

Il Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste del Politecnico di Bari

Leonardo Damiani, Antonio F. Petrillo e Gennaro Ranieri

Politecnico di Bari - Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Sezione Ingegneria delle Acque,
Via E. Orabona 4, 70125 Bari

Riassunto

Nel presente lavoro viene descritto il nuovo Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC) del Politecnico di Bari. Esso dispone di due grandi vasche per sperimentazione su modello fisico rispettivamente in ambiente costiero ed in acque profonde. Dopo una descrizione della struttura, si riferisce sulle potenzialità dell'apparato sperimentale per la generazione e il controllo del moto ondoso in vasca. Il Laboratorio è operativo dal febbraio 2001. Attualmente sono in corso una ricerca sul drenaggio delle spiagge come possibile intervento per la stabilizzazione della linea di riva ed un'analisi su modello fisico della risposta delle opere di protezione di Marina di Pisa. Gli studi in atto hanno consentito di mettere a punto alcune tecniche di misura e di analisi dei dati di utilità generale nello studio su modelli a fondo mobile.

L'obiettivo del presente lavoro, oltre a quello di presentare la nuova struttura, è quello di fornire alcuni spunti per possibili cooperazioni scientifiche con altre Istituzioni di Ricerca.

Parole chiave: modelli fisici, vasca marittima.

Abstract

This paper describes the new Laboratory of Coastal Engineering (LIC) of the Polytechnic University of Bari. Two large tanks are located in the laboratory: one is suitable for coastal models, the other for deep water models. Together with a description of the structure, the paper shows the main facilities of the laboratory, the most important of which is the 3D wavemaker. The laboratory has been working since February 2001. Many applied research programs are active at the moment, among which is a study of beach drainage as a shoreline stabilisation system and a model of the coastal protection works in Marina di Pisa. These first experiences have been very useful in order to set some investigation techniques which can be applied to many others studies. The presentation of the Laboratory is aimed at giving information on the available facilities and on the possible investigations in order to develop research co-operation with other institutions.

Key-words: physical models, wave tank.

Descrizione del Laboratorio

Il Laboratorio di ricerca, noto con l'acronimo LIC, nasce da un'idea dei docenti dell'ex Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari sul finire degli anni Ottanta. Lo sviluppo di tale idea, la ricerca dei canali di finanziamento adeguati, l'appalto e la successiva costruzione del centro ha condotto alla realizzazione del più grande laboratorio italiano nel campo della sperimentazione di opere costiere mediante l'uso di modelli fisici.

Il Laboratorio è stato realizzato con fondi del Programma Operativo Plurifondo Puglia - D.R. 29/10/90 n. 6155, Cofinanziamento con fondi strutturali CEE-REG. CEE n. 20522/68 e 4253/88, Sottoprogramma 6, Misura 6.3.

Il LIC, consegnato al Politecnico di Bari nei primi mesi del 2001, sorge nell'area di sviluppo universitario di Valenzano, a pochi chilometri da Bari, sulla Strada Provinciale Valenzano – Casamassima, ed occupa una superficie complessiva di circa 3 ha, di cui circa 1,2 coperti (Figg. 1 e 2).

Dal punto di vista amministrativo esso dipende direttamente dall'Amministrazione Centrale del Politecnico, mentre gode di piena autonomia sul piano scientifico. Le strutture del LIC sono sostanzialmente costituite da una palazzina uffici di superficie pari a 500 m² circa e dal laboratorio modelli di superficie pari a circa 12000 m².



Figura 1 - Vista d'insieme del LIC.

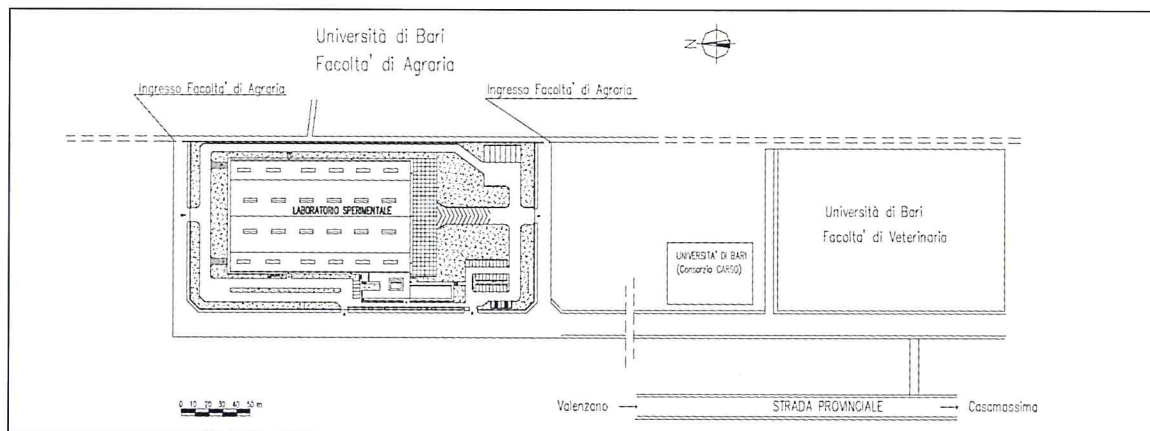


Figura 2 - Planimetria generale ed inquadramento del LIC nell'area universitaria.

Nella palazzina uffici (Fig. 3), oltre ad uffici e locali di servizio destinati al personale del Laboratorio, sono stati realizzati il centro di controllo, dal quale è possibile generare il segnale per il comando dei generatori di moto ondoso, ed un centro di calcolo, già attrezzato con software di uso comune nell'ingegneria e modelli matematici per lo studio delle problematiche costiere, alcuni dei quali acquistati, come ad esempio *Seaworks*, per l'analisi del regime di un litorale, *Plume* e *Telemak* per studi di diffusione di getti, ed altri prodotti in proprio.

Nel Laboratorio modelli (Fig. 4) vi sono due grandi vasche: la prima per modelli costieri, di dimensioni 50 x 90 m e profondità di 1,2 m; la seconda per modelli off-shore, di 50 x 30 m e profondità di 3 m. In entrambe le vasche è consentito l'accesso a mezzi pesanti attraverso comode rampe.

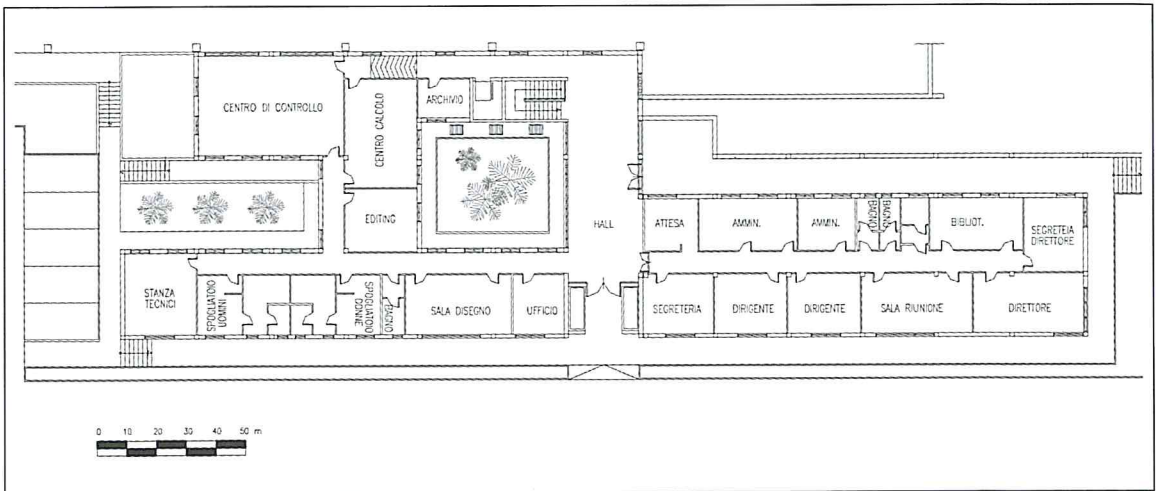


Figura 3 - Pianta della palazzina degli uffici.

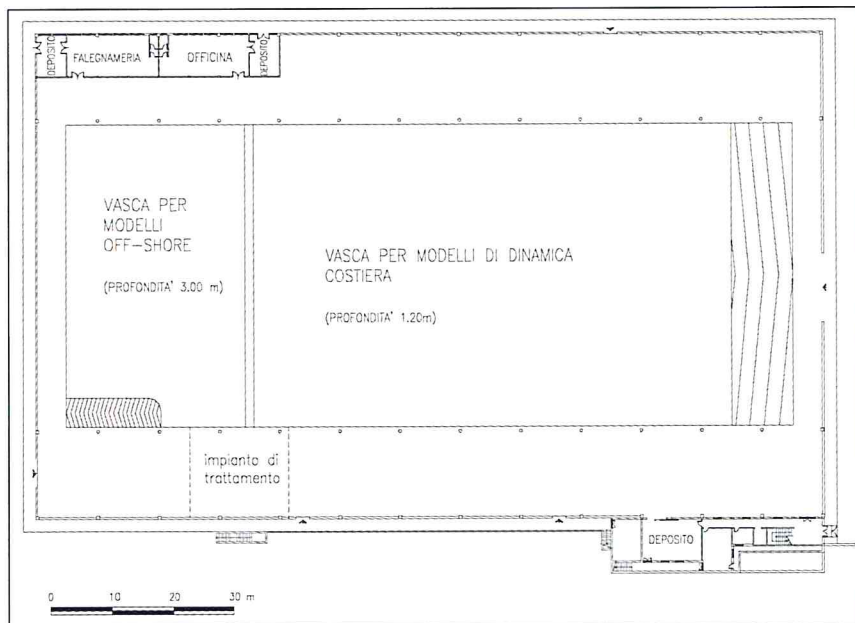


Figura 4 - Pianta del laboratorio.

Nella vasca per modelli costieri si è prevista la possibilità di realizzare contemporaneamente più modelli, parzializzando la vasca per mezzo di setti facilmente smontabili, in grado di impedire la trasmissione del moto ondoso generato al di fuori dell'area destinata al modello. Su tali setti sono state realizzate passerelle che consentono una facile e sicura ispezione alle strutture realizzate in vasca (Fig. 5).

Ad un'estremità della vasca per modelli costieri, è stato realizzato, sempre per mezzo dei suddetti setti, un canale di larghezza pari a circa 2,5 m e lunghezza pari a 50 m, in previsione di studi che richiedano l'uso di modelli bidimensionali. A tergo dei generatori di moto ondoso, di cui si dirà in seguito, sono state realizzate scogliere con rivestimento in pietre e nucleo in ciottoli, in grado di assorbire il moto ondoso che si genera dietro l'ondogeno.

Allo stato attuale la vasca off-shore (Fig. 6) non è stata ancora attrezzata con generatore di moto ondoso e viene utilizzata come stoccaggio per l'acqua da utilizzare nella vasca per modelli costieri, infatti il volume delle due vasche è del tutto confrontabile.

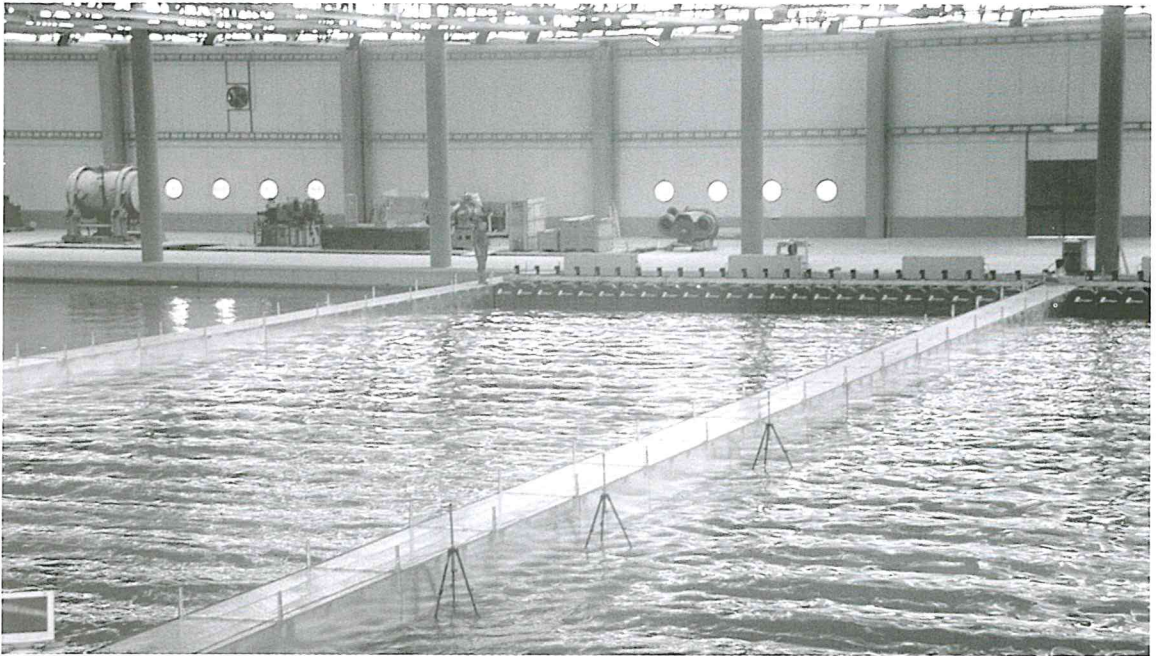


Figura 5 - Vista parziale della vasca per modelli costieri. Sono visibili i setti di separazione e le passerelle.

Il Laboratorio è completato da officine e depositi di supporto. In particolare nel capannone sono ubicate una falegnameria, un'officina meccanica, un reparto di supporto per l'analisi delle sabbie ed attrezzature elettroniche per l'acquisizione dati (pur essendo possibile l'acquisizione della maggior parte dei dati dal centro di controllo ubicato nella palazzina uffici, l'esperienza accumulata nei primi mesi di lavoro suggerisce di eseguire tutte le operazioni di gestione delle misure in prossimità del modello).

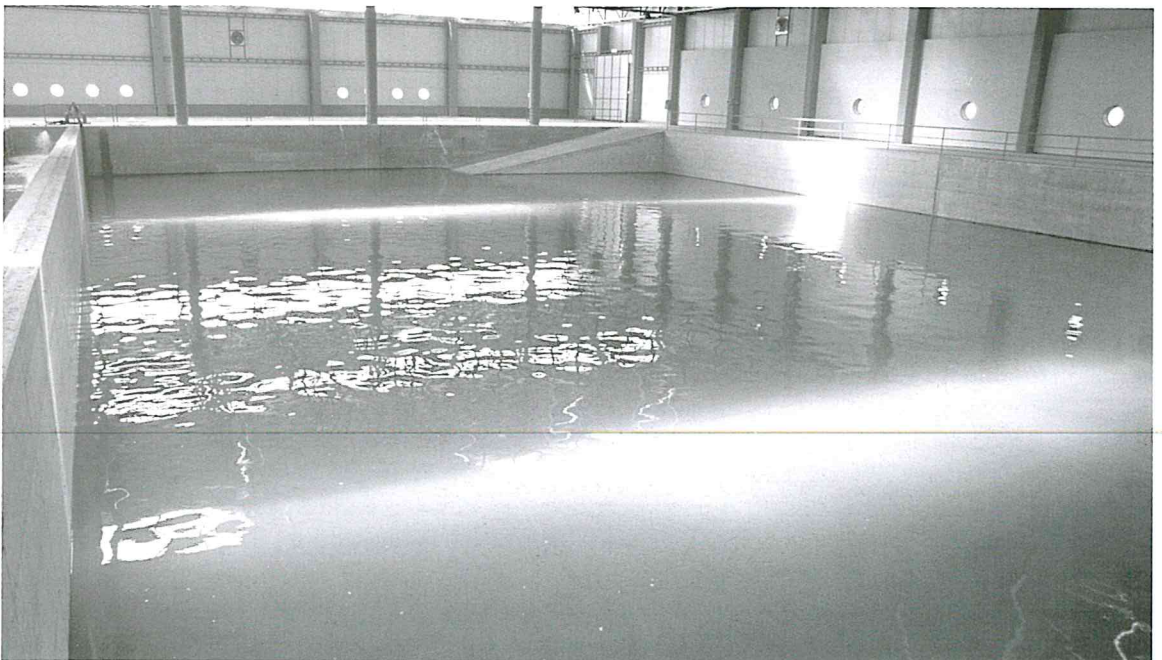


Figura 6 - Vista d'insieme della vasca per modelli off-shore.

I generatori di moto ondoso

Fra le attrezzature sperimentali disponibili, la più rilevante è certamente rappresentata dai generatori di moto ondoso. Essi sono stati prodotti dall'HR Wallingford, che ha curato non solo la costruzione ed il montaggio di tutte le parti meccaniche ed elettriche, ma anche l'apparato elettronico ed il *software* di controllo. Sostanzialmente il LIC è dotato di due generatori del tutto analoghi: il primo per la generazione di fronti d'onda per modelli 3D (Fig. 7) ed il secondo da utilizzare in canale 2D.

Il generatore di moto ondoso 3D è costituito da sei moduli per uno sviluppo complessivo del fronte d'onda di 28,8 m. Ciascun modulo è costituito da 8 pale da 60 cm e da una centralina di controllo degli spostamenti delle pale, ciascuna delle quali è azionata da un motore elettrico che ne permette il movimento orizzontale, con una corsa massima di 30 cm in avanti e in dietro rispetto alla posizione di riposo.

Lo spostamento di ogni pala è controllato per mezzo di un trasduttore di posizione che fornisce un comando di retroazione ed è ovviamente sincronizzato con lo spostamento delle altre pale per mezzo della centralina di ciascun modulo. Il movimento complessivo di ciascun modulo è sincronizzato con quello degli altri moduli mediante il software di controllo installato su un computer dedicato, ubicato nel centro di controllo. Completano l'installazione due trasformatori, ciascuno a servizio di tre moduli.

L'apparato può essere utilizzato per la generazione di un unico fronte d'onda, ovvero può essere parzializzato, utilizzando un numero ridotto di moduli. Attualmente esso è stato diviso in due parti (Fig. 5), consentendo così di poter lavorare, anche se non contemporaneamente, su due modelli.

Ciascun modulo è in grado di generare fronti d'onda obliqui, con un angolo di inclinazione funzione della lunghezza d'onda del moto ondoso generato (HR Wallingford, 2000). Ovviamente, utilizzando un fronte d'onda inclinato, la porzione di modello effettivamente disponibile si riduce sensibilmente, pertanto, per modelli di grandi dimensioni da sottoporre a mareggiate provenienti da diverse direzioni, è comunque consigliabile provvedere a spostare il generatore in vasca nel corso delle prove, orientandolo opportunamente rispetto al modello e creando delle guide al moto ondoso.

Il generatore per canale bidimensionale è del tutto analogo a quello precedentemente descritto, ma è costituito da un numero ridotto di pale (quattro), per uno sviluppo complessivo di 2,4 m (Fig. 8).

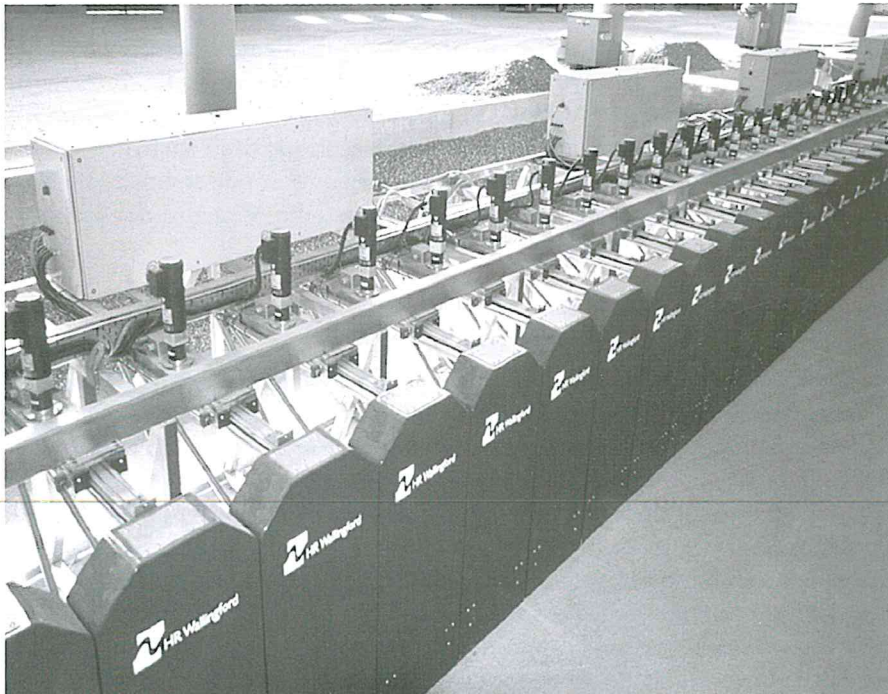


Figura 7 - Generatore di moto ondoso 3D.

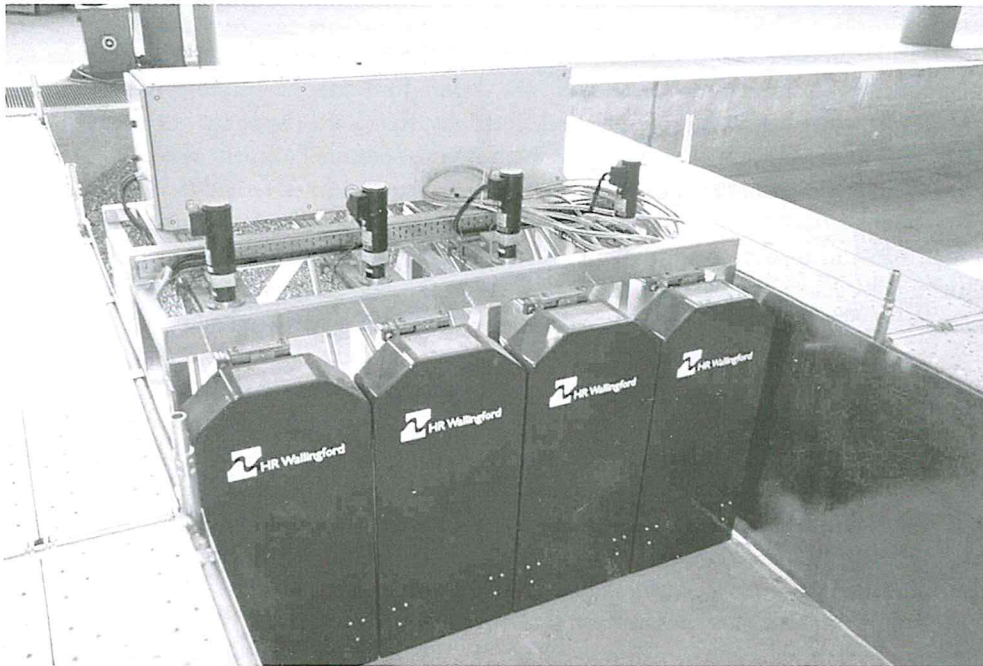


Figura 8 - Canale bidimensionale con generatore di moto ondoso.

Il moto ondoso, come già detto, è generato mediante un software di produzione HR Wallingford, fornito insieme ai battenti. Il software è stato studiato in modo da consentire l'ampliamento dei moduli attualmente disponibili presso il LIC. L'hardware attualmente in dotazione consta di due sistemi indipendenti: il primo a servizio del generatore per canale ed il secondo per quello in vasca.

Il software di generazione consente di scegliere il tipo di onda da generare in vasca fra un'ampia gamma di possibilità. In particolare è possibile generare onde regolari, e/o random. Per queste ultime, la tecnica utilizzata consiste nel generare e filtrare opportunamente un rumore bianco (Gilbert e Huntington, 1991). Le forme spettrali previste nel software sono quelle JONSWAP e Pierson Moskowitz. Gli spettri possono essere mono- e bi-direzionali; in entrambi i casi vanno fissati da input gli angoli fra il piano del generatore e la direzione di propagazione degli spettri.

Il controllo del moto ondoso in vasca viene effettuato mediante sonde resistive, anch'esse fornite da HR Wallingford insieme alle centraline ed al software di gestione ed analisi dei dati che consente sia un'analisi statistica che un'analisi spettrale (HR Wallingford, 1996).

Indagini effettuate e primi risultati

Oltre a numerosi test funzionali, nel corso del primo anno sono state condotte esperienze su un modello per lo studio del drenaggio delle spiagge come possibile intervento per la stabilizzazione della linea di riva. Tali indagini sono state condotte nell'ambito di un progetto cofinanziato dal MIUR nel programma dei "Piani di potenziamento della rete scientifica e tecnologica – Piano Ambiente Terrestre – Cluster C11-B Pr. N. 9". È inoltre stata avviata e quasi conclusa una simulazione delle opere di protezione costiera del litorale di Marina di Pisa, commissionata dall'Autorità di Bacino dell'Arno.

Al di là dei contenuti specifici dello studio, oggetto di lavori in corso di stampa, si ritiene utile in questa sede illustrare le tecniche sperimentali utilizzate, di validità del tutto generale e quindi adattabili ad altri modelli a fondo mobile da realizzare in laboratorio.

Nel modello, oltre al controllo del moto ondoso, sono state effettuate indagini sull'evoluzione dei profili di spiaggia e della linea di riva. Inoltre sono state condotte misure dirette a valutare la portata drenata dalla spiaggia e le variazioni della water table per effetto del moto ondoso.

Il modello realizzato ha un fronte di spiaggia di circa 14 m, con una granulometria piuttosto uniforme e $D_{50} = 0,18$ mm. La pendenza iniziale del profilo di spiaggia è mediamente pari a 1/20. Il drenaggio della spiaggia è stato realizzato con una condotta sfinestrata, interrata parallelamente alla linea di riva ad una profondità di circa 10 cm dal L.M.M. La condotta è collegata ad un pozzetto ubicato all'esterno del modello, al cui interno è alloggiata una pompa sommersa in grado di sollevare l'acqua drenata per gravità dalla spiaggia e restituirla in vasca.

Rilievo dei profili di spiaggia

Per quanto riguarda le misure di profondità, il LIC è dotato di profilatori automatici, prodotti da HR Wallingford (Fig. 9). I profilatori consentono di effettuare il rilievo dei profili di spiaggia per una lunghezza di circa 4 metri a passo costante. L'asta di misura è dotata di un sensore molto sensibile che, a contatto con il fondo, induce l'arresto dell'asta e quindi, con notevole grado di precisione e rapidità, determina la profondità relativa nel punto. I limiti essenziali del suddetto strumento sono legati alla lunghezza dei profili rilevabili (piuttosto modesta se confrontata con le dimensioni del modello) e alle delicate operazioni di calibrazione.

Attualmente, presso il LIC, sono disponibili tre profilatori, ubicati perpendicolarmente alla linea di riva ed a cavallo di essa, in modo da poter monitorare con frequenza le variazioni dei profili di spiaggia nella zona dove l'evoluzione è più rapida. Ovviamente, le misure vengono effettuate ad acqua ferma, interrompendo più volte il ciclo di attacchi ondososi.

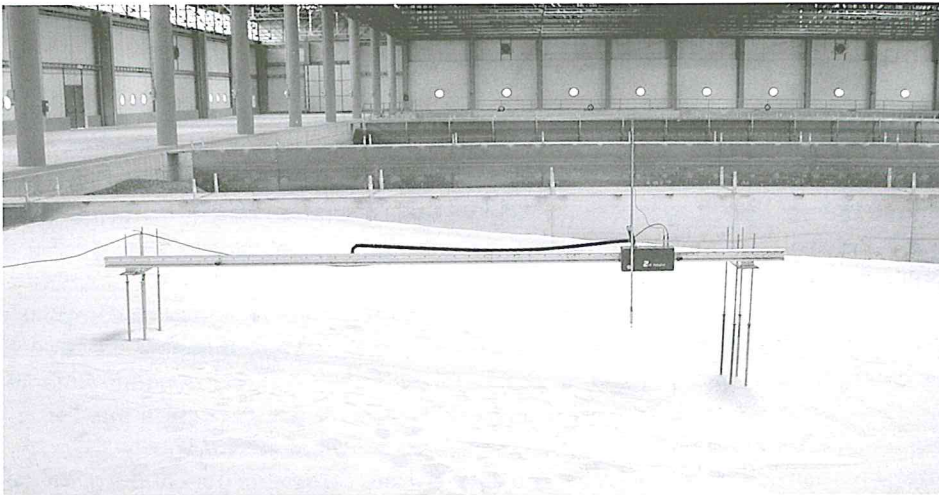


Figura 9 - Profilatore di fondo.

Per le zone non coperte dai profilatori, per superare le difficoltà connesse con le grandi dimensioni del modello, sono state provate diverse tecniche di misura che rispondessero ai seguenti requisiti: precisione, rapidità e non intrusività per salvaguardare le configurazioni del fondale. Alla fine si è optato per strumenti topografici classici (Fig. 10), con una stazione fissa a terra e il prisma ottico montato su di una stadia poggiata sul fondo e manovrata dall'operatore posto su un gommone.

I test effettuati dimostrano la validità della tecnica prescelta, sia per la rapidità del rilievo che per la sua attendibilità; infatti, le misure ripetute più volte sulla medesima configurazione di fondo hanno evidenziato la ripetibilità del rilievo.

Nel modello in studio i rilievi sono stati effettuati lungo tre transetti, posti in prosecuzione all'asse dei profilatori, in modo da disporre del rilievo completo su tre sezioni ortogonali alla linea di riva. I profili, in parte rilevati con i profilatori ed in parte con il teodolite, sono stati omogeneizzati con semplici operazioni geometriche. A tal fine si è avuto cura di misurare con il teodolite la profondità in corrispondenza

dell'origine del profilo ricostruito con il profilatore, in modo da poter riferire l'intero profilo ad un'unica origine. Per completezza di indagine e per poter disporre di un maggior numero di punti battuti che consentissero la ricostruzione delle batimetriche in vasca, si è proceduto, all'inizio ed alla fine di ogni ciclo, al rilievo dei profili di spiaggia in corrispondenza delle lamiere che delimitano il modello.

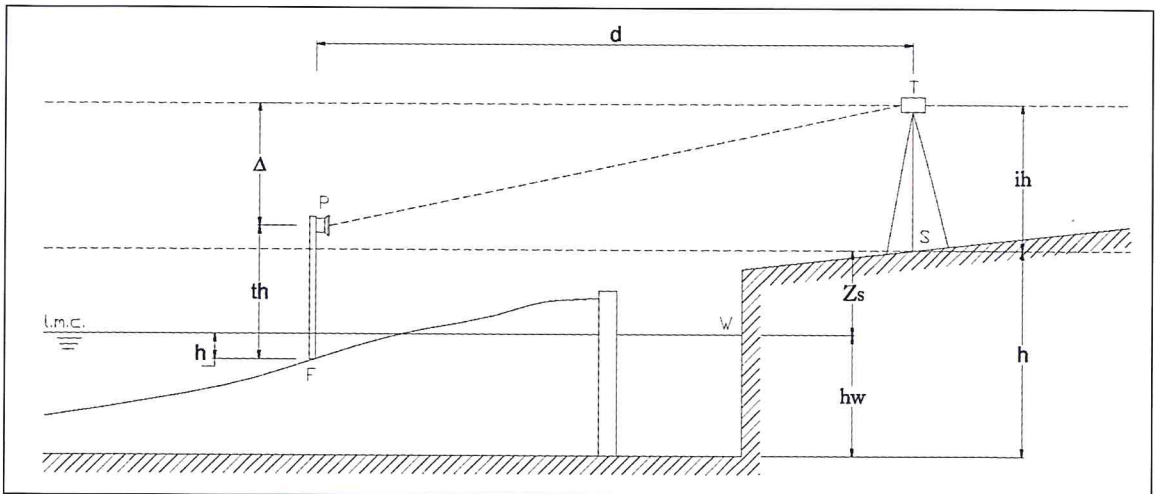


Figura 10 - Schema di misura effettuata con teodolite.

La ricostruzione completa dei profili in tempi diversi consente di effettuare le classiche analisi per lo studio dell'evoluzione dei profili di spiaggia sottoposti all'azione delle onde.

In particolare, si possono ricostruire i volumi di sabbia movimentati lungo i diversi transesti indagati (Aminti, 1983). Questo tipo di analisi, in precedenti studi condotti in canale, ha fornito preziose indicazioni sia per quanto riguarda l'azione del moto ondoso, sia come verifica sulla qualità del rilievo (Chiaia et al., 1990).

Nel caso in esame, le dimensioni del modello sono tali da non poter trascurare la componente di trasporto long-shore. Infatti, pur avendo avuto grande cura nel disporre la sabbia nel modello, realizzando una configurazione pressoché simmetrica, gli effetti di tridimensionalità sono insiti nelle dimensioni stesse del modello. Pertanto, il bilancio dei volumi movimentati non può essere verificato con riferimento ad un singolo profilo, bensì al complesso dei rilievi effettuati.

D'altra parte, il numero di profili controllati non si è rivelato sufficiente per condurre un'analisi completa dei volumi, anche se le indicazioni disponibili sono risultate più che sufficienti per lo studio delle dinamiche di trasporto. Per poter effettuare analisi di maggior precisione, occorrerebbe effettuare i rilievi su una griglia molto più stretta, allungando notevolmente i tempi di misura.

Al fine di analizzare nel complesso le trasformazioni subite dalla spiaggia con i dati disponibili, si è reso necessario procedere innanzitutto ad un'interpolazione dei rilievi, ottenendo così le batimetriche per ciascuna delle configurazioni indagate e, per differenza fra le profondità rilevate in due configurazioni successive, le zone di accumulo e di erosione nell'intero modello (Fig. 11).

L'analisi complessiva dei rilievi effettuati consente di valutare le azioni di trasporto longitudinali e trasversali nel loro complesso. Nella configurazione rappresentata in figura è abbastanza evidente la formazione di una barra parallela alla linea di riva, pur se con profondità differenziate.

Le esperienze hanno evidenziato l'influenza della configurazione iniziale di spiaggia sulle successive evoluzioni. Infatti, per quanto possa essere stata accurata la sistemazione dei profili iniziali del modello, è inevitabile che il fondale sia caratterizzato da piccole irregolarità. In particolare il modello era stato inizialmente configurato con batimetriche parallele alla linea di riva ed al fronte d'onda. Il controllo dei fondali aveva però evidenziato un modesto accumulo in corrispondenza del profilatore

destro (a circa 4 m dalla fine del modello) intorno alle massime profondità in vasca. Pertanto la batimetria -75 cm, già inizialmente, presentava una curvatura convessa verso la spiaggia. Alla fine delle esperienze, come evidenziato nella Figura 11, in corrispondenza del profilatore in esame si è creata una barra longitudinale con le batimetrie che tendono ad abbandonare l'iniziale configurazione rettilinea e a disporsi parallelamente alla batimetria -75 cm.

È ovvio che tale situazione ha contribuito ad amplificare le correnti long-shore presenti nel modello, rendendo così improponibile un'analisi dell'evoluzione dei singoli profili di spiaggia senza considerare le loro mutue interazioni.

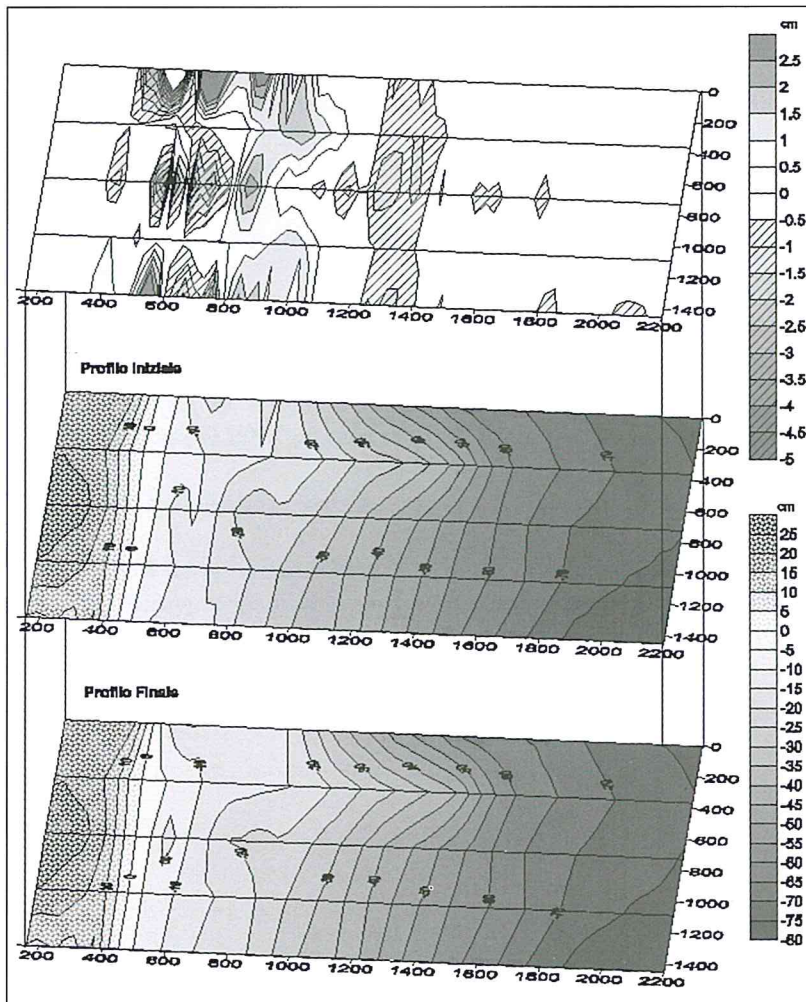


Figura 11 - Rappresentazione delle zone di erosione e deposito (misure in cm).

Una seconda indagine di tipo morfologico è consistita nello studio di dettaglio dell'evoluzione della linea di riva. Si è infatti osservato che la rappresentazione della linea di riva a mezzo dei profili di spiaggia indagati forniva una fotografia poco attendibile della reale configurazione. Anche in questo caso, infatti, gli effetti tridimensionali hanno determinato una configurazione della linea di riva tutt'altro che lineare, con la formazione di ondulazioni molto evidenti e spesso non coincidenti con i transeiti dei profili longitudinali. Si è pertanto reso necessario procedere al rilievo della linea di riva sempre con strumenti topografici, battendo i punti all'incirca ogni 50 cm.

Pur rinviando l'analisi di dettaglio dei risultati ad un successivo lavoro, si deve sottolineare come i risultati ottenuti abbiano sostanzialmente confermato le previsioni circa la natura (erosiva o ripascitiva) degli attacchi ondosi utilizzati. Inoltre è stato possibile ricostruire la superficie di spiaggia persa, o guadagnata, per azione degli attacchi erosivi, o ripascitivi, nonché della velocità di arretramento o di avanzamento della linea di riva. Quest'ultimo parametro si è rivelato importante per valutare il grado di stabilità raggiunto dalla spiaggia alla fine di ogni prova.

Conclusioni

Nel presente lavoro sono state descritte le principali attrezzature del LIC, al fine di illustrarne le potenzialità e la possibilità di realizzare in esso nuovi programmi di ricerca. In particolare si è descritto il generatore di moto ondoso 3D in grado di realizzare un fronte d'onda di lunghezza pari a circa 28 m e quello per canale con larghezza di 2,4 m.

I test funzionali e le prime esperienze effettuate hanno consentito di tarare le tecniche di misura e di analisi dei risultati di maggior utilizzo in modelli a fondo mobile. In particolare, si sono messe a punto tecniche di indagine sull'evoluzione dei fondali e sul controllo del moto ondoso in vasca. Inoltre, pur se non descritte nel presente lavoro, sono state già tarate tecniche per la misura delle oscillazioni della water table e della portata drenata dalla spiaggia in presenza di moto ondoso.

Bibliografia

- Aminti P. (1983) - *Modellazione dei profili di spiaggia. Parametri per la loro classificazione e criteri di similitudine*. Idrotecnica 3: 143-152.
- Chiaia G., L. Damiani A. e Petrillo A.F. (1990) - *Trasformazioni di un profilo di spiaggia sottile sotto l'azione di un ciclo di attacchi ondosi casuali di lunga durata*. XXII Conv. Di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Cosenza 4-7 ottobre 1990.
- Gilbert G. e Huntington S. W. (1991) - *A technique for the generation of short crested waves in wave basins*. J. of Hydraulic Research, Vol. 29, No 6.
- HR Wallingford (2000) - *Wave generation System, User Manual*. Internal Report, June 2000.
- HR Wallingford (1996) - *HR Waves: Data acquisition and analysis software program, User Manual*. Internal Report March, 1996.