

APAT

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici
Dipartimento Rischio tecnologico e Naturale

Tutor: Dr. Eutizio Vittori

Atlante dei Manufatti e delle Opere di Difesa Costiera

**A cura di
Mauro Lucarini**

Roma, giugno 2003

INTRODUZIONE: L'AMBIENTE LITORANEO

AMBIENTE COSTIERO: PROCESSI, MORFOLOGIE, DEPOSITI

Aree costiere

Nell'ambiente costiero operano quelle forze che sono dovute ai movimenti dell'acqua marina, che contribuiscono a modellare il limite tra terra e mare, rendendolo sempre meno stabile.

La linea di costa è la risultante di una serie di forze naturali ed antropiche che determinano un equilibrio estremamente instabile, in continua evoluzione e trasformazione. I processi erosivi e sedimentari sono controllati dal clima in primo luogo (attraverso i moti eustatici, la produzione di sedimenti ed il relativo trasporto da parte dei fiumi e delle correnti litoranee); a questi si aggiungono sollevamenti e subsidenze tettoniche, diagenesi dei sedimenti, ecc..

Le coste possono essere classificate considerando, insieme alla conformazione della zona strettamente costiera, anche il paesaggio retrostante:

1. Rilievi montuosi. Rilievi collinari o montuosi che raggiungono direttamente il mare. Possono essere presenti falesie o piccolissime spiagge con sedimenti grossolani. Il profilo sommerso riproduce quello soprastante.
2. Terrazzi. Rappresentano una variante della costa alta. La parte emersa presenta una superficie tabulare, risultante dall'abrasione marina di un substrato roccioso o dalla deposizione su questo di sedimenti granulometricamente gradati in senso orizzontale o verticale. Il profilo della parte sommersa riproduce quello della parte emersa.
3. Pianura litoranea stretta. Pianura elevata sul livello del mare non più di pochi metri, non più larga di qualche centinaio di metri e delimitata verso l'interno da paleofalesie o scarpate di rilievi collinari, montuosi o di terrazzi.
4. Pianura di fiumara. Corrisponde in genere a valli ampie e profonde in zona di costa alta.
5. Pianure alluvionali. Apparati deltizi, lagune o paludi costiere. Il profilo sottomarino è molto appiattito e corrisponde abbastanza bene a quello della pianura emersa.
6. Pianure di dune. Zone basse nelle quali l'abbondanza di sedimenti medio-sottili ha permesso la formazione di depositi dunari, per ampiezze da alcune centinaia di metri a qualche chilometro.

La morfologia costiera dipende quindi dal tipo di rocce presenti, dalla dimensione e dalla direzione del moto ondoso, dall'ampiezza della marea e dal profilo della parte di costa sommersa.

I sedimenti si dispongono in base alle forze che li modellano, pertanto lo studio delle forme presenti nel fondale marino (ripples, dune, fondali piatti) può fornire stime quantitative sulla forza dei fenomeni responsabili della disposizione stessa dei sedimenti.

La formazione delle spiagge

Per spiaggia si intende la zona litorale costituita da depositi incoerenti marini attuali e recenti e delimitata verso il mare dalla linea di minima bassa marea e verso terra dalle dune o dai primi affioramenti rocciosi. Essa confina verso il mare con la spiaggia sottomarina (offshore) e verso l'entroterra con la costa o le dune eoliche. Si suddivide in spiaggia intertidale (foreshore), che è delimitata dal livello medio delle alte e delle basse maree, e in spiaggia emersa (backshore), che è compresa tra il livello medio delle alte maree e la costa o le dune. Nella spiaggia intertidale si distingue generalmente un terrazzo di bassa marea e una zona di battigia: questa corrisponde alla porzione più inclinata ove avviene in prevalenza il movimento del flutto montante e della risacca. La spiaggia emersa è spesso divisa longitudinalmente dal cordone di spiaggia in due parti: backshore e foreshore. Il cordone è generato dall'accumulo di materiali abbandonati dai frangenti di costa, al di là dei limiti di influenza della risacca, ove l'acqua ritorna al mare prevalentemente per via sotterranea; può essere accresciuto anche dalle azioni del vento, che vi deposita materiali sabbiosi provenienti dall'avanspiaggia. La retrospiaggia è costituita dai depositi costieri non attuali; è eccezionalmente invasa dalle acque del mare e a luoghi racchiude degli stagni costieri.

Nella spiaggia sottomarina e in quella intertidale il materiale detritico, quando non sottoposto ad azioni violente di tempesta, viene continuamente mobilizzato dal moto ondoso subendo dei piccoli spostamenti in avanti, in corrispondenza delle creste, e all'indietro, in corrispondenza dei cavi delle onde: increspature di oscillazione.

Nelle condizioni, invece, di più o meno impetuosi frangenti di costa, i granuli vengono sollevati bruscamente da moti turbolenti: in parte vengono gettati sulla spiaggia emersa, in parte ricadono sul fondo. Le correnti di risacca tendono a trasferire verso il largo quei materiali che, sollevati dal moto ondoso, restano per un po' in sospensione presso il fondo. In particolare, i detriti più fini sollevati, trasportati, deposti e ancora rimossi, subiscono un continuo viavai verso la costa o verso il largo con traiettorie variabili.

La dinamica d'insieme di una spiaggia è generalmente caratterizzata da un'alternanza di due azioni: una di prevalente accumulo di detriti, l'altra di erosione in senso stretto del materiale. Il ritmo dell'alternanza di queste fasi può essere giornaliero o stagionale.

Dal bilancio degli apporti e dei prelievi di materiali detritici si traggono indicazioni sulla stabilità o meno di questo tipo di coste. Se nell'arco di un certo periodo è in pareggio, la spiaggia può essere considerata stabile. Al contrario, le spiagge possono essere in erosione, oppure in avanzamento, a seconda se i prelievi sono maggiori o minori degli apporti. Le particelle vengono selezionate dalle onde in base alla loro grandezza, al loro peso e alla loro forma. Le più grossolane, in genere più pesanti, vengono abbandonate sulla spiaggia, mentre quelle più fini possono essere riassunte in carico, trasportate e depositate al largo. Il materiale può anche essere gettato dai frangenti oltre il limite dell'alta marea, o comunque oltre il livello del mare in quel momento: se in questo tratto di spiaggia non ha luogo la corrente di risacca, perché le acque dei frangenti ritornano al mare per vie sotterranee, attraverso un materasso detritico permeabile, anche i detriti più fini possono rimanere sulla spiaggia.

Perciò quanto più una spiaggia è asciutta e permeabile, tanto più il processo di sedimentazione, e perciò di avanzamento della stessa è accentuato: Durante i periodi piovosi, invece, specie se accompagnati da onde alte e frequenti, i sedimenti delle spiagge diventano più o meno saturi d'acqua e perciò praticamente impermeabili: di conseguenza tutta l'acqua ritorna al mare per via subaerea, con velocità tanto maggiore quanto più la spiaggia è inclinata. A tutto ciò si deve aggiungere l'azione di spostamento e di scalzamento dei frangenti, come conseguente maggiore possibilità dei detriti ad essere presi in carico.

Per tali motivi nel periodo invernale molte spiagge appaiono in erosione: i grossi frangenti e le correnti di risacca, da un lato smantellano la spiaggia e il cordone di spiaggia, dall'altro asportano e convogliano al mare una parte dei detriti che li costituiscono.

In generale in una spiaggia in avanzamento la prevalente sedimentazione si alterna a fasi di parziali erosioni e rimaneggiamenti marini ed eolici. L'accumulo dei detriti sulla fronte verso il mare del cordone di spiaggia ne determina il progressivo avanzamento della cresta, con conseguente allargamento della retrospiaggia.

Il pendio di una spiaggia dipende soprattutto dalla granulometria degli elementi che la costituiscono; esso è tanto più acclive quanto più i sedimenti sono grossolani.

E' da tenere presente però che l'acclività dipende anche dall'energia del moto ondoso, il quale a sua volta è in parte legato all'andamento longitudinale della costa, alle sue irregolarità e all'estensione del tratto di mare antistante.

Luoghi preferenziali di accumulo di detriti e quindi di spiagge sono i tratti prospicienti le foci fluviali, in conseguenza degli abbondanti rifornimenti di materiale, oppure le baie o le aree fra isole e coste, per effetto della rifrazione delle onde.

L'azione morfologica del mare e la distribuzione dei sedimenti

Il moto ondoso, con la sua azione diretta e indiretta sui sedimenti, è l'agente principale nella distribuzione dei materiali detritici sulla piattaforma litoranea, soprattutto sulla sua parte più superficiale e sulla spiaggia emersa, mentre per le zone più profonde la distribuzione dei detriti è affidata alle correnti marine.

I sedimenti marini possono essere suddivisi in tre grandi categorie: sedimenti pelagici (piane abissali), sedimenti neritici (sedimenti dal livello della bassa marea alla scarpata continentale) e sedimenti litorali (in corrispondenza della battigia). L'ambiente neritico e litorale è interessato da cinque gruppi di depositi: autigeni (sali, anidride, glauconite, fosforite); relitti (resti di precedenti depositi); residuali (da abrasione di rocce sommerse); organogeni (residui organici per lo più calcarei); detritici (da abrasione delle rocce costiere e da trasporto solido dei corsi d'acqua). Quest'ultimo è il gruppo di depositi marini più importante.

A causa del moto ondoso si generano, soprattutto nella zona dei frangenti, delle correnti sia trasversali che longitudinali alla costa, che oltre ad avere velocità sensibili, operano in una massa liquida agitata da moti turbolenti, dai quali viene accentuata la loro capacità di rimozione e trasporto dei sedimenti. Dunque, la loro azione di trasporto può avvenire solo in presenza di formazione di vortici sul fondo, grazie alle quali i granelli sollevati sono trascinati dalle correnti durante la loro caduta.

Il moto ondoso, con la sua azione diretta ed indiretta sui sedimenti, è l'agente principale nella distribuzione dei materiali detritici sulla piattaforma litoranea, soprattutto sulla sua parte più superficiale e sulla spiaggia emersa. Diversa è l'azione del moto ondoso sui bassi fondali entro o fuori la zona dei frangenti, cioè rispettivamente si avrà una maggiore o una minore dispersione dell'energia a causa dell'attrito col fondale.

La distribuzione dei sedimenti, procedendo da terra verso il largo, è regolata dai movimenti indotti nel liquido dal moto ondoso e dalle correnti, nonché dalla forza di gravità:

- nella prima zona, il movimento dei sedimenti è dovuto prevalentemente ai frangenti ;
- nella seconda zona, l'azione del moto ondoso è limitata alle oscillazioni delle molecole d'acqua sul fondo, che spostano i granuli direttamente fino ad una certa profondità, e indirettamente oltre di essa tramite le correnti;
- nella terza zona, non si risente l'azione del moto ondoso, cosicché la distribuzione dei sedimenti avviene ad opera delle sole correnti.

In sostanza perciò in una sezione trasversale il trasporto dei materiali per effetto del moto ondoso si verifica sempre verso terra ma in conseguenza della presenza di altre forze (correnti e gravità) ciascun tipo di materiale è dal complesso delle altre forze, sollecitato a discendere lungo la scarpata

ma solo fino alla posizione che ad esso compete e a seconda delle sue caratteristiche fisiche in relazione alla pendenza del fondo ed alla intensità dell'azione marina.

La pendenza del profilo sommerso di una spiaggia è tanto più dolce quanto più l'ondazione è violenta, quanto più le onde sono ripide e quanto più la sabbia è sottile. Per conseguenza il tratto di profilo emerso si protende a spese di quello sommerso nei periodi di agitazioni deboli (estate) ed invece arretra nei periodi di forte agitazione (inverno).

Infine, la morfologia della costa ha un'importanza fondamentale sulla distribuzione dei sedimenti. Il moto ondoso e quindi la sua azione di trasporto, a causa del fenomeno di rifrazione è fortemente influenzato dall'andamento dei fondali.

In particolare, in corrispondenza di promontori, per effetto sia dell'accentuarsi dell'altezza che della ripidità dell'onda, si ha una concentrazione dell'energia. Conseguentemente si sviluppa sui promontori un'intensa azione di abrasione marina. Il detrito è indotto dalle correnti da moto ondoso a scorrere lungo le pareti rocciose fino a quando, diminuendo per rifrazione l'agitazione, la soglia di erosione non scende al di sotto della sua granulometria. Perciò i materiali più grossolani si depositano al piede dei promontori, mentre le sabbie più sottili sono sospinte nella parte più profonda delle baie, dando origine a spiagge di granulometria tanto più sottile, quanto più sono protette. Con il proseguire dell'abrasione dei promontori e dei depositi detritici nelle insenature, vengono attenuate le prominente della costa, con tendenza all'allineamento dei tratti rocciosi con quelli sabbiosi (azione rettilineante del mare).

Concludendo, la turbolenza impedisce la formazione di una spiaggia laddove un ostacolo rigido venga direttamente investito dall'onda e le sabbie vengono sospinte verso il largo ed in parte ne viene accelerato il trasporto longitudinale. Se però la formazione scoscesa è coerente ed abbastanza lontana dalla battigia, così da essere raggiunta solo dai getti alla riva, si potrà costituire una spiaggia di granulometria grossolana.

LA DINAMICA COSTIERA

L'abrasione marina

L'abrasione marina è dovuta all'effetto del moto ondoso ed in minor parte alle correnti e alle azioni biologiche di microrganismi marini.

Nella fascia superiore della piattaforma continentale l'azione del moto ondoso è di gran lunga prevalente e si esplica soprattutto nella zona dei frangenti: l'onda frange liberando la sua energia e con la sua azione asporta i detriti che, una volta franati, vengono poi rimossi dai vortici generati dal moto ondoso.

Assieme a tale azione ce n'è un'altra, di aspetto meno evidente ma di uguale importanza: gli elementi di detrito, trascinati dai vortici del moto ondoso, vengono fatti rotolare o strisciare sul fondo con mutua azione abrasiva; ciò ha per risultato da un lato il cambiamento di forma degli elementi e dall'altro una selezione dei granuli secondo la durezza della roccia che li costituisce.

Un altro fattore da considerare è il clima, poiché con esso variano sia il regime pluviometrico (e quindi le portate fluviali) sia lo stato del mare; inoltre viene notevolmente influenzato l'equilibrio del litorale, perché ad un periodo di più intense precipitazioni e quindi di maggiori apporti fluviali, corrisponderà un maggior apporto di detriti, mentre ad un periodo più siccitoso o con più frequenti mareggiate seguirà uno stadio di erosione.

Conseguenza diretta dell'abrasione è la creazione di spiagge, la cui origine può essere ricondotta a cause predisponenti (tipo di rocce, morfologia costiera, esposizione) e cause determinanti (azione eolica, glaciale, nevosa, meteorica e marina). Qualunque sia la causa dell'erosione, i detriti rimossi dal loro luogo d'origine vengono trasportati a valle ed in parte in mare, dove, distribuiti ed accumulati dal moto ondoso, vanno ad alimentare, a seconda della loro granulometria, le spiagge e la piattaforma continentale sommersa.

Fattori dell'ambiente costiero

Tra le forze che operano nella dinamica costiera vanno annoverate: i venti, il moto ondoso, le correnti marine e le maree.

I venti esercitano sulla superficie del mare una pressione sufficiente ad alterarla, cedendo alle acque una parte della propria energia; accelerano o rallentano le correnti superficiali, ne producono di nuove temporanee, formano le creste e le increspature, generando infine le onde. I venti sono quindi la causa principale del modellamento delle coste, dell'avanzare o del retrocedere delle spiagge, dell'insabbiamento dei porti e del deterioramento delle opere artificiali.

La conoscenza della direzione dei venti e della loro frequenza, intensità e velocità è indispensabile per lo studio delle coste e della loro difesa. I venti possono mantenere direzioni costanti per lunghi

periodi (venti permanenti) oppure possono avere carattere variabile, dipendente dalle stagioni e dalle condizioni atmosferiche della giornata (venti accidentali).

Il moto ondoso si origina al largo quando il vento ha la possibilità di spirare per un tempo adeguato in una direzione costante su una distesa di acqua libera (fetch), provocando increspature, avvallamenti e rigonfiamenti della superficie. Il moto ondoso è successivamente deviato e trasformato dalle correnti e dalla conformazione del fondo e delle coste, per cui raramente si presenta con caratteristiche regolari. L'onda si presenta con una convessità che si innalza al di sopra del livello di riposo del mare, detta cresta, seguita da una concavità che al contrario si mantiene al di sotto del livello del mare, detta cavo. La distanza tra due cavi successivi è la lunghezza d'onda; il dislivello tra la cresta e il cavo viene chiamato altezza d'onda; il tempo impiegato dall'onda per passare interamente per un punto fisso si dice periodo dell'onda, mentre la velocità di propagazione dell'onda è il rapporto fra la sua lunghezza ed il periodo.

In profondità il moto oscillatorio delle particelle d'acqua interessa con orbite circolari sempre più piccole uno spessore d'acqua non superiore a metà della lunghezza d'onda. Fino a quando il fondale è più profondo di tale valore, il moto ondoso non riesce ad influenzarlo. Avvicinandosi alla costa, il moto ondoso comincia a risentire dell'attrito col fondo, le orbite si trasformano da circolari (in superficie) ad ellittiche (in profondità); perciò, sul fondo le oscillazioni del moto riescono a smuovere i granuli di sabbia in avanti e indietro.

Una volta uscite dalla zona di generazione, le onde riducono gradualmente l'energia posseduta, soprattutto per effetto dell'attrito con l'aria, mentre è di scarso rilievo l'intervento della viscosità e della turbolenza. In acque profonde si ha, quindi, una progressiva attenuazione dell'altezza d'onda, mentre il periodo e la lunghezza possono aumentare. Avvicinandosi alla costa l'onda procede su fondali di profondità decrescente e, quindi, le caratteristiche del moto ondoso risultano modificate rispetto a quelle possedute al largo, poiché l'attrito al fondo e la riduzione di profondità riducono la lunghezza d'onda ed aumentano la sua ripidità.

Tra i differenti fenomeni di propagazione delle onde marine vi sono: la rifrazione, la diffrazione e la riflessione. La rifrazione si ha quando le onde provenienti dal largo avanzano disposte secondo linee di cresta parallele tra loro ma non alla linea di battigia; pertanto un'onda può trovarsi contemporaneamente ad avere tratti di cresta che ricadono in acque a differente profondità. Quando ciò accade, i diversi tratti si propagano con velocità differenti e il fronte dell'onda tende così a disporsi parallelamente alle linee di livello del fondale. Tale fenomeno è importante per determinare l'altezza delle onde in prossimità della battigia, l'andamento delle linee di cresta attraverso gli angoli che queste formano con le isobate, nonché la distribuzione dell'energia lungo la costa.

La diffrazione è il processo che porta all'esistenza di un moto ondoso nella zona d'ombra a valle di un ostacolo, di dimensioni finite, che intercetta un treno d'onde incidenti. Essa avviene con

trasferimento di energia in direzione parallela alle creste dell'onda. La conoscenza dei processi di diffrazione è essenziale nella progettazione, ed in particolare, per ubicare correttamente le varie zone del bacino portuale e per ridurre i problemi dell'insabbiamento e della risonanza di un porto.

La riflessione avviene quando l'onda incidente su una parete verticale si riflette dando luogo ad un'onda che si propaga in verso opposto. Nello specchio acqueo antistante l'ostacolo, si genera quindi uno stato di agitazione ondosa; lo studio della riflessione è importante sia per le sollecitazioni indotte sulle strutture, sia per quanto attiene all'efficienza dei porti in termini di smorzamento delle perturbazioni.

Le correnti marine sono spostamenti di masse d'acqua nei mari e negli oceani e si distinguono in permanenti, periodiche ed accidentali.

Le correnti permanenti sono solitamente correnti d'alto mare e non interessano l'equilibrio delle coste; sono originate da differenze di temperatura e densità delle masse d'acqua e dai venti permanenti, ed anche da variazioni di pressione atmosferica (ad es. El Nino) . Le correnti periodiche vengono generate dalle maree, mentre quelle accidentali sono generate dal moto ondoso ed hanno importanza fondamentale per il regime delle spiagge.

Le più importanti correnti marine interessano e spostano notevoli masse d'acqua fino a grandi profondità; in genere si distinguono le correnti superficiali dalle correnti profonde.

Le correnti di marea (periodiche) inducono nella massa d'acqua un moto orizzontale che prende il nome di corrente di flusso. Quando la massa ha raggiunto il livello massimo segue un periodo di alcuni minuti di assenza di corrente, poi il senso del movimento si inverte generandosi la corrente di riflusso. Le correnti generate dalle maree hanno notevole velocità in quei mari dove l'ampiezza di marea è maggiore. Durante tale processo le particelle d'acqua descrivono delle orbite uguali a quelle proprie del moto ondoso, perché la marea è una grande onda che interessa tutta l'altezza d'acqua dalla superficie al fondo del mare.

Le correnti di densità (permanent) sono generate da differenze di temperatura e di salinità dell'acqua, cioè da differenze di densità tra gli strati superficiali e quelli profondi (coste del Mediterraneo).

Le correnti da moto ondoso (accidentali) sono caratterizzate da: trasporto di masse d'acqua verso la riva, movimento di masse d'acqua lungo la costa, riflussi per lo smaltimento della massa d'acqua riversatasi sulla riva, correnti verso mare raccolte in passaggi stretti.

Infine, tra la linea dei frangenti e la linea di spiaggia si può sviluppare una corrente lungo riva (longshore current) capace di trasportare parallelamente alla costa notevoli quantità di materiali. Ad intervalli abbastanza regolari, inoltre, l'acqua che tende ad accumularsi tra le due precedenti linee defluisce perpendicolarmente alla costa lungo stretti canali ove una corrente veloce ed erosiva (rip current) ristabilisce l'equilibrio con le acque più esterne, isolando ampie celle dotate di circolazione

propria. Oltre che da queste correnti i granuli di sabbia sono influenzati da un movimento a dente di sega, legato al meccanismo flutto montante - risacca, che gli permette di compiere un piccolo spostamento longitudinale a fronte di un lungo tragitto totale.

Infine, le maree sono variazioni periodiche del livello marino, prodotte dall'attrazione della luna e del sole sulla massa delle acque oceaniche. Quando la luna è in congiunzione o in opposizione col sole, le alte maree sono più rilevanti, mentre quando la luna è in quadratura le maree sono deboli.

Dunque, la marea altro non è che una grande onda, ed il suo movimento negli oceani segue le leggi di propagazione del moto ondoso attraverso fenomeni di diffrazione e rifrazione determinati dalla forma delle coste e dalla profondità dei fondali.

OPERE PORTUALI E MARITTIME E INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA

OPERE PORTUALI

CLASSIFICAZIONE DEI PORTI IN BASE ALLA CORRELAZIONE TRA L'UBICAZIONE E LA LINEA DI COSTA NATURALE

I PORTI S.L.

La parola porto indica un nodo di vari sistemi di trasporto, dove confluiscono e hanno continuità varie vie di comunicazione fluvio – marittime, terrestri, aeree.

Un porto marittimo in senso stretto è un complesso di opere destinate a ospitare natanti all'interno di uno specchio acqueo ridossato dal moto ondoso di largo. Esso deve anche consentire, in condizioni di massima sicurezza, le operazioni per lo scarico ed il carico delle merci, per l'imbarco e lo sbarco dei passeggeri, per lo stazionamento a diversi scopi (rifugio, rifornimento, manutenzione, disarmo) delle navi e per la loro costruzione.

Fanno parte del porto le opere esterne (dighe o moli), che proteggono dalla traversia gli specchi liquidi interni (avamporto, darsene e bacini di attracco, bacini di galleggiamento, bacini di carenaggio), le opere interne di accosto (banchine, pontili, briccole), le strutture destinate alle operazioni commerciali (calate), le attrezzature strettamente connesse alle attività portuali (stazione marittima, magazzini, gru, ecc.), nonché la viabilità a servizio del porto stesso.

Al porto si accede attraverso l'imboccatura, la parte più esterna del canale marittimo di accesso, la cui ubicazione è influenzata dalla disposizione delle opere esterne, il cui tracciato deve tener conto di molti parametri ambientali: clima meteomarinico del paraggio, caratteristiche dei fondali e del trasporto litoraneo dei sedimenti, nonché del tipo di traffico marittimo. Dall'imboccatura si accede all'avamporto e, quindi, allo specchio d'acqua interno (porto interno).

Con l'attività cartografica si è resa necessaria una classificazione e codificazione di tutte le strutture, artificiali e naturali, che compongono la realtà portuale delle coste. La classificazione dei porti più diffusa è quella basata sul tipo di utilizzo per cui è destinato lo stesso (commerciali, industriali, passeggeri, turistici, pescherecci, di rifugio, militari, ecc.), ma certamente quella più precisa è quella basata sulle caratteristiche della linea di costa naturale.

1. PORTI ARTIFICIALI

Porto a bacino

Tale tipo di porto può essere costituito da un bacino interno o esterno.

Il primo viene detto darsena e consiste in uno specchio d'acqua riparato da banchine o costruzioni in muratura in cui si tengono le imbarcazioni o si eseguono operazioni di carico e scarico merci (magazzini, gru, ecc.); ha forma rettangolare e generalmente vi si accede da un'apertura, generalmente da acque calme o interne. Vi sono darsene sia all'interno dei fiumi che nei porti maggiori.

Il secondo tipo di porto, invece, viene chiamato col termine marina ed indica uno specchio d'acqua modernamente attrezzato per imbarcazioni da diporto (punto rifornimento viveri e carburante, centro riparazioni, servizi igienici, servizio comunicazioni a terra). I porti a bacino esterni possono essere suddivisi in tre grandi gruppi:

- marina - club, porti privati con attracchi riservati ai soci, con attività commerciali connesse ridotte al minimo;
- commercial marina, realizzati da gruppi finanziari per investimenti commerciali, in cui, oltre agli ormeggi, viene offerta una innumerevole gamma di servizi;
- municipal marina, porti pubblici generalmente gestiti dai Comuni, nei quali le attività commerciali sono ridotte al minimo, ma gli ormeggi ed i servizi sono aperti a tutti.

Una marina è caratterizzata da alcune strutture quali: il pontile di accesso principale, perpendicolare alla banchina e largo circa 2,5 metri; una serie di passerelle secondarie di larghezza inferiore al metro per l'accesso al fianco dei natanti, che vengono ormeggiati perpendicolarmente al pontile principale; un pontile della larghezza di quello principale, perpendicolare ad esso a formazione di una T sulla testata, per l'attracco dei battelli maggiori; una serie di pali di ormeggio infissi nel fondo.

Porto – isola

Esso consiste in un'opera costruita al largo della costa, collegata ad essa mediante un pontile di approccio ed un pontile di connessione, e protetta da una diga frangiflutti. Il porto – isola è una soluzione ingegneristica che consente: di limitare i rischi dell'interrimento; di contenere i costi derivanti dalla necessità di raggiungere i fondali utili a notevole distanza dalla riva, quando la pendenza trasversale della spiaggia è estremamente bassa; di ubicare lontano dalla costa installazioni che possono risultare inquinanti o pericolose, e quindi, in caso di incidenti, poterle isolare rapidamente mediante opportuni accorgimenti tecnici (es. sistemi pneumatici di protezione contro l'ondazione).

Infine, la posizione della diga foranea che lo protegge deve impedire che si depositi materiale nella zona di calma a tergo della stessa, poiché spesso è stato rilevato un forte avanzamento della linea di riva riparata dal porto – isola, dovuto al fatto che un pontile non è una struttura completamente permeabile alle sabbie.

Porto canale

Esso è caratterizzato da un'imboccatura aperta fra due dighe parallele e normali al litorale e da esso aggettanti, dette moli guardiani. La sua funzione è quella di assicurare l'accesso ai porti che sono nati alla foce di un fiume o all'interno di specchi d'acqua lagunare. In entrambi i casi, le dighe parallele hanno la funzione di canalizzare le correnti di marea, il che costituisce un contributo alla risoluzione del problema dell'interrimento o quantomeno alla pulizia delle acque interne (laguna). A volte per evitare per evitare una deposizione rapida del materiale fluviale all'interno del bacino sono stati realizzati appositi bacini di riserva, il cui rapido svuotamento fa aumentare la velocità della corrente di espurgo durante il riflusso: tali bacini sono chiamati "pialasse".

2. PORTI NATURALI

Rada (baia dentellata)

E' l'approdo elementare, costituito da una insenatura protetta, la quale consente l'ormeggio alla ruota per raggiungere la costa per differenti motivi. La rada è un rifugio naturale, che può essere protetto meglio artificialmente da alcune direzioni, atto ad offrire un ricovero per le navi, che possono entrarvi e gettar l'ancora sostando in sicurezza.

Porto con isola al largo

Questo è un porto protetto dalla presenza di un'isola (o più isole) di fronte alla baia naturale. L'isola svolge la stessa funzione di una diga foranea o di una grande scogliera frangiflutti. Nel caso di più isole all'incirca parallele alla costa, si possono prevedere delle barriere frangiflutti che permettano di realizzare una protezione continua per il porto. Infine, quest'ultimo può avere differenti utilizzi.

Porto naturale s.s.

Un porto naturale è un'area resa artificiale per scopi economici, basata sulla conformazione morfologica naturale del litorale. L'artificialità del posto riguarda quasi esclusivamente la zona interna, con la realizzazione di banchine, darsene, ecc..

Infatti, all'uopo si sfruttano in genere baie ed insenature, cioè rientranze della linea di costa formatesi per abrasione marina ad opera del moto ondoso.

L'imboccatura è anch'essa naturale, ma può necessitare della protezione di dighe o moli esterni, in base alle caratteristiche meteomarine ed al bilancio erosivo – deposizionale dell'area.

Porto – fiume (estuari)

Tale tipo di porto è caratteristico di aree marine con notevole escursione di marea e forti correnti marine che trasportano notevoli quantità di materiali lungo la costa.

La sua naturale disposizione consente una protezione totale dalle azioni del mare e necessita di difesa esterna solamente nei pressi dell'imboccatura, mediante dighe o moli radicati alle rive, generalmente convergenti. Esso può essere piccolo, largo o stretto ed è, in genere, perfezionato da delle sottostrutture che dal semplice greto del fiume, alla banchina di cemento, arrivano fino alle darsene.

Porto a marea (chiuse)

In alcuni mari le escursioni di marea possono raggiungere elevati valori, così che le navi che entrano in insenature con fondali adeguati al loro pescaggio e alle condizioni del moto ondoso, rischierebbero molto non appena iniziasse la bassa marea.

La soluzione più comune a tale problema è quella della realizzazione di uno sbarramento mobile tra mare aperto e porto.

Nei porti a livello costante, durante la bassa marea, le paratie poste all'imboccatura del porto sono chiuse e le navi in arrivo devono in tal caso attenderne l'apertura, stando alla fonda (stallia) in una rada che può anche essere soltanto parzialmente protetta dai moti ondosi più violenti. Nello stesso tempo, alle navi ospitate all'interno del bacino portuale è, invece, assicurato il livello d'acqua necessario per il galleggiamento e lo svolgimento delle operazioni commerciali alla banchina.

Nei porti commerciali si preferisce approfondire i fondali, sicchè essi risultano adeguati anche con la minima bassa marea. In tal caso, tuttavia, si distingue fra un porto esterno e uno interno, quest'ultimo con livello indipendente dalla bassa marea e collegato spesso con numerosi canali, che costituiscono ricche vie d'acqua per il trasporto delle merci e dei passeggeri in ampi hinterlands.

Si tratta in pratica di porti dotati di bacini a livello costante (bacini a marea o a mezza marea), comunicanti con l'avamposto mediante conche che consentono il passaggio delle navi anche quando esista un dislivello fra il pelo liquido dei canali di navigazione, tenute separate tra loro da chiuse (o porte vinciane), che consentono il passaggio della nave quando ci sono variazioni del livello del mare.

OPERE INTERNE DEI PORTI

INTRODUZIONE

Un porto, oltre che offrire ricovero alle navi, deve consentire tutte le operazioni inerenti allo svolgimento dei traffici marittimi.

Gli specchi liquidi interni (bacini o darsene) e le opere di accosto con i retrostanti terrapieni attrezzati (calate) devono essere organizzati in maniera da assicurare al terminal un livello elevato di produttività ed un basso costo del servizio prestato.

Il numero, le dimensioni e la distribuzione degli specchi liquidi interni e delle calate sono vincolati, oltre che alle particolari condizioni del sito, a considerazioni di natura economica.

1. DARSENE

Le darsene hanno in genere forma rettangolare allungata e sono disposte in maniera da risultare orientate nella direzione dei venti dominanti.

Il tracciato delle darsene può avere forma a raggiera attorno ad un unico bacino di evoluzione; oppure forma che si ramifica a partire da un unico canale di transito: in tal caso, però, occorre prevedere più di un bacino per la evoluzione delle navi.

La disposizione con darsene oblique offre tanti vantaggi per l'accosto delle navi e l'inserimento dei raccordi ferroviari, tuttavia comporta delle difficoltà di equipaggiamento dei terrapieni, soprattutto per quanto attiene alla ubicazione dei magazzini. Spesso, nei porti protetti dal mare da una diga foranea parallela alla costa, le darsene sono disposte a pettine, ortogonalmente alla rotta di accesso delle navi: in tal caso, per facilitare le manovre di evoluzione, alcuni ponti sono più corti degli altri.

Nei porti – canale, alle due estremità dell'unica darsena ricavabile, in genere molto lunga, sono necessari altrettanti bacini di evoluzione per evitare che la nave retroceda a lungo prima di orientarsi per la navigazione in mare aperto.

La forma più frequente è quella rettangolare ma, per particolari condizioni topografiche, può essere conveniente avere bacini a forma di parallelogramma con ponti obliqui o a forma triangolare o trapezoidale.

Le dimensioni di una darsena possono variare notevolmente, a seconda che il bacino sia destinato ad accogliere una o più navi ed in rapporto alle modalità di movimentazione delle merci.

La larghezza di una darsena deve essere abbastanza ampia in modo da consentire operazioni di trasbordo con pontoni – gru e chiatte, oppure l'attesa di un'altra nave a fianco di quella ormeggiata; spesso conviene dimensionare il bacino in vista di utilizzare per l'accosto anche la calata di riva, rendendo così possibile l'ormeggio di una nave secondo la direzione trasversale all'asse del bacino stesso.

La profondità dei bacini deve garantire un franco minimo (0,5 – 1 m) d'acqua sotto la chiglia della nave di progetto, con riferimento alle condizioni di massima immersione dello scafo e minima marea.

2. TERRAPIENI

I terrapieni, contenuti dalle banchine, sono piazzali spianati a circa 2 – 3 metri sopra i più alti livelli dello specchio liquido su cui si affacciano. Trattasi di aree attrezzate per consentire le operazioni di scalo per passeggeri o merci. Hanno una dimensione in comune con la darsena adiacente e l'altra (larghezza) che si estende in misura adeguata ad ospitare la viabilità e le attrezzature portuali (gru, magazzini, ecc.).

Il rapporto fra superfici dei terrapieni e delle darsene può essere assunto pari ad uno; in realtà l'estensione dei terrapieni discende essenzialmente dalla loro destinazione d'uso e dal tipo di traffico delle merci: merci trasportate in colli (con mezzi gommati e su rotaia); merci in containers (gru a portale, cartelloni, elevatori a forchetta, ecc.); traffico ro-ro (imbarco veicoli su navi canguro, anche con semirimorchio); merci specializzate (gru a noria per le banane, aspiratori pneumatici per i cereali, pompe e tubazioni per i vini); merci alla rinfusa (scarico carbone e minerali mediante gru con scartamento fino ad 80 metri su terrapieni o su chiatte, oppure per mezzo di gru a torre collegata a nastri trasportatori); merci liquide (idrocarburi e gas liquefatti vengono movimentati mediante pompe installate a bordo, dove dev'essere presente un adeguato servizio antincendio).

3. OPERE DI ACCOSTO INTERNE

Le opere di accosto interne assolvono in tutto o in parte alle seguenti funzioni:

- costituire fronti per l'accosto delle navi e per l'eventuale ormeggio;
- contenere i terrapieni degli sporgenti e delle calate di riva;
- assicurare il collegamento fra nave e terraferma.

Pontili, banchine e briccole consentono un attracco interno. Nei primi due casi de l'ormeggio di una nave avviene "di fianco" è necessario disporre di:

- due punti rigidi (bitte, ecc.) ubicati a distanza tale da consentire che i cavi di estremità prodiera e poppiera della nave abbiano sufficiente lunghezza;
- un fronte di accosto centrale dello sviluppo non inferiore ad un terzo della lunghezza della nave;
- altri punti rigidi in posizione intermedia per l'ammarro dei cavi necessaria stabilizzare la nave contro le oscillazioni dello specchio liquido interno.

Banchine attraccabili

Le banchine orlano le calate di riva e gli sporgenti; la loro configurazione ed il tirante d'acqua con la minima marea devono essere adeguati all'importanza delle navi che possono accostare.

In particolare occorre tener presente che l'altezza complessiva di un'opera di approdo è vincolata, a meno del franco sotto chiglia, al pescaggio massimo della maggiori navi che frequentano il porto, alla escursione massima dello specchio liquido dovuta all'agitazione ondosa e alle maree, nonché all'altezza minima (2-3 metri) della sommità del coronamento rispetto al livello di massima alta marea.

Le banchine vengono generalmente suddivise in due categorie: i muri di sponda propriamente detti, che sono strutture rigide destinate a sostenere il terrapieno retrostante per gravità, e le paratie, che sono strutture flessibili, ammortate nel terreno per una conveniente parte della loro lunghezza.

Le banchine sono costituite da una sottostruttura e da una sovrastruttura.

Banchine a gravità

Queste sono anche chiamate, tradizionalmente, muri di sponda s.s. e sono caratterizzate da differenti tipi di sottostrutture, in base alle caratteristiche dei materiali impiegati.

La banchina in massi artificiali viene in genere costruita sopra uno scanno di pietrame, di conveniente larghezza e spessore, che serve a regolarizzare il piano di posa dei massi e ad assicurare la continuità idraulica fra i due lati del muro. Lo strato superiore dello scanno va conformato con piccola pendenza verso il lato interno, in maniera da contrastare lo scorrimento fra masso e scanno e quello tra masso e masso ed impedire che un assestamento dello scanno provochi lo strapiombo del muro.

Solitamente il muro a massi sovrapposti presenta una infrastruttura asimmetrica, costituita da massi di larghezza pari allo spessore del muro, crescente con la profondità in maniera da far concorrere alla stabilità dell'opera i pesi delle colonne di terrapieno che sovrastano gli aggetti dei singoli massi. Completa la pila il penultimo masso "a sedia" e l'ultimo di regola di forma uguale sporgente verso il mare.

I massi vengono collocati in filari, mediante pontoni (via mare) o con gru (via terra), in maniera da formare pile indipendenti. I giunti vanno sigillati con sacchi di calcestruzzo allo stato plastico, idonei ad evitare rifluimenti del materiale minuto di rinfiacco e consentire nello stesso tempo eventuali assestamenti del terreno e dell'imbasamento.

E' opportuno che la faccia superiore del masso dell'ultimo filare disposto emerga dall'acqua di qualche decimetro, per poter su di esso costruire la sovrastruttura all'asciutto.

Le pile di infrastruttura, prima di erigersi il coronamento, sono sovraccaricate con altri massi artificiali, in modo da realizzare un peso complessivo eguale a quello cui saranno assoggettate in

fase di esercizio e consentire, quindi, l'assestamento del piano di sedime. I massi impiegati per l'operazione di precarico sono poi utilizzati per costruire altri segmenti di banchina.

Per assicurare il collegamento idraulico fra le due parti del muro, per diminuire la spinta del terrapieno della calata contro la banchina e per impedire il risucchio del rinterro attraverso i giunti tra le pile contigue, si versa a tergo del muro pietrame selezionato, disponendolo in maniera che il cuneo di spinta ricada prevalentemente nel suo interno.

La sottostruttura in massi artificiali è molto usata in presenza di terreni anche cedevoli, quando si disponga per la costruzione dei massi di una vasta area prospiciente ad uno specchio d'acqua per l'attracco dei mezzi d'opera. Il costo, elevato a causa del notevole volume di calcestruzzo necessario, ha suggerito talvolta l'adozione di massi cavi riempiti all'interno di materiale inerte.

La banchina in cassoni di conglomerato cementizio armato è un'opera più economica della precedente, in quanto può essere realizzata con minor quantità di materiali e di tempo.

Il cassone è una struttura prefabbricata tridimensionale scatolare, suddivisa in celle; esso è composto da un solettone di fondo, destinato a poggiare sul sedime, da un fusto che costituisce con il solettone un sistema fortemente monolitico, e da una soletta di copertura.

Le celle dei cassoni vengono riempite versando in esse calcestruzzo o sabbia (cassoni autoaffondanti) oppure vengono riempite versandovi acqua di mare che può restare in comunicazione o meno col bacino portuale mediante la presenza di fori nei cassoni stessi (cassoni a parete forata e cassoni galleggianti).

Per quanto riguarda la banchina in cassoni autoaffondanti, l'esecuzione dell'opera avviene con l'aiuto di benne e pompe a refluito per farli affondare nel terreno in modo uniforme fino alla quota prestabilita. E' quindi necessario che il peso del cassone sia superiore all'attrito che si desta sulla superficie di contatto pareti – terreno; nel caso contrario, occorre ridurre l'attrito interno iniettando attraverso detta superficie liquido tixotropico (miscela d'acqua e bentonite) in pressione con funzione lubrificante.

Raggiunto il piano di posa, viene realizzato il fondo del cassone, gettando il cosiddetto "tappo" di calcestruzzo per uno spessore sufficiente ad equilibrare le sottopressioni: in tal modo i carichi saranno trasferiti al sedime non soltanto tramite le pareti ma attraverso l'intera superficie di appoggio.

I cassoni autoaffondanti sono quindi riempiti con materiale inerte o con calcestruzzo magro.

La banchina in cassoni ad aria compressa, anche se con notevoli costi, consente una più rapida esecuzione dell'intervento. In tal caso, il collegamento tra la camera interna e l'esterno è stabilito da un pozzo o tubo metallico (caminata), che sbocca in alto in una camera di equilibrio (campana di decompressione) comunicante con la caminata e con l'esterno mediante portelli a chiusura stagna.

Tale camera di equilibrio viene a trovarsi, di volta in volta, così come occorre, alla pressione atmosferica o a quella esistente nella caminata o nella camera di lavoro. Alla campana giungono i materiali di scavo finché il cassone non ha raggiunto per graduale affondamento il piano di posa prestabilito. Allora viene immesso dall'esterno, attraverso la campana di decompressione, il calcestruzzo necessario a riempire la camera di lavoro, normalmente perduta. Dopo di che vengono smontate camera di equilibrio e caminata e viene riempito con ulteriore getto di calcestruzzo il pozzo rimasto.

La banchina in calcestruzzo può essere eseguita con getto subacqueo, impiegando casseri resi stagni, per evitare il dilavamento o la segregazione del calcestruzzo stesso oppure mediante teli di plastica. Il getto non richiede grandi impianti, né presenta particolari difficoltà; deve però essere fatto con molta accuratezza, utilizzando pompa e tubazione flessibile e procedendo dal basso verso l'alto. Una sottostruttura di questo tipo viene utilizzata quando il tirante d'acqua risulta limitato.

In tutte le strutture descritte fin qui è necessario completare l'opera con l'esecuzione, a tergo, di un riempimento in pietrame selezionato.

La sovrastruttura dei muri di sponda è costituita in genere da una muratura di conglomerato cementizio. Un paramento esterno in pietra da taglio può fungere nella fascia di bagnasciuga da conguaglio dei difetti di allineamento e di piano.

La sopraelevazione in muratura termina con un grosso coronamento in pietra da taglio.

Banchine a diaframma

Queste banchine possono realizzate mediante infissione, lungo l'allineamento previsto, di elementi accostati – pali o palancole – costruiti in generale con acciaio o conglomerato cementizio armato. Superiormente gli elementi sono legati da una sovrastruttura anch'essa in acciaio o in conglomerato cementizio armato.

L'infissione è spinta con una battitura ad alta frequenza fino a profondità tale da ottenere un incastro al piede della banchina.

La stabilità allo spostamento orizzontale è assicurata dalla resistenza passiva del terreno sulla parete infissa.

Le paratie di pali o di palancole consentono eventuali lavori di approfondimento dei fondali, purché contenuti; sono poco indicate in presenza di terrapieni fortemente spingenti. A tergo delle stesse va comunque effettuato il riempimento con pietrame ed un ulteriore rinfianco con materiale arido.

Un sistema abbastanza recente è quello che si avvale dell'infissione delle palancole di acciaio o di cemento armato.

La forma delle palancole in acciaio è tale che ogni elemento può essere infisso verticalmente scorrendo sul precedente, a cui si unisce con un aggancio scorrevole, come su di una guida.

Esistono tre sistemi di applicazione delle palancole:

- palancole profondamente infisse nel terreno e resistenti con comportamento a mensola alla spinta del terrapieno (senza ancoraggio);
- palancole infisse per un breve tratto nel fondo e vincolata in sommità con un tirante (con ancoraggio);
- palancole infisse profondamente e vincolate in sommità con tiranti o solettoni in cemento armato (con ancoraggio).

Per altezze limitate possono essere utilizzate le palancole in cemento armato, che hanno uno svantaggio dovuto al fatto che il peso diventa proibitivo con l'aumentare dell'altezza.

Ultimamente sono state introdotte le paratie terebrate – diaframmi in cemento armato formati da elementi accostati -; esse sono costruite con speciali attrezzature mediante getto in vano precedentemente scavato, le cui pareti sono sostenute con l'impiego di fanghi bentonitici o non.

Le paratie terebrate impiegate sono classificabili in base alla forma (piana, a T, “palsif”, ecc.) ed al valore della sezione d'inerzia della sezione trasversale.

Il loro procedimento costruttivo, inizia con la preparazione di elementi detti “asola” distanziati di una quantità pari alla lunghezza ed aventi alle estremità forma cilindrica concava a generatrici verticali. In seguito si eseguono gli elementi “saldatura” posti a chiudere gli intervalli lasciati tra gli elementi precedenti ed aventi le estremità di forma convessa tali da essere immorsate in quelle cave degli “asola”. Dunque, si realizza lo scavo dei suddetti pannelli grazie alla proprietà del fango bentonitico di mantenere in equilibrio la parete verticale. Con idonee apparecchiature si ottiene la disgregazione del terreno i cui detriti vengono allontanati insieme al fango bentonitico e mandati in apposito serbatoio. Completato lo scavo, si introducono, per tutta l'altezza dello scavo, delle casseforme tubolari che servono a creare le concavità necessarie per ottenere il collegamento fra elementi “asola” e “saldatura”.

Le paratie terebrate consentono una riduzione dei costi, una diminuzione della durata dei lavori e l'approntamento di un cantiere a terra. A costruzione ultimata, si procede al dragaggio del bacino antistante la banchina e nel contempo alla messa a nudo della medesima fino al fondale previsto.

Banchine a giorno (antiriflettenti)

Quando la scarsa portanza dei terreni di fondazione e si desidera ridurre la risacca nel bacino interno, si costruiscono banchine su pali o piloni.

Il terrapieno viene sagomato verso mare, al di sotto dell'impalcato, a scarpa naturale, protetta da pietrame o massi, le cui dimensioni sono fissate in relazione alle caratteristiche dell'agitazione ondosa esistente nel bacino e alla intensità di eventuali correnti, oppure con il criterio di migliorare la stabilità della scarpata e accrescerne la pendenza per ridurre le dimensioni dell'impalcato.

L'impalcato può essere costruito con la trave di bordo immersa oppure a quota sufficientemente alta, comunque maggiore del livello di massima marea.

Con la prima soluzione si ottiene un fronte di accosto continuo e si evitano conseguenze da parte di onde di scia generate dal transito di navi. La struttura orizzontale va ricoperta con uno strato di pavimentazione di spessore tale da stabilire la continuità col terrapieno, consentendo di ripartire le azioni concentrate.

Con la seconda soluzione le scarpate funzionano da spiagge ed assicurano una consistente attenuazione dei fenomeni di riflessione: l'opera è meno costosa della precedente, ma può risultare meno idonea a sopportare le azioni concentrate delle forze di accosto o di ormeggio trasmesse direttamente all'impalcato.

L'impalcato può essere a pianta ortotropa, prefabbricato in tutto o in parte, oppure gettato in opera. I pali (in calcestruzzo o in acciaio) possono essere verticali, oppure obliqui con inclinazione, verso il mare o verso il terrapieno, variabile per assorbire le componenti orizzontali delle forze trasmesse dai natanti.

I pali possono essere prefabbricati ed infissi per battitura o gettati in opera all'interno di tubo – forma affondato per rotazione o percussione.

I piloni eseguiti con la tecnica dell'autoaffondamento, sono strutture piene, in grado di resistere anche a forti sollecitazioni flettenti.

Banchine con strutture speciali

Comprendono opere il cui funzionamento e la cui struttura non rientrano in nessuno dei tipi descritti precedentemente.

I muri a gabbioni cellulari (cofferdams) sono costituiti da palancole piatte, infisse in modo da formare celle che sono riempite con materiale incoerente. Per questi muri occorre considerare che la spinta del materiale di riempimento induce nei giunti tra le palancole sforzi di trazione di incerta valutazione.

I muri danesi – spesso impiegati nei bacini a marea – sono costituiti da un diaframma ancorato ad un sistema composto da una soletta in cemento armato e da pali verticali ed obliqui. Lo spessore notevole della soletta consente di trasferire una grossa aliquota dei carichi ai pali e di assorbire gran parte delle forze orizzontali.

Pontili

Pontili fissi

Sono opere di accosto costituite da una struttura a giorno, trasparente al moto ondoso, che si sviluppa in direzione trasversale rispetto alla linea di riva; la sua funzione prevalente è quella di collegare la nave alla terraferma per consentire la movimentazione di merci solide o liquide.

Nel primo caso all'estremità del pontile viene realizzata un'ampia piattaforma attrezzata per l'accosto e l'ormeggio delle navi e per lo scarico dei prodotti.

Nel secondo caso il pontile è costituito da una o più piazzole di limitate dimensioni, collegate a terra da una passerella portatubi.

Dal punto di vista costruttivo, un pontile può essere realizzato in diverse maniere: con pali di fondazione in cemento armato o in acciaio ai quali è vincolato un impalcato in cemento armato, di larghezza generalmente inferiore a 20 metri. Le piazzole, di larghezza all'incirca doppia della dimensione trasversale della passerella, sono spesso costituite da cassoni zavorrati, oppure da una piattaforma collegata a pali in cemento armato di grande diametro.

I pontili, dunque, devono essere strutture capaci di assorbire gli sforzi orizzontali, ad esempio con la costruzione di piloni formati da cassoni cellulari in cemento armato. Per l'accosto di piccole navi si utilizzano difese elastiche ("fenders"), mentre per l'accosto di grandi navi si utilizzano le briccole.

Le luci delle campate dei pontili sono ovviamente variabili in funzione delle condizioni peculiari di ciascuna opera e vengono determinate con studi di ottimizzazione economica. Elemento determinante è la natura del fondale, che può rendere più o meno onerosa la fondazione.

I pontili si costruiscono in genere con avanzamento da terra.

Pontili galleggianti

L'uso dei pontili galleggianti è preferibile a quello dei pontili fissi nei seguenti casi:

- a) alti fondali, superiori alla portata dei pali di uso normale;
- b) fondali fangosi, di scarsa compattezza, che non assicurano sufficiente portata e grado di incastro al palo;
- c) fondale roccioso, che rende costosa l'infissione;
- d) escursione di marea superiore a metri 1 – 1,20 metri;
- e) necessità di variazioni nello schema di sistemazione dello specchio acqueo portuale.

Per la stabilità del pontile sono importanti alcuni fattori, quali il volume degli elementi galleggianti e la distribuzione del loro volume, la larghezza del pontile.

I galleggianti, progettati con grande varietà di disegno vengono realizzati con differenti tipi di materiali.

- Recipienti cilindrici in acciaio, costruiti con folgi di lamiera lavorata ed unita con saldatura.
- Bidoni in acciaio per olio lubrificante, protetti con rivestimenti anticorrosivi e con pareti interne e pareti esterne bitumate; a volte si ricorre alla zincatura a caldo o galvanica ed a vernici protettive bituminose, viniliche od epossidiche.
- Tubi in acciaio per condotte, protetto con rivestimento anticorrosivo bituminoso.
- Cassoni in cemento armato, parallelepipedi, con pareti sottili, leggeri e con buona galleggiabilità.

Essi possono essere gettati normalmente in casseformi a doppia parete, con l'ausilio di vibratori, ponendo particolare cura nella preparazione del conglomerato. Il getto dev'essere infatti perfettamente impermeabile e non presentare zone fessurate. Il cassone può anche essere costruito

con l'ausilio di una cassaforma aperta, consistente nel solo tavolato interno, intorno al quale si fissa l'armatura, applicando quindi strati successivi di malta cementizia e sabbia. Tale sistema è preferibile perché permette di ottenere pareti più sottili e dà maggiori garanzie di compattezza.

- Cassoni in ferro cemento, hanno le pareti costituite da malta cementizia e da un pacchetto di reti metalliche sovrapposte e tra loro collegate con legature di fil di ferro.

Con questo metodo si formano solette molto sottili, aventi eccezionale flessibilità ed elasticità ed ottime capacità resistenti. Le due qualità più importanti sono la grande allungabilità e resistenza alla fessurazione che acquista la malta cementizia in conseguenza della estrema suddivisione e diffusione dell'armatura metallica e il fatto che la malta stessa può essere applicata senza necessità di casseforme di appoggio, restando al suo posto trattenuta dalle reti zincate ed elettrosaldate.

Rispetto al cemento armato il ferro – cemento presenta il vantaggio dell'assoluta libertà di forma, del risparmio di ogni cassaforma, e dall'assenza di attrezzatura di rilievo, pur necessitando di manodopera specializzata.

- Galleggianti in plastica, usati sia sottoforma di blocchi di polistirolo espanso sia sottoforma di galleggianti in plastica rinforzata con fibra di vetro, eseguiti a strati successivi.

Il primo tipo può essere attaccato dalle benzine e dagli olii minerali negli specchi acquei dei porti. Il secondo tipo non teme questi agenti chimici ed è più resistente e duraturo.

L'utilizzo di qualsiasi tipo di attrezzatura galleggiante presenta il problema di provvedere un ancoraggio sicuro ed il mantenimento dell'esatta posizione del pontile.

Gli ancoraggi per i pontili galleggianti sono di due tipi. Il primo consiste in agganci solidali ai galleggianti che scorrono su guide verticali applicate a pali infissi nel fondo o ad altre strutture fisse. Il secondo tipo, più usato, consiste in sistemi di cavi o catene, sistemati in modo da trattenere i galleggianti nella posizione voluta, consentendo nel contempo un movimento verticale a compenso delle variazioni di marea.

Briccole

Briccole di accosto

Le briccole di accosto sono costituite da pali infissi sufficientemente nel fondale in modo da reggere l'impatto laterale della nave, ma dotati di flessibilità tale da potere dissipare l'energia di accosto senza danno né per la nave né per la bricola stessa.

I pali, il cui numero può variare da 1 a 7 e più, vengono collegati in sommità da piattaforme che agiscono come elementi distributori del carico tra i vari pali, senza irrigidire l'insieme. Sul fronte di accosto le briccole sono munite di un "bottazzo" in legno, supportato da una piastra in metallo, che

costituisce l'elemento di contatto con la fiancata della nave. Sulla sommità vengono disposti bitte e ganci di ritenuta dei cavi di ormeggio ("springs").

Conviene disporre le briccole alla maggiore distanza possibile e quindi è opportuno costruire briccole differenziate per i vari tipi di navi previste.

Normalmente per la loro struttura vengono disposti gruppi di 3 o più pali, che vengono tra loro collegati mediante telai orizzontali e "barre di torsione", le quali impediscono rotazioni della testa dei pali e distribuiscono il carico in modo uniforme sui pali. In questi casi il pannello di contatto con la nave deve avere la possibilità di ruotare sia attorno all'asse orizzontale che verticale per poter sempre aderire alla fiancata.

Briccole di ormeggio

Per queste strutture è necessario contenere le deformazioni sotto tiro, allo scopo di rendere minimi i movimenti della nave ormeggiata. Esse sono quindi costituite da pali inclinati collegati tra loro in sommità da elementi rigidi in acciaio o in conglomerato cementizio armato. I pali inclinati possono essere liberi dalla sommità al fondale, oppure collegati tra loro; in tal caso si sauna struttura guida ("template") costituita da una travatura reticolare spaziale ad elementi tubolari, appoggiante sul fondale. Il template assolve a due funzioni: durante la costruzione esso rappresenta una guida per l'infissione dei pali che vengono dentro gli elementi principali e quindi battuti; in esercizio il template opportunamente collegato ai pali con saldature ed iniezioni nelle intercapedini, rappresenta la struttura irrigidente della briccola sottoposta ai tiri di ormeggio.

L'adozione della costruzione a template si rivela conveniente su fondali sufficientemente elevati, in presenza dei quali i pali liberi risulterebbero soggetti ad instabilità per carico di punta ed anche eccessivamente deformabili.

Per fondali notevoli, la struttura a template presenta numerosi vantaggi. La travatura reticolare ad elementi tubolari può infatti essere trascinata galleggiante fino alla posizione d'impiego e qui raddrizzata fino a raggiungere la posizione definitiva mediante allagamento graduale delle membrature tubolari principali. I diametri dei pali, inclinati, sono generalmente inferiori a 1 – 2 metri.

Le briccole sono munite in sommità di bitte o di ganci a scocco rapido, azionabili anche da bordo della nave.

4. OPERE DI ACCOSTO ESTERNE

Le opere di accosto esterne (off-shore) sono classificabili nel modo seguente:

- a pontile
- a campo boe
- monoboa
- a torre.

Esse, nella maggior parte dei casi, consentono di trasferire prodotti allo stato fluido, mediante pompaggio in tubazioni adagiate sui fondali e collegate alla nave attraverso raccordi flessibili.

5. BITTE DI ORMEGGIO

Nelle sovrastrutture delle banchine sono murate le bitte di ormeggio, alle quali si legano con grosse gomene, cavi metallici e catene le navi mentre stazionano nei porti. Le bitte, situate lungo il ciglio esterno dei muri di sponda, sono in ghisa o in acciaio e possono anche superare le 2 tonnellate di peso.

Le due forme più comunemente usate differiscono per il modo con cui sono ancorate nella muratura: in una l'ancoraggio è formato da 4 o 6 tiranti, inclinati in modo da contrastare gli sforzi di trazione dei cavi di ormeggio; nell'altra, oltre a due tiranti, esiste anche un'appendice della bitta che penetra verticalmente nella muratura (tirafondi). Detta appendice ha forma di croce e termina con una specie di piatto. Il primo tipo ha un ancoraggio efficace specialmente contro gli sforzi di trazione inclinati, il secondo contro gli sforzi di trazione quasi verticali.

Per l'ormeggio di battelli di servizio, si usano maniglioni (anelli di ferro del diametro da 5 a 15 centimetri) o ganci a scocco.

La distanza fra due prese di ormeggio dipende dalla lunghezza delle imbarcazioni che devono accostare alla calata: le bitte, in generale, si pongono a distanza variabile da 20 a 90 metri, i maniglioni anche ogni 5 – 10 metri.

6. SCALETTE DI APPRODO

Nello spessore delle banchine si costruiscono scalette di approdo in pietra, ad una o due rampe simmetriche. L'ubicazione più adatta per esse è in vicinanza delle radici e delle testate dei muri, cioè nelle posizioni con cui si può accostare con battelli.

Il pianerottolo inferiore delle scalette deve essere tenuto ad una quota tale che non possa essere sommerso dalle acque di alta marea.

Oltre a tali scalette, si incassano nel paramento dei muri di sponda delle banchine le scalette a pioli in ferro ("alla marinara"), che hanno principalmente un fine di sicurezza. Esse sono ubicate lungo il fronte dei muri, anche nelle zone di attracco dei piroscafi.

7. PARABORDI

Essi sono cuscinetti elastici, costruiti in legname (quercia e larice) accuratamente e periodicamente tinteggiato con catrame, previa saturazione delle fessure con mastice di bitume.

A volte si utilizzano vecchi copertoni trattenuti da legature con cavo di acciaio. I parabordi sono posti a distanza tale che almeno tre di essi ricadano nella lunghezza normale di una nave, fatta esclusione delle parti rastremate della stessa (prua e poppa).

Infine, più di recente sono stati costruiti parabordi ad elementi cilindrici di gomma, appesi orizzontalmente ai muri di sponda.

OPERE ESTERNE DEI PORTI

1. CANALE D'INGRESSO

Il canale di accesso deve assicurare la navigabilità del tratto di costa che conduce al bacino portuale. Le dimensioni di tale canale vengono determinate in base alla grandezza ed alla velocità delle navi, alla direzione e intensità dei venti e delle onde, al tipo di traffico marittimo, ecc. Notevoli differenze di progetto si hanno a seconda se il canale di accesso è rettilineo o curvo.

L'imboccatura (e così pure il canale marittimo) deve avere profondità tale da tener conto anche dei movimenti di rollio e beccheggio della nave (movimenti della nave attorno al suo asse longitudinale dovuti al moto ondoso).

L'avamposto deve permettere alla nave di frenare su una distanza pari a circa 2 – 3 volte la sua lunghezza, deve consentire lo smorzamento delle onde e la difesa dagli interrimenti.

2. FARI E SEGNALI MARITTIMI

Un faro è una costruzione a forma di torre eretta in prossimità dei porti sui punti rilevati dei litorali o su scogliere isolate in mare aperto, alla cui sommità è installata una potente sorgente luminosa visibile da tutto l'orizzonte o in determinati settori di esso, per servire da guida notturna alla navigazione costiera o durante gli approdi.

Esistono vari tipi di fari, differenziati a seconda della loro portata e del loro utilizzo.

I fari di atterraggio o di scoperta hanno grande portata e servono ad avvertire la nave della vicinanza della costa o di ostacoli isolati in alto mare.

I fari secondari hanno portata media e debbono colmare gli intervalli tra i fari di scoperta e, in particolare, segnalare i porti e gli ancoraggi e la presenza di scogli isolati, canali e passi difficili.

I fanali servono a segnalare le estremità delle opere di difesa dei porti e i limiti degli specchi d'acqua interni.

Le mede, segnali fissi in muratura, servono ad indicare secche e scogli oppure l'andamento dei canali navigabili, adattando la loro struttura alla natura del suolo o del fondo ed alla esposizione (incastellature di ferro o di cemento armato, ovvero torrette di calcestruzzo e muratura).

Le boe luminose vengono utilizzate quando la profondità è notevole e sono ormeggiate ad ancore o a corpi morti.

I battelli – fari o fari galleggianti sono utilizzati quando occorre segnalare spiagge in protrazione fronteggiate da estesi banchi.

OPERE SPECIALI E DI ARREDAMENTO DEI PORTI

1. CALATE

Una calata è un tratto esterno di banchina destinato all'imbarco e allo sbarco delle navi che vi si ormeggiano di fianco o in andana, Le calate sono in genere attrezzate con gru per il carico e lo scarico e magazzini per il deposito delle merci.

Per calate a traffico vario occorrono una banchina larga con una strada carraia e due paia di binari ferroviari ed un'area coperta o scoperta per il deposito temporaneo delle merci.

2. SCALI DI ALAGGIO

Sono opere generalmente, costituite da due piani inclinati (scivoli), lungo i quali le imbarcazioni di piccolo dislocamento (non oltre 5000 tonnellate) sono tirate a secco (alate) per la manutenzione periodica o per le riparazioni. Esse consistono in uno scivolo in muratura costruito per la parte emersa in getto e per la parte immersa con lastre di calcestruzzo posate su di uno scanno subacqueo ed accostate a formare il piano inclinato.

La parte emergente di tali opere costituisce lo scalo vero e proprio, quella immersa l'avanscalo.

Gli scali di alaggio possono essere longitudinali o trasversali a seconda della direzione lungo la quale il natante è tirato a secco.

Il sollevamento dell'imbarcazione avviene mediante argani a bassa velocità, di conveniente potenza.

Gli scali longitudinali hanno lieve pendenza (5 %) o addirittura nulla, mentre gli scali trasversali hanno pendenze maggiori (20 %) e richiedono l'uso di carrelli a slitta. Per i primi, lo scalo è rifinito con traversine in legno fissate con bulloni e disposte a file orizzontali, sulle quali scivola la chiglia della barca. Generalmente è più che sufficiente spingere lo scivolo ad una profondità di 1 metro sotto il livello di bassa marea. Per gli scali del secondo tipo, vengono sistemate le rotaie o su di uno scalo in muratura esistente o su plinti in calcestruzzo o su traversine in legno per la parte emersa e su pali infissi nel fondo per la parte subacquea. L'attrezzatura è completata da un carrello a ruote ad impalcato orizzontale. Sono molto usati per i cantieri di riparazione navale.

In ogni caso, l'avanscalo deve assicurare l'immersione a vuoto del naviglio da alare.

Dal punto di vista costruttivo, per la realizzazione di uno scalo di alaggio è necessario accertare che il terreno di sedime sia idoneo (prevedendone l'eventuale bonifica o consolidamento), adottare

spessori del massiccio murario adeguati alle sollecitazioni che saranno indotte in esercizio dai carichi in gioco (peso del natante, delle corsie di sostegno dello stesso, delle gru, ecc.).

3. BACINI DI CARENAGGIO

Sono sollevatori verticali che hanno il vantaggio di un minore ingombro rispetto allo scalo di alaggio. Essi si avvalgono del sistema costituito da una piastra sommersa, su cui è posata l'invasatura, che viene sollevata, alzando fuori acqua l'imbarcazione, per mezzo della trazione esercitata da quattro cavi portati dai piloni d'angolo.

I moderni bacini di carenaggio si avvalgono anche, per il sollevamento, di cassoni galleggianti, che sostituiscono i cavi di trazione. Inizialmente allagati, vi viene gradualmente immessa aria compressa che espelle l'acqua finchè la spinta verso l'alto dei cassoni supera il peso della piastra e dell'imbarcazione che vengono così sollevate. Apposite guide a parallelogramma assicurano l'orizzontalità del cassone.

Bacini galleggianti

Sono natanti speciali, assimilabili a grandi pontoni, di cui possono essere regolate le condizioni di galleggiamento, e quindi di pescaggio, facendo variare il volume d'acqua (zavorra) contenuta entro appositi compartimenti stagni.

Hanno sezione trasversale a U ed entrambe le estremità aperte. Quando occorre, il bacino è immerso per una altezza pari al tirante d'acqua richiesto dalla nave da carenare. L'affondamento è ottenuto facendo allagare con acqua di mare le celle del bacino.

Introdotta la nave attraverso una delle due estremità e sistemata sulle traversine in legno, si svuotano i compartimenti stagni mediante elettropompe di esaurimento installate nelle fiancate dell'opera. La manovra di emersione del bacino va fatta con cautela, correggendo di volta in volta gli sbandamenti trasversali e longitudinali dello stesso. Il bacino è poi mantenuto a secco tutto il tempo necessario ad effettuare le operazioni di cantieristica navale.

I bacini galleggianti sono costruiti in acciaio o in conglomerato cementizio armato precompresso. Rispetto ai bacini fissi presentano alcuni vantaggi: minor costo e minor tempo di costruzione; possibilità di prescindere dalle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione e dalla profondità dei fondali; capacità di accogliere navi più lunghe del bacino stesso; possibilità per le navi di essere spostate a rimorchio in altro sito. Ma, per contro, presentano alcuni inconvenienti rispetto a quelli fissi quali, la minor durata e i costi di manutenzione più elevati e l'ubicazione in porti riparati.

Bacini fissi

Sono strutture destinate ad accogliere le navi che necessitano di essere riparate; recentemente sono state adibite anche alla costruzione di navi di grosso dislocamento (scali – bacino). Consistono in

una grande conca (o vasca) a pianta rettangolare e sezione trasversale a U: la platea è l'elemento che deve garantire l'impermeabilità del bacino; le pareti longitudinali (fiancate) hanno, in genere, profilo quasi verticale, mentre la parete opposta alla porta manovrabile è, di solito, ricurva.

Le dimensioni di un bacino dipendono ovviamente da quelle della nave più grande che sarà ospitata all'interno. Occorre, inoltre, prevedere franchi adeguati in lunghezza e in larghezza ed il pescaggio da considerare è sicuramente più piccolo di quello massimo poiché le navi nel bacino di solito scariche.

La vasca è costituita da una platea di fondazione ancorata al terreno e da pareti perimetrali. La platea può avere estradosso a quota costante, oppure con piccola pendenza nel senso longitudinale; trasversalmente presenta una conformazione a leggera schiena d'asino, per agevolare il deflusso delle acque filtranti dalla chiusura mobile verso cunette laterali che le convogliano a una stazione di pompaggio.

Al centro della platea ("cantiere") sono disposte per l'appoggio della nave le traversine in legno.

Alla platea sono vincolate le pareti della vasca; esse possono essere a "profilo inglese", cioè con andamento trasversale a gradoni, oppure a "profilo francese" caratterizzato da paramento interno quasi verticale.

Un organo importante della vasca è sicuramente la chiusura mobile, ubicata sul lato mare. La porta, generalmente realizzata in acciaio, deve contrastare la pressione idrostatica a bacino vuoto e garantire il più perfetto combaciamento lungo le battute. Esistono differenti tipi di porta: a) scorrevole su rotaie, perpendicolarmente all'asse del bacino; quando è aperta rientra in un apposito vano a lato dell'ingresso; b) a settori rotanti attorno ad assi verticali, collocati ai lati dell'entrata nel bacino; sono due ventagli a forma di un quarto di cilindro, che rientrano in vani laterali di ampie dimensioni; c) a ribalta, ruotante attorno ad un asse orizzontale; può adagiarsi al fondo, consentendo una manovra rapida e un ingombro nullo a bacino aperto; d) battello – porta, costituito da una struttura metallica a compartimenti; per l'apertura viene reso galleggiante (aspirando acqua) e allontanato dal bacino, mentre per la chiusura, viene riportato galleggiante, applicato ai gargami e poi affondato (pompando acqua nelle casse di zavorra).

Per il funzionamento del bacino sono necessari un impianto di pompaggio, uno di allagamento e gli impianti ausiliari. Le pompe di drenaggio e antincendio servono per smaltire le acque di infiltrazione e piovane e per il servizio antincendio. Valvole speciali consentono all'acqua di affluire nei vani da allagare.

Gli impianti accessori sono: gru scorrevoli su binari, argani elettrici per tonneggio, impianti di acqua, condutture per aria compressa, impianto telefonico, fabbricato contenente i quadri di manovra per l'impianto idrovoro, servizi igienici, bitte di ormeggio, anelloni.

Per la costruzione di un bacino di carenaggio fisso, si ricorre ad una struttura massiccia in calcestruzzo oppure ad una di tipo cellulare in cemento armato.

MEZZI D'OPERA MARITTIMI E MACCHINE PORTUALI

Trattando delle strutture portuali non si possono non menzionare i mezzi marittimi che vengono utilizzati come supporto alle fasi costruttive di cantieri di opere marittime di manufatti o di difesa costiera.

Per le dighe (non radicate a terra) è necessario l'impiego di mezzi marittimi chiamati bette, consistenti in chiatte divise in comparti chiusi al fondo con portelloni, che vengono aperti quando la chiatta si trova sul punto di versamento. Le bette possono raggiungere una portata di diverse centinaia di metri cubi. Raramente sono semoventi, solitamente vengono trainate da un rimorchiatore. Per tiranti d'acqua inferiori a 1,5 – 2 metri, possono essere usate le bette a sbandata, munite di casse d'acqua eccentriche, che riempite provocano bruscamente lo sbandamento ed il rovesciamento dello scapolame da un fianco.

Per strati più superficiali è necessario l'ausilio di una gru a benna montata su pontone.

La posa dei massi della mantellata esterna viene invece sempre effettuata masso per masso con mezzi terrestri o galleggianti. I mezzi terrestri consistono in grandi gru semoventi, montate su ruote gommate o cingoli, ed armate con benna mordente o a grappo (limitatamente alla posa dei massi naturali) o con braghe (per tutti i tipi di massi) o con bielle di acciaio, stampelle o ganci (per massi artificiali parallelepipedi). Esse possono avere braccio a traliccio oppure braccio tubolare a rientro telescopico. Con tali mezzi si possono anche alare le imbarcazioni imbracandole a mezzo di cinghioni assicurati alla sommità ad un telaio in acciaio che funge da estensore, per evitare la pressione sui fianchi della barca.

Le gru terrestri di maggiori dimensioni, dette gru titano, corrono su un grande binario su cui appoggiano con la struttura inferiore a portale, hanno un lunghissimo braccio reticolare contrappesato e munito di una gamba aggiuntiva retrattile, che disunisce lo sbraccio libero.

I pontoni posa massi sono costruiti per poter portare essi stessi i massi a bordo. Sono essenzialmente formati dallo scafo e dalla incastellatura della gru. Devono essere trainati sul posto, ma generalmente sono semoventi per i piccoli spostamenti sul lavoro.

I sollevatori Machol sono costituiti di tre parti. La prima di queste è una piattaforma sostenuta da quattro montanti ad essa incernierati. A sua volta la struttura sostiene uno speciale carrello a ruote. La seconda parte è una struttura a torre portante alla sommità un serbatoio principale capace di erogare acqua ad un recipiente controbilanciato sospeso sotto di esso. La terza parte consiste in un

lungo cilindro interrato pieno d'acqua, avente un pistone collegato con un cavo alla piattaforma ed al recipiente sospeso.

I sollevatori mobili (travelift) sono mezzi semoventi, consistenti in due o più telai in acciaio a forma di portale, a cui vengono appesi i cinghioni che imbracano l'imbarcazione. Una delle traverse del portale può essere eventualmente alzata per il passaggio dell'albero. I telai sono portati da quattro ruote gommate, di cui due orientabili ed azionate da un motore a combustione interna. Le cinghie portanti l'imbarcazione vengono sollevate ed abbassate con argani meccanici o idraulici. Il sollevatore deve essere corredato da un impianto fisso consistente in una piccola darsena, o da uno specchio acqueo tra due pontili, nel quale deve entrare l'imbarcazione. I travelift sono adoperati specialmente per le piccole imbarcazioni e rappresentano un'attrezzatura maneggevole, di scarsa manutenzione e di costo contenuto.

I carrelli elevatori a forche sono molto utili per una infinità di operazioni, soprattutto al servizio degli scafi leggeri, che possono venire sollevati direttamente sulle forche e così portati a magazzino; per la movimentazione delle invasature ed il loro trasporto a deposito, per il sollevamento di barche medie con la loro invasatura da disporre su appositi cavalletti per il carenaggio e su carrelli per movimenti orizzontali; per il sollevamento e trasporto di motori ed altre merci.

I sollevatori scorrevoli su binario aereo (monorail e duorail) consistono in più telai fissi a portale. Al centro delle traverse superiori dei portali sono appesi uno (monorail) o due (duorail) binari aerei costituiti da profilati a doppio T. Appeso ai binari scorre un verricello azionato elettricamente e portante gli estensori e le braghe. I binari, opportunamente sorretti, proseguono oltre la banchina, a sbalzo sullo specchio acqueo.

L'imbarcazione, alata, viene posata su di una invasatura a ruote, appositamente adattata per i piccoli spostamenti orizzontali nell'ambito portuale e che viene trainata da un trattore. In altri casi si preferisce installare un sistema di rotaie esteso fino ai capannoni di immagazzinaggio, facendo scorrere direttamente il verricello fino al box voluto.

La monorotaia è adatta per imbarcazioni leggere, ma la capacità può essere notevolmente aumentata con l'adozione della doppia rotaia. Tale sistema non può essere usato però per la manovra di imbarcazioni con albero.

OPERE DI DIFESA COSTIERA

OPERE NATURALI DI DIFESA COSTIERA

1. RICOSTITUZIONE DI DUNE, VELME E BARENE

Descrizione

Tali interventi rientrano tra quelli di tipo naturale, ma sono in realtà legati in parte al prelievo di sabbie per ripascimento, come nel caso delle dune costiere. Queste vengono ricostruite per dare una continuità ambientale, protettiva e funzionale alla spiaggia e al suo entroterra. La ricostituzione di tali elementi naturali avviene per apporto di sabbia, scelta dopo accurate analisi granulometriche, petrografiche e sedimentologiche.

Dopo il versamento del materiale, a mezzo di autocarri o con impianto di rifluimento fisso, si comincia il modellamento e la sagomatura delle dune in modo da raggiungere una morfologia più naturale possibile. Sulle dune vengono piantate numerose piante (ammofile e tamerici) resistenti e adatte all'ambiente marino, aventi la funzione di consolidare e favorire la naturale evoluzione nel tempo delle dune stesse.

Per ciò che riguarda velme e barene, si fa riferimento esclusivamente alle lagune (es. Venezia), in quanto esse rientrano tra le forme batimetrico – morfologiche che caratterizzano tali ambienti. Le velme sono piane fangose alternativamente sommerse ed emerse, mentre le barene sono anch'esse fangose, con vegetazione di alofite e fanerogame marine, ma restano all'asciutto per tempi più lunghi e vengono sommerse con le massime alte maree.

Sia per le barene che per le velme in erosione si ricorre ad un incremento di quota attraverso il rifluimento di acqua e sabbia e la ricostruzione del loro perimetro mediante palificata di legno, riempimento con sabbia e, infine, messa a dimora, solo per le barene, di vegetazione alofila. Tutto ciò permette di ripristinare gli habitat tipici della laguna e di ricostituire un equilibrio ambientale molto delicato.

2. FASCINATA SPONDALE VIVA CON CULMI DI CANNA

Descrizione

Essa è costituita da fascine di giovani culmi di canna disposte a file parallele e infossate nel limo di sponde a bassa pendenza.

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Tali opere naturalistiche si applicano in prossimità di sponde in zone lagunari o in zone con acqua stagnante, soggette a moto ondoso di lieve entità; il loro scopo principale è il consolidamento del piede di sponda e la costituzione della fascia di canneto spondale.

L'intervento è economico e l'effetto è immediato: si forma un fitto reticolo di radici e rizomi con buona protezione superficiale del tratto spondale a contatto con l'acqua.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Tra i materiali impiegati per questo intervento si possono annoverare giovani culmi di canna lunghi 80 – 120 cm, filo di ferro avente 2 – 3 mm di diametro e picchetti in legno o in ferro lunghi 80 cm.

Durante le fasi iniziali si recuperano dal selvatico giovani culmi di canna della lunghezza minima di 80 cm e si dispongono a formare un fascio, avente un diametro di circa 10 cm, che viene legato e tenuto assieme da 1 filo di ferro. Poi, avviene la posa delle fascine in solchi ricavati lungo la linea di sponda, in modo tale che uno o due terzi del diametro delle stesse risulti essere posto entro il solco, a partire dal livello medio dell'acqua, facendo sì che le estremità delle fascine si compenetrino le une con le altre. Infine, avviene il fissaggio al substrato mediante picchetti.

La messa in opera può avvenire preferibilmente quando i giovani culmi avranno raggiunto le adeguate dimensioni, cioè da marzo a fine maggio.

3. FASCINATA SOMMERSA DI SEDIMENTAZIONE

Descrizione

Consiste nella protezione del piede della sponda mediante una fascina costituita da legname morto (salice) di specie arbustive, appesantita al centro con ghiaia o pietrisco, costruita in posto e legata con filo di ferro, nastro metallico o tessuto sintetico, fissata con pali di legno o tondini metallici di lunghezza variabile a seconda del substrato.

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Usualmente questa tecnica viene adottata in zone lagunari ad energia media, ma non come unica soluzione di intervento; viene cioè abbinata ad altre tecniche che prevedono l'impiego di materiale vivo. Dunque, la tecnica, adatta per protezione di sponda nel tratto normalmente sommerso dal livello medio, va di solito abbinata con strati di ramaglia e fascine spondali vive nella parte a contatto e fuori acqua.

Nonostante non sia utilizzabile in ambiente ad elevata energia, l'impiego di tale tecnica consente una immediata protezione del piede della sponda in poco spazio, in qualunque periodo dell'anno. Essa però ha validità solo se assieme al materiale morto si abbina quello vivo.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Tra i materiali che si possono utilizzare rientrano le verghe di salice, lunghe almeno 2 metri, il filo di ferro, i paletti di legno o di ferro, con lunghezza variabile a seconda del substrato e, infine, il pietrame.

Per prima cosa si assemblano tra loro le verghe legnose in modo che la loro disposizione risulti equamente alternata con gli apici e le basi a formare fascine di 30 – 60 cm di diametro e lunghezza di 3 – 4 metri. Al centro viene posto il pietrame e le fascine vengono legate con fil di ferro circa ogni 30 cm.

Dopo la posa delle fascine, con le estremità compenetranti, in un solco appositamente scavato al di sotto del livello medio dell'acqua, si passa al fissaggio delle fascine con paletti in legno o picchetti passanti attraverso la fascina stessa e posti ad una distanza di circa 1 metro, alternativamente orientati verso monte o valle rispetto alla fascina.

4. PALIFICATA SPONDALE CON PALO VERTICALE FRONTALE

Descrizione

Struttura in legname tondo costituita da un'incastellatura di tronchi a formare camere frontali nelle quali vengono inserite fascine. Frontalmente è presente un palo verticale sul quale sono inchiodati i tronchi correnti e quelli trasversi. L'opera addossata alla riva è completata dal riempimento con materiale terroso inerte e pietrame nella parte sotto il livello medio dell'acqua.

Applicazioni ed Obiettivi specifici

L'applicazione di tale opera riguarda il consolidamento di sponde in aree lagunari con l'utilizzo di tondami di castagno o di resinosa, fissati l'un l'altro con chiodi o barre filettate. Dalle fascine inserite (tamerici) si sviluppa una vegetazione arbustiva riparia con funzione naturalistica e nel tempo anche statica mediante la radicazione che va a sostituirsi al fondame destinato a marcire. Questo intervento, pur non essendo idoneo in substrati ghiaiosi grossolani o litoidi, consente lo sviluppo di una struttura alternativa alle opere murarie tradizionali: infatti, una volta cresciute, le piante esercitano un effetto drenante e di consolidamento della sponda attraverso il fitto intreccio di radici.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

L'esecuzione dell'opera prevede l'iniziale infissione verticale di pali con punta, per almeno due terzi della loro lunghezza, in prossimità della sponda erosa, seguendo lo sviluppo originario della linea di sponda. Parallelamente alla linea di sponda, si posa la prima serie di pali orizzontali, poi perpendicolarmente ad essa si posa e vi si inchioda sopra la prima serie di pali trasversi.

Nella fase successiva, si inseriscono fascine morte nelle camere frontali disposte parallelamente al fronte della struttura, al di sotto del livello medio dell'acqua e si riempiono con pietrame; inoltre si inseriscono fascine vive di tamerici nelle camere frontali al di sopra del livello medio dell'acqua e si riempiono con inerte terroso. Dopo aver ripetuto la disposizione in strati successivi di pali orizzontali e trasversali e di materiale terroso con fascine vive, fino a raggiungere l'altezza di progetto, si riporta il materiale inerte fino a completa copertura dell'opera e alla riprofilatura di raccordo con la scarpata di sponda.

5. RULLO SPONDALE CON ZOLLE DI CANNE

Descrizione

È costituito da un cilindro in rete metallica zincata e plastificata o in rete sintetica, ancorato con pali frontali e rivestito internamente con geostuoia sintetica o organica molto compatta, tipo feltro, e riempito nella parte inferiore con materiale ghiaioso e sabbioso, nella parte superiore con pani di canne e altre specie igrofile.

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Tra i campi di applicazione vanno annoverati i canali lagunari, le sponde di aree lagunari, nei quali vi siano limitate oscillazioni del livello dell'acqua e il trasporto solido sia costituito da limi in sospensione.

Le canne del rullo e i provvedimenti adottati in abbinamento sulla restante superficie della sponda (fascinate, ecc.) garantiscono il consolidamento e la rapida rivegetazione delle sponde; le canne hanno anche una funzione depurativa delle acque.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Per alloggiare l'opera occorre scavare un solco di 40 x 40 cm, dopodiché si posizionano i pali di legno verso l'esterno, in quantità e distribuzione in funzione del substrato e dello sforzo, in genere a distanza l'uno dall'altro di un metro. Occorre poi stendere il telo di rete già rivestito con la stuoia e cominciare il riempimento con materiale sabbioso – limoso e con pani di canne.

Il telo viene chiuso superiormente con punti di ferro e, quindi, raccordato con la sponda mediante impiego di fascine o ramaglie vive di tamerici.

Il rullo ad operazione conclusa dovrà sporgere per 5 – 10 cm sul livello medio dell'acqua.

6. RULLO SPONDALE IN FIBRA DI COCCO

Descrizione

Questo intervento comprende un insieme di cilindri in rete di fibre di cocco o in fibra sintetica e/o metallica zincata e plastificata, riempiti con fibre di cocco a formare dei rulli di diametri da 20 a 60 centimetri e lunghezza da 3 a 6 metri.

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Il rullo spondale è adatto per intervenire in aree lagunari e canali in erosione, in quanto offre una protezione antierosiva immediata ed una azione filtrante (drenaggio) adatta alla ricostruzione di sponde erose con materiale di dragaggio. Tuttavia, la sua durata è limitata nel tempo in presenza di acque salmastre e può essere migliorata la sua resa con l'utilizzo di reti sintetiche.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Dapprima vengono fissati i pali a file irregolari a distanza di circa mezzo metro e per una profondità di circa due terzi della lunghezza. La fondazione viene preparata mediante la posa in opera di un gabbione cilindrico riempito con ciottoli.

Dopo aver messo i rulli di cocco, si pone del feltro organico assieme a fascine o ramaglie vive di tamerici. Il tutto viene riempito con materiale di dragaggio e coperto superiormente con pani di canna, ed infine seminato.

Il rullo ad operazione conclusa deve sporgere di 5 – 10 cm sul livello medio dell'acqua.

In presenza di acqua salmastra e per prolungare la durata dei rulli e della loro azione filtrante, va usato il modello rivestito con rete sintetica o metallica plastificata. Se il riempimento a tergo viene effettuato con materiale di dragaggio, bisogna aspettarne lo sgrondo completo prima di procedere ai movimenti terra e messa a dimora delle piante.

7. RIVESTIMENTO IN RETE METALLICA A DOPPIA TORSIONE E GEOSTUOIA TRIDIMENSIONALE

Descrizione

Rivestimento di sponde soggette ad erosione, mediante la stesura di una stuoia sintetica tridimensionale sormontata da una rete metallica a doppia torsione. Rete e geostuoia vengono fissate al terreno mediante picchetti che vengono legati a monte e a valle con una fune di acciaio.

Il rivestimento viene abbinato a idrosemina a spessore e messa a dimora di arbusti autoctoni e di talee di specie con capacità di propagazione vegetativa.

Applicazioni ed Obiettivi specifici

I rivestimenti spondali sono idonei per la protezione delle sponde in erosione soggette a frequenti sommersioni. Essi costituiscono un rivestimento molto robusto ad immediata e duratura funzione antierosiva e di drenaggio.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Le superfici da trattare dovranno essere liberate da radici, pietre, ecc. ed eventuali svuoti andranno riempiti in modo da ottenere una superficie uniforme affinché la geostuoia e la rete metallica possano adagiarsi perfettamente al suolo.

Prima si stende sulla pendice la rete tridimensionale che verrà picchettata a monte, mentre i teli verranno stesi verticalmente uno vicino all'altro con una sovrapposizione di circa 5 - 10 cm onde evitare l'erosione tra le fasce.

La picchettatura in scarpata verrà effettuata con uno o due picchetti ogni metro quadrato. Successivamente verrà fissata al terreno la rete metallica: essa verrà picchettata a monte e lungo le fasce con picchetti d'acciaio a T, lunghi 50 - 100 cm.

Tale rivestimento viene in genere abbinato con una idrosemina a forte spessore realizzata in maniera da intasare completamente lo spessore della rete tridimensionale.

8. GEOSTUOIA TRIDIMENSIONALE SINTETICA PREBITUMATA INDUSTRIALMENTE A CALDO

Descrizione

Rivestimento spondale in stuoia tridimensionale costituita da filamenti sintetici aggrovigliati in modo da trattenere le particelle di materiale inerte terroso. In questa variante la stuoia viene prebitumata industrialmente a caldo e impiegata in prevalenza per il rivestimento di sponde normalmente a contatto con l'acqua. La stuoia viene assicurata al terreno mediante l'infissione di picchetti e interrata in solchi appositamente approntati a monte. Il piede della sponda può essere fissato in analogia o, se lavorato in presenza d'acqua, fissato mediante posa di pietrame. La stuoia deve essere anche abbinata ad una semina da effettuarsi sia prima della posa della stuoia che sopra la stessa. Normalmente non vengono messe a dimora talee ed arbusti, almeno sulle superfici dove si prevede il libero scorrimento dell'acqua.

Applicazioni ed Obiettivi specifici

L'opera descritta si applica a superfici spondali in permanente contatto con l'acqua, quali sponde o argini di canali lagunari con problemi di erosione.

Il materiale utilizzato ha effetto antierosivo immediato e permanente, ma ha costi molto elevati ed è poco flessibile e molto pesante.

La geostuoia, avente resistenza a trazione non inferiore a 2.5 kN/m, temperatura di fusione non inferiore a 215 °C intasata industrialmente a caldo con una miscela permeabile pietrisco/bitume/additivi dovrà avere una permeabilità sotto battente idraulico di 10 cm non inferiore a 1/100 m/s ed un peso complessivo non inferiore a 20 kg/mq.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Per costruire tale protezione, occorre regolarizzare le sponde attraverso l'allontanamento di apparati radicali e l'eliminazione di avvallamenti e piccoli dossi, creando un solco di almeno mezzo metro di profondità a monte della sponda.

Effettuata la semina, mediante mezzo meccanico si posiziona un'estremità della geostuoia all'interno del solco, fissando poi il materiale con staffe e coprendo il solco con terreno. Si stende la geostuoia lungo la sponda e si sovrappongono i teli contigui di almeno 10 cm, fissandoli con picchetti.

Inoltre, si ricoprono i bordi e si fissa la stuoia al piede della sponda, ed infine si esegue una semina di rinalzo.

9. BLOCCHI INCATENATI

Descrizione

Consiste nella disposizione di massi ciclopici a file e loro legatura mediante fune di acciaio di diametro opportuno collegata con barre di acciaio con estremità ad occhiello (o tasselli ad espansione) fissata con malta cementizia antiritiro a singoli massi e vincolata al fondo mediante piloti in ferro.

Le file possono fungere da protezioni spondali longitudinali come nella copertura diffusa armata, o trasversali a soglia nel qual caso vengono di solito collocate due file di massi legati e collegati a loro volta tra loro e fissate a travi poste a monte della soglia, infisse nell'alveo per circa un metro e mezzo e con interasse idoneo a garantirne la stabilità.

Applicazioni specifiche ed Obiettivi

La sistemazione naturalistica in oggetto è adatta a contenere l'erosione lungo le sponde di canali lagunari o lungo coste marine con notevole apporto solido.

Quest'opera si adatta bene agli assestamenti dovuti al trasporto idrico e solido, ha un valido effetto di protezione paesaggistica ed ecosistemica, favorisce la ricostituzione della naturale morfologia spondale, è ricolonizzabile dalla vegetazione ed è economica.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Dopo aver effettuato lo scavo di fondazione, avviene la posa dei massi ciclopici a file singole o doppie. Questi vengono forati, con successiva boiacatura con malta cementizia, per inserire le barre d'acciaio con asole.

I massi vengono assicurati tra loro mediante il passaggio della fune d'acciaio nelle asole. Successivamente, i piloti vengono infissi con disposizione alternata a reggere le funi e i massi nelle strutture longitudinali spondali; per le strutture trasversali, nel fondo a monte della fila inferiore di massi con interasse variabile a seconda dei parametri idraulici.

La struttura viene in genere completata con l'inserimento di ramaglia viva (tamerici).

10. SCOGLIERA RINVERDITA

Descrizione

Difesa longitudinale in grossi massi ciclopici, rinverdita con talee di tamerici inserite nelle fessure tra i massi stessi, per il consolidamento e contro l'erosione delle sponde.

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Si utilizza per canali lagunari e aree costiere con notevole corrente. L'opera una volta realizzata permette l'ancoraggio dei massi al terreno, con protezione immediata delle sponde, che va aumentando con lo sviluppo dell'apparato radicale dei tamerici.

Nei regimi torrentizi le scogliere rinverdate sono soggette a sottoescavazioni.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

La realizzazione della scogliera avviene attraverso varie fasi. Con la sagomatura dello scavo e la regolarizzazione del piano di appoggio si può cominciare a stendere il geotessile sul fondo con funzione strutturale di ripartizione dei carichi e di contenimento del materiale sottostante all'azione erosiva.

Il piede di fondazione viene realizzato con la creazione di un materasso in massi, onde evitare lo scalzamento da parte della corrente e la rimobilitazione del pietrame in elevazione. Inoltre, viene creata una massicciata in blocchi di pietrame per uno spessore di circa 1,5 metri, inclinati e ben accostati, eventualmente intasati nei vuoti con materiale legante oppure legati da fune d'acciaio. I blocchi devono avere pezzatura media non inferiore a 0,4 metri cubi e peso superiore a 5 – 20 quintali, in funzione delle caratteristiche idrodinamiche e della forza di trascinamento. Le pietre di dimensioni maggiori vanno posizionate nella parte bassa dell'opera.

Infine, per inverdire l'opera devono essere inserite robuste talee di tamerici, di grosso diametro, tra le fessure dei massi, poste nel modo più irregolare possibile, di lunghezza tale da toccare il substrato naturale dietro la scogliera. I vuoti residui devono essere intasati con inerte terroso.

OPERE ARTIFICIALI DI DIFESA COSTIERA

OPERE PROTETTIVE (HARD)

1. DIGHE O MOLI

Descrizione

La diga marittima ha come funzione principale la protezione dall'agitazione del mare dei bacini portuali e delle aree di manovra delle navi (porto e avamporto) per creare condizioni tali da permettere, in sicurezza, le normali attività di ingresso, attracco, carico e scarico. L'opera prende il nome di diga se è isolata in mare o di molo se è radicata alla riva.

Le sue dimensioni possono variare notevolmente a seconda delle diverse esigenze: esposizione del paraggio, profondità dei fondali, tipo di porto e morfologia costiera.

In base alla loro disposizione nella formazione dell'accesso al porto i moli e le dighe si possono distinguere in: foranei, cioè esterni al porto; guardiani (sopraflutto o sottoflutto), cioè di fronte all'imboccatura del porto; convergenti o paralleli, cioè a creare una protezione per l'imbocco del porto; antemurali, cioè fronteggiati da una diga parallela alla costa; fociali, in prossimità dello sbocco in mare dei fiumi.

Invece, dal punto di vista funzionale le dighe si possono suddividere nel modo seguente:

- dighe o moli a gettata o a scogliera
- dighe o moli riflettenti a parete verticale
- dighe o moli di tipo misto
- dighe o moli speciali.

Il tipo di soluzione scelta per ogni specifico intervento di protezione costiera dipende poi dalle condizioni ambientali, come la reperibilità dei materiali da costruzione, i fattori climatici locali, la batimetria dei fondali, le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, la rigidità dell'opera da realizzare.

Aspetti ambientali

Tali opere, se realizzate in cemento armato, hanno un forte impatto sull'ambiente costiero anche se sono costruite con moderne tecniche ingegneristiche che limitano l'entità degli scavi e degli altri lavori necessari per la loro installazione. L'impatto ambientale si riduce quando vengono utilizzati massi naturali a gettata per la formazione di una scogliera frangiflutti.

Dighe a gettata o a scogliera

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Le opere frangiflutti hanno come caratteristica principale quella di sopportare, con deformazione progressiva e senza rottura totale, azioni del mare superiori, entro certi limiti, a quelle di progetto, con possibilità di intervenire dopo l'eventuale danneggiamento. I frangiflutti a gettata vengono utilizzati quando l'opera è ubicata su profondità per le quali si possono prevedere onde frangenti, che eserciterebbero su pareti verticali azioni dinamiche molto intense.

Una diga a gettata dissipa l'energia delle onde attraverso i moti vorticosi propri del frangivento. Importante è l'azione dissipatrice svolta dalla permeabilità della struttura; infatti la stabilità di ogni elemento componente è strettamente legata alla stabilità delle altre parti componenti e dell'intera struttura.

Nella diga a gettata con blocchi a sagoma molto aperta (dolos e simili) la stabilità dell'opera, oltre che sul peso del singolo elemento, è fondata su un elevato grado di concatenamento.

Le dighe frangiflutti classiche hanno profilo regolare, ma l'attenta analisi del comportamento delle dighe in alti fondali ha permesso di accertare che il profilo di una mantellata di massi naturali, modificato a S durante una mareggiata, diventa poi perfettamente stabile per mareggiate successive di intensità pari alla mareggiata modellatrice. Così si è giunti alla conclusione che sono due i parametri che contribuiscono alla demolizione della diga: l'irregolarità delle onde del mare e le onde di gruppo.

La funzionalità di una diga a gettata con profilo a S è basata sul principio di corretta utilizzazione dei materiali adoperati. Infatti, la scelta ottimale della profondità della berma riduce l'impatto dovuto al frangivento delle onde; quindi, le onde più alte sono costrette ad un prefrangimento che riduce sensibilmente l'azione dell'onda residua sul tratto di scarpa successivo.

La realizzazione di una diga frangiflutti a berma, usando massi naturali, consente spesso l'utilizzo ottimale di tutto il materiale ricavabile dalla coltivazione di una cava. Inoltre, richiede l'uso di mezzi meccanici molto semplici.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

La loro tecnica costruttiva si avvale del procedimento che consiste nel versare massi sul fondale marino, sia mediante mezzi terrestri che mediante mezzi marittimi. A seconda dei materiali usati si potranno realizzare: dighe in massi naturali; dighe in scogliera con risberma; dighe con masso paraonde di coronamento e banchinamento interno; dighe in massi artificiali (tetrapodi, quadripodi, Stabit, Antifer, tribar, dolos, cubi modificati, massi speciali).

Se le difese sono isolate in mare, per la loro costruzione risulta indispensabile il ricorso ai mezzi marittimi (bette, pontoni, rimorchiatori) con aumento dei costi dell'opera quanto più questa è esposta alla traversia.

In una diga di tale tipo si possono distinguere alcune parti principali:

- a) sottostruttura o imbasamento, idonea a ripartire carichi sul sedime, per lo più costituita da scapolame; se il terreno di sedime è di natura limosa o argillosa, si interpone un congruo spessore di materiale, pietrisco o sabbia, avente funzione di filtro.
- b) infrastruttura in blocchi naturali o artificiali, di peso determinato in funzione dell'entità della sollecitazione ondosa agente, disposti secondo pendenze e configurazioni diverse in base alla zona in cui ricadono. La sommità orizzontale dell'infrastruttura viene detta berma, lo strato inclinato più esterno viene chiamato mantellata. La natura e la disposizione del materiale di cui è costituito lo strato superiore, le asperità e i vuoti esistenti fra masso e masso contribuiscono efficacemente a dissipare la maggior parte dell'energia dell'onda incidente, limitando la parte di energia riflessa.

Il nucleo interno si realizza con materiale di cava tout-venant, la cui granulometria può variare, e va protetto con massi disposti a strati successivi le cui dimensioni aumentano verso la mantellata.

- c) sovrastruttura di coronamento comprendente il massiccio di carico, non sempre presente, e l'eventuale muro paraonde, la cui finalità è quella di evitare frequenti sormonti da parte dell'onda. La quota d'imposta della sovrastruttura si deve mantenere non inferiore a 1-2 metri sul mare.

Dighe riflettente a parete verticale

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Le dighe a parete verticale si oppongono all'azione delle onde incidenti riflettendole verso il largo e dando luogo al fenomeno del clapotis, cioè alla formazione di un'onda stazionaria.

Il comportamento perfettamente riflettente del muro è assicurato solo quando è possibile escludere il frangimento dell'onda a ridosso o a distanza dalla parete, il che equivale ad assicurare adeguati tiranti d'acqua innanzi all'opera.

Le dighe a parete verticale offrono, rispetto a quelle a scogliera, i seguenti vantaggi:

- minori pericoli nelle fasi provvisoriale di esecuzione;
- bassissimi costi di manutenzione;
- maggiore economia;
- minore ingombro;
- maggiore rispondenza fra ipotesi di calcolo e reali condizioni di lavoro;
- possibilità di accostare e attraccare lungo il paramento interno.

Di contro, presentano alcuni svantaggi:

- esigenza di fondali stabili o che si possano rendere tali, in maniera che siano scongiurati sensibili assestamenti;

- maggiore agitazione all'interno di bacini portuali;
- formazione di flussi sfavorevoli alla stabilità di opere e litorali contigui;
- difficoltà di operare eventuali riparazioni;
- rottura senza segni premonitori, spinta fino alla rovina totale dell'opera, quando le condizioni di esercizio si rivelano più gravose di quelle ipotizzate in sede di progetto.

Nella progettazione di una diga a parete verticale va posta la massima attenzione nell'approfondimento della conoscenza del clima meteomarinico del paraggio.

Le dighe a parete verticale non sono "flessibili", pertanto sono vulnerabili nei confronti di condizioni d'onda superiori a quelle preventivate, per cui il rischio che in esercizio possa verificarsi la rottura dell'opera impone maggiore cautela nel fissare i valori dell'altezza d'onda di progetto e della sua probabilità di accadimento nel tempo.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

La diga a parete verticale può essere imbasata direttamente sul fondo marino, se la natura del terreno di fondazione lo consente e il tirante d'acqua innanzi all'opera sia relativamente modesto. Spesso si interpone uno scanno in materiale lapideo sciolto, che ha la duplice funzione di ripartire uniformemente sul sedime le sollecitazioni trasmesse dall'opera e di costituire un regolare piano di posa dell'infrastruttura.

In essa si possono distinguere:

- a) scanno di imbasamento, la cui sommità è spianata a una quota eccedente quella teorica di progetto di una quantità pari all'assestamento dello scanno e all'eventuale cedimento del terreno di sedime attesi in esercizio (calo della diga). A volte può essere necessario bonificare il terreno di sedime, asportando strati superficiali più scadenti e realizzando un letto di sabbia, che ha il compito di drenare gli strati inferiori (limosi o argillosi) saturi e di impedirne la rottura.
- b) infrastruttura verticale o subverticale, che si eleva di poco al di sopra del livello marino medio, costituita da grossi blocchi artificiali (omogenei, cellulari o ciclopici) sovrapposti e collegati fra loro in modo da formare un corpo unico, oppure da cassoni in conglomerato cementizio armato, che vengono portati in galleggiamento dal bacino di costruzione al sito di costruzione della diga, dove vengono affondati riempiendo le celle di acqua, e quindi meglio stabilizzati sostituendo l'acqua delle celle con materiale lapideo (sabbie e limo o conglomerato cementizio magro). Nella maggior parte dei casi, alla base della infrastruttura si realizza un allargamento per ridurre l'entità delle sollecitazioni di tipo pulsante, trasmesse dalla parete verticale alla sovrastruttura.

- c) sovrastruttura di coronamento, comprendente una piattaforma di transito con o senza un muro baraunde. Il muro ha, in generale, paramento verticale sul lato esterno e inclinato sul lato protetto, con pendenza variabile da 1 a 1/10, a seconda che prevalga l'interesse di rendere massima la larghezza della carreggiata della piattaforma o di limitare le tensioni di trazione nel muro stesso. La quota del muro di guardia può elevarsi fino a impedire tracimazioni ondose; a volte, per ragioni economiche e per limitare le sollecitazioni sulla diga, sono consentiti modesti sormonti, che, in quanto diretti prevalentemente in direzione parallela alla parete verticale, non risultano pericolosi per la stabilità della struttura.

Talvolta l'opera viene completata con la realizzazione di massi guardiani, che hanno il compito di proteggere la scogliera al piede della parete verticale (lato mare) contro possibili scalzamenti provocati da correnti di diversa natura, ascendenti o dirette secondo l'asse longitudinale dell'opera.

Dighe di tipo misto

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Caratteristica fondamentale di questo tipo di frangiflutti è che le onde vengono riflesse dal muro quando il livello dell'acqua è sufficientemente alto, altrimenti le onde si rompono contro la parete o contro il pendio in pietrame.

Tali opere sono pertanto progettate tenendo conto della loro duplice natura: sono molto diffuse nei mari a forte escursione di marea.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

I frangiflutti di tipo misto sono costituiti essenzialmente da una parete verticale imbavata su una scogliera in pietrame, la cui berma può trovarsi a livello della bassa marea o anche più in alto.

Al loro interno si distinguono:

- a) scogliera di fondazione;
- b) infrastruttura;
- c) coronamento.

Nel caso di terreni di fondazione notevolmente deformabili e suscettibili si possono utilizzare geosintetici per rinforzo o tecniche di vibroflottazione per compattazione (sabbie) o drenaggi verticali (argille).

Dighe speciali

A tale gruppo appartengono molti tipi di dighe, di cui non si può dare l'esatta quantità in quanto in continua evoluzione, sia nella progettazione che nell'esecuzione.

Tra i modelli principali finora applicati si possono distinguere i seguenti:

- diga con due muri paraonde di cui quello esterno forato;
- diga doppia con interposto bacino di calma;
- diga con cassoni cellulari in cemento armato, divisi longitudinalmente in tre comparti, con parete esterna forata;
- diga parallela frangiflutti eseguita con pali in cemento armato centrifugato infissi nel fondo e collegati con aste in cemento armato vibrato.

La loro struttura è basata su quella delle dighe a parete verticale, ma tiene conto delle condizioni meteorologiche e morfologiche costiere e delle esigenze economico-sociali locali.

2. BARRIERE

Descrizione

Una barriera (o scogliera) frangiflutti protegge la costa dall'azione erosiva del moto ondoso, costringendo l'onda a frangersi al largo, e favorisce un ripascimento con i materiali, intrappolati dietro a tale struttura, per effetto del fenomeno della rifrazione che, a lungo andare, porta alla formazione di un tombolo.

In genere, l'opera può essere poco più alta del livello del mare (barriere distanziate emergenti e segmentate) oppure al di sotto di esso (barriere sommerse o soffolte, cioè emergenti solo in bassa marea); nel secondo caso siccome le opere sono tracimabili i varchi possono anche non essere necessari.

Aspetti ambientali

Questo tipo di opera di intervento è molto efficace dal punto di vista fisico, infatti conduce rapidamente all'ampliamento e alla difesa della costa, ma crea problemi di intorbidimento e di inquinamento dell'acqua marina: infatti le limitate azioni del moto ondoso dietro le barriere non consentono lo spostamento dei sedimenti e la rimozione e l'allontanamento di materiale limoso e argilloso e soprattutto delle sostanze chimiche ed organiche inquinanti.

Quando un sistema di barriere emergenti, sia pure segmentate e distanziate e realizzate con gettate di pietrame, viene impiegato a difesa di spiagge sottili di grande interesse per la balneazione, esso denuncia due tipi di conseguenze ambientali:

- a breve termine nella zona di bagnasciuga della scogliera prolifererà una flora algale che è indice dei processi di eutrofizzazione, che si instaurano nelle aree protette, a causa di non sufficiente ricambio delle acque, specialmente nel periodo estivo, con conseguente inutilizzo dal punto di vista balneare;

- durante le mareggiate, le veloci correnti di ritorno verso il largo, che si hanno attraverso i varchi, causano il rapido approfondimento dei fondali negli stessi varchi. Il fenomeno risulta pericoloso per la balneazione e per la stabilità delle testate degli elementi di barriera.

Barriere frangiflutti emergenti

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Una barriera frangiflutti viene realizzata ad una certa distanza dalla linea di costa e la sua protezione principale è limitata alle onde più alte e ripide, cioè più erosive, che giungono ormai svuotate nella loro forza alla battigia. In tal modo si ottengono due importanti risultati, oltre quello del minor costo della struttura:

- il primo è quello di un certo apporto dei sedimenti in sospensione nella massa d'acqua trascinata, che va ad arricchire la spiaggia che si vuole protetta;
- il secondo è quello di vivacizzare lo specchio d'acqua protetto.

L'efficacia locale di tale intervento è in genere assicurata nel medio – breve periodo, ma presenta però alcuni inconvenienti:

- completa naturalizzazione del litorale
- formazione di specchi acquei con scarso ricambio
- esportazione dell'erosione verso i litorali sottoflutto
- in forti condizioni erosive, il litorale è soggetto comunque ad erosione
- necessita di manutenzione periodica soprattutto alle punte che vengono scalzate dalle veloci correnti che si generano
- per effetto della riflessione dell'onda, si genera un approfondimento dei fondali lato – mare.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Una barriera emergente viene realizzata con scogli di cava o massi artificiali gettati in cumulo su fondali mediamente bassi parallelamente alla battigia e ad una certa distanza da questa.

Si preferisce spesso realizzare la barriera con varchi nella stessa per assicurare attraverso questi un sufficiente ricambio di acqua. E' però importante tener conto della distanza della barriera dalla spiaggia in relazione all'ampiezza del varco o al grado di riduzione dell'energia incidente sull'opera: la distanza della barriera da riva deve risultare doppia rispetto alla larghezza dei varchi.

Barriere frangiflutti sommerse o soffolte

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Un sistema di difesa costiera costituito da una barriera sommersa o soffolta ottempera opportunamente alla protezione del litorale dalle mareggiate e dall'inquinamento. Esso riduce

inoltre la possibilità della formazione di tomboli e quindi anche gli effetti negativi sulla riva sottoflutto.

Una barriera sommersa è spesso meno costosa di un sistema di elementi emergenti con varchi, poiché il suo volume può risultare minore nel paragone, a parità di attenuazione delle maggiori onde, e comunque richiede minori interventi manutentori.

Gli effetti della riduzione della energia ondosa prodotti dalle barriere sommerse diminuiscono rapidamente all'aumentare della sommergenza.

Può anche essere economico ed efficace un terrazzamento della spiaggia sommersa con una piccola serie di basse barriere disposte a gradoni, sulle quali l'onda sia costretta a frangere ripetutamente, cosicché essa giungerà a riva con ridottissima energia. Tale soluzione protegge la spiaggia, sul cui fronte è disposta, senza gli svantaggi igienici di una diga emergente e con minore effetto di trattenuta del sedimento mosso lungo la riva e minore erosione delle zone sottoflutto.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Una barriera soffolta viene realizzata gettando massi di mantellata (naturali, artificiali, parallelepipedici) su fondali bassi parallelamente alla linea di spiaggia.

In questo caso non vengono realizzati varchi tra una barriera e l'altra, in quanto la funzionalità di tali interventi è un'altra e consente un certo ricambio di acqua nei pressi della costa stessa.

3. STRUTTURE DI DIFESA ADERENTI

Descrizione

Esse rappresentano in genere interventi economici e limitati ai tratti di costa in erosione.

Una struttura aderente non costituisce in genere un provvedimento di lunga durata, richiedendo frequenti interventi di manutenzione, ed è soggetta al pericolo di sfiancamento dei lati se non adeguatamente protetti. Essa tuttavia non porta svantaggi alle spiagge limitrofe, se si esclude il mancato arrivo sottoflutto del materiale che prima veniva eroso. Ma anche l'erosione della spiaggia protetta non viene completamente bloccata da questo tipo di intervento, anzi vi è il rischio che essa possa risultare incrementata, sia pure limitatamente alla parte di spiaggia sommersa antistante l'opera di difesa. Infatti, la presenza della struttura, impedendo all'onda di propagarsi oltre verso terra, la costringe a frangere, dissipando quasi l'intera energia residua e riflettendone una parte.

Aspetti ambientali

Tali opere risultano molto impattanti per l'ambiente costiero, soprattutto quando si utilizzano materiali artificiali (calcestruzzo, cemento armato). Nel caso di rivestimenti in pietrame, si cerca di usare pietre naturali che risultino funzionali anche esteticamente.

Esse comunque influiscono negativamente sull'equilibrio di un arenile sottoflutto ed, in conseguenza dell'azione di riflesso, instaura nel profilo un equilibrio che rende particolarmente difficile l'eventuale bonifica della spiaggia antistante.

Difese aderenti permeabili

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Sono di rapida esecuzione e perciò si prestano nel caso di interventi di urgenza. In genere tali opere si realizzano in fondali limitati e con pendenza abbastanza lieve, quindi l'onda investe l'opera dopo avere iniziato il frangimento ad una certa distanza dalla struttura ed aver dissipato una certa energia.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Dal punto di vista costruttivo si distinguono: strutture a gradoni (con accesso agevole alla spiaggia per la balneazione); rivestimento con pietrame o in massi di calcestruzzo; paratie in acciaio con tirante e tessuto filtrante (contro l'erosione al piede); difesa con filtro in geotessile; difesa con nucleo di sabbia e rivestimento asfaltico; gabbionate.

Nella progettazione di questi interventi occorre tener presente che tendono a produrre un approfondimento del fondale al piede e quindi un franamento dei massi della mantellata. Sarà opportuno perciò realizzare in un primo tempo una strutturazione provvisoria non sistemata, allo scopo di consentire al fondale di assestarsi e quindi completare l'opera non trascurando la verifica al piede.

Difese aderenti impermeabili

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Le difese aderenti impermeabili possono essere distinte a seconda che siano realizzate a struttura verticale e fondate in profondità o viceversa a struttura inclinata tali da ammettere il fenomeno del frangimento dell'onda. Nella prima categoria rientrano le opere che hanno comportamento simile a quello di una diga a parete verticale (riflettente). Nel secondo caso la struttura impermeabile può essere realizzata seguendo due concetti diversi. Il tipo più classico è quello costituito da un'opera muraria verticale, che consente il totale utilizzo della profondità del terrapieno retrostante, ma provoca, non appena l'onda l'investe, flutti riflessi che rapidamente originano movimenti trasversali e longitudinali della sabbia. Questo tipo di struttura per essere stabile deve essere fondata profondamente o basata su palificate o protetta la piede con palancole profondamente infisse nella sabbia. Un secondo tipo di difesa aderente impermeabile è appunto costituito da una struttura più o meno inclinata, realizzata in genere in calcestruzzo gettato in opera o in elementi prefabbricati.. Questa struttura permette all'onda di distendersi su di essa nel frangimento. Anche in tal caso però, per l'azione del flutto di ritorno, si crea una certa azione di riflesso che tende a scalzare la struttura alla base ed è quindi necessario proteggere sempre il piede assicurandogli una fondazione profonda. Dal punto di vista della conservazione della spiaggia, la struttura ha effetto negativo poiché ne può provocare la definitiva scomparsa.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Le difese in oggetto sono realizzate solitamente con strutture rigide costituite da murature in getto di calcestruzzo, cassoni, massi artificiali, massi naturali collegati da mastici bituminosi, con fondazioni a pozzi, con pontile in cemento armato, eseguite ad aria compressa. Tra queste rientrano anche i murazzi, tipici della laguna di Venezia, i quali sono muri verticali alti circa 4,50 metri, con pietrame alla rinfusa al piede.

4. PENNELLI

Descrizione

I pennelli sono strutture, ortogonali alla linea di costa, che permettono, intrappolando le sabbie in movimento lungo la riva, la realizzazione di una spiaggia artificiale, spiaggia che è la migliore difesa naturale di una riva. Essi vengono utilizzati nei litorali in erosione con forte trasporto solido longitudinale. Ma se l'attacco ondoso è prevalentemente frontale, la deriva litoranea sarà scarsa: in tal caso un sistema di pennelli non assicura la difesa della spiaggia, anzi può risultare dannoso, facilitando l'allontanamento dei sedimenti più fini. In ogni caso si devono preferire pennelli corti e/o bassi, che, non interrompendo del tutto il trasporto delle sabbie non annulla drasticamente l'arrivo dei materiali alla riva sottoflutto. I pennelli lunghi e alti, viceversa, una volta che il materiale accumulatosi sopraflutto abbia raggiunto la testata, indirizzano la deriva verso fondali profondi, dove le sabbie sono da considerarsi prevalentemente perdute per la spiaggia attiva.

Quando la difesa è costituita da un sistema di pennelli, la costruzione dovrà iniziare dal primo pennello lato sottoflutto per poi proseguire in successione, verso il lato sopraflutto, dando il tempo ai sedimenti di riempire l'area desiderata.

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

Particolare attenzione deve essere posta nell'ammorsare bene a terra la radice del pennello, al fine di evitare il suo aggiramento e sfiancamento da parte dell'onda.

Aspetti ambientali

Il fenomeno si presenta poco impattante a meno che, in presenza di forti fenomeni di trasporto, non avvii processi di riallineamento della riva con erosioni sottoflutto, fenomeno particolarmente evidente con i pennelli emersi.

Pennelli permeabili

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Sono pennelli a corpo discontinuo per permettere il passaggio della sabbia, assorbendo nel contempo una parte dell'energia dell'onda con conseguente rallentamento del trasporto e deposito di materiale detritico.

Essi sono soggetti all'usura degli elementi di sostegno da parte della sabbia, in corrispondenza della battigia. A tali inconvenienti è possibile rimediare con una attenta manutenzione e prevedendo, in fase di progettazione, opportuni accorgimenti costruttivi come fasciature metalliche o in legname delle strutture di sostegno nella zona critica.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Esistono differenti tipi di pennelli permeabili: a palizzata o con pali in cemento armato uniti da elementi prefabbricati, lineari o ad andamento spezzato.

La progettazione di queste strutture presenta difficoltà nella scelta del grado di permeabilità: se questo è troppo elevato l'opera potrà risultare inefficace mentre se la struttura è troppo chiusa è possibile ricadere nei difetti propri dei pennelli a struttura piena (erosione sottoflutto).

Pennelli stabilizzatori

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Sono pennelli di dimensioni ridotte che aggettano di pochi metri rispetto alla battigia. Seguono il profilo della spiaggia emersa e dovrebbero avere la funzione di stabilizzarla e di obbligare il profilo a mantenere un certo andamento, senza impedire il trasporto longitudinale.

Tali interventi possono rallentare il flusso longitudinale del materiale detritico in quanto obbligano i getti alla riva a perdere, almeno in parte, e localmente, l'inclinazione rispetto alla linea di battigia. Il loro effetto è però limitato alla sottile fascia emersa o a pochi metri oltre la battigia mentre non possono influire sul regime di trasporto nella fascia dei frangenti.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Numerosi stabilizzatori sono stati realizzati in legname, con robusti tavoloni di legno duro fissati a picchetti infissi profondamente. Tra gli interventi più diffusi si possono annoverare: pennelli stabilizzatori in calcestruzzo su pali in cemento armato, pennelli in gabbioni di rete metallica e pietrame, pennelli in pietrame con giunti sigillati o sciolti, pennelli in palandole, pennelli con forma a T, pennelli con ripascimenti misti, pennelli in sabbia rivestiti di pietrame legato a bitume.

Su di una spiaggia attrezzata per la balneazione non sono consigliabili stabilizzatori in legname né in gabbioni metallici. Quelli in legname sono destinati a deteriorarsi col tempo e le loro schegge possono essere pericolose, così come quelli in gabbioni metallici possono diventare in breve tempo pericolosi per l'azione abrasiva esercitata dalla sabbia in movimento.

I pennelli in cemento armato su pali per essere veramente efficaci devono spingersi in mare per alcuni metri seguendo il profilo della spiaggia: in tal modo l'eventuale gradino nel profilo si forma a valle del pennello e almeno nella parte emersa non si ha decadimento granulometrico della spiaggia.

Piattaforme-isole

Applicazioni ed Obiettivi specifici

Sono strutture che agiscono sui fenomeni erosivo-deposizionali che si verificano nella zona dei frangenti, ossia in fondali profondi da due a cinque metri o che possono influire sulle correnti da moto ondoso obbligando i detriti trasportati ad un rallentamento senza sospingerli in alti fondali ma anzi mantenendoli aderenti alla costa.

Il meccanismo di funzionamento delle piattaforme-isole e' il seguente:

durante le grandi mareggiate, la struttura e' investita dal frangente già in fase di avanzata rottura e ne assorbe una parte dell'energia con conseguente protezione della zona di spiaggia immediatamente retrostante e delle sue adiacenze.

Durante le agitazioni medie e minori, l'onda si presenta in corrispondenza del manufatto ancora integra e nella rifrazione intorno ad esso cambia di direzione e diminuisce di intensità. In conseguenza nella zona protetta dalla piattaforma, si assiste alla formazione di un tombolo costituito da sabbia decisamente piu' fine di quella che si osserva sul resto dell'arenile.

A questa azione di protezione di una parte, sia pure ridotta del lido, si associa il fatto che la stessa presenza della struttura, influisce profondamente sul regime delle correnti radenti che si generano lungo l'arenile e nella zona dei frangenti in conseguenza del moto ondoso. La presenza dei manufatti in una certa successione sposta queste correnti obbligandole a passare all'esterno dove, per effetto della maggiore profondità, la loro velocità si smorza diminuendo di conseguenza la capacità di trasporto.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

Queste difese costiere consistono in genere in opere in scogliera, di forma circolare e di dimensioni limitate, rinforzate e stabilizzate nella parte centrale da un anello di calcestruzzo. Il dimensionamento della struttura, nel caso che essa sia realizzata in scogliera di massi naturali o artificiali, e' molto simile a quello utilizzato per la testata di un pennello.

Per ciò che riguarda la realizzazione, nel caso che la costruzione avvenga via mare, non esistono problemi se non relativi al limitato fondale in cui si svolge l'opera. Nel caso si debba operare da terra si inizierà un versamento di materiale da ripascimento, così da costruire una specie di piccolo istmo che consenta ai mezzi terrestri di giungere a versare e sistemare gli scogli nella zona prescelta. E' opportuno trasformare il tombolo di unione in una struttura che permetta ai materiali di superarlo. Infatti, per sfruttare a pieno le caratteristiche delle piattaforme-isole e' necessario che il materiale in movimento possa, sia pure con un rallentamento, superare l'ostacolo passando tra esso e la spiaggia e mantenendosi così sempre aderente al lido.

Per evitare fenomeni di riflessione, che avrebbero per conseguenza oltre che l'escavazione al piede della scogliera nella parte esterna anche modificazioni nell'andamento del profilo e quindi sul flusso longitudinale del materiale, e' stata in genere prescelta la forma circolare. Infatti essa consente un rapidissimo smorzamento dell'eventuale onda riflessa. Almeno nella parte a mare occorre realizzare scarpate abbastanza dolci ed impostare ad una quota limitata il ciglio superiore della struttura, per ridurre la frazione di energia che può venire riflessa.

E' stata sperimentata anche la costruzione di piattaforme-isole sommerse: esse sono di facile realizzazione e non incidono sul paesaggio, ma sono di difficile segnalazione.

5. DRAGAGGIO

Descrizione

Il dragaggio è il processo artificiale attraverso cui il materiale detritico viene rimosso, mediante una draga, dalla foce di un fiume o dal fondo del mare e ricollocato altrove, con lo scopo di rendere i canali più profondi per il passaggio delle navi. Questa tecnica viene utilizzata anche per prelevare minerali commercialmente utili dai fondali.

La macchina di dragaggio è caratterizzata, in generale, da alcuni componenti fondamentali:

- a) Disgregatore rotante – scava il terreno spargendolo in sospensione; un motore è presente in cima alla “scala” lungo la quale ruota l’asta che attiva l’escavatore.
- b) Condotto di aspirazione – è sospeso sotto la “scala” ed è connesso, per mezzo di un giunto flessibile, alla principale pompa idraulica, che aspira il materiale sollevato in sospensione.
- c) Pompa principale – è collocata nel corpo della draga e può consistere di una o più pompe in serie o in parallelo.
- d) Linee di scarico – consistono in tre parti principali, sulla draga, galleggianti e sulla spiaggia. La parte sulla draga è collegata alla linea galleggiante attraverso un perno giuntato a gomito, con la possibilità di compiere angoli molto ampi. La linea galleggiante è supportata da ponti galleggianti, mentre la parte sulla spiaggia è costituita da condotte fissate insieme per i cambiamenti di ubicazione dello scarico finale.
- e) Puntoni – pali verticali appuntiti di acciaio, lasciati cadere o conficcati sul fondale, intorno ai quali è impernata la draga quando opera. Questi vengono fissati a turno così che la draga si può spostare lungo il canale mentre l’escavatore oscilla da un lato all’altro.
- f) Ancore – sono fissate sul fondo o a lato del canale ed i cavi alle quali sono attaccate sono collegati a tamburi sincroni sulla draga.

- g) Attrezzatura di sollevamento – serve per sollevare e abbassare “la scala” con l’escavatore e la condotta di aspirazione, per sollevare gli stabilizzatori e per spostare la draga. Questa attrezzatura può consistere in sistemi di leve meccaniche o di azionatori idraulici.
- h) Stanza di controllo – è collocata all’estremità della prua dove la “scala” può essere osservata più da vicino; inoltre, essa consente di monitorare tutte le operazioni che vengono effettuate con la draga.

Il modo di dragare dipenderà, oltre che dal tipo di draga (e dalle sue dimensioni), soprattutto dal materiale che deve essere rimosso. Il fango verrà aspirato rapidamente così che è possibile raggiungere in breve tempo la profondità desiderata; invece, la roccia o il suolo compatto richiederà piccole escavazioni e un numero maggiore di spostamenti della draga per raggiungere il livello del fondale.

Dunque, per gli scavi subacquei possono essere adoperati diversi tipi di draghe:

- Draga a noria o catenaria di tazze (bucket-dredger), consiste in uno scafo, trainato, portante una catena di tazze che ruota con le tazze a contatto del fondo. Essa è adatta per una vasta gamma di terreni. Il materiale scavato viene versato su di una betta. Non è adatta per piccoli porti e richiede numerosi addetti.
- Draga a cucchiaia o badilone (dipper dredger), porta un’unica cucchiaia di capacità fino a 5 – 6 metri cubi. Questa draga può effettuare lo scavo con grande precisione ed è usato soprattutto per l’escavazione di canali di piccola sezione e per bassi fondali; può essere automotore ed è manovrata da un equipaggio poco numeroso. E’ adatta per porticcioli.
- Draga a benna mordente o a grappo (grab-dredger), costituita da un natante portante un derrick con benna. Questa può essere a due o più valve, di capacità fino a circa 1 metro cubo. Ha scarso rendimento, ma è fra le meno costose e trova frequente applicazione per piccoli porti.
- Draga aspirante (suction-dredger), aspira il materiale dal fondale con l’ausilio di una tubazione immersa e di una pompa centrifuga. Il materiale aspirato può essere versato nelle tanche della draga, che poi lo scarica al largo, oppure versato su di una betta o pompato direttamente in una tubazione galleggiante, fino alla discarica sottoflutto. Può essere utilizzata assieme ad un disgregatore rotante. Adatta per coste riparate.
- Impianto di dragaggio aspirante fisso, in cui la draga aspirante consiste in un braccio di aspirazione girevole, sistemato sulla testa circolare di un pontile, capace di aspirare 700 metri cubi all’ora di miscela in cui viene raggiunta una percentuale di sabbia del 15 %. La miscela aspirata viene scaricata sottoflutto al porto ed alle scogliere, tramite una lunga tubazione, in cui viene spinta da una stazione principale di dragaggio e da successive stazioni di spinta (stazioni relè).

Aspetti ambientali

L'impatto ambientale derivante dal dragaggio e dal sito ove vengono depositati i materiali di risulta coinvolge tanto la morfologia del fondo che gli ecosistemi, che possono essere alterati anche in modo irreparabile.

Infatti, prelevando materiali dal fondo si distrugge la vegetazione ed ogni altra forma di vita che costituiscono la base della catena alimentare. Di conseguenza, l'intero ambiente biologico viene alterato. Qualsiasi operazione di dragaggio provoca un aumento di materiale in sospensione, la cui entità è funzione della granulometria dei materiali in sospensione, determinando una riduzione della trasparenza con diminuzione della radiazione luminosa disponibile per la fotosintesi. Una riduzione dell'ossigeno può portare a crisi distrofiche, con aumento dell'eutrofizzazione nella zona. Infine il depositarsi dei materiali in sospensione in aree diverse da quelle di provenienza può creare alterazioni delle condizioni di vita in queste nuove zone di deposito.

Un'escavazione che determini aree con forti e bruschi approfondimenti di fondali rispetto alle aree circostanti può dar luogo a correnti marine di entità tale da provocare danni ai litorali circostanti. E' quindi sempre opportuno effettuare gli scavi di prelievo del materiale in modo da determinare approfondimenti molto graduali e ripartiti su superfici estese, posizionandoli in zone sufficientemente lontane dalla battigia e da manufatti.

6. ALTRE TECNICHE DI INTERVENTO

Setti sommersi

Questi interventi vengono realizzati impiegando strutture verticali di facile costruzione e di costo contenuto come le palancole in ferro. Il dispositivo è costituito da una fila di elementi metallici infissi nel fondale a formare una superficie chiusa, sporgente dal fondo marino di una quantità eventualmente variabile.

Quindi, tenuto conto che la massima parte dei materiali detritici è trasportata in uno strato molto sottile aderente al fondo quest'opera consente di intervenire efficacemente sulle linee del flusso detritico.

L'orientamento dei setti, per ottenere un rallentamento del flusso longitudinale, dovrà essere normale alla spiaggia e inclinato rispetto ad essa, così da provocare una certa tendenza del detrito a risalire il pendio o ad essere trattenuto nella discesa. In tal modo si potrebbe ottenere anche un effetto sul profilo rendendolo più ripido ed influenzando con ciò anche sul trasporto trasversale.

Reti di propilene e Geotessuti

Le reti di propilene sono materiali sintetici che possono essere impiegati fissando il materiale di fondo della zona sommersa di una spiaggia, ottenendo il doppio effetto di sottrarre gli elementi che la costituiscono al fenomeno di usura e di impedirne l'asportazione da parte delle azioni marine.

Infatti, queste reti consentono di mantenere la permeabilità della barriera evitandovi sottopressioni e nel contempo impedendone l'attraversamento da parte della sabbie e dei limi. Con tale intervento la spiaggia diviene un qualcosa di statico o meglio capace solo di accrescersi, senza determinare squilibri nelle spiagge vicine.

Gli unici svantaggi ipotizzabili sono relativi al comportamento della rete sottoposta all'azione del moto ondoso, al fatto che essa possa essere o meno ancorata stabilmente al fondale e alla sua resistenza nei confronti degli agenti chimico - biologici dell'ambiente.

I geotessuti, o geosintetici, sono materiali sintetici impiegati principalmente per il controllo dell'erosione. Essi sono costituiti da filamenti sintetici (polietilene ad alta densità, poliammide, polipropilene od altro), aggrovigliati in modo da formare un materassino molto flessibile dello spessore di 10 – 20 mm. La forma tipica di un geotessuto consiste in una struttura tridimensionale con un indice dei vuoti molto elevato, mediamente superiore al 90 %.

Essi hanno principalmente funzione antiersiva e di contenimento delle sabbie di una spiaggia: perciò sono permeabili all'acqua ma non si lasciano attraversare dai materiali sabbiosi.

Diaframmi antifiltrazione

Essi fanno parte di nuove tecniche, applicate recentemente nell'ambito dei progetti per la salvaguardia della laguna di Venezia, che vengono utilizzate insieme ai materiali tradizionali. Infatti, sono stati applicati nell'area urbana veneziana per la difesa locale degli abitati del litorale dalle acque alte.

Tali diaframmi sono costituiti da un palancolato metallico che ha la funzione di impedire la filtrazione di acqua all'interno dei muri di sponda preesistenti. La tecnica consiste sempre nell'infissione di palancole in acciaio sul fondo del canale mediante pinza vibratrice ed è effettuata in concomitanza al rialzo delle rive di alcune decine di centimetri.

Sopralzo ed aumento della scabrezza dei fondali

Questo intervento, di recente applicazione, consente di rallentare e diminuire l'erosione dovuta alle ondate sulle coste.

Infatti, in prossimità di litorali soggetti a forti azioni abrasive si possono modellare i fondali artificialmente sagomandoli con dei gradoni in cemento armato, che consentano all'onda di perdere energia cinetica dissipandone un certo quantitativo per attrito col fondo marino. In tal modo le onde

che giungono a riva hanno meno potenza, minori dimensioni e giungono con un carico solido inferiore.

Quest'opera non sempre è applicabile in quanto è strettamente correlata alle condizioni batimetriche e morfologiche della costa ed alle condizioni meteomarine locali.

Paratoie mobili ad aria compressa (MOSE)

Sono opere mobili costituite da schiere di paratoie installate sul fondale delle bocche di porto a protezione della laguna veneziana. Sono definite "mobili" perché in condizioni normali di marea sono piene d'acqua e restano adagiate nelle strutture di alloggiamento (cassoni prefabbricati) realizzate sul fondo e vincolate ad esse per mezzo di cerniere.

Quando sono previste maree superiori a 100 cm a Venezia (in media 7 volte all'anno), le paratoie vengono svuotate dall'acqua mediante immissione di aria compressa così da farle sollevare, ruotando attorno all'asse delle cerniere, fino ad emergere e bloccare il flusso della marea e ad isolare temporaneamente la laguna dal mare. Le bocche restano chiuse per la sola durata dell'acqua alta e per i tempi di manovra delle paratoie (in media 4 ore e mezza, complessivamente).

Le paratoie hanno spessori compresi tra i 3,6 e i 5 metri e sono lunghe da 18 a 28 metri.

Apparecchiature mobili contro l'acqua alta (ARCA)

E' un sistema di moduli costituito da navi – porta, cioè cassoni a forma di navi in grado di spostarsi con il variare delle maree. Dunque, le apparecchiature sono rimovibili d'estate quando le maree sono normali. Le navi – porta verrebbero utilizzate solo in caso di maree eccezionali, quando cioè fosse necessario chiudere completamente le bocche di porto della laguna di Venezia.

Difese idropneumatiche

Alcuni tipi di difesa non sfruttano il peso quale elemento resistente – base e sono tuttora oggetto di studi sperimentali per il loro perfezionamento:

- Difese pneumatiche - consistono in apparecchiature per l'insufflazione di aria compressa a mezzo di tubi metallici forati disposti orizzontalmente in prossimità del fondo marino ed ubicati nella posizione a formazione della barriera.

L'aria compressa viene insufflata nella massa di acqua attraverso i fori dei tubi e sale in superficie sotto forma di bolle che formano una cortina rompendo il moto orbitale dell'onda e provocando la formazione di onde di minore altezza e di minor periodo.

Il dispositivo pneumatico è efficace, ma ha costi elevati a causa della grande produzione di aria compressa; la sua efficacia è migliore nella difesa contro le ondate secondarie.

- Sistemi idraulici a getto d'acqua sottopressione – sono in fase sperimentale e non risultano applicazioni pratiche di rilievo.
- Frangiflutti galleggianti – vengono ancorati al fondale e sono utilizzati per ridurre l'ampiezza delle oscillazioni. I galleggianti composti, opportunamente uniti, muovendosi al passaggio dell'onda, con un movimento oscillatorio, intorno al punto di attacco del cavo di ancoraggio, che funge da cerniera, colpiscono l'onda riducendone l'ampiezza. Tale sistema tuttavia è regolato e funziona solo su un periodo dell'onda determinato ed è efficace per fetchs di pochi chilometri (onde lacuali).

OPERE DI RIFORMIMENTO ARTIFICIALE (SOFT)

RIPASCIMENTI E CREAZIONE DI SPIAGGE NUOVE

Descrizione

Il ripascimento consiste nel versamento artificiale di sabbia in determinate zone litoranee, soggette ad erosione. In realtà, esso rappresenta il mezzo di difesa più idoneo, in quanto emula la natura, e il suo impiego, limitato quasi unicamente dalla disponibilità di cave di prestito (a terra o in mare al largo, a profondità non inferiori a 50 metri), ha il vantaggio di una buona ed efficiente difesa della linea di riva, che potrà anche avanzare, e la quasi totale assenza di svantaggi, specie sulle coste limitrofe.

Il ripascimento artificiale prevede uno studio granulometrico, sedimentologico e petrografico perché il materiale prelevato sia in equilibrio con quello già presente naturalmente. Il calcolo dei volumi necessari per ottenere un determinato avanzamento a regime del litorale, la valutazione delle perdite, l'influenza della granulometria, l'altezza del ripascimento a terra sono alcuni degli aspetti che devono essere considerati per la progettazione di questi interventi.

Aspetti ambientali

La scelta di un sito idoneo di prelievo, per queste tecniche, rispetto alle condizioni al contorno (coperture sedimentarie, aree sensibili, attività di pesca, ecc.) rappresenta la condizione fondamentale per lo sfruttamento del giacimento e la sua ecocompatibilità con gli eventuali impatti ambientali indotti, e deve comunque essere compatibile con le normative vigenti.

Qualche inconveniente, di tipo ambientale, è da prevedersi per l'aumentare temporaneo della torbidità delle acque costiere, almeno in una fase iniziale, specie quando sia rilevante la percentuale di sedimenti fini nel materiale di riporto.

Applicazioni ed Obiettivi specifici

L'applicabilità di tale tecnologia sta nella sua estrema semplicità concettuale: la sabbia che non arriva più con il naturale trasporto solido viene sostituita integralmente o in parte con sabbia prelevata dai fondali marini. Un approccio progettuale così diretto si è reso possibile solo con la maturazione di due condizioni: tecnologie di dragaggio avanzate e disponibilità di cave marine.

Nel caso di apporto di sabbia con duplice funzione di difesa e di ricostruzione dell'arenile, si parla di ripascimento morbido, che differisce da quelli artificiali, o assistiti, con opere di difesa abbinate (pennelli rifornitori o barriere soffolte). Il quantitativo di sabbia per un ripascimento morbido, a parità di avanzamento progettuale della linea di riva, è in genere superiore a quello di un ripascimento assistito in quanto è da prevedere una distribuzione trasversale superiore (pendenze di equilibrio minori) ed una quantità supplementare per la formazione delle barre (secche).

Occorre comunque ricordare che il rifornimento artificiale della spiaggia non risolve il problema dell'erosione alla radice e che occorrerà che esso sia periodicamente ripetuto per equilibrare le perdite naturali di sabbia contemporaneamente causate dall'azione dell'onda.

Inoltre, deve essere studiata la fattibilità di distribuire meccanicamente o idraulicamente la sabbia direttamente su una spiaggia in erosione per riparare o formare, e successivamente conservare, una adeguata spiaggia protettiva e considerare altre misure di rimedio come ausiliarie a questa soluzione. Il ripascimento di un segmento di spiaggia erodibile può essere anche ottenuto, stoccando adatto materiale al suo limite sopraflutto, utilizzando cioè i naturali processi di trasporto lungoriva per distribuire il materiale lungo la rimanente spiaggia.

L'evoluzione di un intervento di ripascimento di spiaggia è il risultato del trasporto trasversale e longitudinale dei sedimenti. Nel caso semplice di una costa lunga e diritta, le scale temporali associate all'equilibrio del profilo trasversale e di quello della forma planimetrica sono diverse e valutabili nell'ordine di due o tre anni e di decenni, rispettivamente. L'evoluzione planimetrica della battigia è influenzata dalla morfologia generale del sistema da rinascere, che, nel caso più semplice è quello di una spiaggia lunga e diritta.

Caratteristiche costruttive e Materiali impiegati

L'erosione di una spiaggia è la conseguenza di un trasporto di materiale in quantità superiore a quella di apporto. La modifica di questo bilancio negativo, mediante la fornitura artificiale della sabbia mancante, risulta evidentemente un intervento idoneo non solo a frenare il fenomeno erosivo, ma anche, se la quantità fornita è in eccesso rispetto alla stretta necessità di stabilizzazione, a fare avanzare la battigia verso mare.

Nei progetti di ripascimento di una spiaggia, dopo la verifica del bilancio dei sedimenti e dei volumi mancanti per l'equilibrio della spiaggia in erosione, sono due i principali controlli da fare circa il successivo naturale trasporto fuori dell'area del versamento:

- a) controllo del comportamento del profilo trasversale della sabbia, cioè dell'equilibrio del profilo di spiaggia;
- b) controllo dell'evoluzione della battigia sotto l'effetto della corrente lungoriva.

Dall'analisi di questi due congiunti aspetti dell'equilibrio dinamico della spiaggia, potremo ottenere le indicazioni che caratterizzano il progetto, come qualità e quantità del materiale da versare, avanzamento della battigia, costo dell'intervento e sua ottimizzazione.

La possibilità di estrarre notevoli quantità di sabbia da fondali marini comporta l'impiego di mezzi particolarmente specializzati. Attualmente i mezzi più idonei sono costituiti da draghe autocaricanti, aspiranti e refluenti, ovvero mezzi con pozzi di carico per la sabbia dotati di tubazioni aspiranti (elinde) ed attrezzati per refluire il materiale caricato con tubazioni da collegare al mezzo che raggiungono i siti di ripascimento.

Nel momento in cui si debbono aspirare depositi di elevata profondità, i mezzi draganti assumono dimensioni notevoli e profondità di pescaggio elevate; quest'ultima circostanza comporta, in fase di refluento lo stazionamento del mezzo dragante ad un'elevata distanza dalla costa.

Grazie a più interventi di tale tipo, si è potuto constatare l'importanza strategica di una flessibilità nelle operazioni di refluento (possibilità di intervenire in punti diversi della costa, possibilità di ritornare su punti rilevatisi particolarmente sensibili, ecc.) che può essere consentita dalla tecnologia delle tubazioni galleggianti (facilmente spostabili) mentre risulta praticamente impossibile con l'adozione di tubazioni rigide fisse. La possibilità di impiegare tubazioni galleggianti è tuttavia limitata dalla loro lunghezza (difficile gestione durante le mareggiate) e quindi difficilmente possono essere impiegate con stazionamenti del mezzo dragante a 2 Km dalla costa.

Nel caso di cave di prestito a terra bisogna stabilire un "piano di cave" organico da tenere a base per programmare il rifornimento dei materiali occorrenti per il ripascimento di una spiaggia, unitamente all'organizzazione del trasporto del materiale stesso

Un progetto di ripascimento artificiale, sia che si tratti della realizzazione di una nuova spiaggia, che del mantenimento o ampliamento di una spiaggia esistente, richiede sempre una precisa conoscenza della dinamica del litorale su cui si interviene, specie per quanto riguarda la direzione del trasporto litoraneo ed il deficit dei sedimenti.

Fondamentale è anche la conoscenza delle caratteristiche granulometriche e tessiturali originarie della fascia costiera, da ottenersi in base ai risultati delle analisi di un sufficiente numero di campioni prelevati dalla spiaggia emersa e dalla spiaggia sommersa.

La scelta del materiale di apporto dovrà infatti essere effettuata tenendo conto delle caratteristiche originarie dei sedimenti di spiaggia. Un programma di ripascimento artificiale richiede la preventiva definizione delle caratteristiche geometriche di progetto, in particolare: quota, larghezza della berma e profilo, che prevedibilmente assumerà la spiaggia sotto l'azione del moto ondoso. La quota della berma e la sua larghezza andranno definite a seconda della finalità della spiaggia (spiaggia protettiva, spiaggia ad uso ricreativo, ecc.).

La scelta del profilo della spiaggia di progetto potrà avvenire basandosi sui profili trasversali rilevati all'interno della fascia costiera in esame o dei tratti adiacenti, tenendo conto delle eventuali diversità delle caratteristiche granulometriche dei materiali di apporto rispetto ai materiali originari. Un ulteriore aspetto da considerare nel progetto consiste nelle modalità di alimentazione della spiaggia, in particolare per quanto riguarda la scelta fra un unico o più punti di alimentazione nonché l'ubicazione e le dimensioni opportune del o dei depositi di alimentazione. Nel caso di una spiaggia facente parte di un'unica unità fisiografica, il ripascimento potrà ottenersi mediante la realizzazione di un deposito di alimentazione all'estremità sopraflutto, in modo che l'alimentazione della spiaggia sottoflutto possa avvenire ad opera del trasporto litoraneo. La previsione di più punti di alimentazione è consigliabile quando sia richiesto un ripascimento rapido ed uniforme su tutta la spiaggia.

Il problema principale è quello del reperimento del materiale idoneo al ripascimento, che rientra nell'ambito di una specifica ricerca di aree dove localizzare le possibili zone di prelievo, con l'individuazione delle caratteristiche stratigrafiche, sedimentologiche e delle quantità dei materiali, la cui estrazione dovrà risultare economicamente conveniente.

Dunque, la riuscita di un versamento dipende dalla granulometria e dalla qualità del materiale disponibile. Per quanto riguarda la granulometria, ognuna delle particelle occupa una data posizione nel profilo e più vicina alla battigia emersa per il materiale grossolano.

Perciò se si versa su di una spiaggia emersa del materiale granulometricamente assortito, la frazione più sottile andrà ad assumere posizioni profonde, mentre la più grossolana rimarrà nella parte alta del profilo. Se invece il materiale sarà costituito da sola sabbia fine, esso si depositerà in profondità senza alcun vantaggio immediato per la spiaggia emersa.

Con opportuni accorgimenti è possibile far assumere ai granuli posizioni del profilo che naturalmente loro non otterrebbero, con notevoli vantaggi per la stabilità della spiaggia e per l'economia del lavoro.

Prima di predisporre un versamento di materiale occorre condurre appropriate indagini sulla sua composizione media, soprattutto per l'aspetto negativo legato ad elementi di grandi dimensioni, che impediscono la distribuzione del restante materiale più idoneo, e per la presenza di particelle minutissime, che vanno a depositarsi in fondali profondi non arrecando al lido alcun beneficio.

Grande importanza riveste infine la composizione petrografia delle rocce da cui traggono origine i materiali detritici, perché i granuli provenienti da rocce dure saranno vitali per un lungo periodo di tempo, quelli teneri saranno rapidamente trasformati in particelle minutissime e quindi andranno presto perduti negli alti fondali.

Le tecniche di valutazione delle quantità di sabbia necessarie per ricostruire la parte sommersa delle spiagge (berme) sono ancora oggetto di studio e tale circostanza condiziona notevolmente il calcolo dei volumi necessari per raggiungere un determinato avanzamento del litorale. In effetti nel primo ciclo stagionale dopo il ripascimento si assiste ad un forte trasporto trasversale dei sedimenti che vanno a ricostruire le berme (secche) di cui le spiagge in crisi erosiva sono carenti. Tale effetto comporta repentini arretramenti della linea di battigia che devono essere stimati in fase progettuale.

Tecniche di versamento

Le tecniche di versamento sono diverse a seconda della situazione da affrontare e quindi dei risultati da conseguire ed anche a seconda del materiale disponibile. I versamenti diretti sono quelli effettuati in corrispondenza della spiaggia e i versamenti indiretti sono quelli effettuati sopraflutto alla spiaggia.

Versamenti diretti sulla battigia – Per situazioni di emergenza al manifestarsi di una corrosione, il versamento verrà effettuato semplicemente a mezzo di autocarri ribaltabili, in cumuli più o meno concentrati lungo la battigia. In tal caso sarà opportuno che il materiale versato sia di granulometria sensibilmente superiore a quella dell'arenile perché assuma e mantenga una posizione abbastanza alta nel profilo trasversale della spiaggia. Nel corpo del materiale non dovranno però trovarsi in quantità elementi di grandi dimensioni che potrebbero danneggiare le caratteristiche dell'arenile.

Versamenti diretti a mezzo di pennelli rifornitori – Per ottenere un risultato meno immediato ma con un effetto più esteso in profondità, per esempio per alimentare spiagge di recente bonifica o costruzione, è buona norma ricorrere alla formazione di pennelli rifornitori e cioè a manufatti di detrito che si protendono in mare con una sezione esile e bassa.

Essi consentono di distribuire il materiale più al largo lungo il profilo trasversale, facendo assumere alle granulometrie più grossolane una giacitura profonda con conseguente innalzamento del fondo e quindi addolcimento del profilo. Infatti, in occasione di mareggiate, per effetto della diffrazione si verifica una concentrazione di energia sul pennello che verrà rapidamente demolito dalla azione marina. Durante il processo di demolizione avviene la separazione delle diverse granulometrie. Infatti, i materiali finissimi vengono rapidamente posti in sospensione dall'azione delle onde ed asportati; quelli sabbiosi medi e fini assumono rapidamente la posizione che loro compete nel profilo; quelli più grossolani, non potendo essere trasportati dalle onde, restano in sito e si accumulano sul fondale antistante la battigia contribuendo ad innalzarlo ed a stabilizzarlo e

diminuendo pure la pendenza del profilo. Tale tecnica consente di utilizzare materiali estremamente scadenti per qualità e pezzatura.

Versamenti diretti aderenti – Tale versamento viene effettuato in aderenza ad un'opera litoranea esistente e si realizza con una fascia di materiale di cui il solo lato esterno viene immediatamente investito dall'azione del mare, mentre il lato interno rimane protetto.

Questo tipo di intervento mira ad ottenere la rapida costituzione di una striscia di arenile anche con l'impiego di una quantità limitata di materiale e di qualità scadente. Infatti sia nel versamento diretto che in quello a mezzo di pennelli rifornitori, si ha l'immediata perdita dei materiali molto fini ed anche i materiali grandi sono esposti all'usura; al contrario con il versamento aderente si forma rapidamente al piede per selezione una coltre di materiale grossolano che protegge quello retrostante.

Versamenti indiretti – Sono necessari per provvedere alla normale alimentazione di una spiaggia, naturale o artificiale, ed assicurare all'arenile un gettito abbastanza regolare proprio in occasione delle mareggiate.

I versamenti indiretti si effettuano formando un cumulo di detrito sopraflutto alla spiaggia, possibilmente su un tratto di lido scarsamente utilizzabile o meglio oltre il limite di spiaggia, in una zona apertamente esposta all'azione del mare. Sul promontorio artificiale che viene formato con il versamento dei detriti, per effetto della diffrazione dell'onda si produce una concentrazione dell'energia del moto ondoso che ne accelera l'erosione.

Mentre i materiali solubili vengono ridotti in sospensione e allontanati dalle correnti, i detriti di una certa granulometria sono sottoposti all'usura del mare e nel contempo sospinti verso le spiagge sopraflutto.

I materiali molto grossolani restano invece al piede della discarica e qualora siano in quantità elevata ne costituiscono un'autodifesa, opponendosi al procedere successivo dell'erosione. In tal caso è opportuno provvedere con una certa saltuarietà al loro allontanamento.

I materiali medi vengono trasportati per un breve tratto immediatamente sottoflutto al cumulo di detrito andando a costituirvi una spiaggia di materiale grossolano o comunque di scarso valore.

Sarà perciò opportuno lasciare una fascia di rispetto tra il cumulo detritico e la spiaggia da alimentare ed eventualmente frapporre un manufatto con funzione di filtro, capace di arrestare i grossi ciottoli senza costituire un ostacolo sensibile al passaggio della sabbia.

OPERE DI DIFESA DALL'INQUINAMENTO

CONDOTTE DI SCARICO A MARE

Il mare rappresenta il naturale recapito finale di tutte le acque di pioggia e pertanto anche di tutte quelle degli scarichi urbani ed industriali, comunque trattate.

Il principale problema progettuale è quello di provvedere a che il preventivo trattamento di depurazione delle acque reflue e le modalità del successivo loro scarico siano tali da assicurare alle acque del bacino ricevente gli standards di qualità prescritti dalla legge, con riferimento alla specifica loro utilizzazione.

Fondamentale è il fatto che affinché si possa fare affidamento sul trasporto verso il largo dei materiali scaricati da fogne urbane, occorre che gli scarichi sfocino al di là della zona dei frangenti. L'ubicazione degli scarichi dovrà anche essere scelta in modo tale che, nelle zone di scarico, vi sia prevalenza di correnti con direzione verso il largo, sì che la diluizione dei liquami, che è il fine ricercato, sia effettivamente assicurata. La diluizione dovuta al processo di trasporto al largo è in genere prevalente su quella che avviene attraverso i diffusori degli scarichi, opportunamente progettati come numero, diametro e profondità di posa.

Una maggiore profondità del diffusore e una maggiore lunghezza della condotta assicureranno un più elevato rapporto di diluizione e quindi richiederanno trattamenti meno spinti a terra.

E' conveniente ubicare un impianto di trattamento in aree ben lontane dalla città, per evitare di impegnare superfici di alto valore economico e quindi deprezzamento delle stesse e vincoli di servitù nelle immediate vicinanze. Questo comporterà costose opere di canalizzazioni e pompaggio dei liquami. Inoltre, si dovranno costruire idonei sfioratori di emergenza, che scaricano a mare in caso di eccezionali temporali.

Infine, è opportuno prevedere un idoneo serbatoio di compensazione, in testa alla condotta di scarico sottomarina, per assicurare una velocità costante alle luci del diffusore. E' buona norma affiancare al serbatoio di compensazione una vasca per la clorazione da poter utilizzare in occasione di possibili epidemie. Per velocità superiori ai 2 m/s è consigliabile installare, insieme al serbatoio di compensazione, anche un separatore della sabbia, per evitare gli effetti dell'abrasione sulle pareti interne della condotta e delle luci del diffusore. Si devono prevedere anche flange d'ispezione lungo il tratto terminale della condotta. I diffusori, che sporgono al di sopra del fondo marino, devono essere protetti da eventuali azioni di ancore di navi o reti da pesca.

La tubazione va interrata, ad evitare sia alterazioni delle spiagge per un diverso equilibrio di correnti, sia una pericolosa azione del mare sulla condotta (oggi sono usate macchine per lo scavo, la posa e il ricoprimento simultanei della condotta).

PIATTAFORME OFFSHORE

Una piattaforma petrolifera offshore consiste di una struttura in acciaio che può essere fissa o trasportabile (e autosollevante). Essa è formata da alcuni elementi particolari.

Nella parte superiore della piattaforma sono alloggiati le attrezzature di perforazione, i materiali per perforare il pozzo e il modulo alloggi per il personale di bordo. Nella parte inferiore si trovano le gambe, che possono essere in numero di tre o più e che possono essere a sezione quadrangolare o circolare (altrimenti vengono usati anche numerosi piloni in acciaio).

La struttura viene rimorchiata, in posizione di galleggiamento, tramite rimorchiatori (supply vessels) sul luogo dove è prevista la perforazione del pozzo. Poi, nel caso di una piattaforma autosollevante vengono discese le gambe, tramite guide a cremagliera, in mare fino ad appoggiarsi o conficcarsi nel fondo marino; lo scafo viene sollevato al di sopra della superficie marina al fine di evitare interazioni col moto ondoso e gli effetti di marea durante le fasi di perforazione. Invece, nel caso di una piattaforma fissa occorre eseguire le operazioni di montaggio della struttura sulla postazione in mare aperto.

La piattaforma vera e propria svolge le funzioni di piano di appoggio per l'impianto e le attrezzature di perforazione, per il sistema di sollevamento delle gambe mobili, per il modulo alloggi e per le altre strutture connesse alla piattaforma stessa (eliporto, gru, ecc.).

Al suo interno trovano posto i motori e i gruppi elettrogeni per la produzione di energia elettrica, i locali di alloggio delle vasche per il fango e delle pompe, i magazzini per i materiali di perforazione, i serbatoi della zavorra (acqua di mare), del gasolio e dell'acqua potabile, i silos del cemento e dei materiali utilizzati per confezionare il fango di perforazione, i locali officina e i locali dei servizi ausiliari (antincendio, produzione acqua potabile, trattamento liquami civili, ecc.).

Il modulo alloggi è composto da un blocco unico a più piani situato sul lato opposto della piattaforma rispetto la torre di perforazione. Il modulo alloggi comprende i locali utilizzati dal personale a bordo ovvero: camere, mensa, cucina, lavanderia, spogliatoi servizi igienici, uffici, sala radio e sala di controllo.

L'impianto di perforazione comprende le attrezzature per l'esecuzione del pozzo. L'impianto è caratterizzato da: impianto di sollevamento, sistema rotativo, circuito del fango e apparecchiature di sicurezza.

Il sistema di sollevamento sostiene il carico della batteria di aste di perforazione (per perforazioni profonde il peso della batteria di perforazione può superare le 200 tonnellate) e permette le manovre di sollevamento e discesa nel foro. E' costituito dalla torre di perforazione, dall'argano, dalla taglia fissa, dalla taglia mobile e dalla fune.

La torre di perforazione, o derrick, è la struttura metallica a traliccio che sostiene il sistema di carrucole (taglia fissa e taglia mobile) che permettono di sorreggere e muovere verticalmente la batteria di perforazione. Alla base della torre di perforazione vi è il piano di lavoro della squadra di perforazione (piano sonda).

La torre appoggia sullo scafo tramite un basamento movibile tramite cremagliere che ne permette lo spostamento di lato e in avanti in modo da consentire la perforazione di più pozzi vicini senza spostare l'intera piattaforma. L'altezza della torre è dimensionata per operare il sollevamento di una lunghezza di tre aste. L'argano è costituito da un tamburo attorno al quale si avvolge o svolge la fune di sollevamento della taglia mobile, ed è dotato di un inversore di marcia, di cambio di velocità e dispositivi di frenaggio.

Il sistema rotativo trasmette il moto di rotazione dalla superficie fino allo scalpello. E' costituito dalla testa di iniezione, dal top drive, dalla batteria di aste di perforazione. Il top drive è l'elemento che produce il moto di rotazione. Consiste essenzialmente in un motore di elevata potenza al cui rotore viene avvitata la batteria di aste; viene sospeso alla taglia mobile per mezzo di un apposito gancio dotato di guide di scorrimento; incluso nel top drive vi sono la testa di iniezione (l'elemento che permette il pompaggio del fango all'interno della batteria di perforazione mentre questa è in rotazione), un sistema per l'avvitamento e lo sviamento della batteria di perforazione, un sistema di valvole per il controllo del fango pompato in pozzo. Negli impianti moderni il top drive sostituisce la tavola rotary.

Le aste che compongono la batteria si distinguono in aste di perforazione e aste pesanti (di diametro e spessore maggiore). Queste ultime vengono montate, in numero opportuno, subito al di sopra dello scalpello, permettendo di far gravare un adeguato peso sullo scalpello. Tutte le aste sono avvitate tra loro in modo da garantire la trasmissione della torsione allo scalpello e la tenuta idraulica. Il collegamento rigido viene ottenuto mediante giunti a filettatura conica.

Il circuito del fango in un impianto di perforazione è particolarmente complesso in quanto deve comprendere anche un sistema per la separazione dei detriti perforati e per il trattamento del fango stesso.

Il fango viene pompato tramite pompe ad alta pressione nelle aste di perforazione, esce, tramite appositi orifizi, dallo scalpello al fondo pozzo, ingloba i detriti perforati e risale nel foro fino alla superficie. All'uscita dal pozzo passa attraverso un sistema di vagli e cicloni (sistema di trattamento solidi) che lo separano dai detriti di perforazione prima di essere ricondizionato in apposite vasche e ripompato in pozzo. Gli elementi principali del circuito del fango sono:

- Pompe fango: pompe volumetriche a pistone che forniscono al fango pompato in pozzo l'energia necessaria a vincere le perdite di carico nel circuito.

- Condotte di superficie – Manifold – Vasche: le condotte di superficie, assieme ad un complesso di valvole posto a valle delle pompe (manifold di sonda), consentono di convogliare il fango per l'esecuzione delle funzioni richieste. Nel circuito sono inoltre inserite diverse vasche di stoccaggio contenenti una riserva di fango adeguata a fronteggiare improvvise necessità derivanti da perdite di circolazione o assorbimento del pozzo.
- Sistema di trattamento solidi: apparecchiature (vibrotaglio, desilter, desander, centrifughe, ecc.) disposte all'uscita del fango dal pozzo, che separano il fango stesso dai detriti di perforazione: questi ultimi vengono raccolti in appositi cassonetti e trasportati a terra mediante supply vessels.

BIBLIOGRAFIA

- 1) AA.VV. – “Atlante delle opere di sistemazione dei versanti”. ANPA. Roma, 2001.
- 2) AA.VV. – “Coastal Engineering Manual”. USACE, U.S. Army Corps Ed., 2001.
- 3) AA.VV. – “Giornata di Studio sulla Difesa delle Coste-27 ottobre 2000. Linee Guida per il Piano Generale di Difesa delle Coste”. Assessorato per le Politiche dell’Ambiente. Dip. Opere Pubbliche e Servizi per il Territorio. Regione Lazio. Roma, 2000.
- 4) AA.VV. – “Manuale di ingegneria naturalistica – Applicabile al settore idraulico”. Reg. Lazio. Dipartimento Ambiente e Protezione Civile. Roma, 2002.
- 5) AA.VV. – “Manuale per la difesa del mare e della costa”. Fondazione Giovanni Agnelli Ed. Milano, 1990.
- 6) AA.VV. – “Recuperation environnementale et entretien des littoraux en erosion avec l’utilisation des depots sablonneux marins”. Osservatorio sul Mare della Regione Lazio. Progetto BEACHMED. Prevenzione e Gestione dei Rischi Naturali. Regione Lazio. Roma, 2001.
- 7) AA.VV. – “Salvaguardia di Venezia e della laguna”. Min. LL.PP. Magistrato alle Acque di Venezia. Quaderni Trimestrali Consorzio Venezia Nuova. Atlante delle Opere. Venezia, 2000.
- 8) Berriolo G., Spirito G. – “Spiagge e Porti turistici”. Hoepli Ed. Milano, 1972.
- 9) Castiglioni G.B. – “Geomorfologia”. UTET Ed. Torino, 1991.
- 10) Colombo T. – “Manuale dell’Ingegnere”. Vol. 2. Hoepli Ed. Milano, 1998.
- 11) Panizza M. – “Geomorfologia”. Pitagora Ed. Bologna, 1992.
- 12) Silvester R., Hsu J. R. C. – “Coastal stabilization”. Prentice Hall Ed.. Englewood Cliffs, 1993.
- 13) Silvester R., Hsu J. – “Coastal Stabilization, innovative concepts”. Prentice Hall Ed.. New Jersey, 1993.
- 14) Tomasicchio U. – “Manuale di Ingegneria Portuale e Marittima”. Bios Ed. Cosenza, 1998.