

## Sommario

Questa tesi si inserisce nella serie di studi effettuati, per conto della Provincia di Pisa dal Prof. Ing. Lorenzo Cappiotti, presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze.

E' stato preso in esame il tratto di litorale di Marina di Pisa, protetto dalla quinta scogliera emersa, a partire dalla foce del fiume Arno.

L'obiettivo del presente lavoro e quello di proporre un nuovo sistema di protezione più efficace basato su opere sommerse, allo scopo di ridurre l'overtopping sulla strada litoranea e al contempo permettere una riqualificazione in termini di fruibilità del litorale attualmente degradato.

Lo stato dell'arte sui modelli fisici, studiato su aggiornati contributi disponibili nella letteratura specifica, è riassunto nei Capitoli 1 e 2 e su questa base bibliografica è stato realizzato un modello bidimensionale, nel Laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria Civile di Firenze.

Tale modello riproduce lo stato attuale del tratto di costa protetto dalla scogliera in esame e ha permesso di condurre le misure sperimentali necessarie per valutazione delle ipotesi progettuali alternative, studiate per la Provincia di Pisa e oggetto della presente tesi.

Nel Capitolo 3 sono stati descritti gli aspetti caratteristici del canale di laboratorio, la strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati, e le apparecchiature componenti l'apparato sperimentale.

Nel Capitolo 4 sono state descritte le condizioni meteomarine del litorale pisano, l'evoluzione dello stesso a seguito di opere di difesa e le caratteristiche geometriche e granulometriche delle strutture, che sono state poi riprodotte nel modello in scala.

Nel Capitolo 5 sono stati descritti i criteri adottati per la realizzazione del modello e le procedure preliminari per la messa a punto della strumentazione e delle apparecchiature, al fine di poter iniziare le sessioni sperimentali.

Sono state inoltre descritte le fasi di realizzazione delle quattro configurazioni adottate negli esperimenti, due delle quali (C1 e C1-R) rappresentano il modello dello stato attuale della scogliera emersa n°5, e le altre due (C2 e C3) il modello delle ipotesi progettuali concordate con la Provincia di Pisa.

Nel Capitolo 6 è stata presentata l'analisi e l'interpretazione dei dati acquisiti per le quattro configurazioni, ciascuna sottoposta a sei attacchi ondosi per tre diversi livelli idrici, per un totale di 72 prove.

Nel Capitolo 7 sono discussi i risultati di questo studio sperimentale al fine di valutare l'efficienza delle alternative progettuali verificate. Come parametro principale ritenuto più opportuno, per una valutazione oggettiva delle differenti alternative progettuali, è stato utilizzato il flusso di tracimazione sulla strada litoranea.

## Introduzione

Il litorale pisano ha iniziato a presentare fenomeni di erosione dopo l'Unità d'Italia, a causa di modifiche effettuate alla foce dell'Arno e della costante riduzione del trasporto solido dovuto alle opere di sistemazione idraulico-forestali, effettuate nel bacino del fiume in quegli anni.

A partire dai primi anni del '900, l'abitato di Marina di Pisa è stato difeso con scogliere aderenti alla strada litoranea, per una lunghezza complessiva di 2.5 Km.

Successivamente negli anni '60 fu costruito a distanza di 80-100 m dalla scogliera radente, un sistema di dieci scogliere emerse parallele, lunghe da 200 a 250 m e con varchi di circa 15 m.

Queste scogliere oltre ad aver causato una forte asimmetria della foce dell'Arno, hanno dimostrato

di non costituire più una reale protezione dell'abitato e delle infrastrutture, tanto che la viabilità litoranea è stata spesso interrotta per il rischio di crolli del manto stradale e per le cospicue tracimazioni.

Inoltre, come è possibile constatare dai rilievi dei profili trasversali alla costa, l'erosione è proseguita sui fondali, che nella zona protetta raggiungono profondità massime intorno ai 2-3 m, mentre esternamente alle opere si raggiungono i 6-7 m, determinando così dislivelli, tra i due lati delle scogliere, che superano i 3 m.

A causa dell'approfondimento dei fondali, le scogliere parallele hanno avuto necessità di continue manutenzioni e rifiorimenti, con un quantitativo di materiale, che in circa 50 anni, è stato 2-3 volte quello utilizzato per la costruzione.

Ciò suggerisce che sebbene l'utilizzo di scogliere emerse da un lato fornisce una protezione quasi totale del litorale, comportandosi come un muro poco permeabile, dall'altro genera una forte riflessione dell'onda incidente su di esse, causando un profondo scavo al piede della struttura e mettendo in pericolo la stabilità della stessa.

Le scogliere emerse inoltre possono ridurre la fruibilità del litorale, peggiorare la qualità delle acque, facendo assumere alla zona protetta caratteristiche di zone semilagunari, generare pericoli per la balneazione, ostacolare l'utilizzo dei piccoli natanti ed alterare il paesaggio locale.

Da un punto di vista prettamente ambientale un intervento auspicabile è la riconversione di scogliere emerse in scogliere sommerse. Uno degli aspetti negativi di queste, però, è l'incremento della trasmissione del moto ondoso.

Questo inconveniente potrebbe essere risolto semplicemente aumentando la larghezza della cresta della scogliera e valutando il grado di sommergenza ottimale.

Il modello fisico realizzato, per conto della Provincia di Pisa presso il Laboratorio di Idraulica dell'Università di Firenze, ha come scopo la valutazione dell'efficacia di un nuovo sistema di protezione, basato su scogliere sommerse, per limitare i danni causati dalle mareggiate, e in particolar modo ridurre l'overtopping sulla strada litoranea.

Lo studio è rivolto alla ricostruzione della morfologia reale di una sezione del tratto di costa protetto dalla scogliera n°5, con l'intento di riprodurre tramite un modello fisico bidimensionale, in scala 1:40, i fenomeni di interazione fra onde e strutture, in particolare: la trasmissione, il water set-up e l'overtopping associati ad eventi estremi.

Tale modello ha permesso di condurre le misure sperimentali necessarie per la valutazione delle ipotesi progettuali alternative studiate, oggetto della presente tesi.

Sono state realizzate quattro configurazioni, due delle quali rappresentano il modello dello stato attuale della scogliera emersa n°5 e sono state denominate C1 e C1-R.

La configurazione C1 è stata eseguita non simulando la corrente presente nei varchi, mentre per la configurazione C1-R è stato scelto di azionare il sistema di ricircolo, per simulare le suddette correnti e riequilibrare il sovrizzo idrico indotto dall'attacco ondoso nella zona protetta, permettendo così di non sovradimensionarlo.

Le altre configurazioni rappresentano invece le due ipotesi progettuali concordate e sono state denominate C2 e C3. Si tratta per entrambe di strutture sommerse, con freeboard pari a -1 m, sotto il livello del mare (-2.5 cm nel modello). La struttura appartenente alla configurazione C2 presenta una larghezza di cresta pari a 20 m (50 cm nel modello), a differenza di quella realizzata per la configurazione C3 che ha una larghezza di cresta di 32 m (80 cm nel modello).

Ciascuna configurazione è stata sottoposta a sei attacchi ondosi, per tre diversi livelli idrici, che simulano sia l'innalzamento di marea che quello da vento e bassa pressione.

I risultati ottenuti durante la sessione sperimentale hanno permesso di effettuare l'analisi della trasmissione, del water set-up e dell'overtopping sulla strada litoranea, mettendo così in evidenza le differenze tra le quattro configurazioni, in modo da rendere facile e immediata la valutazione dell'efficienza delle varie alternative.