

Evoluzione dei criteri di protezione dei litorali italiani

Le spiagge italiane, che fino a quasi tutto il secolo XIX avevano mostrato una tendenza all'avanzamento, a partire dai primi decenni del secolo scorso iniziarono ad essere soggette a fenomeni erosivi sempre più generalizzati; e ciò proprio quando nella fascia costiera si sviluppavano centri residenziali e turistici, vie di comunicazione ed insediamenti industriali.

La risposta all'erosione fu affidata al Ministero dei Lavori Pubblici che, sulla base di una legge specifica del 1907, ebbe il compito di intervenire per la difesa degli abitati con l'indicazione di utilizzare opere a scogliera.

Le strade lungomare furono spesso difese con opere radenti e le stesse strutture sono state diffusamente utilizzate anche per proteggere nuovi ampliamenti a mare dei centri urbani e nuove infrastrutture viarie costruite anche all'interno di centri storici, come è avvenuto, ad esempio a Napoli ed a Bari. Anche la protezione di quelle spiagge su cui si erano costruite le infrastrutture di quella che avrebbe poi preso il nome di industria turistica, venne perseguita con la costruzione di opere a scogliera, privilegiando l'efficacia dell'intervento rispetto ai problemi di ordine ambientale e paesaggistico che si venivano a creare.

La difesa della costa, che in pratica si identificava con la difesa degli abitati, fu attuata in modo sostanzialmente indifferenziato su tutte le coste italiane, tanto che progetti praticamente identici furono attuati lungo tutti i litorali italiani, dalla Romagna alla Toscana, dalla Calabria alla Liguria, indipendentemente dalle diverse condizioni geografiche e di esposizione meteomarina.

Scogliere parallele separate da varchi vennero costruite a difesa delle spiagge turistiche, prevalentemente in Emilia Romagna e nelle Marche; e spesso l'evidenza della loro immediata efficacia ha distolto l'attenzione da quelle che erano le interazioni tra queste e le spiagge adiacenti, che venivano successivamente interessate dagli stessi fenomeni erosivi.

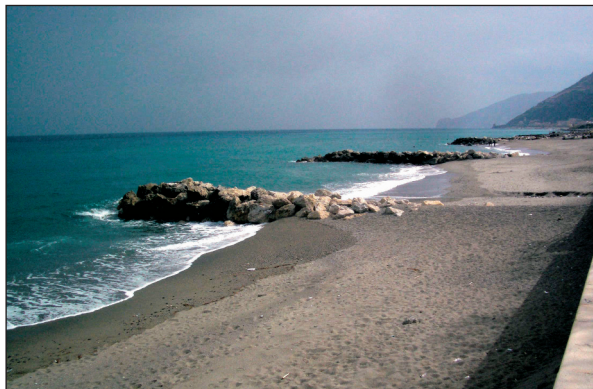
Risultò quindi inevitabile difendere tratti di litorale sempre più ampi, ed attualmente questo tipo di opere protegge qualche centinaio di chilometri di spiagge adriatiche e, in misura minore, tratti di costa tirrenica, prevalentemente in corrispondenza delle foci dei fiumi maggiori.

In molti casi furono costruite difese con opere ortogonali alla linea di costa, i pennelli a scogliera, allo scopo di limitare il trasporto lungo riva, adottando una tipologia di opere già note per la difesa delle sponde fluviali. Nella seconda metà del secolo scorso i pennelli cominciarono ad essere utilizzati in Italia, non solo come opere isolate, ma come estesi sistemi di difesa, sulla scia dei risultati conseguiti con opere di questo tipo sulle spiagge del Baltico e del Mare del Nord.

Per molto tempo la comunità tecnico-scientifica, anche a livello internazionale, non ha proposto sistemi di difesa diversi dai due classici adottati per decenni: scogliere distaccate parallele a riva ed interrotte da varchi e pennelli perpendicolari a riva.



Difese con scogliere parallele a Civitanova Marche.



Pennelli in massi naturali (Capo d'Orlando, Sicilia).

I limiti di questi sistemi diventarono sempre più evidenti man mano che cresceva la sensibilità ai problemi ambientali e l'attenzione alla tutela del paesaggio: entrambi inducevano la necessità di costruire nuove strutture nei tratti di costa posti sottoflutto e l'interfaccia terra mare assumeva aspetti sempre meno naturali. Anche dove l'effetto di protezione è risultato molto efficace, spesso sono sorti problemi di qualità delle acque dovuti alla sedimentazione di materiali fini ed allo scarso ricambio. I pennelli hanno modificato la linea di riva creando le tipiche forme a dente di sega, limitano la percorribilità della spiaggia e rendono complessa la gestione degli arenili.

I problemi maggiori sono stati forse evidenziati in tempi più recenti, quando è stato confrontato lo stato dei fondali prima della costruzione delle difese con quello modificato dopo qualche decina di anni dall'intervento. E' risultato evidente che le opere hanno stabilizzato la linea di riva, mantenendo sostanzialmente stabile la spiaggia emersa, ma i fenomeni erosivi sono continuati, e talvolta si sono accentuati, sui fondali al largo delle difese.

E' noto come in ampi tratti della costa adriatica, immediatamente al largo dalle scogliere parallele, vi siano spesso profondità dell'ordine di 4 m, mentre in settori non protetti questa profondità si trova a molte centinaia di metri da riva.

L'analisi dell'evoluzione morfologica delle spiagge, divenuta supporto indispensabile per la gestione dei litorali, ha messo in evidenza che il problema principale dell'erosione è dovuto alla riduzione degli apporti solidi da parte dei fiumi e che, a lungo termine, le spiagge non possono essere mantenute se non con un consistente apporto artificiale di sedimenti.



Pennelli in pali di legno (Lidi di Volano, Emilia Romagna).

Negli Stati Uniti si ricostruiscono grandi spiagge quale supporto al turismo: gli esempi più noti sono gli interventi a Miami, in Florida, ed in diverse famose località della California. Nel Nord Europa si ricostruiscono spiagge in Olanda ed in Germania e, soprattutto, si svilupparono le tecnologie per il prelievo delle sabbie da fondali marini e per il loro trasferimento a costa. Questo avviene attraverso condotte in pressione in cui passa una miscela di acqua e di sabbia.

In questo modo risulta possibile il trasferimento di ingenti volumi di sabbia sulle spiagge (anche per milioni di metri cubi), quantità impensabili con l'utilizzo di cave a terra.

Il ripascimento artificiale può essere considerato oggi come la tipologia d'intervento in grado di ridurre gli squilibri della costa, sostanzialmente senza rischi di effetti indesiderati: i soli limiti sono dovuti alla disponibilità di materiali in mare ed ai costi di manutenzione.

Mentre appaiono in via di soluzione i problemi di approvvigionamento di sedimenti marini, anche con la messa in servizio di nuove draghe in grado di operare fino a fondali superiori a 100 m, che rendono sfruttabili giacimenti fino ad ora non coltivabili, appaiono ancora importanti i problemi legati al mantenimento delle spiagge ricostruite.

E' evidente che, se una spiaggia era soggetta a fenomeni erosivi, questi rimarranno presenti anche dopo la ricostruzione e quindi sarà necessario un apporto continuo di sabbia dello stesso ordine di grandezza di

quello stimato come perdita prima dell'intervento, a meno che non si provveda alla costruzione di nuove opere di protezione finalizzate alla riduzione delle perdite.

Nuovi criteri di intervento

Nella difesa delle coste si sono affermati, almeno a livello della comunità scientifica, alcuni concetti di base: le spiagge non possono essere create e neppure mantenute a lungo termine con le sole opere di difesa e non esiste un criterio di intervento da poter applicare ovunque come era stato fatto per le scogliere parallele. La risposta all'erosione deve essere studiata tenendo conto della situazione di ogni singola località, determinando le cause, quantificandone l'intensità ed analizzando le possibili soluzioni.

Negli ultimi anni si è progressivamente affermato il concetto che dove le spiagge sono state erose il più adeguato intervento è certamente la loro ricostruzione utilizzando idonei sedimenti: questi possono provenire da cave a terra, se i volumi sono limitati, ma per interventi molto importanti è necessario utilizzare cave marine. Ciò ha consentito, in alcuni casi, la ricostruzione di ampi tratti di spiaggia simili a quelle presenti un tempo, come avvenuto sui litorali della Laguna Veneta e sulla spiaggia del Lido di Ostia, che rappresentano gli interventi maggiori realizzati in Italia, anche se simili soluzioni sono state adottate per la protezione delle coste, oltre che in altri tratti del litorale laziale, anche in Emilia Romagna ed in Campania.

Nei casi in cui sono scomparse dai fondali le barre sabbiose che un tempo esercitavano una funzione di protezione provocando il frangimento delle onde lontano dalla riva, si può ricorrere alla loro ricostruzione con apporto di nuovi sedimenti sui fondali. In questo caso possono essere utilizzati sedimenti dragati in mare di dimensioni inferiori a quelli presenti sulla spiaggia emersa e che, se portati sulla spiaggia, risulterebbero poco stabili o modificherebbero le caratteristiche degli arenili. Le stesse tecniche di prelievo e trasporto possono essere utilizzate per ricostruire i fondali che hanno subito approfondimenti a seguito della protezione con scogliere. In questi casi è possibile l'utilizzo di materiali meno costosi o di più facile reperibilità, come ad esempio quelli provenienti dal dragaggio di foci fluviali o di canali di accesso ai porti.

La protezione delle nuove spiagge è attuata con opere tali da ridurre gli impatti osservati per le vecchie scogliere, ricorrendo ad opere sommerse e cercando materiali alternativi ai massi naturali.

Per quanto riguarda le opere sommerse, sono state condotte negli ultimi 10 anni importanti ricerche, anche con finanziamenti europei, allo scopo di comprenderne meglio il funzionamento e fornire indicazioni precise per la loro progettazione.

L'effetto protettivo di opere trascinabili è affidato principalmente alla dissipazione dell'energia del moto ondoso che avviene per frangimento. Le esperienze di laboratorio hanno mostrato che il frangimento delle onde sulle barriere provoca importanti gradienti di livello perpendicolarmente alla linea di costa, con innalzamento del livello medio sul lato riva. Tale dislivello della superficie libera induce una circolazione, caratterizzata da correnti longitudinali (*longshore current*) e da correnti di ritorno dirette verso il largo e concentrate negli eventuali varchi (*rip current*).

Per aumentare il ricambio idrico nella zona protetta si fa affidamento sui varchi, ma a causa dell'elevata velocità delle correnti di ritorno verso il largo che vi si concentrano, si verificano fenomeni indesiderati, come erosioni localizzate del fondo e dispersione di sedimenti verso l'esterno. Le correnti in uscita costituiscono inoltre un grave pericolo per i bagnanti, come dimostrano i frequenti casi di annegamento che si verificano proprio nei tratti di mare protetti dalle scogliere parallele.

In ogni caso l'altezza delle onde nella zona riparata dalle scogliere è minore di quella presente al largo e quindi la spiaggia risulta meno sollecitata dal moto ondoso, purché siano progettate in modo tale da contenere il soprizzo e gli effetti da questo indotti.

Il sistema di circolazione che si viene ad instaurare nel sistema di barriere sommerse con varchi è comunque ormai abbastanza noto e, per quanto complesso, può essere analizzato in dettaglio anche con l'uso di modelli numerici per ottenere un dimensionamento ottimale.

Anche i criteri di progettazione delle difese ortogonali si sono evoluti: per limitare gli effetti indesiderati, sia sulle spiagge poste sottoflutto sia sulla morfologia della linea di riva, sono state sperimentate opere interamente sommerse o emerse solo per un tratto limitato al radicamento sulla spiaggia.

La protezione delle spiagge ricostruite a Pellestrina, dove sono versati alcuni milioni di metri cubi di sabbia, è affidata ad un sistema di celle realizzate dalla combinazione di barriere sommerse e pennelli parzialmente sommersi senza realizzare varchi.

La costruzione di barriere sommerse non riduce di molto il fabbisogno di massi, inoltre, l'impatto dei cantieri, che rimangono operativi spesso per alcuni anni, è tale da spingere la comunità scientifica verso la sperimentazione di nuove tecnologie. In aree non antropizzate, dove la presenza di macchine operatrici e di autocarri potrebbe compromettere gli equilibri naturali, si è fatto ricorso ad opere realizzate con pali di legno infissi, seguendo le esperienze di interventi nel Mare del Nord, dove la mancanza di cave di roccia a distanze ragionevoli ha spinto all'uso di materiali alternativi. La ricerca di soluzioni diverse, rispetto alle opere a scogliera, ha condotto a sviluppare anche manufatti in calcestruzzo ed opere realizzate con pali infissi in calcestruzzo.

Fra le nuove tipologie di opere di protezione devono essere menzionate quelle in sacchi di geotessuto riempiti con sabbia e posizionati in modo da costruire delle strutture simili a quelle in scogli, ma che richiedono tempi di esecuzione molto più brevi e minori costi.

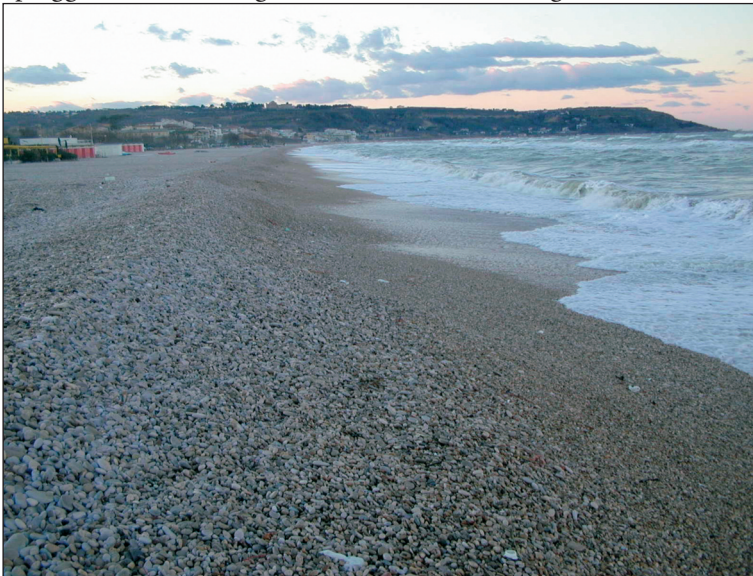
Le prime esperienze furono condotte sulle spiagge dell'Emilia Romagna, ma dopo i primi successi sono state progressivamente abbandonate per la limitata durata dei tessuti o delle cuciture. Attualmente sono presenti sul mercato tessuti prodotti con nuovi materiali molto più durevoli e molto più resistenti anche allo sfondamento ed al taglio, con i quali è possibile realizzare grandi contenitori di alcuni metri di diametro e di svariate decine di metri di lunghezza. I contenitori possono essere riempiti con la sabbia presente in zona, utilizzando pompe che immettono nei tubi in geotessuto una miscela di acqua e sabbia.

Il loro impiego è ancora molto limitato in Italia, ma vengono frequentemente utilizzati in Nord Europa e negli Stati Uniti. Il loro uso potrebbe risultare molto conveniente per opere sperimentali, in zone difficilmente accessibili a mezzi di trasporto o in aree a forte protezione ambientale, dove la presenza di macchine operatrici deve essere ridotta al minimo.

Alcuni recenti interventi sono stati indirizzati alla riqualificazione di litorali protetti da opere radenti, dove l'accesso dei bagnanti al mare risultava impedito. In questi casi si è operato con la costruzione di spiagge artificiali in ghiaia, ottenendo un miglioramento dell'efficienza in termini di protezione ed

anche un incremento della fruibilità del litorale.

In alcuni casi, per problemi di approvvigionamento di sabbia o per la necessità di utilizzare materiali più grossolani per garantirne la stabilità, sono state costruite spiagge di ghiaia o con materiali grossolani provenienti da frantumazione di inerti. Questi interventi sono stati efficaci in termini di protezione almeno quanto le scogliere radenti e, nello stesso tempo, hanno permesso il mantenimento della fruizione turistica della spiaggia. Fra gli esempi più significativi vi è la ricostruzione di alcune spiagge nelle Marche, in Toscana, (Marina di Pisa e Punta del Tesorino), in Liguria (Sestri Levante, Bordighera e Vesima) e in Sardegna



Spiaggia in ghiaia di Fossacesia (Abruzzo).

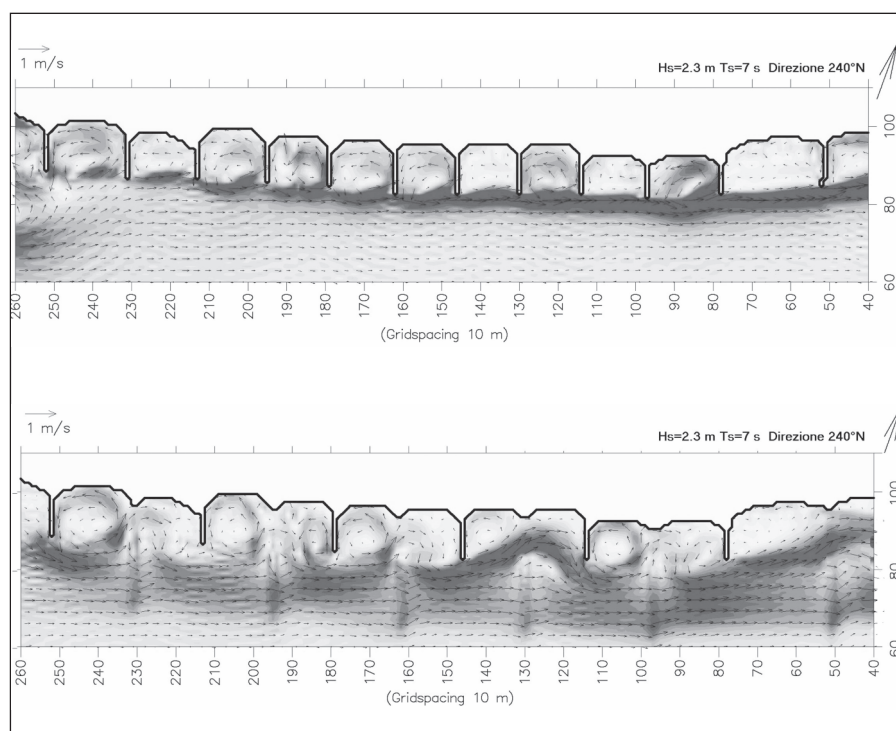
(Cala Gonone).

In generale si può affermare che, se esiste la disponibilità di nuovi sedimenti, siano essi fini provenienti da mare o grossolani provenienti da terra, può essere rivista la funzione delle opere di difesa esistenti: queste possono essere adattate alla funzione di contenimento delle spiagge ricostruite, rispondendo in modo più efficace alla richiesta di un loro uso ricreativo o migliorandone la qualità ambientale, permettendo l'attuazione di piani di riqualificazione del litorale impronibili nella logica di utilizzo delle sole opere tradizionali.

Le prove su modello quale ausilio alla progettazione

I criteri d'intervento che risultano da questa breve panoramica sono oggi molto differenziati per tipologia e per i materiali disponibili e permettono, sia a livello di gestione della costa, sia a livello progettuale, di studiare soluzioni specifiche alle esigenze dei vari tratti di litorale da proteggere.

A questo scopo risultano indispensabili studi basati su una attendibile ricostruzione delle condizioni meteorologiche, utilizzando strumenti di previsione e verifica quali modelli numerici o modelli fisici.



Campo di corrente litoranea indotta dal moto ondoso nello stato attuale (in alto) e nella previsione di una demolizione di alcuni pennelli (in basso) lungo il litorale di Marina di Massa (Toscana).

I primi hanno raggiunto un livello di dettaglio nella descrizione matematica dei fenomeni fisici che possono indurre l'utente ad attribuire ai risultati del modello una totale affidabilità, dimenticando che il modello matematico rappresenta soltanto una schematizzazione della realtà fisica, privilegiandone alcuni aspetti a scapito di altri. La scelta del tipo di modello deve pertanto essere eseguita dopo che è stata raggiunta una sicura conoscenza dei fenomeni fisici che governano il sistema e richiede un'analisi critica dei risultati prima di una loro utilizzazione ai fini progettuali.

Per quanto riguarda i modelli numerici, ne esistono di vari tipi, con diversi campi di applicazione e che permettono di ottenere differenti informazioni.

I modelli di evoluzione morfodinamica consentono di prevedere l'evoluzione di una spiaggia nel tempo sotto l'azione del moto ondoso. Quelli più noti che appartengono a questa categoria sono i cosiddetti modelli ad una linea, con i quali, date le condizioni del moto ondoso incidente, può essere prevista la futura posizione della linea di riva. Questi sono fra i modelli più diffusi e più comunemente utilizzati, ma sono anche quelli che adottano le maggiori semplificazioni dei fenomeni fisici.

I modelli più sofisticati permettono di seguire la propagazione delle onde dal largo verso costa, calcolandone le caratteristiche in una griglia con discretizzazione predeterminata e determinando l'intensità delle correnti indotte ed il conseguente trasporto litoraneo; il campo di velocità è generalmente mediato sul periodo d'onda e lungo la verticale. Questi modelli prendono il nome di "modelli 2D".

Questi strumenti risultano di grande utilità nello studio del campo di moto intorno ad opere sommerse, dove il frangimento delle onde sulle opere determina importanti gradienti del livello medio e la formazio-

ne di correnti longitudinali o correnti di ritorno dirette verso il largo che possono essere concentrate sui varchi o in corrispondenza delle testate.

Con modelli di questo tipo è possibile, ad esempio, verificare la formazione di vortici o di correnti concentrate, che causano approfondimenti localizzati del fondale e fornire indicazioni per assicurare la stabilità e l'efficienza delle opere. Molti effetti indesiderati indotti dalle opere di difesa realizzate nel passato avrebbero potuto essere evitati con una progettazione assistita da verifiche su modello numerico.

Allora, prima che si sviluppassero le tecniche (ed i mezzi di calcolo) per le applicazioni dei modelli numerici, gli studi propedeutici alla progettazione venivano talvolta eseguiti con l'ausilio di modelli fisici. Nella maggior parte delle Facoltà di Ingegneria sono presenti laboratori attrezzati con canali di larghezza e profondità dell'ordine di uno-due metri e di diverse decine di metri di lunghezza, dove è possibile la generazione di moto ondoso per analisi sul comportamento delle opere di protezione, anche in relazione agli effetti indotti sul profilo della spiaggia. In queste strutture possono essere studiati solo gli aspetti bidimensionali del campo di moto, e vengono quindi ignorati gli effetti dovuti alle correnti ed al trasporto lungo riva. Gli studi eseguiti sull'attenuazione del moto ondoso o la valutazione dei sopralzi indotti da barriere som-



La vasca del Politecnico di Bari.

merse sono effettuati con attrezzature di questo tipo. Anche i problemi di stabilità delle opere soggette al moto ondoso e di evoluzione dei profili di spiagge in sabbia o in ghiaia vengono analizzati con modelli bidimensionali.

Per le analisi dove è necessario tener conto anche dello sviluppo delle correnti lungo riva si deve ricorrere ai modelli tridimensionali, che sono in grado di riprodurre un tratto di litorale dell'ordine di qualche centinaio di metri.

Per queste prove sono necessarie vasche attrezzate con generatori di moto ondoso.

Queste strutture sono disponibili solo in alcune sedi universitarie e spesso le loro dimensioni sono adatte

prevalentemente alla ricerca. Recentemente sono state costruite due nuove vasche: all'Università di Napoli e al Politecnico di Bari. Quest'ultima, una delle più grandi d'Europa (50 m x 90 m), è certamente una struttura idonea alla verifica del comportamento di opere di difesa ed all'ottimizzazione dei parametri progettuali.

Una maggiore comprensione dei processi in atto lungo le coste, la disponibilità di strumenti di analisi sempre più sofisticati e un approccio olistico alla difesa dei litorali stanno ponendo le basi per una trasformazione dei sistemi di difesa dei litorali e, in prospettiva, dello stesso paesaggio costiero che dovrebbe riacquistare gradualmente una maggiore naturalità.