



**REGIONE MARCHE**  
GIUNTA REGIONALE  
Servizio Lavori Pubblici



**ISTITUTO DI IDRAULICA**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ANCONA  
Facoltà di Ingegneria

## **STUDI, INDAGINI, MODELLI MATEMATICI FINALIZZATI ALLA REDAZIONE DEL PIANO DI DIFESA DELLA COSTA**



## **RELAZIONE GENERALE**

REGIONE MARCHE  
Il Dirigente Servizio LL.PP.  
Dott. Ing. Libero Principi

ISTITUTO DI IDRAULICA  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ANCONA  
Il Responsabile Scientifico  
Prof. Ing. Alessandro Mancinelli

## GRUPPO DI LAVORO DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ANCONA

Prof. Ing. Alessandro Mancinelli  
Prof. Carlo Albertini

Dott. Ing. Luciano Soldini  
Dott. Ing. Carlo Lorenzoni  
Dott. Ing. Filomena Savini  
Dott. Ing. Roberto Bernetti  
Dott. Ing. Giovanna Darvini  
Dott. Gianluca De Grandis  
Dott. Alessandra Giuliani  
Dott. Ing. Laura Spendolini

Professore Associato e Direttore dell'Istituto di Idraulica  
Professore Associato del Dipartimento di Scienze dei  
Materiali e della Terra  
Ricercatore di ruolo dell'Istituto di Idraulica  
Funzionario Tecnico dell'Istituto di Idraulica  
Funzionario Tecnico dell'Istituto di Idraulica  
Libero Professionista  
Libero Professionista  
Libero Professionista  
Libero Professionista  
Libero Professionista

## GRUPPO DI LAVORO DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

Prof. Pietro Vittorio Curzi

Dott. Michele Cannito

Professore Associato del Dipartimento di Ingegneria delle  
Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento e  
del Territorio  
Libero Professionista

## GRUPPO DI LAVORO DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

Prof. Ing. Giulio Scarsi

Dott. Maurizio Brocchini

Dott. Ing. Renata Gentile

Professore Ordinario del Dipartimento di Ingegneria  
Ambientale  
Ricercatore libero del Dipartimento di Ingegneria  
Ambientale  
Borsista del Dipartimento di Ingegneria Ambientale

## GRUPPO DI LAVORO DELLA REGIONE MARCHE

Dott. Ing. Libero Principi  
Dott. Ing. Vincenzo Marzialetti  
Dott. Geol. Luigi Diotallevi  
Dott. Geol. Mario Smargiasso  
Dott. Arch. Patrizio Lazzaro  
Geom. Mauro Sinigaglia

Dirigente del Servizio Lavori Pubblici  
Dirigente dell'Ufficio Progetti  
Ufficio Progetti  
Ufficio Progetti  
Ufficio Progetti  
Ufficio Progetti

## INDICE GENERALE DEL PRESENTE VOLUME

Introduzione .....	pagg. 1-5
A) Analisi dei dati meteomarini esistenti.....	pagg. A.1-A.174
B1) Caratterizzazione della spiaggia emersa e sommersa .....	pagg. B1.1- B1.25
Appendice: Analisi delle campagne sedimentologiche esistenti a Nord di Ancona .....	pagg. B1.a1- B1.a40
B2) Sistema informativo territoriale della costa marchigiana .....	pagg. B2.1- B2.21
C) Ricerca delle sabbie su area vasta.....	pagg. C.1- C.44
D) Analisi delle opere di difesa.....	pagg. D.1- D.134
E) Modellazione del trasporto solido trasversale.....	pagg. E.1- E.22
F) Trasporto solido fluviale e dinamica delle foci.....	pagg. F.1- F.25
G) Modello numerico per le acqua basse.....	pagg. G.1- G.9
Appendice: Sviluppo del modello numerico per le acqua basse.....	pagg. G.a1- G.a26
Conclusioni .....	pagg. 1-2

## INTRODUZIONE

La fascia litoranea marchigiana è un'area di grande pregio ambientale su cui si sono sviluppate strutture insediative abitative o collegate all'economia turistica, attività industriali e commerciali legate al porto di Ancona ed alle altre aree portuali minori. Questa urbanizzazione intensa non sempre si è armonizzata con la conservazione delle caratteristiche ambientali della costa.

Il processo erosivo che si è sviluppato è evidenziato dall'andamento della linea di riva che si presenta con un trend evolutivo medio negativo sin dall'inizio del '900 e con forti accelerazioni (erosioni) a partire dagli anni 60-70. Le opere di protezione costruite per contrastare il fenomeno erosivo, si sviluppano attualmente per circa 100 km (58%) dell'intera costa e, se si escludono i tratti di costa alta e quelli occupati dalle opere portuali, i tratti protetti da opere raggiungono il 68% (90 km) delle spiagge basse o sottili.

Le cause del processo erosivo sono state quasi completamente individuate e nella maggior parte dei casi sono da imputarsi ad interventi antropici.

La Regione Marche, avendo tra gli obiettivi programmatici prioritari la predisposizione di un piano della costa che persegua il riequilibrio ambientale, la salvaguardia delle aree di maggior pregio, la programmazione di interventi in un quadro conoscitivo degli effetti che essi possono produrre, ha richiesto la collaborazione scientifica dell'Università di Ancona con la quale è stata stipulata in data 19/10/1998 una Convenzione che prevedeva lo svolgimento dei seguenti studi:

*“a) definizione del clima d'onda sul litorale marchigiano mediante:*

- 1. elaborazione dei dati del moto ondoso esistenti mediante ricostruzione dei dati anemometrici, dati KNMI, RON, piattaforme esplorative, precedenti studi svolti sul litorale marchigiano e contigui (Emilia Romagna ed Abruzzo);*
- 2. elaborazione di dati di moto ondoso registrati dalla boa ondometrica direzionale installata dalla Regione Marche al fine di fornire il clima del moto ondoso al largo valutando le differenze tra la zona a Nord e quella a Sud del Conero, elaborazione dei valori estremi per ricavare parametri necessari alla progettazione delle opere marittime, individuazione degli spettri in acque basse, caratterizzazione delle mareggiate di bora e di scirocco al fine di valutarne l'influenza sull'equilibrio del litorale. La registrazione in tempo reale e l'elaborazione statistica del moto ondoso così come ricavato dai dati ondometrici dovrà confrontare i risultati con quanto ottenuto nel rapporto conclusivo del punto precedente;*

- b) *elaborazione dei dati rilevati dalla Regione al fine di caratterizzare la spiaggia emersa e sommersa ed al fine di valutare le variazioni rispetto alle indagini precedentemente effettuate; i risultati saranno forniti su supporto cartaceo e/o magnetico. Per la rappresentazione dei risultati saranno utilizzati i sistemi geografici informatizzati. La Regione Marche si impegna a mettere a disposizione la base cartografica in suo possesso;*
- c) *studi ricognitivi di depositi sabbiosi da utilizzare nel ripascimento di tratti di litorale in erosione. Si prevede una prima fase di sviluppo di ricerche del materiale sabbioso su un'area vasta, prospiciente o limitrofa alla costa marchigiana, interpretando ed elaborando profili sismici ad alta risoluzione già esistenti ed esaminando carote già disponibili. Censimento del materiale sabbioso depositato all'interno di aree portuali o difese costiere, caratterizzazione in aree campione della qualità dei sedimenti e sviluppo di un programma di riutilizzazione degli stessi;*
- d) *analisi del comportamento delle opere di difesa utilizzate nella costa marchigiana in modo diacronico. Predisposizione di schede con l'individuazione delle caratteristiche idrauliche, sedimentologiche e di ripercussione sull'ambiente delle opere di difesa;*
- e) *modellazione matematica di definizione del trasporto solido trasversale in fondali con presenza di barre o in profili di erosione;*
- f) *analisi quali-quantitativa sulla dinamica delle foci fluviali in relazione al trasporto solido di fondo fluviale;*
- g) *realizzazione di un modello numerico bidimensionale per le acque basse. Il modello permetterà di studiare l'idrodinamica delle zone costiere in presenza di opere portuali o di protezione. Il modello sarà tarato su un tratto di litorale marchigiano. Il modello sarà predisposto per essere successivamente accoppiato ad un modello morfologico.”*

Responsabile scientifico della Convenzione è stato il Prof. Ing. Alessandro Mancinelli – Direttore dell'Istituto di Idraulica della Facoltà di Ingegneria di Ancona – con il compito di coordinare gli studi del Prof. Pietro Curzi, della Facoltà di Ingegneria di Bologna, per quanto attiene alla ricerca dei depositi sabbiosi e per le competenze specifiche di natura sedimentologica, e quelli del Prof. Ing. Giulio Scarsi della Facoltà di Ingegneria di Genova per quanto concerne la predisposizione di un modello idrodinamico delle acque basse e per la caratterizzazione del clima ondoso al largo e sottocosta.

Lo studio, iniziato nell'ottobre 1998 si è sviluppato in stretto rapporto con l'Ufficio Progettazione della Regione Marche diretto dall'Ing. Vincenzo Marzialetti. L'Ufficio ha fornito l'indispensabile e fattiva collaborazione occupandosi inoltre, direttamente, dell'espletamento delle indagini batimetriche e sedimentologiche. Le indagini batimetriche non sono state completate

mentre è già funzionante la boa ondometrica situata al largo di Ancona che tramite una apposita convenzione è stata inserita nella rete ondometrica nazionale gestita dall'Ufficio Idrografico e Mareografico Nazionale.

Non appena disponibili i dati batimetrici saranno inseriti nello Studio. L'elaborazione dei dati ondometrici che si è potuta effettuare è relativa alle misure del periodo 9 marzo 1999 – 11 agosto 2000, che il Servizio Mareografico ha reso disponibile dopo le opportune verifiche.

I principali obiettivi che la Convenzione ha raggiunto sono di seguito riportati.

1. Sono state rappresentate le caratteristiche fisiche ed ambientali dello spazio costiero attraverso carte tematiche costruite con i dati rilevabili dalle campagne batimetriche e sedimentologiche.

Sono stati confrontati i dati recenti con quelli del passato al fine di individuare le tendenze evolutive e l'efficacia delle opere di difesa realizzate.

È stato predisposto un sistema informativo territoriale che permette di osservare la costa a scale spaziali regionali e locali e di valutare l'evoluzione a scale temporali sia nel breve che nel lungo periodo.

2. La conoscenza delle caratteristiche del moto ondoso al largo della costa marchigiana è stata approfondita utilizzando sia i dati rilevati dalla boa ondometrica sia tutte le informazioni attualmente disponibili.

I dati del moto ondoso sono stati trasferiti dal largo verso riva utilizzando i metodi spettrali efficaci sino al limite della zona dei frangenti. Sono stati individuati i metodi per il trasferimento all'interno della zona dei frangenti dove la turbolenza ed i processi non lineari divengono prevalenti.

Sono stati definiti i modelli di trasporto trasversale ed alcuni indicatori di tipo morfologico per analizzare le condizioni di stabilità della spiaggia.

3. È stato predisposto un modello numerico per le shallow-waters che sia in grado di simulare l'idrodinamica dei bassi fondali anche in presenza di opere di difesa.

4. È stata costruita la carta dei depositi sabbiosi marini analizzando campioni esistenti in modo di valutare la fattibilità tecnica ed economica del prelievo della sabbia da utilizzare nei ripascimenti.

5. È stata ricostruita l'evoluzione storica delle foci fluviali per conoscere la consistenza degli apporti solidi recenti dei bacini idrografici regionali.

Nello Studio ha particolare rilevanza l'organizzazione e la gestione dei dati.

I fattori che influenzano la dinamica costiera sono molteplici e spesso tra loro collegati. Ciò vuol dire che nella fase di analisi si deve raccogliere e gestire un grande numero di informazioni a volte puntuali e a volte distribuite su di un'area, in qualche caso conservate in un archivio e in

qualche altro da raccogliere sul campo.

In questo ambito, particolare importanza ha il Sistema Informativo Territoriale o GIS che è stato predisposto all'interno dello Studio, il quale permette di visualizzare, esplorare, interrogare ed analizzare i dati geografici, fisici ed idraulici memorizzati.

Grazie alla capacità di analisi trasversale dei dati, esso consente diverse chiavi di lettura, nonché restituzioni geografiche, tabellari e testuali rispondenti alle varie esigenze e adattabili ai diversi tipi di utenza, attraverso procedure di immediata e facile accessibilità.

In questi anni le applicazioni dei SIT sono state indirizzate soprattutto nei settori della pianificazione territoriale, della gestione dei beni culturali ed ambientali e nella gestione delle reti tecnologiche. Pochi, per quanto è dato sapere, sono ancora gli utilizzi in ambito di studio dell'ambiente costiero o più in generale della difesa del suolo.

Tuttavia in un quadro frammentato e condizionato da più fattori come è quello dell'ambiente costiero, il solo fatto di poter riunire le informazioni disponibili è già un grande vantaggio ed un ottimo punto di partenza.

Cuore del GIS è dunque la base dati, la quale è composta da una banca dati all'interno della quale gli elementi geografici in forma numerica si integrano con quelli descrittivi in forma tabellare, testuale e di immagine.

In una problematica come questa dello studio dell'ambiente costiero le informazioni che devono entrare a formare la banca dati del sistema informativo sono:

- dati cartografici;
- dati meteomarini (misure del moto ondoso, del vento e del livello del mare);
- dati geomorfologici (rilievi topografici, batimetrici e sedimentologici);
- dati idrologici (caratteristiche dei bacini idrografici, regime delle portate solide e liquide dei corsi d'acqua);
- dati di interesse antropico e/o ambientale (censimento delle opere di protezione costiera, rilievo fotografico della zona costiera, raccolta di notizie storiche, contenuti degli strumenti urbanistici).

Tutti questi elementi sono stati raccolti ed elaborati nel presente Studio in modo da conseguire due tipi di risultati: un primo risultato, di validità generale, è rappresentato dalla predisposizione di un sistema globale di analisi e gestione dell'ambiente costiero; un secondo risultato, legato allo scopo dello Studio, è costituito da alcuni prodotti per la caratterizzazione della spiaggia emersa e sommersa.

In particolare questi elaborati sono costituiti da:

- valutazione dell'evoluzione della linea di costa;
- analisi delle opere di difesa e della loro efficacia;

➤ redazione di carte tematiche relative alla caratteristiche della costa delle Marche.

In generale, il GIS consente di avere grandi vantaggi rispetto alle tecniche tradizionali, tra i quali:

- visione omogenea ed unitaria dell'ambiente;
- tempi brevi per l'analisi di informazioni complesse e numerose;
- possibilità di scegliere la scala di rappresentazione tenendo però conto della scala propria degli elementi geografici contenuti all'interno della base dati;
- possibilità di correlare l'elemento territoriale georeferenziato con le sue informazioni descrittive (tabelle, testi e immagini);
- possibilità di aggiornare ed integrare in qualsiasi momento la banca dati.

Il sistema messo a punto non esaurisce ovviamente la problematica ma ne costituisce un punto di partenza per il confronto con i soggetti interessati alla programmazione e gestione dell'ambiente costiero.

Esso deve essere considerato "aperto" e dovrà inoltre essere periodicamente aggiornato per introdurre tutte le informazioni, le notizie ed i dati che verranno raccolti.

I Capitoli dello Studio, di seguito riportati, sono organizzati secondo il seguente elenco, il quale riproduce quanto previsto dall'Articolo 2 della Convenzione:

- A) Analisi dei dati meteomarini esistenti
- B1) Caratterizzazione della spiaggia emersa e sommersa
- B2) Sistema informativo territoriale della costa marchigiana
- C) Ricerca delle sabbie su area vasta
- D) Analisi delle opere di difesa
- E) Modellazione del trasporto solido trasversale
- F) Trasporto solido fluviale e dinamica delle foci
- G) Modello numerico per le acqua basse