

LE PRINCIPALI TIPOLOGIE DI INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA

PROF. ING. PAOLO DE GIROLAMO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA - FACOLTÀ DI INGEGNERIA - DISAT

LABORATORIO DI IDRAULICA AMBIENTALE E MARITTIMA

APRILE 2006

File: difese costiere_2006

INDICE

1.	CLASSIFICAZIONE DELLE TIPOLOGIE DI INTERVENTO.....	3
2.	PRINCIPALI METODOLOGIE DI INTERVENTI DI TIPO DIRETTO ATTIVO.....	4
2.1	Barriere parallele o distaccate trascinabili	13
2.2	Pennelli	20
2.3	Ripascimenti.....	27
3.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	32

1. Classificazione delle tipologie di intervento

Gli strumenti comunemente adottati per la salvaguardia e la manutenzione morfologica dei litorali possono essere classificati in due categorie principali:

- interventi indiretti (di controllo, prevenzione e gestione delle risorse del territorio);
- interventi diretti di difesa dell'area litoranea.

La prima categoria comprende le disposizioni legislative e i regolamenti che si prefiggono la “gestione preventiva del territorio” in senso lato. La loro finalità è quella di controllare e limitare le cause che possono avere un effetto nocivo sulla costa. Questi provvedimenti sono finalizzati ad esempio a limitare i fenomeni di riduzione del carico solido con cui i corsi d'acqua alimentano naturalmente l'ambiente costiero o i fenomeni di degrado ed antropizzazione delle fasce dunali e retrodunali, a regolare il rilascio delle concessioni demaniali ad uso balneare e le relative strutture, a riqualificare la fascia costiera prevedendo, dove possibile, l'arretramento delle infrastrutture esistenti (strade, ferrovie, ecc.) ecc.

La seconda categoria comprende gli interventi realizzati direttamente nell'area costiera al fine di controllarne l'evoluzione morfologica. Tali interventi si distinguono tradizionalmente in interventi di difesa di tipo “attivo”, nel caso in cui essi siano in grado di alterare l'idrodinamica costiera e/o il relativo trasporto solido, o di tipo “passivo” nel caso in cui proteggano passivamente il territorio costiero dall'azione del mare senza alterare sostanzialmente il trasporto longitudinale.

Appartengono alle difese di tipo attivo:

- le barriere parallele o distaccate trascinabili;
- i pennelli;
- gli interventi di ripascimento,
- gli impianti o i sistemi di *by-pass* della sabbia.

Le tipologie di opere sopra elencate possono essere combinate tra di loro generando sistemi di difesa di tipo misto.

Vengono considerate difese di tipo passivo le difese “aderenti” o “radenti” quali:

- i muri di sponda;
- i rivestimenti in massi (naturali o artificiali) della berma;
- gli interventi di ricostituzione e protezione naturale (con piantumazione di specie vegetali autoctone) delle dune.

Nel seguito si pone l’attenzione sui primi tre interventi di tipo “diretto-attivo” sopra elencati in quanto più facilmente impiegabili nel caso di litorali destinati alla fruizione turistico-balneare.

Si evidenzia che gli interventi di “tipo diretto attivo” possono a loro volta essere distinti in metodi di “difesa pura” e di “ripascimento”. Mentre con i primi ci si pone l’obiettivo di ridurre la capacità delle correnti generate dalle onde frangenti di movimentare il materiale solido, con i secondi ci si prefigge lo scopo di modificare il bilancio solido costiero, versando artificialmente sul litorale il materiale che non viene più fornito dai fiumi. In tale modo si cerca di riportare a valori complessivi positivi o nulli il bilancio solido litoraneo.

2. Principali metodologie di interventi di tipo diretto attivo

Nelle figure 1 e 2 sono rappresentate schematicamente, senza pretese di completezza, le principali metodologie di difesa pura delle spiagge e quelle che contemplano ripascimenti puri e controllati. Nel redigere tali schemi si è deciso di riprodurre solo le tipologie più comuni evidenziando gli accorgimenti che si ritengono essenziali per un buon comportamento del singolo sistema di difesa.

Storicamente i metodi “di difesa” (vedi fig. 1) hanno preceduto quelli “di ripascimento” (vedi fig. 2), per motivi facilmente comprensibili, che vanno dalla possibilità di limitare gli interventi alle sole zone interessate dai fenomeni erosivi a quella di una agevole misura e contabilizzazione, alla certezza di una efficacia prolungata nel tempo. Nel secondo caso l’intervento assume generalmente una estensione non trascurabile e va ripetuto periodicamente; inoltre per la sua esecuzione occorrono mezzi d’opera complessi e costosi e nascono problemi di non facile soluzione circa i quantitativi di materiale e il reperimento delle cave di prestito.

Peraltro con il passare degli anni ci si è progressivamente accorti che alcuni dei vantaggi elencati per i primi tipi di intervento sono più apparenti che reali; ad esempio non ci si può illudere di limitare le difese a singoli tratti di costa, in quanto le ripercussioni si estendono a tutta “l’unità fisiografica”, ossia il tratto di costa all’interno del quale i sedimenti che contribuiscono a formare la spiaggia presentano movimenti “confinati” in quanto gli scambi con i litorali limitrofi sono nulli o trascurabili. A titolo di esempio la fig. 3 a) e b) evidenzia che l’inserimento di un sistema di difesa in un litorale innesca inevitabilmente fenomeni erosivi a valle, rispetto alla direzione media netta del trasporto solido longitudinale, della zona di intervento. Ancora gli interventi manutentivi sono tutt’altro che trascurabili, a causa anche delle modifiche di fondale introdotte dalla presenza delle opere. Infine, la qualità delle acque e dei sedimenti che si depositano a tergo delle opere, specialmente nel caso delle barriere distaccate emergenti, sono spesso poco compatibili con una fruibilità balneare “ottimale”.

Negli anni successivi al 1980 si è verificata inoltre una progressiva evoluzione della coscienza ambientalista, che ha portato ad un riesame critico di tutte le tipologie di intervento. Ormai, in una corretta progettazione, non si può prescindere da una comparazione fra soluzioni diverse, da effettuare non solo sotto l’aspetto tecnico-economico, ma anche tenendo conto delle ripercussioni sull’ambiente sia in fase costruttiva che di esercizio delle opere.

Gli ambientalisti sono oggi a favore degli interventi di ripascimento puro, con i quali ci si ripropone di ripristinare la spiaggia primitiva o addirittura di favorirne l’allargamento mediante l’apporto artificiale di materiale estratto da cave terrestri o marine. Di passaggio si osserva che agli interventi di ripascimento è riservato spesso l’aggettivo di “morbidi”, in contrapposizione al termine “duri” applicato agli interventi di difesa tradizionale, per sottolineare il tipo di materiale impiegato e la durezza del segno lasciato dall’uomo sull’ambiente naturale. Peraltro anche i ripascimenti puri possono dare luogo a ripercussioni sfavorevoli da prendere in esame con attenzione in fase progettuale. In primo luogo è da considerare che per una reale efficacia dell’intervento è preferibile impiegare materiale di granulometria superiore a quella presente sulla spiaggia emersa (secondo alcuni autori di diametro medio almeno doppio) rimanendo comunque nell’ambito della stessa “classe granulometrica” del materiale nativo. In caso contrario si verifica un incremento della capacità di trasporto ad opera delle correnti generate dal moto ondoso frangente, con necessità di interventi manutentivi frequenti e costosi; può inoltre aversi un peggioramento delle caratteristiche di fruibilità della spiaggia. E’ poi sconsigliabile l’impiego di materiale proveniente da fondali marini posti all’interno della “fascia attiva”, che comprende la fascia di possibili movimenti

trasversali (si rammenta che l'estensione della fascia è molto ampia e dipende dalla posizione della linea dei frangenti; lungo le coste adriatiche si può collocare fra i -7,0 e i -11,0 m sul l.m.m.). Per tale ragione oggi si preferisce generalmente prelevare sabbia da fondali superiori almeno ai -20÷-30 m sul l.m.m. .

Un altro punto molto importante da richiamare, a proposito dei ripascimenti, è che di solito i volumi da movimentare devono essere molto superiori a quelli strettamente necessari a causa del fenomeno denominato "overfilling", cioè delle perdite volumetriche dovute alla differente composizione del fuso granulometrico della spiaggia nativa rispetto a quello del materiale versato.

Infine è da considerare che i problemi di manutenzione di un ripascimento morbido, se accettabili in una condizione di trasporto longitudinale di modesta importanza, possono divenire insostenibili nel caso di trasporto longitudinale rilevante. E' stato dimostrato (Weggel, 1986) che il costo "attualizzato" di interventi di difesa di puro ripascimento cresce rapidamente quando si riducono i tempi di asportazione del materiale versato per azione del moto ondoso. Ciò può dimostrare ampiamente l'utilità dell'inserimento, all'interno di un intervento di ripascimento "puro", di opere atte a limitare l'asportazione del materiale versato.

Le considerazioni precedenti hanno spinto spesso ad eseguire ripascimenti con materiali estratti da cave terrestri e di granulometria anche grossolana. Si ottiene in tal modo una spiaggia artificiale senza dubbio più stabile, ma meno gradevole di quella originaria. Inoltre si può ottenere l'effetto di incrementare la pendenza trasversale di equilibrio in prossimità della battigia, con conseguente incremento dell'energia dei frangenti, maggiore risalita dell'onda e peggioramento generale delle condizioni sia di stabilità della spiaggia sia di fruibilità balneare.

Più spesso si è ricorso ai cosiddetti ripascimenti "protetti" o "controllati", unendo cioè all'intervento di apporto di materiale esterno una serie di opere tese a minimizzare le perdite, sia trasversali che longitudinali (vedi fig. 2).

Il tipo di ripascimento "controllato" più prossimo a quello "puro" è quello che prevede il contenimento del piede del materiale versato con una "barra" artificiale di materiale con granulometria molto più elevata del materiale di riporto (al limite una vera e propria scogliera). La barra ha lo scopo precipuo di fissare l'altezza limite dell'onda che può aggredire il ripascimento retrostante, provocando il frangimento di tutte le onde di altezza incompatibile con la quota di

sommità della barra stessa. La presenza della barra al piede è frequente in molte spiagge dette “sospese” (perched beaches), realizzate anche in prossimità di coste rocciose in Francia e in Italia per rendere più gradevole l’uso del litorale. Meno frequente è il suo impiego per interventi di grande estensione ed è sicuramente da sconsigliare in presenza di una rilevante componente del trasporto solido longitudinale. Particolare cura deve essere posta ai tratti di estremità dell’intervento. Questa soluzione è stata adottata nel 1990 per la difesa della spiaggia di Ostia dal pontile della Vittoria al Canale dei Pescatori (si tratta di un ripascimento sabbio-ghiaioso protetto da una barriera longitudinale sommersa lunga circa 2,5 km con sommergenza di -1,5 m sul l.m.m. priva di varchi) dove la presenza di un marcato trasporto longitudinale ha recentemente evidenziato la necessità di accoppiare alla barriera sommersa pennelli trasversali, come rilevato anche da Franco et al. (2004).

La presenza di un trasporto longitudinale anche di modesta entità, ma non nullo, ha spinto spesso ad integrare la “barra” artificiale con un sistema di pennelli trasversali, più o meno distanziati, emergenti o sommersi, realizzando così delle vere e proprie “celle” a pianta rettangolare, con ridotte possibilità di scambio fra celle adiacenti e quindi con ridotti oneri manutentivi (vedi fig. 2 – B2 e B3). L’intervento viene spesso indicato con il nome di “scatole di sabbia”. Si citano a titolo di esempio gli interventi di Pellestrina, realizzato dal Consorzio Venezia Nuova, quello di Focene a nord di Fiumicino, realizzato dalla Regione Lazio e quello di Casalbordino in Abruzzo realizzato dal Comune di Casalbordino.

Dal punto di vista costruttivo sia per le barriere che per i pennelli sono state utilizzate le tipologie più varie, passando dalle scogliere ai sacchi, o alle “tubazioni” in geotessuto riempito di sabbia. I risultati di questi interventi, adottati con frequenza negli ultimi quindici anni lungo le coste adriatiche e sporadicamente in quelle laziali (Terracina e Fondi) e toscane (Versilia), non sono stati sempre all’altezza delle aspettative. E’ evidente comunque che gli interventi stessi spesso vanno estesi a lunghi tratti di costa ed in alcuni casi alle intere unità fisiografiche interessate al fine di impedire spiacevoli ripercussioni nelle zone a “sottoflutto” (vedi fig. 3). Lungo le coste adriatiche ciò pone problemi non indifferenti, a causa sia dell’estensione notevole delle unità fisiografiche sia della componente bidirezionale del trasporto solido longitudinale.

Interventi di ripascimento senza barriere artificiali ma con soli pennelli trasversali sono stati proposti allo scopo di limitare il trasporto solido longitudinale (vedi fig. 2 – B.4).

La tipologia più promettente sembra essere quella che prevede pennelli molto distanziati ma anche abbastanza lunghi allo scopo di “spezzare” l’unità fisiografica in sub-unità quasi indipendenti l’una dall’altra. Ciascuna sub-unità diventa una spiaggia alveolare (“pocket beach”) isolata dalle altre (vedi fig. 4). In tal modo si può riuscire a garantire il mantenimento della curvatura media delle falcate costiere originali, oggi non più stabili a causa della riduzione del trasporto solido fluviale che in passato ne garantiva la stabilità dinamica. Esempi cospicui si hanno in Olanda, lungo la costa occidentale danese ed in numerose altre località del nord Europa; in Italia può citarsi il recente esempio della spiaggia del Cavallino a nord della laguna di Venezia. Esempi interessanti di questo tipo possono trovarsi nel libro di Silvester e Hsu (1997).

Un inconveniente è che in occasione delle mareggiate lungo i pennelli si manifestano vivaci correnti idriche dirette verso il largo (dette di “rip”) responsabili della dispersione dei sedimenti verso il largo e che possono risultare pericolose per i bagnanti oltre a ingenerare fosse di erosione da tenere presenti in fase di progetto per salvaguardare la stabilità delle opere.

Per ridurre l’importanza delle correnti di “rip” si è ritenuta opportuna l’adozione di pennelli cosiddetti “a T o a martello”, contraddistinti nella parte più foranea da un elemento trasversale di dimensioni più o meno cospicue, il cui costo è elevato per le maggiori profondità di posa e le condizioni di esposizione al moto ondoso, rispetto a quelle tipiche dei pennelli. In questi casi si è preferito generalmente disporre gli interi pennelli emergenti rispetto al livello medio marino, dando luogo a celle all’interno delle quali il materiale di ripascimento assume, per effetto della diffrazione alle estremità dei martelli, un andamento tipicamente curvilineo. Come accennato in precedenza, si ottiene in definitiva una spiaggia “alveolare” tipica delle piccole unità fisiografiche naturali delimitate da promontori rocciosi (vedi fig. 2 – B5).

Anche se l’intervento può apparire, dal punto di vista degli ambientalisti, piuttosto “rigido” non si può disconoscere che, a fronte delle opere di difesa parallele a riva con piccoli varchi, esso presenti aspetti estremamente favorevoli dal punto di vista degli impatti sull’ambiente. Basta citare il fatto che la libera visuale del mare antistante è garantita per la maggior parte dell’estensione della spiaggia, ne più ne meno di quanto accade nelle “pocket beaches” naturali. Anche il ricambio idrico è cospicuo, a garanzia di favorevoli caratteristiche igienico-ambientali. La presenza delle scogliere consente la vita di una fauna ittica non trascurabile e l’esercizio della pesca ai numerosi dilettanti che in tutto il corso dell’anno si dedicano a tale attività. Infine le scogliere stesse forniscono nel periodo estivo un valido riparo per le piccole imbarcazioni che si affollano lungo ogni spiaggia.

Il sistema di difesa a spiagge alveolari può essere studiato ponendo particolare attenzione all'armonico inserimento nel contesto naturale. Esso è abbastanza flessibile e pertanto consente uno studio architettonico-urbanistico che ne aumenti la godibilità. Un esempio cospicuo in Italia è quello della difesa della ferrovia nel tratto di litorale che va da Paola a S. Lucido in Calabria.

Nei prossimi paragrafi vengono fornite alcune informazioni aggiuntive sul comportamento idraulico e sui principali parametri di dimensionamento delle tipologie di opere di difesa costiere utilizzabili nel caso di litorali soggetti a fruizione turistico-balneare, rimandando comunque ai testi specializzati per i necessari approfondimenti.

Come verrà evidenziato, ogni singola tipologia offre vantaggi e svantaggi. Al fine di “massimizzare” i vantaggi e di “minimizzare” gli svantaggi di ciascuna di esse, la tendenza attuale è quella di integrare le varie tipologie generando “schemi misti” di intervento i principali dei quali sono stati già descritti in precedenza (vedi fig. 1 e 2). Tuttavia nel seguito per descrivere le varie tipologie di intervento si è conservata l'impostazione tradizionale, sicuramente efficace dal punto di vista espositivo che consiste nell'analizzare separatamente ciascuna tipologia al fine di fornirne i principi di funzionamento e di conseguenza di evidenziarne i campi di applicabilità, nonché i vantaggi e gli svantaggi.

Nell'individuare lo schema più opportuno da utilizzare caso per caso, occorre abbandonare la vecchia logica che prevedeva la definizione “dell'onda di progetto” sulla base della quale dimensionare tutti i parametri dell'intervento. Tale onda infatti se pure può essere considerata rappresentativa ai fini del calcolo della stabilità dell'opera, non lo è rispetto al comportamento dinamico del litorale che si “riadatta” in continuazione alle forzanti idrauliche variabili che si susseguono nel tempo. Pertanto risulta di fondamentale importanza condurre caso per caso l'analisi delle forzanti meteomarine (onde, livelli e vento) con l'obiettivo di individuare per le forzanti “scenari” rappresentativi sia di condizioni medie (molto frequenti) che estreme (rare).

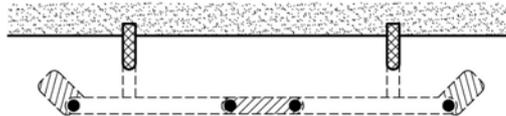
Opere di difesa pura (A)



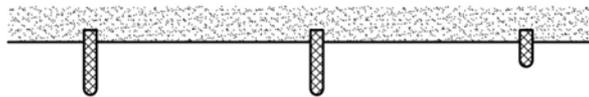
A1) Difese radenti



A2) Difese parallele (o distaccate)
tracimabili con varchi protetti



A3) Difese con barriera distaccata a debole sommergenza
(-0.50 m s.l.m.m.) con varchi protetti, isolotti di segnalazione
e pennelli parzialmente sommersi (cella tipo)



A4) Difese con pennelli ortogonali



A5) Difese con pennelli a "T"



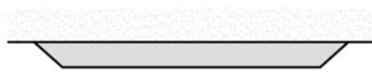
A6) Difese con isolotti

Legenda:

-  Costa originale
-  Opera emergente dal l.m.m.
-  Opera sommersa
-  Varco o soglia di fondo protetti
-  Isolotti di segnalazione

Fig. 1

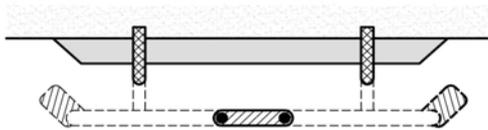
Opere di ripascimento puro e controllato (B)



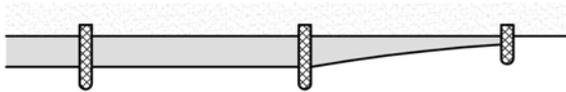
B1) Ripascimento puro



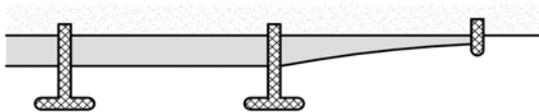
B2) Spiaggia sospesa.
Ripascimento con barra al piede
(berma di sommità -1,5/-1,8 m s.l.m.m.)
e pennelli parzialmente sommersi (cella tipo)



B3) Ripascimento protetto con barriera a debole sommergenza
(-0,50 m s.l.m.m.) con varchi protetti, isolotti di segnalazione
e pennelli parzialmente sommersi (cella tipo)



B4) Ripascimento protetto con pennelli ortogonali



B5) Spiagge alveolari
Ripascimento protetto con pennelli a "T"

Legenda:

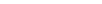
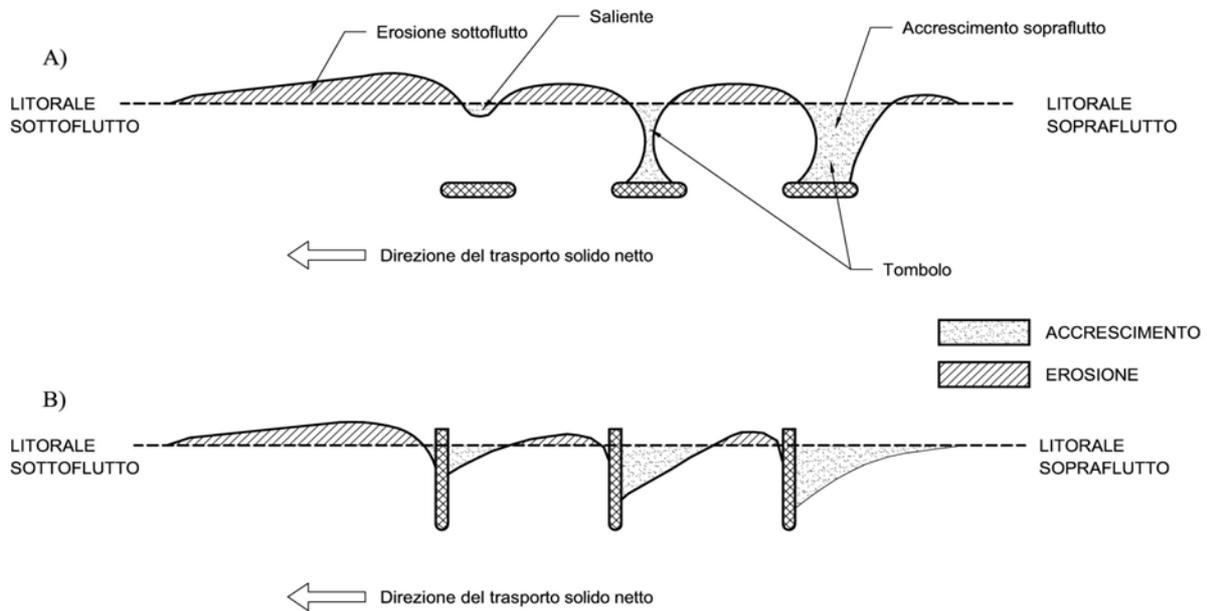
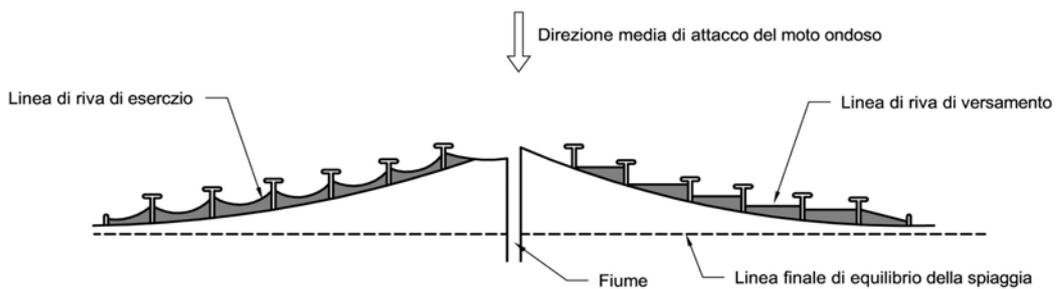
-  Costa originale
-  Ripascimento
-  Opera emergente dal l.m.m.
-  Opera sommersa
-  Varco o soglia di fondo protetti
-  Isolotti di segnalazione

Fig. 2

Schema illustrativo dei fenomeni accrescitivi ed erosivi che si verificano sopraflutto e sottoflutto causati da:
 a) formazione di salienti e tomboli nel caso di barriere distaccate emergenti;
 b) riorentamento della linea di riva nel caso di pennelli.



Schema illustrativo di un delta fluviale in corso di demolizione per riduzione degli apporti solidi ed utilizzo di pennelli lunghi a "T" per la stabilizzazione della linea di costa



Figg. 3 e 4

2.1 Barriere parallele o distaccate tracimabili

Le barriere parallele o distaccate tracimabili (vedi fig. 5) sono opere di difesa, generalmente del tipo a gettata, poste a distanza dalla linea di riva e con andamento planimetrico solitamente parallelo ad essa. Giaciture planimetriche diverse da quella parallela alla costa possono essere giustificate solo in presenza di moto ondoso incidente proveniente esclusivamente da un ristretto settore direzionale obliquo rispetto alla normale alla linea di riva. Questa situazione è assai rara nelle applicazioni ed in modo particolare lungo le coste abruzzesi.

Il principio ispiratore di queste opere è quello di causare il frangimento delle onde determinando al loro tergo una zona protetta dall'attacco diretto del moto ondoso incidente. Il loro comportamento idraulico è simile a quello dei "reef" naturali che delimitano le lagune degli atolli corallini. Qualora il fondo sia costituito da materiale incoerente (sabbia o ghiaia), queste opere determinano anche una variazione del trasporto solido costiero favorendo la sedimentazione di materiale al loro tergo. Ovviamente il materiale "catturato" dall'opera di difesa viene sottratto ai litorali limitrofi e per tale ragione sono sempre da aspettarsi ripercussioni sui tratti di costa adiacenti.

La quota di coronamento dell'opera può essere imposta inferiore o superiore al livello medio marino. Nel primo caso l'opera è definita sommersa, è sempre tracimabile in presenza di moto ondoso ed ha un comportamento simile a quello dei reef corallini. Nel secondo l'opera potrà essere o non essere tracimabile a seconda delle condizioni idrauliche che si verificano (livelli ed onde). Tuttavia le opere emergenti, a causa delle modeste quote di coronamento che di solito vengono utilizzate nei nostri mari, dovute sia a ragioni di impatto visivo sia economiche, si comportano durante le mareggiate di maggiore intensità come opere tracimabili e per tale ragione vengono anche definite in tal modo. In questo caso le portate di tracimazione risultano variabili e dipendenti sia dalla quota di coronamento dell'opera sia dalle condizioni meteomarine che si verificano (livelli ed onde).

Nel caso di opere sommerse, al fine di garantire ridotti coefficienti di trasmissione e quindi di ridurre il moto ondoso incidente sulla costa, risulta necessario realizzare larghezze di coronamento maggiori rispetto a quelle delle opere emergenti.

Nel caso di opere emergenti, l'impiego di varchi tra un'opera e l'altra risulta strettamente necessario per i seguenti motivi:

- assicurare il necessario ricambio idrico tra la zona protetta ed il largo;
- assicurare l'accessibilità nautica alla costa;
- contenere l'impatto visivo cioè la limitazione della visuale verso il mare aperto.

E' buona norma prevedere sempre la protezione del fondo dei varchi con berme in pietrame.

Per quanto riguarda le opere sommerse, qualora la profondità del loro coronamento sia superiore al metro, esse potrebbero, in linea di principio, essere realizzate anche per lunghi tratti in modo continuo cioè senza prevedere varchi. Tuttavia, poiché il coefficiente di trasmissione di queste opere, cioè la loro efficacia nel proteggere la costa dal moto ondoso incidente, risulta inversamente proporzionale alla loro quota di sommergenza, di solito in presenza di forti innalzamenti di livello in condizioni di tempesta (sovrizzo di tempesta = marea astronomica + marea meteorologica) il loro coronamento viene posto di poco al di sotto del livello medio marino (opere a debole sommergenza) risultando quindi indispensabile anche in questo caso l'impiego di varchi che devono essere opportunamente protetti con una berma in pietrame. Si evidenzia che per il litorale abruzzese e più in generale per tutto l'Adriatico centro settentrionale, sovrizzi di tempesta dell'ordine del metro sono relativamente frequenti (più volte all'anno).

Prima di passare a descrivere da un punto di vista qualitativo l'idrodinamica costiera generata da questo tipo di opere, si evidenzia che a causa delle forti correnti longitudinali che si generano nella zona protetta in presenza di opere a debole sommergenza, ormai si sconsiglia il loro impiego se non abbinate a pennelli, come indicato in fig. 1-A3.

Nelle figure 6 e 7 sono riportati due schemi che illustrano le correnti generate dal moto ondoso frangente sul lato protetto dall'opera nel caso di attacco ondoso ortogonale alla linea di costa e batimetria rettilinea e parallela. La fig. 6 mostra l'idrodinamica nel caso di barriere emergenti ed in condizioni idrauliche tali da determinare una portata di tracimazione sull'opera trascurabile o nulla. In questo caso la linea dei frangenti in corrispondenza dei varchi si localizza planimetricamente più verso il largo rispetto a quella che si localizza nella zona protetta dall'opera. Ricordando che le onde frangenti determinano all'interno della zona di "surf" un aumento medio del livello marino direttamente proporzionale all'altezza delle onde al frangimento, nella zona compresa tra le opere e la costa si instaura uno squilibrio di livelli con valori massimi che si posizionano in corrispondenza

dei varchi e valori minimi localizzati nelle zone protette dalle opere (vedi sezione A-A di fig. 6). Questo squilibrio di livelli origina la circolazione idrodinamica media riportata in figura che, in presenza di materiale di fondo incoerente, facilita la sedimentazione a tergo delle opere ove si localizzano i salienti o i tomboli (vedi fig. 3-a). La formazione del saliente o del tombolo dipende dal rapporto d/L_B (vedi fig. 5 d). Nel caso in cui si formi il tombolo, l'opera si comporta come un pennello a "T".

Nel caso di barriere sommerse o di barriere emerse in condizioni idrauliche tali da dar luogo ad una tracimazione rilevante, l'idrodinamica ora descritta cambia radicalmente. In questo caso, con riferimento alla fig. 7, si instaurano tra i varchi forti correnti di ritorno (dette di "rip") che favoriscono la fuoriuscita del materiale all'esterno del sistema di difesa. La formazione delle correnti di "rip" provoca l'approfondimento dei fondali tra i varchi con la formazione di veri e propri canali che penetrano verso la riva. Ciò può essere facilmente verificato mediante l'esecuzione di rilievi batimetrici. Per evitare tali fenomeni, si è evidenziata in precedenza la necessità di proteggere sempre i varchi con berme in pietrame (vedi figure 5-d, 1-A2 e 1-A3).

Le correnti di rip sono pericolose anche per la balneazione. Ciò risulta ancora più evidente se si tiene conto anche del fatto che queste opere, riducendo il moto ondoso incidente sulla spiaggia, riducono anche la percezione del rischio da parte dei bagnanti. Pur non esistendo statistiche ufficiali, si è notato che mediamente la frequenza di morte per annegamento risulta superiore nei litorali difesi rispetto a quelli non difesi. Sicuramente un provvedimento efficace per limitare il numero di incidenti, potrebbe essere quello di predisporre una adeguata cartellonistica che avvisi del possibile pericolo i bagnanti.

Gli schemi idrodinamici sopra descritti, pur consentendo una prima interpretazione del comportamento idraulico di questo tipo di opere, possono subire delle rilevanti modifiche nei casi reali. Tali modifiche sono dovute sia ad angoli di attacco del moto ondoso obliqui rispetto alla normale alla costa, sia alla conformazione dei litorali e dei fondali che di solito presenta un andamento planimetrico non così regolare come quello schematizzato nelle figure. Per tale ragione risulta opportuno caso per caso studiare l'idrodinamica costiera sia in presenza che in assenza del sistema di difesa che si intende realizzare, mediante l'utilizzo di idonea modellistica numerica e/o fisica.

Per quanto riguarda i principali campi di impiego di questo tipo di opere, sebbene una generalizzazione delle possibili situazioni applicative risulti sempre difficile da operare, in prima approssimazione si può affermare che le opere di difesa parallele trovano il loro principale campo applicativo nel caso di litorali soggetti ad attacchi di moto ondoso ortogonali rispetto alla costa. Tuttavia si rileva che poiché esse offrono (specialmente quelle emergenti) una diretta protezione del tratto di litorale posto al loro tergo, spesso sono state preferite ai pennelli anche nel caso di moto ondoso obliquo. Nel caso di opere sommerse e moto ondoso incidente obliquo, l'accoppiamento con pennelli che si devono intestare sulla difesa distaccata è sicuramente da prendere in esame.

I principali parametri geometrici che caratterizzano questo tipo di opere sono riportati nella tab. 1 e nella fig. 5. Dei parametri indicati solo alcuni hanno un'influenza diretta sull'idrodinamica e sulla morfodinamica litoranea. I restanti riguardano le caratteristiche strutturali dell'opera.

Per quanto riguarda i primi, i principali sono:

- la profondità di imbasamento della barriera rispetto al l.m.m. (h);
- la quota di coronamento della barriera rispetto al l.m.m. (R_c);
- la larghezza del coronamento della barriera (B);
- la distanza dalla linea di riva (d);
- lo sviluppo longitudinale della barriera (L_B);
- l'ampiezza del varco tra le barriere contigue (L_V);
- il rapporto tra la distanza della barriera dalla riva e lo sviluppo longitudinale della barriera (d/L_B).

Per quanto riguarda i secondi, i principali sono:

- la pendenza del paramento lato terra ($1/n_t$);
- la pendenza del paramento lato mare ($1/n_m$);
- lo spessore del rivestimento (mantellata) (S_R);
- lo spessore dello strato di imbasamento (S_I).

Relativamente al dimensionamento idraulico e strutturale di queste opere, si rimanda i testi specializzati.

Si evidenzia infine che alcune delle caratteristiche geometriche delle opere dipendono anche dalle modalità realizzative.

Si cita che recentemente, nell'ambito del progetto di ricerca europeo denominato DELOS, sono state prodotte delle "linee guida", i cui estremi sono riportati nei riferimenti bibliografici, per il dimensionamento di tali opere.

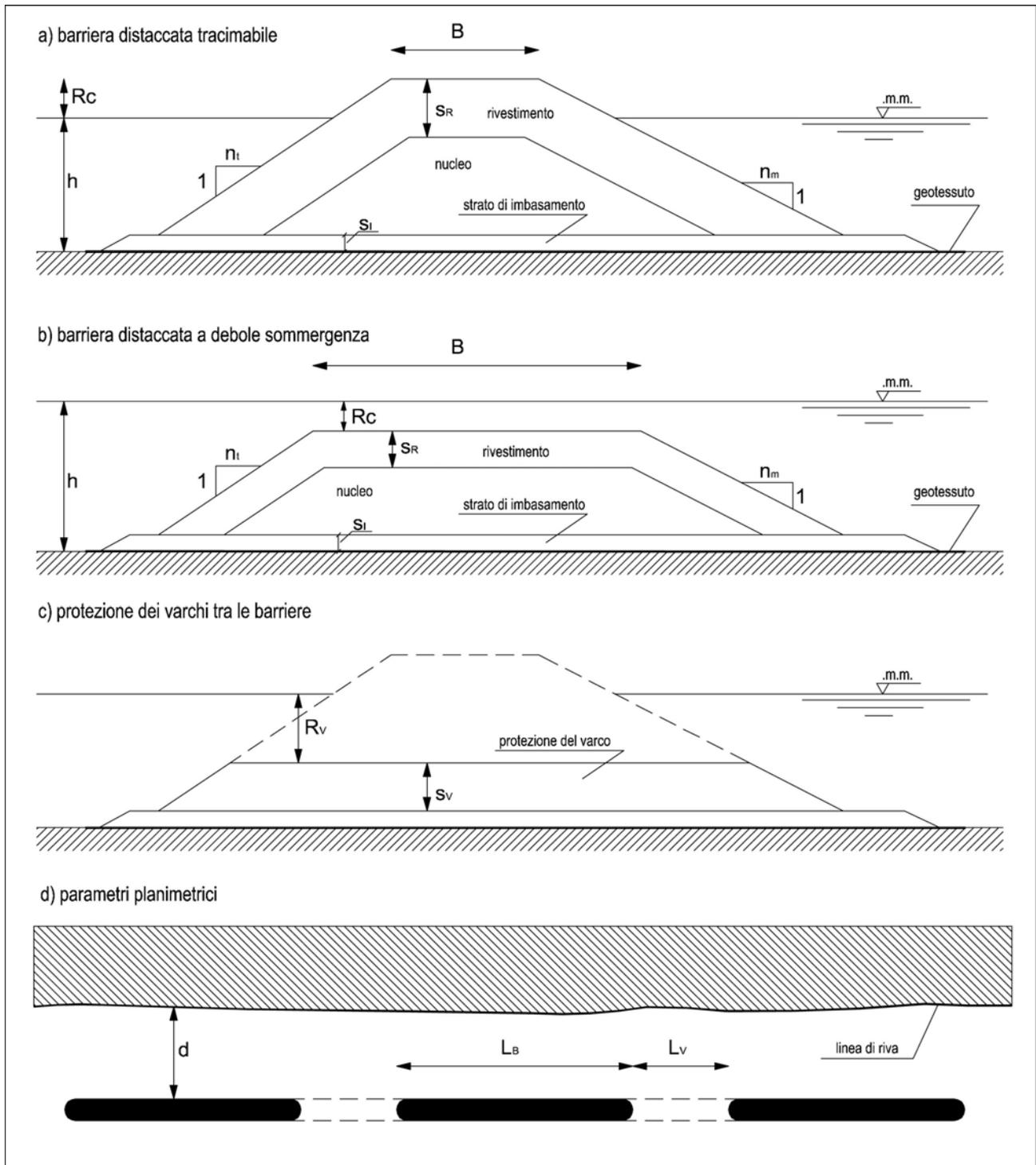


Fig. 5

	Parametro	Campo di variabilità
h	profondità di imbasamento della barriera rispetto al l.m.m.	2,5 4,5 m
Rc	quota di coronamento della barriera rispetto al l.m.m.	-1,5 2,0 m
B	larghezza del coronamento della barriera	3,0 15,0 m
1/n_t	pendenza del paramento lato terra	1:1 1:2
1/n_m	pendenza del paramento lato mare	1:1,5 1:3
S_R	spessore del rivestimento	$\geq 2 D_R$ (*)
S_I	spessore dello strato di imbasamento	0,5 1,0 m
d	distanza della barriera dalla linea di riva	variabile
L_B	sviluppo longitudinale della barriera	variabile
L_V	ampiezza del varco tra le barriere contigue	variabile
R_V	quota di coronamento della protezione del varco rispetto al l.m.m.	variabile
S_V	spessore dello strato di protezione del varco rispetto al l.m.m.	variabile
d / L_B	rapporto tra la distanza della barriera dalla riva e lo sviluppo longitudinale della barriera	variabile (regola la formazione del saliente o del tombolo)

(*) D_R = diametro medio degli elementi lapidei costituenti il rivestimento, variabile in funzione della pezzatura dei massi, solitamente compresa tra 1 e 7 t.

Tab. 1 - Parametri caratteristici delle barriere parallele (o distaccate) tracimabili e a debole sommergenza

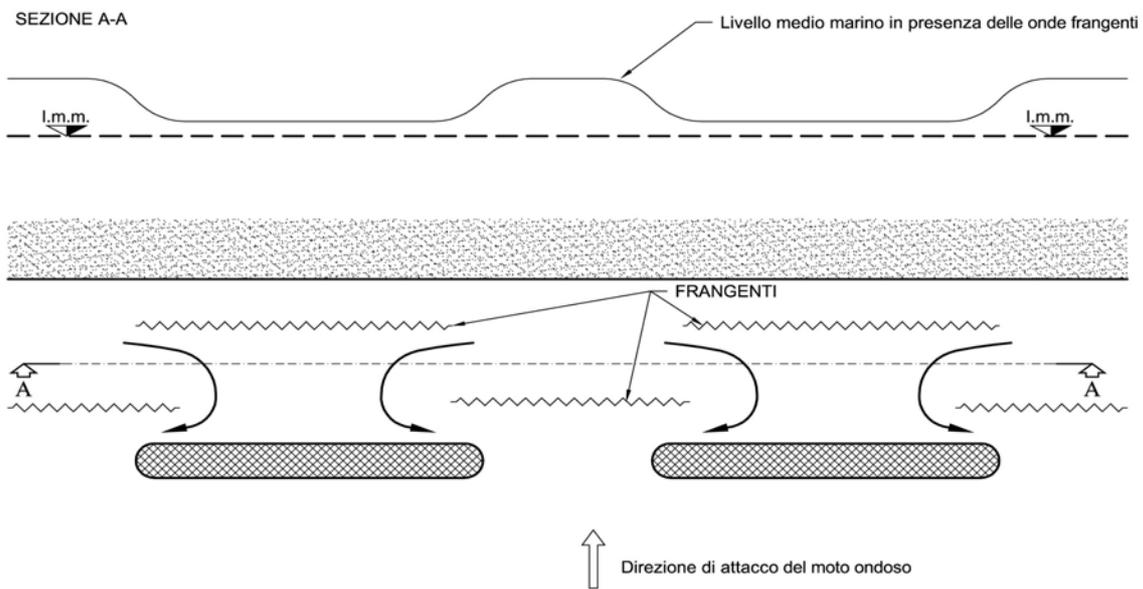


Fig. 5.7 Schema illustrativo delle correnti indotte dal moto ondoso frangente sul lato protetto da opere distaccate emergenti in assenza di trasmissione ondosa attraverso le barriere

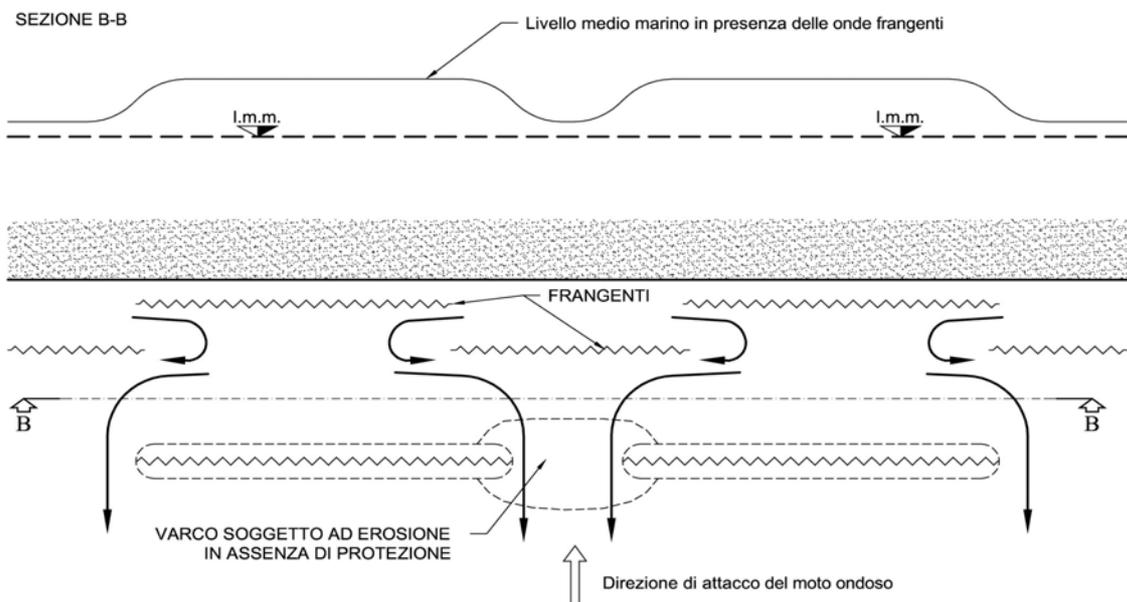


Fig. 5.8 Schema illustrativo delle correnti indotte dal moto ondoso frangente sul lato protetto da opere distaccate emergenti o sommerse in presenza di trasmissione ondosa attraverso la struttura

Figg. 6 e 7

2.2 Pennelli

I pennelli sono opere di difesa, solitamente del tipo a gettata, con andamento planimetrico ortogonale o leggermente obliquo rispetto alla linea di riva (vedi fig. 8).

A differenza delle barriere distaccate che operano indirettamente sul trasporto solido costiero creando una zona di calma dal moto ondoso incidente dove è favorita la sedimentazione del materiale solido, il principio di funzionamento dei pennelli si basa sull'intercettazione diretta del trasporto solido longitudinale. Di conseguenza essi trovano la loro immediata applicazione in presenza di attacco di moto ondoso obliquo rispetto alla costa, cioè in presenza di un trasporto solido longitudinale.

La loro efficacia nell'intercettare i sedimenti dipende in modo prevalente dalla loro lunghezza, nel senso che all'aumentare di essa aumenta la portata solida longitudinale intercettata. Se la lunghezza è tale da intercettare l'intero trasporto solido longitudinale essi vengono definiti "lunghi" e creano una nuova sezione di chiusura all'interno dell'unità fisiografica originale, viceversa vengono definiti "corti".

Bloccando parte del trasporto solido longitudinale, i pennelli provocano a monte l'avanzamento della linea di riva, mentre a valle l'arretramento, dove monte e valle sono riferiti alla direzione del trasporto longitudinale (vedi fig. 3-B). Questa particolare risposta morfologica della linea di costa in presenza di un pennello viene spesso utilizzata per valutare dalle osservazioni di campo la direzione media del trasporto solido longitudinale. Si osserva al riguardo che sostanziali variazioni da tale comportamento si possono verificare sia nel caso di foci fluviali armate con pennelli in presenza di alimentazione solida litoranea ad opera dei corsi d'acqua, sia nel caso di regimi di trasporto solido bimodali.

In presenza di una serie di pennelli, la linea di battigia compresa tra ciascuna coppia di pennelli tende a ruotare per orientarsi ortogonalmente alla direzione media di attacco del moto ondoso incidente, annullando in tal modo la componente longitudinale del flusso solido. Ciò produce la formazione di una giacitura planimetrica stabile della linea di riva a forma di "dente di sega". In tale modo è possibile stabilizzare anche litorali in condizioni di forte instabilità quali ad esempio quelle che si vengono a creare lungo le falcate delle cuspidi focali formate dai delta fluviali quando si

verifica una drastica riduzione del trasporto solido fluviale. La conformazione planimetrica a “dente di sega” generalmente è addolcita dall’effetto di diffrazione intorno le testate e dalla variabilità della direzione delle onde incidenti favorendo la formazione di lunate tra un pennello e l’altro (vedi fig. 4).

Da un punto di vista costruttivo, i pennelli devono essere radicati adeguatamente a terra per evitare che possano essere “aggirati” sopraflutto dal trasporto longitudinale ad opera del “run up” delle onde, oppure “cortocircuitati” sottoflutto a seguito del nuovo orientamento della linea di riva.

Lungo il loro sviluppo longitudinale, la quota di coronamento può essere posta ovunque al di sopra del l.m.m. (valori positivi). In tal caso si definiscono “emergenti”. Se invece la quota di coronamento degrada da valori positivi a riva a valori negativi procedendo verso il largo, si definiscono “parzialmente sommersi”. A parità di profondità raggiunta dalla testata dell’opera, un pennello parzialmente sommerso presenta una maggiore “permeabilità” al trasporto solido longitudinale di uno emergente.

Spesso il coronamento dei pennelli viene regolarizzato, ad esempio con elementi prefabbricati di calcestruzzo, per garantirne la pedonabilità durante il bel tempo. Si è osservato che i pennelli pedonabili sono graditi dagli utenti in quanto diventano un elemento singolare sulle spiagge sabbiose dove si può prendere il sole, pescare ed osservare il litorale da una prospettiva diversa. Tuttavia essendo opere soggette a tracimazione è buona norma predisporre anche in questo caso una adeguata cartellonistica per avvertire dei possibili pericoli.

Nel caso in cui essi vengano realizzati in serie nell’ambito di un sistema di difesa, un ulteriore parametro geometrico importante è costituito dall’interasse tra un pennello e l’altro. In generale l’interasse è correlato alla lunghezza dei pennelli. Se l’interasse viene sottostimato, si rischia di ridurre l’efficienza del singolo pennello e quindi di aumentare ingiustificatamente il costo complessivo delle opere. Viceversa se è sovrastimato, si possono formare correnti “di rip” naturali tra un pennello e l’altro con conseguenti perdite “localizzate” di sedimenti verso il largo. In questo caso inoltre la rotazione eccessiva della linea di riva potrebbe causare aggiramenti dei pennelli o eccessivo arretramento nella parte centrale non protetta. Si coglie l’occasione per evidenziare che attualmente la ricerca internazionale ha rivolto parte della sua attenzione proprio alla formazione delle correnti di rip su falcate naturali. La formazione di tali correnti è favorita da fenomeni di instabilità delle correnti longitudinali indotte dalle onde di bordo (edge waves) di tipo infragravitazionale.

Dal punto di vista dell'influenza sulla morfodinamica costiera, spesso sono assimilabili a pennelli anche altre opere costiere come ad esempio quelle portuali inserite su falcate sabbiose. Se ben contestualizzate nell'ambito di sistemi di difesa costieri anche le opere portuali possono essere utilizzate per la stabilizzazione di litorali in erosione. In Abruzzo un esempio di questo tipo è costituito dal Porto di Giulianova che ha contribuito a "sostenere" il tratto di litorale posto a nord di esso.

Nelle figure 9 e 10 sono riportati due schemi che illustrano le correnti generate dal moto ondoso frangente sia nel caso di attacco obliquo di moto ondoso sia nel caso di attacco ortogonale alla costa. Nel primo caso nelle zone d'ombra create dai pennelli la posizione planimetrica della linea dei frangenti si localizza più a riva rispetto a quella che si viene a trovare al di fuori di tale zona. Di conseguenza, come indicato nella sezione A-A, si instaura uno squilibrio di livelli che provoca la formazione di una corrente "di rip" nella zona di sottoflutto del pennello che favorisce la fuoriuscita di materiale solido dalla "fascia attiva". Per evitare o contenere tale fenomeno è consigliabile conformare a "T" la testata dei pennelli. In tal modo si favorisce la formazione di celle di circolazione chiuse che tendono a mantenere il materiale all'interno della singola cella. Nella fig. 10 è riportato il caso di attacco ortogonale con la corrente di rip che tende a spostarsi al centro della cella quando la linea di riva e la batimetria si dispone a "lunata". Si osserva che questa situazione a rigore non si dovrebbe presentare nei casi applicativi in quanto i pennelli "puri", cioè non accoppiati ad altri sistemi di difesa quali ad esempio le barriere sommerse, dovrebbero essere utilizzati solo in presenza di un deciso trasporto longitudinale e quindi di incidenza obliqua del moto ondoso.

I principali parametri geometrici che caratterizzano la tipologia a gettata di questo tipo di opere sono riportati nella tab. 2 e nella fig. 8. I parametri che dominano gli aspetti idrodinamici sono:

- la profondità di imbasamento della testata del pennello rispetto al l.m.m. (h);
- la lunghezza del pennello (L_P) e, se parzialmente sommerso, la lunghezza del tratto emergente (L_{PE}) e di quello sommerso (L_{PS});
- l'interasse tra i pennelli (I_P);
- la quota di coronamento del tratto di pennello sommerso rispetto al l.m.m. (R_{CS});
- la quota di coronamento del pennello rispetto al l.m.m. (R_C);
- la quota di radicamento a terra del pennello rispetto al l.m.m. (R_{CT});

mentre quelli di carattere strutturale sono:

- la pendenza del paramento ($1/n_p$);
- lo spessore del rivestimento (S_R);
- lo spessore dello strato di imbasamento (S_I).

Come nel caso precedente si rimanda ai testi specializzati per il dimensionamento idraulico e strutturale.

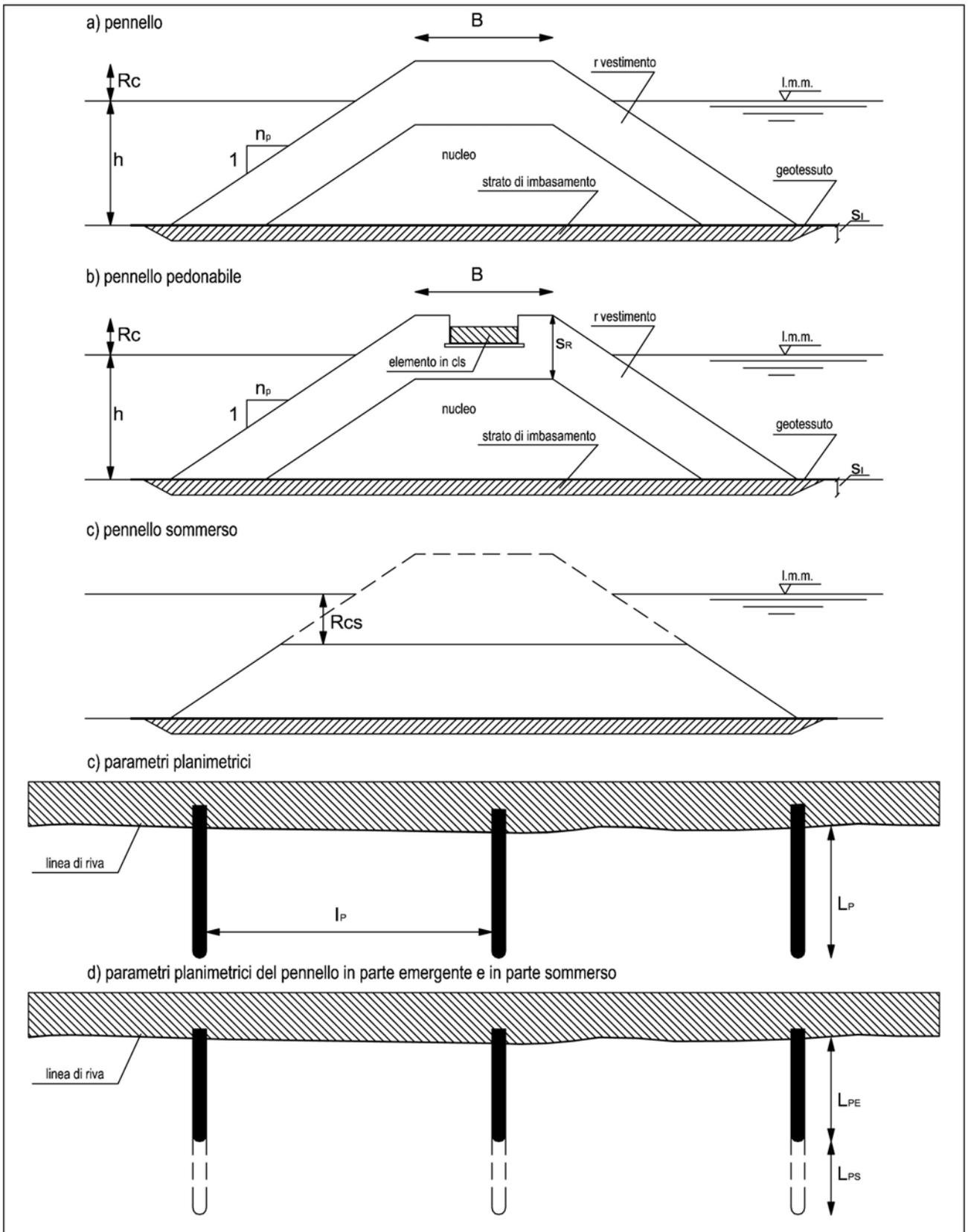


Fig. 8

	Parametro	Campo di variabilità
h	profondità di imbasamento della testata del pennello rispetto al l.m.m.	2,5 4,0 m (*)
Rc	quota di coronamento del pennello rispetto al l.m.m.	0,5 1,5 m
R_{CT}	quota di radicamento a terra del pennello rispetto al l.m.m.	1,0 2,0 m
B	larghezza del coronamento del pennello	3,0 6,0 m
1/n_p	pendenza dei paramenti	1:1 1:2
S_R	spessore del rivestimento	$\geq D_R$ (**)
S_I	spessore dello strato di imbasamento	0,5 1,0 m
L_P	lunghezza del pennello	variabile
I_P	interasse tra i pennelli	variabile
Rcs	quota di coronamento del pennello sommerso rispetto al l.m.m.	- 0,5 - 2,0 m
L_{PE}	lunghezza del pennello emergente	variabile
L_{PS}	lunghezza del pennello sommerso	variabile
I_P/L_P	rapporto tra interasse e lunghezza dei pennelli	regola la capacità di intercettazione del trasporto solido longitudinale e la stabilizzazione della linea di riva

(*) I valori indicati valgono mediamente per i “pennelli corti”. Nel caso di “pennelli lunghi” la profondità di imbasamento delle testate deve essere tale da bloccare il trasporto longitudinale.

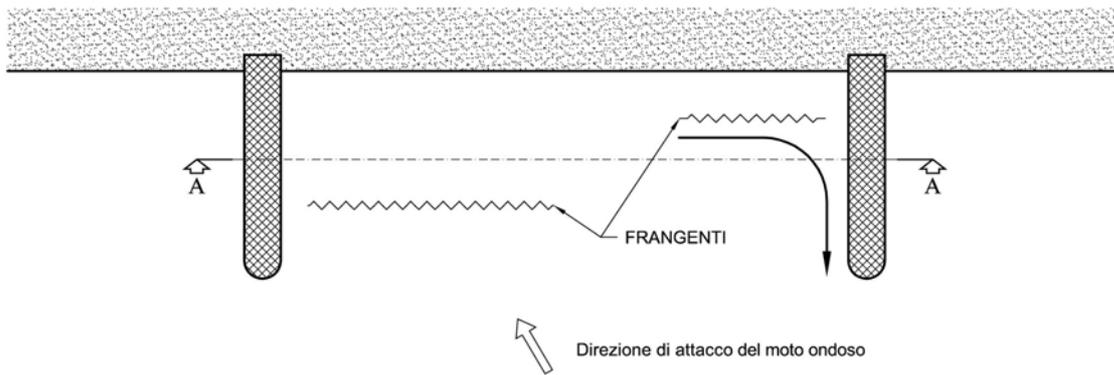
(*) D_R = diametro medio degli elementi lapidei costituenti il rivestimento, variabile in funzione della pezzatura dei massi, solitamente compresa tra 1 e 7 t.

Tab. 2 - Parametri caratteristici dei pennelli

SEZIONE A-A

Livello medio marino in presenza delle onde frangenti

I.m.m.

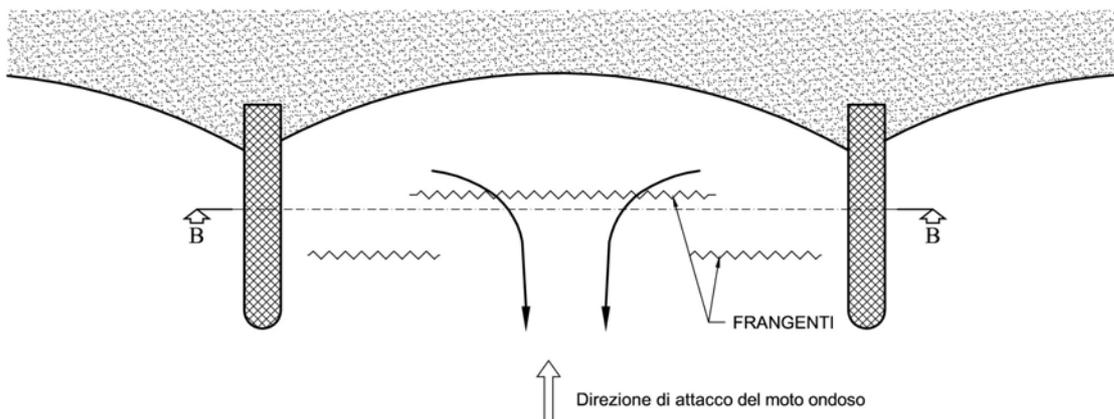


Schema di riferimento per l'idrodinamica indotta da pennelli vicini con onda incidente obliqua

SEZIONE B-B

Livello medio marino in presenza delle onde frangenti

I.m.m.



Schema di riferimento per l'idrodinamica indotta da pennelli vicini con onda incidente ortogonale e batimetria a forma di lunata

Fig. 9 e 10

2.3 Ripascimenti

I ripascimenti consistono in versamenti periodici di sabbia e/o ghiaie lungo il litorale in quantitativi tali da fornire un contributo positivo e significativo al bilancio solido litoraneo al fine di indurre un ampliamento artificiale della spiaggia. A differenza delle opere descritte in precedenza il cui obiettivo generale è quello di arrivare ad una stabilizzazione del litorale modificando la meccanica del trasporto solido costiero, con i ripascimenti ci si pone l'obiettivo di rimuovere la causa dei fenomeni erosivi che dipende generalmente in modo primario dalla mancanza di alimentazione solida dei litorali ad opera del trasporto solido fluviale. Pertanto, da un punto di vista concettuale un intervento di ripascimento puro non può essere concepito come un intervento "una tantum" ma deve necessariamente prevedere versamenti periodici protratti nel tempo fino a quando non viene rimossa la causa dei fenomeni erosivi. In sostanza quindi il calcolo delle perdite medie annue del materiale di ripascimento e la definizione degli intervalli di tempo compresi tra un versamento e l'altro costituiscono una parte essenziale e di primaria importanza del progetto di un ripascimento.

Ovviamente il campo di applicazione ottimale di un ripascimento puro è quello di litorali a trasporto solido longitudinale pressoché nullo. Questa situazione si verifica molto raramente fatta eccezione per le "pocket beaches" cioè spiagge ben confinate da promontori rocciosi naturali.

Come osservato in precedenza, per ridurre gli oneri medi annui di manutenzione si tende ad eseguire interventi di ripascimento di tipo controllato (vedi fig. 2).

Quando possibile, è consigliabile integrare gli interventi di ripascimento con la ricostruzione artificiale della duna costiera al fine di "riequilibrare" positivamente il bilancio solido dell'intero sistema costiero restituendo alla spiaggia e ai terreni retrostanti il litorale l'originale sistema di difesa naturale. Purtroppo ciò non sempre è possibile poiché la posizione originaria della duna di solito è occupata da infrastrutture ed edifici che ne pregiudicano la ricostruzione. Il progetto di una duna artificiale deve prevedere necessariamente la stabilizzazione del materiale dalla deflazione eolica mediante la piantumazione di specie arboree autoctone o l'inserimento di barriere antivento.

I principali parametri che caratterizzano i ripascimenti sono riportati nella tab. 3 e nella fig. 11.

Da un punto di vista geometrico il principale parametro che occorre stabilire è la larghezza o profondità minima della nuova spiaggia. Nel caso in cui la spiaggia artificiale debba svolgere anche la funzione di difendere infrastrutture costiere, tale larghezza deve essere fissata in relazione a criteri di sicurezza cioè valutando le quote massime raggiungibili dal moto ondoso in presenza di

mareggiate che dipendono dalla larghezza della spiaggia. Fissata la larghezza minima occorre individuare la larghezza che si deve ottenere con il versamento affinché durante l'intervallo di tempo compreso tra un versamento e l'altro non si verifichi mai che la spiaggia assuma una larghezza inferiore a quella minima stabilita. Queste analisi sono di solito piuttosto complesse e delicate ed una loro corretta valutazione richiede l'impiego di una adeguata modellistica numerica. In alcuni casi è necessario integrare gli studi anche mediante l'impiego di modellistica fisica.

In generale la larghezza della spiaggia a fine versamento risulta notevolmente maggiore rispetto a quella "a regime" a causa del fatto che la sabbia, per necessità operative, viene posta in opera con profili di versamento ripidi, lasciando al moto ondoso il compito di risagomare il profilo trasversale. Di solito chi osserva gli interventi di ripascimento rimane fortemente deluso dopo la prima mareggiata poiché è in tale occasione che si verifica la maggiore riduzione della larghezza di spiaggia. Pertanto è buona norma sensibilizzare a priori l'opinione pubblica spiegando che la riduzione di larghezza della spiaggia è "fisiologica" ed è stata prevista in sede progettuale.

Alcune considerazioni sulle caratteristiche granulometriche del materiale di ripascimento sono già state fornite in precedenza. In questa sede si evidenzia anche l'importanza delle caratteristiche mineralogiche del materiale di ripascimento in quanto queste possono influire sulla "consunzione" del materiale dovuta a fenomeni abrasivi o di carbonatazione e sulla consistenza strutturale legata anche alla forma e dimensione dei granuli e quindi nel complesso sulla durabilità dell'intervento a prescindere dalle perdite connesse alla dinamica costiera. Un ulteriore fattore connesso alle caratteristiche mineralogiche, più o meno importante a seconda della "sensibilità" locale degli utenti, è costituito dal colore del materiale di ripascimento.

Anche se generalmente si cerca di non modificare sostanzialmente tali parametri rispetto a quelli della spiaggia nativa, non si può nascondere la notevole difficoltà che si incontra nel perseguire tali obiettivi in sede di progettazione, tenendo conto del fatto che, nel caso in cui risulti necessario intervenire con ingenti volumi, raramente si può disporre di più di una cava di prestito e di conseguenza non sempre è possibile scegliere tra materiali alternativi se non sobbarcandosi a ingenti oneri economici addizionali.

Per contenere gli oneri di manutenzione oltre che al ricorso di versamenti protetti si può utilizzare la tecnica del "capital dredging". Tale tecnica parte dal presupposto che il costo unitario del materiale di versamento può essere ridotto aumentando i volumi movimentati. Ad esempio nel caso in cui le

cave di prestito siano poste lontane dai siti di versamento e su profondità elevate risulta necessario ricorrere a draghe, di solito del tipo autocaricante-refluente, di notevoli dimensioni che presentano dei costi di mobilitazione ingenti. L'incidenza di tali costi sul volume unitario tende a ridursi all'aumentare dei volumi movimentati. Pertanto potrebbe risultare conveniente prevedere zone costiere dove "immagazzinare" la sabbia approvvigionata con una grande draga. In tempi successivi, tale sabbia verrà poi rimovimentata, per effettuare gli interventi di manutenzione periodica, da mezzi marittimi di dimensioni inferiori od eventualmente anche per via terrestre.

In conclusione, oltre alla valutazione dei requisiti di qualità e di granulometria dei sedimenti da impiegare, il dimensionamento di un ripascimento si concretizza con:

1. il calcolo del bilancio dei sedimenti del tratto di litorale oggetto dell'intervento. In particolare è necessario determinare i seguenti parametri:
 - profondità di chiusura rispetto al l.m.m. (h_C);
 - altezza di risalita del moto ondoso rispetto al l.m.m. (h_S);
 - orizzonte temporale dell'intervento ovvero la "vita utile" del ripascimento (T);
 - numero di versamenti nell'orizzonte temporale dell'intervento (N);
 - portate solide longitudinali agli estremi del volume di controllo (Q_{L1} , Q_{L2});
 - perdite di sedimenti dovute al fenomeno dell'*overflow* (Q_O);
 - perdite di sedimenti dovute al trasporto solido trasversale (Q_T);
 - volume di ripascimento (V_R);
2. la previsione dell'evoluzione della linea di riva nel tratto di litorale oggetto dell'intervento al fine di garantire la funzionalità dell'intervento di ripascimento come sistema di difesa costiera. In particolare è necessario determinare i seguenti parametri:
 - posizione della linea di riva dopo il versamento lungo il litorale oggetto dell'intervento (Y_R);
 - posizione della linea di riva ad un anno dal versamento lungo il litorale oggetto dell'intervento (Y_{E1});
 - posizione della linea di riva a T anni dal versamento lungo il litorale oggetto dell'intervento (Y_{ET}).
3. la definizione delle sezioni trasversali tipo di versamento e di esercizio.

Anche in questo caso si rimanda ai testi specializzati per il dimensionamento idraulico di tali parametri.

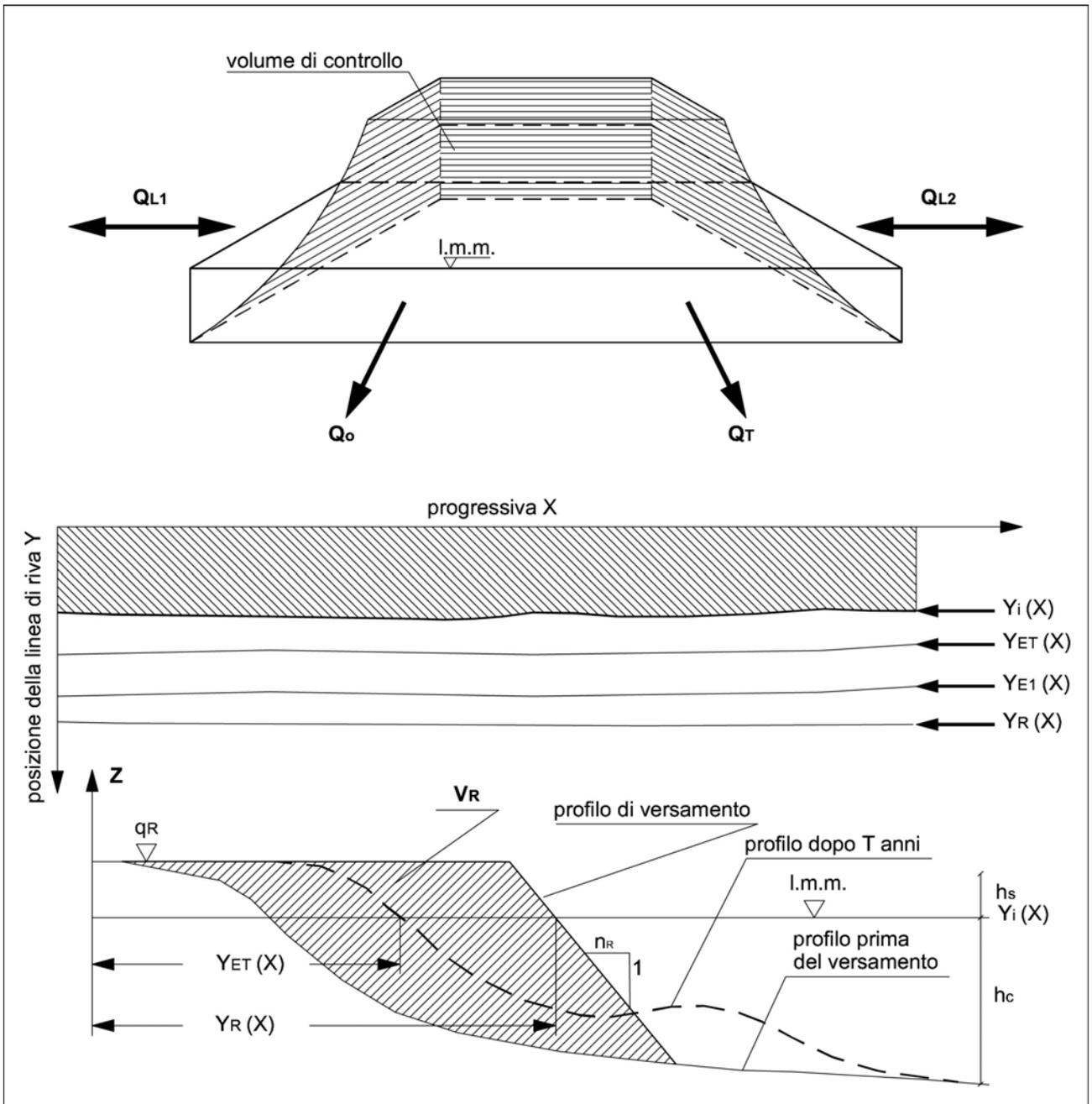


Fig. 11

	Parametro
M	diametro medio dei sedimenti
σ	deviazione standard dei sedimenti
h_C	profondità di chiusura rispetto al l.m.m.
h_S	altezza di risalita del moto ondoso rispetto al l.m.m.
X	progressiva del tratto di litorale oggetto dell'intervento
T	orizzonte temporale dell'intervento
N	numero di versamenti nell'intervallo di tempo T
$Y_i(X)$	posizione iniziale della linea di riva lungo il litorale oggetto dell'intervento
$Y_R(X)$	posizione della linea di riva dopo il versamento lungo il litorale oggetto dell'intervento
$Y_{E1}(X)$	posizione della linea di riva ad un anno dal versamento lungo il litorale oggetto dell'intervento
$Y_{ET}(X)$	posizione della linea di riva a T anni dal versamento lungo il litorale oggetto dell'intervento
$Q_{L1} Q_{L2}$	portate solide longitudinali agli estremi del volume di controllo
Q_O	perdite di sedimenti dovute al fenomeno dell' <i>overflow</i>
Q_T	perdite di sedimenti dovute al trasporto solido trasversale
q_R	quota del versamento rispetto al l.m.m.
$1/n_R$	pendenza del profilo di versamento
$V_R(X)$	volume di ripascimento

Tab. 3 - Parametri caratteristici dei ripascimenti

3. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Arcilla, A., Jiménez, J.A., Valdemoro, H.I., 2000. " Assessing vulnerability on low-lying coastal areas". Proceeding of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability and Adaptation to impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR), Hamburg, Germany, 19th-21st June 2000.
2. Corsini, S., Inghilesi, R., Franco, L., Piscopia R., "ATLAS – Atlante delle onde nei mari italiani", APAT, ottobre 2004.
3. Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Deliberazione n. 151 del 26/6/91. "Istruzioni tecniche per la progettazione e l'esecuzione di opere di protezione costiera".
4. Consorti, V., Caputi, P., De Girolamo, P., 1999. "La gestione integrata delle aree costiere con tecnologie GIS", Atti III Conferenza Nazionale ASITA, Napoli.
5. Consorzio Venezia Nuova, Modimar, 1999. Studio C.2.1/IV - "Modelli matematici, fisici e rilievi ondametris per il sistema di gestione delle sabbie di ripascimento - Analisi di rischio", Venezia.
6. Contini, P., De Girolamo P.. "Impatto morfologico di opere a mare: casi di studio". Atti del VIII convegno A.I.O.M., Forte di S. Teresa, 28-29 maggio 1998.
7. De Girolamo, P., Cecconi, G., Maretto, G., Contini, P., 1998. "Monitoring of Cavallino and Pellestrina beaches (Venice – Italy)". Proc. Int. Conf. On Coastlines, Structures and Breakwaters '98, I.C.E., T. Thelford, London (UK).
8. De Girolamo, P., Contini, P., 1998. "Impatto morfologico di opere a mare: casi di studio", Convegno AIOM, Lerici.
9. De Girolamo P., Contini P., Mondini F., 1999. "Proposta di pianificazione e coordinamento dei monitoraggi delle spiagge", Ciclo di seminari sulle opere portuali e di difesa delle coste, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Sezione Italiana AIPCN-PIANC.
10. De Girolamo, P., Noli, A., Contini, P., Mondini, F., Beltrami, G. M., Franco, L., 2000. "Risk-Analysis in Coastal-Systems. Planning and Management". EXCERPTA, Vol. 14, pp. 257-271, CUEN.
11. DELOS – Environmental Design of Low Crested Coastal Defence Structures – documento D 59 Design Guidelines – Hans F. Burcharth e Alberto Lamberti – Pitagora Editrice Bologna, 2005 (draft).

12. Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade - Università di Roma "La Sapienza", 1998. "Morphological changes of a beach cross-shore profile under the attack of different sequences of sea-states", European Community – HCM Program ERBCHGECT 930031
13. Franco, L., Di Risio, M., Riccardi, C., Scaloni, P., Conti, M. 2004. "Monitoraggio del ripascimento protetto con barriera sommersa nella spiaggia di Ostia Centro", Studi Costieri, n. 8, 2004.
14. Regione Abruzzo. "Relazione sullo stato della costa". In corso di redazione nell'ambito del Progetto Sicora.
15. Silva, P., De Girolamo, P., "Interventi di rinascimento artificiale sul litorale di Pellestrina (VE)", Estratto dal volume "La difesa dei litorali in Italia", Edizione delle Autonomie, Roma, ottobre 1993.
16. Silvester, R., Hsu, J.R.C., 1997. "Coastal Stabilization". World Scientific, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 14.
17. Università degli Studi di L'Aquila, 1998. "Rapporto N. 1 – Stato della zona costiera abruzzese", Progetto R.I.C.A.MA..
18. Università degli Studi di L'Aquila, 2000. "Analisi critica della situazione attuale e individuazione di possibili scenari di intervento", Progetto R.I.C.A.MA., Fase 2 Valutazione di fattibilità di interventi di protezione e recupero morfologico.
19. Università degli Studi di L'Aquila, 2000. "Criteri di riferimento per l'equilibrio morfologico", Progetto R.I.C.A.MA..
20. Venturini, G., De Girolamo, P., Contini, P., Caputi, P., Capobianco, M., 2000 "Progettazione e realizzazione di sistemi informativi geografici (GIS) per la gestione integrata delle aree costiere", AIPCN - Atti delle Giornate di Ingegneria Costiera, V Edizione, Reggio Calabria 11-13 ottobre 2000, pag. 243-251
21. Weggel, R., 1986 "Economics of beach nourishment under scenario of rising sea level" Wat., Port, Coast. Oc. Div., ASCE, vol. 112, n.3, 1986.
22. Zadeh L., 1965. "Fuzzy sets", Information and Control, 8: 338-353.
23. Zadeh L., Bellman R.E., 1970. "Decision-making in a fuzzy environment", Management Science 17, B- 141-B-164.