pallestrina (VE)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	1999	895.000	Ostia (RM)
Mar Adriatico	Tagliamento e Adige			Trailer/suction	Magistrato alle acque di Venezia	2000	565.362	Jesolo (VE)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2002	165.300	Misano Adriatico (RN)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2002	253.750	Riccione sud (RN)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2002	65.200	Igea Marina (RN)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2002	27.000	S. Mauro Pascoli - Savignano (FC)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2002	28.000	Gatteo a Mare (FC)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2002	43.500	Zadina (FC)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2002	176.100	Milano Marittima nord (RA)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2002	41.000	Lido di Classe - Foce Bevano (RA)
Mar Tirreno	Cagliari		40	Trailer/suction	Provincia di Cagliari	2002	370.000	Poetto (CA)
Mar Tirreno	Ischia			Trailer/suction	Regione Campania	2002	550.000	Maronti (NA)
Mar Adriatico	Tagliamento e Adige			Trailer/suction	Magistrato alle acque di Venezia	2003	351.000	Jesolo - Cortellazzo (VE)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2003	130.500	Ostia centro (RM)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2003	306.500	Ostia levante (RM)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2003	227.900	Anzio (RM)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2003	407.942	Focene nord (RM)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2003	540.000	Ladispoli (RM)
Mar Tirreno	Anzio	D2	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2003	85.000	Lido di Latina (LT) sx Foce del Mascarello
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2003	290.000	Terracina (LT) sx e dx Foce Sisto
Mar Adriatico	Tagliamento e Adige			Trailer/suction	Magistrato alle acque di Venezia	2004	296.485	Eraclea (VE)
Mar Tirreno	Montalto di Castro	A2	45-50	Cutter/suction	Regione Lazio	2004	570.000	Tarquinia (VT)
Mar Tirreno	Montalto di Castro	A2	45-50	Cutter/suction	Regione Lazio	2004	30.000	Montalto di Castro (Pagliete)

Mare	SITO A LARGO DI	SIGLA	Profondità (m)	Tecnica di Dragaggio	Soggetto Concessionario/Appaltante	Anno	Volumi dragati (m3)	Destinazione
Mar Tirreno	Montalto di Castro	A2	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2005	270.000	Ostia (RM) Levante
Mar Tirreno	Montalto di Castro	A3	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2005	60.000	Ostia (RM) Ponente
Mar Tirreno	Montalto di Castro	A2	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2005	70.000	Lido di Latina (LT) sx Foce del Mascarello
Mar Tirreno	Torvaianica	C2	95-100	Trailer/suction	Regione Lazio	2006	345.800	Terracina(LT) Porto Badino - Centro
Mar Tirreno	Torvaianica	C2	95-100	Trailer/suction	Regione Lazio	2006	400.000	Terracina (LT) Porto Badino - F. Sisto
Mar Tirreno	Torvaianica	C2	95-100	Trailer/suction	Regione Lazio	2006	34.000	Fondi (LT)
Mar Adriatico	Civitanova Marche	B1		Trailer/suction	Regione Abruzzo	2006	64.245	Pineto Silvi (TE)
Mar Adriatico	Civitanova Marche	B1		Trailer/suction	Regione Abruzzo	2006	184.850	Martinsicuro (TE)
Mar Adriatico	Civitanova Marche	B1		Trailer/suction	Regione Abruzzo	2006	93.106	Montesilvano (PE)
Mar Adriatico	Civitanova Marche	B1		Trailer/suction	Regione Abruzzo	2006	159.325	Francavilla (CH)
Mar Adriatico	Civitanova Marche	B1		Trailer/suction	Regione Abruzzo	2006	85.612	Casalbordino (CH)
Mar Adriatico	Civitanova Marche	B1		Trailer/suction	Arenaria s.r.l.	2007	400.000	Stoccaggio temporaneo a Marina Palmense (AP) e conferita nei siti di Civitanova Marche, Fermo, Pedaso, Campofilone, Massignano, Cupra Marittima, Grottammare
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2007	149.000	Misano Adriatico (RN)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2007	105.065	Riccione sud (RN)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2007	105.787	Igea Marina - Rimini nord (RN)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2007	68.391	Cesenatico nord (FC)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2007	90.108	Milano Marittima nord (RA)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2007	107.128	Lido di Dante (RA)
Mar Adriatico	Ravenna	A	35	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2007	189.869	Punta Marina (RA)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2007	249.100	Terracina (LT) Porto Badino - F. Sisto
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2007	528.500	Minturno (LT)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2007	412.400	San Felice Circeo (LT)

Mare	SITO A LARGO DI	SIGLA	Profondità (m)	Tecnica di Dragaggio	Soggetto Concessionario/Appaltante	Anno	Volumi dragati (m3)	Destinazione
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2007	729.000	Fondi nord (LT)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2007	215.000	Formia (LT)
Mar Adriatico	Ortona		shallow water 9-14	Trailer/suction	Regione Abruzzo	2010	1.400.000	Pineto Silvi (TE), Martinsicuro (TE), Casalbordino (CH), Ortona, Montesilvano (PE)
Mar Adriatico	ERACLEA	JC	20-25	Trailer/suction	Regione Veneto	2011	70.000	Eraclea (VE) e Caorle (VE)
Mar Tirreno	Anzio	D1	45-50	Trailer/suction	Regione Lazio	2012	350.000	Ostia levante (RM)
Mar Adriatico	ERACLEA	JC	20-25	Trailer/suction	Regione Veneto	2012	70.000	Eraclea (VE) e Caorle (VE)
Mar Adriatico	ERACLEA	JC	20-26	Trailer/suction	Regione Veneto	2013	60.000	Eraclea (VE) e Caorle (VE)
Mar Adriatico	Tagliamento e Adige	JC	20-27	Trailer/suction	Magistrato alle acque di Venezia	2013	100.000	Jesolo
Mar Adriatico	Tagliamento e Adige	JC	20-28	Trailer/suction	Magistrato alle acque di Venezia	2014	92.875	Jesolo e Cavallino
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2016	219.000	Misano Adriatico (RN)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2016	188.686	Riccione Sud (RN)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2016	171.047	Rimini Nord e Igea Marina (RN)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2016	128.331	Cesenatico Nord (FC)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2016	218.713	Milano Marittima (RA)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2016	116.460	Lido di Dante (RA)
Mar Adriatico	Ravenna	C1	40	Trailer/suction	Regione Emilia-Romagna	2016	229.125	Punta Marina (RA)
TOTALE							20.964.785	

Annesso 2: Censimento Depositi Sedimentari Marini Relitti

Regione	Sigla	Nome DSMR e localizzazione di massima	profondità m		Potenzialità Mm3				Note
			max	min	teorica	accessibile	presunta	verificata	
Liguria	LIG1	Sanremo	90	55	2,50	2,50	2,50	2,50	eterogeneo (sabbia-ghiaia)
Liguria	LIG2	Albenga-Loano	90	50	13,5	8,50	8,50	5,00	eterogeneo (sabbia-ghiaia)
Toscana	Tosc1	La Spezia-Livorno (Massa)	105	40	310,00	129,30	30,20	30,20	sabbia fine
Toscana	Tosc2	Livorno -Piombino (Piombino)	93	63	443,00	163,00	26,82	26,82	sabbia fine
Toscana	Tosc3	Livorno -Piombino (Capraia)	175	95	1.000,70	-	-	-	eterogeneo (sabbia-ghiaia biocl.)
Toscana	Tosc4	Elba-Argentario (Elba)	85	75	106,30	106,30	56,45	56,45	eterogeneo (sabbia-ghiaia biocl.)
Toscana	Tosc5	Elba-Argentario (Argentario)	100	80	58,00	45,00	15,50	15,50	eterogeneo (sabbia-ghiaia)
Lazio	LAZA1	Argentario - Foce Marta	60	30	160,00	160,00	-	-	sabbia fine
Lazio	LAZA2	Argentario - Foce Marta	60	40	90,00	90,00	8,24	8,24	eterogeneo (sabbia-ghiaia)
Lazio	LAZB0	Capo Linaro	70	50	9,00	1,20	-	-	sabbia fine
Lazio	LAZC2	Tor Paterno-Torre Astura	120	68	910,00	326,00	7,00	7,00	prevalentemente sabbia fine
Lazio	LAZD1/D2	Tor Paterno-Torre Astura	120	20	1.200,00	305,00	8,55	8,55	sabbia fine
Lazio	LAZD3	Torre Astura - Circeo	95	70	25,00	25,00	4,52	4,52	sabbia fine
Lazio	LAZD5	Torre Astura - Circeo	170	120	500,00	-	-	-	eterogeneo (sabbia-ghiaia biocl.)
Lazio	LAZD6	Torre Astura - Circeo	160	110	900,00	-	-	-	eterogeneo (sabbia-ghiaia biocl.)
Lazio	LAZE1/E2	Golfo di Gaeta	120	20	1.000,00	12,30	12,30	12,30	sabbia fine
Lazio	LAZF1	Isole Pontine	150	100					dati in elaborazione
Sardegna		Capo Frasca-Piscinas	80	40	450,00	210,00	50,00	50,00	Sabbie medie-sabbie fini
Sardegna		Capo Mannu	80	60	100,00	15,00	6,00	6,00	Sabbie medie
Campania	ARS1-2-3-4	Golfo di Salerno	15	9	2,00	0,20	0,20	0,20	Sabbie fini
Basilicata									Ricerche effettuate senza esito positivo (coltri

Regione	Sigla	Nome DSMR e localizzazione di massima	profondità m		Potenzialità Mm3				Note
			max	min	teorica	accessibile	presunta	verificata	
									pelitiche troppo elevate)
Calabria		Giacimenti Tirrenici	150	20	4.000,00		-		
Sicilia		Palermo	140	90	26,00	26,00	26,00	26,00	sabbie medio-grossolane (phi =0,92; sorting 1,4)
Sicilia		Termini Imerese	140	110	108,00	108,00	108,00	108,00	sabbie medio-grossolane (phi =1,02; sorting 1,4)
Puglia	Abr2-IT1	Isole Tremiti*	105	50	435,00	58,00	-	-	sabbie da medio-fini a grossolane
Puglia	Dep_A1	Largo del Gargano	65	50	1.072,00	321,00	39,60	-	Sabbie medio fini
Puglia	Dep_A2a	Largo del Gargano	120	110	1.845,00	307,50	12,50	-	Sabbie medio fini
Puglia	Dep_A3	Largo del Gargano	95	85	286,00	-	-	-	-
Puglia	Dep.GolfoM	Golfo Manfredonia	25	10	2.610,00	-	-	-	-
Puglia	Dep_B1	Largo di Brindisi	100	80	45,00	45,00	-	-	Sabbie fini
Puglia	Dep_B2	Largo di Lecce	120	115	60,00	60,00	-	-	Sabbie molto fini
Puglia	Dep_B3	Largo di Vernole	120	120	60,00	60,00	-	-	Sabbie medio fini
Puglia	Dep_B4	Largo di Melendugno	100	100	40,00	40,00	-	-	Sabbia media
Puglia	Dep_B5	Largo di Otranto	95	80	258,00	258,00	50,00	-	Sabbie medio fini
Puglia	Dep_B6	Largo di Castro	120	120	15,00	15,00	-	-	Sabbia media
Puglia	DEP.C.sitoA	Largo di Manduria	140	105	132,00	132,00	32,00	-	Sabbie grossolane
Puglia	DEP.C.sito.B	Largo di Gallipoli	150	110	21,00	21,00	10,40	-	Sabbie grossolane
Puglia	DEP.C.sito.C	Largo di Gallipoli	140	105	45,00	45,00	24,40	-	Sabbie grossolane
Puglia	DEP.C.sitoD	Largo di Gallipoli	60	50	10,00	10,00	5,20	-	Sabbie medio fini
Puglia	DEP_C4	Largo di Salve	50	30	51,00	-	-	-	Sabbie eterogenee
Puglia	Dep_A1	Largo del Gargano	65	50	1.072,00	321,00	39,60	-	Sabbie medio fini

Regione	Sigla	Nome DSMR e localizzazione di massima	profondità m		Potenzialità Mm3				Note
			max	min	teorica	accessibile	presunta	verificata	
Molise									Non risultano effettuate ricerche
Abruzzo	Abr1-PP1	Punta Penna	105	25	3.400,00	-	-	-	sabbia fine e interc. pelitiche-copertura pelitica >> 2m
Abruzzo	Abr3-SBT1	San Benedetto del Tronto	135	126	4,00	-	-	-	sabbia fine - oltre 120 m di prof.
Marche		Civitanova Marche	92	85	100,00	100,00	100,00	100,00	sabbia fine (phi=2,8 - sorting<1)
Emilia-Romagna	Area A0	43 km offshore	34	34	6,12	6,12	3,57	3,57	sabbia fine
Emilia-Romagna	Area A1	43 km offshore	36	36	12,82	12,82	6,13	6,13	sabbia fine
Emilia-Romagna	Area A2	44 km offshore	35	35	0,26	0,26	-	-	sabbia fine
Emilia-Romagna	Area B	36 km offshore	34	35	2,82	2,82	1,80	1,80	sabbia fine
Emilia-Romagna	Area C1	59 km offshore	39	41	55,10	55,10	39,53	39,53	sabbia fine
Emilia-Romagna	Area C2	66 km offshore	40	39	16,21	16,21	10,56	10,56	sabbia fine
Emilia-Romagna	Area C3	46 km offshore	40	42	104,39	104,39	58,84	58,84	sabbia fine
Emilia-Romagna	Area H	65 km offshore	50	54	195,22	195,22	101,55	101,55	silt sabbioso
Veneto	RV_A	Laguna di Venezia	24	20	4,85	4,85			sabbia da media a fine
Veneto	RV_D	Caorle	21	24	18,00	18,00			sabbia da media a fine
Veneto	RV_G	Laguna di Venezia	30	31	2,60	2,00	2,00	2,00	sabbia da fine a molto fine
Veneto	RV_C	Chioggia	26	32	6,10	3,90	3,90	3,90	sabbia da media a fine
Veneto	RV_H	Chioggia	29	31	60,53	51,86	51,86	51,86	sabbia da media a fine
Veneto	RV_B	Tagliamento	11	16	48,40	48,40			sabbia da media a fine
Friuli Venezia Giulia									Non risultano effettuate ricerche
totale					22.562,42	3.730,75	927,62	747,02	