

Interventi di ripascimento nelle coste europee: ricadute a livello italiano

Michele Capobianco¹, Luc Hamm² e Piero Silva²

¹Tecnomare S.p.A., R&D, Environment, San Marco n. 3584, 30124 Venezia, Italia.

²SOGREAH Ingénierie, 6 rue de Lorraine, F - 38130, Echirolles, France.

Riassunto

Con il presente contributo si introduce il Progetto SAFE (Performance of soft Beach Systems and Nourishment Measures for European Coasts) e se ne descrivono brevemente le potenziali ricadute conoscitive ed applicative nel contesto italiano.

L'assunzione di fondo è che gli ambienti costieri possano essere gestiti in modo da convivere con i fenomeni erosivi, peraltro spesso limitati nel tempo e nello spazio, "impiegando" in modo appropriato i processi naturali e non forzandoli attraverso l'inserimento di strutture artificiali. E' ispirandosi a questo principio che il ripascimento può trovare la sua forma migliore di utilizzo come strumento di gestione costiera. C'è quindi necessità di strumenti previsionali di supporto per la valutazione dell'evoluzione dell'effetto degli interventi di ripascimento a medio termine (su un periodo di vari mesi) e a lungo termine (su un periodo di anni).

Il problema che viene affrontato dal Progetto SAFE, e la cui soluzione può trovare valide applicazioni nel contesto italiano, è quello di rendere tali strumenti applicabili operativamente in un contesto generale di pianificazione e gestione costiera.

Introduzione

Il Progetto SAFE

A partire dagli anni '80, dopo che il fallimento di molti interventi di ingegneria tradizionale per la protezione delle spiagge sabbiose (quali pennelli in assenza di ripascimento, frangiflutti o muri) è divenuto evidente dal punto di vista sia tecnico che economico, l'interesse ad usare metodi di intervento morbido quali il ripascimento è costantemente aumentato in Europa e negli Stati Uniti. Una volta definito e quantificato il fenomeno di erosione in atto identificando sia le cause (attraverso uno studio dei processi morfologici) che gli interessi locali (identificando i diversi aspetti connessi alla sicurezza, alle attività ricreative, all'ambiente ed all'economia), una selezione attenta delle misure protettive da impiegare è un'attività di primario interesse. Oggi il ripascimento, eventualmente integrato da "misure di supporto", è un'opzione sempre più importante (Capobianco e Stive, 1997).

L'obiettivo del Progetto SAFE è quello di migliorare la pratica progettuale di interventi di ripascimento attraverso la previsione a medio termine (vari mesi) e lungo termine (vari anni) delle loro prestazioni. Allo scopo si impiegano e si validano modelli numerici e se ne definiscono le modalità di impiego per diverse situazioni operative.

L'obiettivo del Progetto è sostanzialmente quello di implementare strumenti modellistici operativi sufficientemente robusti e generali da consentire l'applicazione ad una varietà di situazioni diverse, dal ripristino di cordoni dunosi compromessi dallo sviluppo dissennato dei decenni passati al ripascimento del profilo di spiaggia, protetto o meno, in situazioni di scarso apporto di sedimenti.

A tale scopo il Progetto è suddiviso in quattro aree di attività che qui riportiamo e descriviamo in quanto indicative della filosofia complessiva:

Topic A: Integrazione Complessiva

Topic B: Analisi di Dati di Campo

Topic C: Esperimenti su Modello Fisico

Topic D: Sviluppo e Validazione di Modelli Numerici

L'Integrazione Complessiva (Topic A) è finalizzata a garantire il migliore impiego dei risultati ottenuti dai diversi Topic. Le attività in questo ambito includono il coordinamento delle attività tecniche, la diffusione dei risultati pratici, il miglioramento e l'adattamento delle procedure di progetto per gli interventi di ripascimento, la definizione delle modalità di impiego degli strumenti modellistici disponibili, la preparazione di raccomandazioni sull'uso del monitoraggio di "strutture morbide" e delle "misure di supporto" nell'ambito di schemi di gestione costiera.

L'Analisi di Dati di Campo ad alta qualità (Topic B) è finalizzata al miglioramento della conoscenza empirica quale elemento chiave per lo sviluppo di modelli numerici dell'evoluzione a lungo termine basati sulla descrizione del comportamento ("behaviour-oriented models" secondo una dizione inglese ormai consolidata). Nell'ambito di tale attività si sta inoltre realizzando una valutazione scientifica comparata di interventi di ripascimento realizzati o in corso in vari paesi dell'Unione Europea esaminando gli aspetti relativi alla dinamica della morfologia costiera.

Due Esperimenti di Laboratorio su Grande Scala (Topic C) sono stati realizzati esaminando: (1) l'erosione ed il ripristino di un profilo costiero soggetto all'attacco di onde irregolari e con livello marino variabile in una canaletta, (2) il trasporto di sedimenti a granulometria variabile in un tunnel.

Lo Sviluppo e Validazione di Modelli Numerici per l'evoluzione del profilo costiero e della linea costiera in situazioni di ripascimento (Topic D) includono: (1) il miglioramento dei modelli di profilo costiero basati sulla formulazione matematica dei processi noti ("process-based models") per colmare le lacune tra le loro attuali capacità e le effettive applicazioni in campo; tali miglioramenti contemplano anche la connessione tra spiaggia emersa e cordone dunoso con la zona di frangimento e la considerazione di fenomeni di selezione della granulometria; (2) sviluppo di strumenti pratici di valutazione dell'evoluzione di lungo termine basati sulla descrizione del comportamento; allo scopo è prevista un'approfondita attività di validazione e di analisi delle prestazioni di tali modelli.

L'Interesse per l'Italia

Sono attualmente oggetto di dibattito metodi e tipologie di strutture da adottare negli interventi di salvaguardia dall'erosione. A favore delle classiche strutture rigide c'è la possibilità di disporre ormai di criteri consolidati di progetto e di proiezioni di costo relativamente affidabili, che ne semplificano l'utilizzo. Tuttavia presentano effetti spesso indesiderabili dal punto di vista sia ambientale che estetico ed alterano in modo a volte imprevedibile le dinamiche costiere su scala locale. Per questi motivi si è cominciato a considerare il ripascimento delle spiagge come una possibile soluzione complementare per la gestione costiera (Benassai et al., 1997). Tuttavia, in confronto alle strutture rigide, allo stato attuale il ripascimento è da considerare ancora una tecnica ingegneristica da consolidare, eventualmente facendo ricorso alle difese di tipo misto. Certo è che, in generale, l'adozione di strutture rigide aumenta la vulnerabilità ad eventi estremi ma l'adozione di tecniche di intervento morbido richiede ancora di risolvere molte incertezze legate all'evoluzione anche in condizioni ordinarie. Possiamo comunque certamente dire che è in atto un avvicinamento tra approcci di intervento morbido ed approcci di intervento rigido in un'ottica di "sviluppo sostenibile e compatibile". La tipologia di interventi tipicamente condotti in Italia è sostanzialmente reattiva; difficilmente si tratta di interventi a carattere preventivo. E' tuttavia evidente una tendenza a dare più responsabilità ai livelli regionali e locali attraverso l'attribuzione di responsabilità per la pianificazione dell'uso dei suoli. D'altra parte ci si attende un miglioramento del carattere degli interventi dalla migliore applicazione della legislazione relativa alla Valutazione di Impatto Ambientale.

La immissione di quantità apprezzabili di materiali sedimentari dalle adeguate caratteristiche, se ben pianificata e realizzata dovrebbe conseguire la rivitalizzazione del bilancio sedimentario della fascia attiva costiera: tale risultato, sulla base delle esperienze realizzate in varie realtà territoriali, va però inquadrato su scale temporali medio-lunghe, ed è pertanto necessario operare un costante monitoraggio di tutti quegli elementi che consentano di calibrare la progressione degli interventi e di valutare eventuali errori di programmazione, in modo da inquadrare il reperimento e la reimmissione periodica delle risorse sedimentarie in un più ampio ragionamento gestionale, in modo da non affidarlo all'improvvisazione o alla casualità. Da queste considerazioni l'importanza di considerare tali interventi in un'ottica di pianificazione.

Le esperienze disponibili suggeriscono che criteri di valutazione consistenti per il progetto e per il successivo "accreditamento" di interventi di ripascimento, siano estremamente necessari, ed un certo numero di questioni (sia sul piano tecnico-scientifico che sul piano della strategia e della politica di intervento) vadano affrontate per la definizione dei criteri di valutazione. Le questioni identificate sul piano tecnico includono la frequenza e la vita degli interventi, la velocità di erosione pre- e post-intervento, il riequilibrio del profilo dopo l'intervento, la lunghezza del progetto, i requisiti volumetrici, la compatibilità tra le granulometrie, l'eventuali ripristino di cordoni di dune a scopi protettivi, le risorse di sabbia sul lungo termine, le strategie di collocazione, l'adozione di progetti "ibridi", gli impatti nelle zone sottoflusso e sovralfusso. Sul piano della strategia e della politica di intervento, le questioni identificate includono il problema del monitoraggio, l'adozione di interventi periodici, la manutenzione, la riabilitazione dopo eventuali mareggiate, il rispetto della legislazione ambientale.

Vi sono certamente questioni, quali ad esempio la frequenza di intervento, che presentano sia problematiche tecniche che di strategia e di politica di intervento, riflettendo senza dubbio il fatto che il ripascimento è ben di più che un semplice problema tecnico. E' vero comunque che un approfondimento di aspetti tecnici, in particolare quelli relativi alla definizione degli indici di prestazione, della loro previsione, della caratterizzazione dell'incertezza, ecc., possono fornire un contributo fondamentale alla pianificazione ed alla corretta attribuzione di oneri e di benefici.

I risultati del Progetto SAFE, opportunamente calati nella realtà italiana possono fornire utili elementi a supporto di tale attività di pianificazione. Nel seguito esaminiamo in maggior dettaglio gli specifici contributi.

Analisi dei Dati di Campo

Importanza degli Interventi di Ripascimento nei Vari Paesi

Il lavoro ha contemplato un inventario dei progetti di ripascimento completati in alcuni dei paesi partecipanti al progetto. Considerevoli differenze sono subito apparse evidenti con riferimento alle strategie di intervento ed al quadro legislativo. Differenze ancora più consistenti sono apparse in relazione all'importanza attribuita al ripascimento nella pratica ingegneristica corrente.

Ad esempio in Irlanda e Grecia il ripascimento come strategia di intervento è una pratica ancora molto poco diffusa (un intervento a Rosslare Strand in Irlanda per un totale di 162.000 m³ ed un totale di 9 interventi in Grecia per un volume complessivo di poco superiore ai 50.000 m³).

In Italia e Francia il ripascimento rappresenta un tecnica che raccoglie certamente un interesse crescente (25 interventi sono stati censiti in Italia) con alcuni interventi di dimensioni notevoli. Cavallino, a nord di Venezia, e l'isola di Pellestrina, di fronte a Venezia stessa, hanno visto recentemente effettuare interventi per oltre 5 milioni di m³ complessivi. Gli interventi di Cavallino e di Pellestrina costituiscono di fatto il primo importante intervento effettuato in Italia con prelievo di sabbia da mare. Altri interventi di minore entità sono stati realizzati in molte località con apporti di sabbia da fiume e da cava che risultano tuttavia essere di sempre più difficile reperimento.

In Francia tre siti sono stati regolarmente soggetti a ripascimento, ad Anglet (8.2 milioni di m³) e nella baia di Arcachon (0.5 milioni di m³), sulla costa Atlantica, e a les Bas-Champs (0.9 milioni di m³) nel Canale della Manica. Due altri interventi sono stati completati a Chatelaillon e a Malo-les-

bains (rispettivamente 350.000 e 360.000 m³).

In Germania il ripascimento è ampiamente impiegato lungo le coste sabbiose del Mare del Nord e lungo la costa Baltica con un totale di circa 160 interventi dal 1951 che hanno coinvolto 48.4 milioni di m³ di sabbia. Un'attenzione particolare va posta alla costa dell'isola di Sylt dove circa 25 milioni di m³ di sabbia sono stati piazzati fin dal 1972 (oltre il 50% del volume totale mobilizzato in Germania).

Anche in Olanda il ripascimento è estensivamente utilizzato; 46 interventi di ripascimento sono stati implementati prima del 1990, per un ammontare di 60 milioni di m³. Nel 1990 l'adozione di una nuova politica di conservazione dinamica della costa ha comportato un aumento del volume di sabbie mobilizzate ogni anno a circa 6 milioni di m³. Un riferimento particolare va fatto all'isola di Texel per un totale di 14.8 milioni di m³ di sabbia dal 1979.

Infine in Spagna, una forte politica di intervento è stata implementata dal 1983. Lo strumento del ripascimento si è fatto parte fondamentale della strategia di recupero della costa, eventualmente completato, quando necessario, da misure di supporto. 51.1 milioni di m³ di sabbia sono stati mobilizzati nel periodo 1983-1992 e circa 10 milioni di m³ di sabbia sono attualmente riportati ogni anno su un totale di circa 1000 progetti di ripascimento.

Una valutazione di Progetti Selezionati

Alcuni interventi di ripascimento sono stati selezionati per una valutazione più accurata e per un approfondimento della comprensione dei processi; si tratta del ripascimento sommerso di Terschelling (Olanda) e dei ripascimenti dell'isola di Sylt (Germania), Maresme (Spagna) ed Ocean City (Maryland, USA) dove sono disponibili dettagliati dati di campo. Quattro ulteriori siti sono stati selezionati laddove un monitoraggio dettagliato è in corso come parte del Progetto SAFE: Malagueta (Spagna), San Sebastian (Spagna), Rosslare Strand (Irlanda) ed il progetto di ripristino delle dune sul Delta del Rodano (Francia).

Primi risultati di tale valutazione sono stati pubblicati da Santas et al. (1997) per il caso di Zurriola a San Sebastian, Spanhoff et al. (1997) per il caso di Terschelling e da Larson et al. (1997) per il caso di Ocean City.

Una Discussione sugli Indicatori di Prestazioni e sui Metodi di Progetto di Ripascimento

Questa prima valutazione di casi di ripascimento esistenti e ben documentati ha portato a focalizzare l'attenzione su:

- una adeguata definizione di "indicatori di prestazioni" da impiegare a livello di progettazione ed a livello di valutazione delle prestazioni;
- un programma di monitoraggio da condurre in modo da definire adeguatamente tali indicatori.

Partendo dall'esperienza del Progetto Nourtec (Nourtec, 1997), si è evidenziato come una analisi attenta della situazione precedente all'intervento debba portare ad una definizione precisa degli obiettivi relativi ai requisiti di progetto ed alla valutazione delle prestazioni. La seguente lista riporta gli elementi essenziali:

- il mantenimento della linea di costa è un obiettivo di lungo termine che presenta rilevanza su scale annuali. E' connesso alla stabilità della linea di costa ed alla protezione dell'area delle dune che è spesso soggetta all'attacco delle onde come conseguenza della recessione della linea di costa.
- la protezione della spiaggia e la prevenzione degli allagamenti nel caso di eventi estremi. Tale obiettivo è finalizzato prioritariamente a prevenire la rottura della linea delle dune.
- spiagge per scopi ricreativi. In tal caso l'obiettivo che viene prioritariamente perseguito è quello di ampliamento della spiaggia durante la stagione estiva. Indirettamente tale attività può essere di beneficio per la protezione della spiaggia ed il mantenimento della linea di riva.
- protezione delle infrastrutture esistenti lungo la costa quali strade o edifici contro l'erosione temporanea durante la stagione invernale.

E' interessante notare come ad ognuno di tali obiettivi sia associata una tipica scala temporale. Tipiche scale spaziali possono inoltre essere definite in relazione al quadro legislativo nazionale, alla istituzione responsabile dell'intervento ed alle specifiche condizioni locali.

Per ogni obiettivo, appropriati indicatori vanno definiti in modo da valutare (nel modo più possibile obiettivo) lo schema di intervento e l'intervento medesimo. Un elenco di 7 indicatori di prestazioni sono stati impiegati recentemente in Olanda a tale scopo. Cinque indicatori si riferiscono a parametri di progetto (durata di progetto della base delle dune, profilo delle dune, posizione della linea di costa, volumi di controllo) e due indicatori si riferiscono alla situazione precedente al ripascimento (velocità di erosione media annuale ed ampiezza della spiaggia). Tre parametri sono stati impiegati nel Progetto NOURTEC. Ulteriori indicatori sono stati proposti da altri partecipanti al progetto e sono attualmente in fase di valutazione.

Per poter eliminare il più possibile gli effetti stagionali, viene impiegata una definizione integrata della linea di costa basata sul volume di sabbia presente in un volume di controllo che copre la spiaggia dalla base delle dune e la zona di battigia fino ad una profondità b (b è la distanza verticale tra l'elevazione della base delle dune ed il livello medio mare). Allo scopo di eliminare gli effetti di variabilità a breve termine, la velocità di erosione media è presa come tendenza media su un periodo di dieci anni di osservazioni annuali.

L'aspetto chiave da notare è che un tale insieme di indicatori di prestazioni può essere applicato solo se i dati corrispondenti sono disponibili. Ciò significa in pratica che: (a) la duna, la spiaggia ed il profilo dovrebbero essere regolarmente monitorati prima e dopo il ripascimento e (b) nella fase di progetto tali parametri sono oggetto di previsione.

Il Video-Monitoraggio

Fin dal 1992 l'idrodinamica e la dinamica della morfologia sono analizzate impiegando il sistema di osservazione video ARGUS, una tecnica sviluppata al Coastal Imaging Laboratory, Oregon State University. E' prevedibile che l'adozione di tecniche di osservazione in continuo possano contribuire in modo significativo a risolvere le problematiche di predicibilità, a quantificare l'erosione locale ed a valutare le statistiche del moto ondoso (Aarninkhof and Stive, 1998). Nel Progetto SAFE una video camera è stata installata a Noordwijk, Olanda, su una spiaggia molto dissipativa e le immagini sono analizzate per comprendere la dinamica delle barre ma anche per sviluppare una interpretazione quantitativa della intensità delle immagini correlandole al processo di dissipazione delle onde. Con l'ausilio di modelli numerici di decadimento del campo di onde, l'idrodinamica della zona di frangimento viene modellata in modo "inverso" a partire da immagini video prese su base oraria. La batimetria viene "adattata" fino ad ottenere una corrispondenza tra le immagini e l'idrodinamica ricostruita. I primi risultati di questi sviluppi sono stati pubblicati da Aarninkhof et al. (1997).

L'Interesse per l'Italia

L'importanza crescente del ripascimento come soluzione a molte situazioni di carenza di sedimenti (e di crisi di erosione) richiede la definizione di criteri di valutazione dei progetti prima e degli interventi poi. Il poter far riferimento ad esperienze già consolidate in svariate condizioni operative garantisce certamente di superare tutta una serie di problematiche di contorno non strettamente tecniche ma piuttosto connesse all'accettabilità sociale degli interventi di ripascimento.

Il poter disporre di parametri indicatori oggettivi garantisce l'efficacia dell'investimento, la migliore gestione delle risorse nel tempo e la loro migliore ripartizione secondo criteri di priorità. E' interessante notare in questo senso come l'adozione di criteri specifici per "amministrazioni ed istituzioni" con competenze in materia di difesa della costa e di pianificazione degli usi dello spazio costiero potranno rappresentare la base per una ripartizione equa degli oneri a carico.

D'altra parte poter disporre di strumenti di monitoraggio semplici e facilmente utilizzabili e comprensibili dai vari organi tecnici delle medesime amministrazioni ed istituzioni può rappresentare una garanzia di maggiore coinvolgimento e responsabilizzazione nelle fasi di successiva manuten-

zione degli interventi. Gli sviluppi in materia di video-monitoraggio possono dare in questo senso un valido contributo; la tecnica è sufficientemente semplice da essere compresa ma nello stesso tempo estremamente promettente per quanto riguarda la tipologia di informazioni che può consentire di ottenere su specifiche aree di crisi.

Esperimenti di Laboratorio su Grande Scala

In questa parte del Progetto due esperimenti di grande scala su canaletta a fondo mobile (comprensivi di spiaggia e duna) sono stati effettuati nel GrossenWellenKanal (GWK) di Hannover, Germania, e misure di trasporto di sedimenti a granulometria variabile sono state effettuate nel Large Oscillating Water Tunnel (LOWT) di de Voorst, Olanda.

L'Evoluzione del Profilo al GWK

L'idrodinamica e la dinamica dei sedimenti e la loro interazione in condizioni di ripascimento sono state studiate in condizioni ambientali controllate come parte di una serie di test iniziati alcuni anni fa al GWK (Peters et al., 1996). L'obiettivo di tali esperimenti era essenzialmente quello di valutare il potenziale di tecniche di ripascimento in condizioni di marea e di fornire un insieme di dati di base da utilizzare nella validazione di modelli di profilo costiero (sviluppati nell'ambito del Topic D). La "canaletta" è lunga 350m, larga 5m, e profonda 7m. Sono state impiegate onde irregolari con un periodo medio di 5.5 s ed altezza d'onda significativa di 0.65 ed 1.2 m, in condizioni di livello normale di 4m e di livello estremo di 5m rispetto al fondo della canaletta.

Gli esperimenti sono stati suddivisi in due fasi di test principali.

Nella fase I, si è realizzato un profilo di equilibrio, corrispondente al diametro medio della sabbia sistemata nella canaletta ($d_{50}=0.3\text{mm}$), fino al livello medio mare, mentre oltre il livello medio mare sono stati usati quattro valori di pendenza della spiaggia emersa da 1:5 a 1:20. Ogni profilo è stato quindi sottoposto alle condizioni di onda normali e di tempesta ai due livelli normali ed estremo.

Le seguenti misure sono state effettuate per ogni test (una prima analisi di tali esperimenti è riportata da Peters et al., 1997):

- misure di livello lungo la canaletta per definire le caratteristiche delle onde ed il set-up e set-down delle onde;
- misure di velocità per definire il profilo di velocità nella zona di frangimento e raccogliere serie temporali di velocità nei medesimi punti di misura di livello;
- misure di profilo sommerso;
- misure di sedimenti in sospensione nella zona di frangimento (sensori OBS, sensori sonar multi-frequenza, campionatori di sedimento);
- registrazioni video della sonda di bagnasciuga.

Nella fase II, l'attenzione è stata focalizzata sulla stabilità della spiaggia e della duna protette da barriere piazzate a diverse posizioni (di fronte alla duna o nella parte a mare della prima barra).

Misure di Trasporto dei Sedimenti nel LOWT

Gli obiettivi di questo esperimento sono: (a) migliorare la comprensione dei meccanismi di trasporto sul fondo e di trasporto in sospensione in condizioni di flusso oscillatorio quando sono presenti sedimenti di diverse granulometrie, e (b) ottenere un insieme di dati di velocità di trasporto dei sedimenti, concentrazione dei sedimenti e profili di velocità per frazione granulometrica che possano essere impiegati per lo sviluppo di formulazioni matematiche del trasporto.

Il LOWT consente esperimenti in scala reale con flussi oscillatori e correnti sovrapposte. La sezione di test è lunga 14 m, alta 1.1 m e larga 0.3 m. La maggior parte della ricerca nel tunnel negli ultimi 10 anni è stata condotta impiegando sabbia di duna con un diametro medio di 0.21 mm ed un fuso granulometrico molto stretto (Ribberink e Al-Salem, 1995; Katopodi et al., 1994). Due tipologie di condizioni di flusso oscillatorio sono state tipicamente impiegate: onde di Stokes regolari del secondo ordine ed onde sinusoidali con correnti sovrapposte. Nella maggior parte degli esperimenti sono

stati osservati regimi di fondo piatto con condizioni di sheet-flow.

Negli ultimi tre anni una attenzione crescente è stata posta all'influenza della granulometria in condizioni combinate onda-corrente (Janssen e Ribberink, 1996). Programmi sperimentali sono stati condotti con diametri medi di 0.13 mm e 0.32 mm, mantenendo la deviazione standard geometrica invariata. La canaletta è stata anche recentemente impiegata per studiare il trasporto dei sedimenti con sabbie contenenti fino al 20% di minerali pesanti che sono tipicamente presenti in condizioni naturali. Tali test mostrano che i minerali pesanti (con una densità maggiore di 2.9 kg/l) hanno chiaramente diverse proprietà di trasporto rispetto ai "minerali leggeri" ed inducono un effetto di "armatura" (Tanczos et al., 1997).

L'Interesse per l'Italia

In Italia vi è certamente una lunga tradizione di utilizzo di modelli fisici nella pratica corrente dell'Ingegneria Costiera, soprattutto all'interno delle Università. La possibilità di far riferimento ad esperimenti a livello internazionale finalizzati alla valutazione degli interventi di ripascimento può rappresentare un aiuto a superare riserve che ancora vengono sollevate da parte della comunità tecnico-scientifica.

E' interessante osservare come gli esperimenti del GWK possano fornire elementi progettuali estremamente significativi per numerose spiagge adriatiche, ferme restando le problematiche connesse all'angolo di incidenza. Nella realtà italiana particolare interesse assumono peraltro esperimenti quali quello del LOWT che consentono di valutare in dettaglio il ruolo della granulometria. I vincoli normativi e pratici esistenti per il reperimento di adeguato materiale di apporto e quindi la disponibilità di materiale non sempre a granulometria "ideale" richiedono un approfondimento di questi aspetti in fase progettuale.

Modellistica Numerica

L'impegno relativo alla modellazione numerica del Progetto SAFE contempla lo sviluppo di modelli basati sulla descrizione dei processi (in particolare modelli di profilo costiero), modelli basati sulla descrizione del comportamento degli interventi di ripascimento e modelli di valutazione delle oscillazioni costiere.

Modelli di Profilo Basati sulla Descrizione dei Processi

Gli sviluppi relativi a questa attività sono incentrati sul miglioramento e sull'estensione di modelli di profilo costiero sviluppati nell'ambito di precedenti progetti di ricerca sulla morfodinamica costiera con una attenzione particolare alla applicazione in situazioni di ripascimento. Tre processi chiave che, allo stato attuale, vengono generalmente trascurati nella pratica ingegneristica, sono: (a) la dinamica della zona di frangimento vicina e il trasporto nella zona di bagnasciuga, (b) la descrizione dei processi di modifica della granulometria e (c) la comprensione delle dinamiche di equilibrio.

Attualmente la maggior parte dei modelli di profilo trasversale impiegati per la valutazione dell'evoluzione del profilo costiero presentano problemi nella descrizione dei meccanismi evolutivi della zona di bagnasciuga. Di fatto i problemi contemplano il complesso della parte idrodinamica (decadimento delle onde, cinematica delle onde, run-up e run-down) ed i meccanismi fondamentali di trasporto. Vari approcci sono attualmente in fase avanzata di valutazione per cercare di ottenere una descrizione soddisfacente e per incorporarla in un modello morfodinamico complessivo. Primi risultati concernenti la cinematica delle onde sono stati pubblicati recentemente (Hamm, 1996; Bo-soom et al., 1997).

La modifica della distribuzione granulometrica è chiaramente un argomento centrale per i progetti di ripascimento. Campagne di misura intensive a Terschelling hanno mostrato che il "trasporto selettivo" porta a profili granulometrici strettamente correlati al profilo batimetrico (Guillen e Hoestra, 1996). Ulteriore impegno è stato posto sull'analisi dei dati sperimentali di laboratorio relativi agli esperimenti LOWT. Per l'immediato futuro si ipotizza di realizzare misure addizionali di evolu-

zione della spiaggia a piccola scala. Tale analisi richiede adeguate formulazioni teoriche del trasporto dei sedimenti e della conservazione di massa che sono in via di sviluppo nel Progetto.

Infine il concetto di equilibrio del profilo sviluppato da Bruun e Dean per la zona di frangimento è in fase di estensione alla zona più esterna. Vari modelli di comportamento sono in avanzato stadio di sviluppo nel progetto. Essi descrivono l'evoluzione di lungo termine del profilo come processo dinamico intorno ad un profilo di equilibrio funzione delle condizioni meteomarine, del livello medio mare e delle proprietà dei sedimenti.

Modellazione di Interventi di Ripascimento

In questo contesto si esamina il potenziale di modelli basati sui processi e di modelli di comportamento nella valutazione e nella previsione del comportamento di interventi di ripascimento (sia sommersi che emersi), confrontandoli con dati di campo e con "prove di comportamento". I dati di campo selezionati sono quelli di Malagueta e Rosslare Strand (monitorati nel corso del Progetto) e quelli di Sylt ed Ocean City (i cui dati dettagliati sono disponibili nel Progetto stesso).

L'esame contempla l'uso di modelli esistenti con miglioramenti implementati nel corso del Progetto; contempla quindi sia modelli di profilo trasversale che modelli ad una linea e modelli di comportamento "tridimensionali". I modelli ad una linea sono già ampiamente utilizzati come strumento per prevedere l'evoluzione sul piano di un intervento di ripascimento; i miglioramenti in corso contemplano tentativi di simulare le variazioni stagionali indotte dal trasporto trasversale (Hanson et al., 1997). I modelli tridimensionali in questo contesto sono più recenti; l'obiettivo è quello di includere sia la componente longitudinale che quella trasversale del trasporto in modo sufficientemente semplice da poter essere usati come strumenti di progetto e non come strumenti di sola ricerca (Larson e Hanson, 1996).

Oscillazioni Costiere

Situazioni che vengono talvolta definite di crisi per via dell'insorgere di fenomeni erosivi, possono molte volte dipendere "semplicemente" da naturali "oscillazioni" di lungo periodo. Sono le tipiche situazioni in cui una maggiore "resilienza" dell'area costiera garantirebbe la possibilità di gestire il problema in modo sostenibile ed economico e dove, invece, in particolare nei decenni passati, interventi frettolosi e maldestri hanno contribuito ad esacerbare il problema stesso.

In questo contesto nell'ambito del Progetto si esaminano quegli aspetti di più grande scala e lungo termine dell'evoluzione costiera che sono considerati significativi o per il ripascimento di per sé o per il comportamento autonomo della costa (evoluzione di fondo o naturale). L'attività consiste principalmente di un'inventario di casi che mostrano significativi comportamenti oscillatori nelle dinamiche spaziali e temporali.

Il concetto è che mentre l'erosione strutturale (o l'accrescimento) di un tratto di costa è di primaria importanza per la gestione costiera, la conoscenza delle oscillazioni costiere su scale temporali più lunghe consentirebbe certamente interventi più efficienti. In particolare è chiaro come la possibilità di valutare le scale temporali e l'ampiezza delle oscillazioni possa dare un contributo significativo alla definizione di piani di protezione complessivi. Vari siti sono stati già identificati in Olanda (Stive et al., 1996), in Germania (Dette, 1997), e Francia. Primi risultati relativi alla modellazione delle onde di sabbia longitudinali impiegando un modello ad una linea sono stati pubblicati da Hanson et al. (1996).

L'Interesse per l'Italia

Nel contesto delle spiagge italiane la dinamica della zona di frangimento ed il trasporto nella zona di battaglia sono certamente importanti nella determinazione della evoluzione costiera, in particolare in presenza di mareggiate. Nel caso di ripascimenti, soprattutto se realizzati impiegando materiali di qualità non perfettamente selezionata, poter descrivere i processi di modifica della granulometria è una garanzia ulteriore di valutazione accurata del comportamento del ripascimento. La compren-

sione delle dinamiche di equilibrio rappresenta anch'essa un tassello utile per la pianificazione a lungo termine degli interventi.

La possibilità di descrivere le oscillazioni costiere a lungo termine e su grande scala può contribuire a risolvere situazioni soggette all'influenza dell'apporto fluviale; è prevedibile che tale influenza diventi più significativa negli anni a venire aumentando l'apporto sedimentario medio come conseguenza della nuova politica di gestione delle concessioni per l'escavo di materiali inerti.

Conclusioni

L'assunzione di fondo che sta alla base dei concetti espressi è che gli ambienti costieri possano essere spesso gestiti in modo da convivere con i fenomeni erosivi "impiegando" in modo appropriato i processi naturali e non forzandoli con strutture artificiali. E' ispirandosi a questo principio che il ripascimento può trovare la sua forma migliore di utilizzo. Il carattere di sempre maggiore sviluppo delle aree costiere porterà a crescenti richieste di applicazione delle tecniche di ripascimento; questo porterà altresì alla applicazione di strumenti di gestione supportati da semplici ed efficaci strumenti previsionali. Per quanto riguarda la realizzazione di modelli di erosione delle spiagge, sono da attendersi considerevoli progressi nei prossimi anni. Sarà quindi auspicabilmente possibile perfezionare gli approcci usati per risolvere i problemi correnti e sviluppare soluzioni anche per il possibile emergere di nuove tipologie di problemi (si pensi ad esempio alla gestione del paesaggio).

Chiaramente la localizzazione, il metodo di esecuzione e la distribuzione nel tempo del ripascimento sono importanti criteri di progetto. La localizzazione, sia essa tra la duna e la barra di frangimento o anche lungo l'intero profilo, è da taluni considerata il parametro di progetto più importante per le prestazioni del ripascimento. Allo stesso modo una adeguata distribuzione nel tempo può consentire di cogliere il potenziale vantaggio rappresentato dalla stagionalità della direzione di trasporto longshore o dalla variazioni cross-shore così come, sul breve termine, di "finestre di tempo ottimale" per realizzare le operazioni.

E' altresì auspicabile che il monitoraggio post ripascimento diventi una regola, soprattutto a seguito del crescente dibattito e del crescente rigore a proposito della verifica dei progetti. Sia il monitoraggio a breve termine che quello a lungo termine richiedono lo sviluppo di procedure di standardizzazione. Si ritiene che l'omissione di questa fase del progetto rappresenta di fatto una falsa economia.

La possibilità di disporre di criteri di analisi dei dati di campo, l'esperienza derivante da esperimenti effettuati con modello fisico, lo sviluppo e la validazione di modelli numerici finalizzati al ripascimento e l'integrazione complessiva di tali criteri, di tale esperienza e di tali modelli potranno contribuire, anche in Italia, ad un migliore e più consapevole impiego del ripascimento come strumento di gestione costiera.

Ringraziamenti

Il Progetto è condotto come parte del Programma MAST III finanziato in parte dalla Commissione Europea (Directorate of Science, Research and Development - DG-XII), con contratto MAS3-CT95-0004 e da istituzioni Nazionali quali Service Technique des Ports Maritimes et des Voies Navigables (Francia), il Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme (Francia), Rijkswaterstaat (Olanda) e il Ministerio de Obras Publicas y Transportes (Spagna).

Bibliografia

- Aarninkhof S. e Stive M.J.F. (1998) - *Monitoring the nearshore zone with the ARGUS video system: A tool for Coastal Zone Management*. Abstract for Third European Marine Science and Technology Conference, Lisbon, May 1998.
- Aarninkhof S.G.J., Janssen P.C. e Plant N.G. (1997) - *Quantitative estimations of bar dynamics from video images*. Coastal Dynamics Conference, Plymouth, June 1997 (in stampa).
- Benassai E., Gentilomo M., Ragone A., Setaro F., Tomasicchio U. (1997) - *Littoral Restoration by Means of Protected Beach Nourishment - Recent Italian Works*. PIANC.

- Bosboom J., Klopman G., Roelvink J.A. e Battjes J.A. (1997) - *Boussinesq modelling of wave-induced horizontal particle velocities*. Coastal Engineering 32, 163-180.
- Capobianco M. e Stive M.J.F. (1997) - *Soft protection technologies as a tool for integrated coastal zone management*. MEDCOAST'97, Malta, november 11-14.
- Detle H.H. (1997) - *Evaluation of longterm dune recession data*. Proc. Coastal Dynamics' 97, Plymouth, UK, June 23-27, ASCE (in stampa).
- Guillen J. e Hoekstra P. (1996) - *The equilibrium distribution of grain size fractions and its implications for cross-shore sediment transport: a conceptual model*. Marine Geology, 135, 15-33.
- Hamm L. (1996) - *Computation of the near-bottom kinematics of shoaling waves*. Proc. 25th ICCE, Orlando Florida, ASCE, 537-550.
- Hanson H., Larson M., Kraus N.C. e Capobianco M. (1997) - *Modeling of Seasonal Variations by Cross-Shore Transport Using One-Line Compatible Methods*. Proc. Coastal Dynamics' 97, Plymouth, UK, June 23-27, ASCE (in stampa).
- Hanson H., Thevenot M.M. e Kraus N.C. (1996) - *Numerical simulation of shoreline change for longshore sand waves at a groin field*. Proc. 25th ICCE, Orlando, Florida, ASCE, 4024-4037.
- Janssen C.M. e Ribberink J.S. (1996) - *Grain-size influence on sand transport in oscillatory sheet flow*. Proc. 25th Int. Conf. on Coastal Engng., Orlando, FL, USA, ASCE, (in stampa).
- Katopodi I., Ribberink J.S., Ruol P. e Lodahl C. (1994) - *Sediment transport measurements in combined wave-current flows*. Proc. Coastal Dynamics'94 Conf., Barcelona, Spain, ASCE, 837-851.
- Larson M., Kraus N.C., Hanson H. e Gravens M.B. (1997) - *Beach Topography Response to Nourishment Operations at Ocean City, Maryland*. Proc. Coastal Dynamics' 97, Plymouth, UK, June 23-27, ASCE (in stampa).
- Larson M. e Hanson H. (1996) - *Schematized numerical model of three-dimensional beach change*. Proc. 10th Congress of APD-IAHR, Langkawi island, Malaysia (in stampa).
- Lechuga A. (1997) - *Una Estrategia de Defensa de Playas. Algunos Ejemplos Internacionales*. IV Jornadas españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Cadiz (Spain), May.
- Nourtec (1997) - *Innovative Nourishment techniques evaluation. Final Report*. Coord. Rijkswaterstaat/RIKZ, The Hague, The Netherlands.
- Peters K., Newe J. e Dette H.H. (1997) - *On beach nourishment design*. Proc. Coastal Dynamics' 97, Plymouth, UK, June 23-27, ASCE (in stampa).
- Peters K., Newe J. e Dette H.H. (1996) - *Development of underwater beach profile by monochromatic and random waves*. Proc. 25th ICCE, Orlando, Florida, ASCE.
- Ribberink J.S. e Al-Salem A.A. (1995) - *Sheet-flow and suspension of sand in oscillatory boundary layers*. Coastal Engineering, 25, 205-225.
- Santas J.C. et al. (1997) - *Monitorización de la nueva playa de la Zurriola, Gros, en San Sebastian*. IV Jornadas españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Cadiz (Spain), May.
- Spanhoff R., Biegel E.J., Van de Graaff J. e Hoelstra P. (1997) - *Shoreface nourishment at Terschelling, the Netherlands: feeder berm or breaker berm?* Proc. Coastal Dynamics'97, Plymouth, June 23-27, ASCE (in stampa).
- Stive M.J.F., Guillen J. e Capobianco M. (1996) - *Bar migration and dune face oscillation on decadal scales*. Proc. 25th ICCE, Orlando, Florida, ASCE, 2884-2896.
- Tánczos I.C., de Meijer R.J., Ribberink J.S. e Janssen C.M. (1997) - *Selective transport of heavy and light minerals under asymmetric waves*. Submitted to Sedimentology.