

## STUDI SPECIALISTICI A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DI STRUTTURE DEDICATE ALLA NAUTICA DA DIPORTO

A seguito della promulgazione del Decreto 14 Aprile 1998 ad opera dal Ministero dei Trasporti e della Navigazione di concerto con il Ministero dell'Ambiente ed il Ministero dei Lavori Pubblici, tutti i "progetti da allegare ad istanze di concessione demaniale marittima per la realizzazione di strutture dedicate alla nautica da diporto", per ottenere la necessaria approvazione devono rispondere ad una serie di requisiti dettagliatamente esplicitati nel Decreto.

DHI Italia propone, tra i propri servizi, la predisposizione di studi specialistici a supporto di soggetti pubblici o privati che siano impegnati nella progettazione di strutture dedicate alla nautica da diporto.

In particolare, nel seguito vengono descritte le principali attività richieste dal Decreto e viene illustrato l'approccio metodologico seguito da DHI Italia per il loro adempimento.

- **Inquadramento geografico del paraggio e analisi dei dati disponibili.**

Propedeutico alla predisposizione degli studi specialistici ed espressamente richiesto dal Decreto, è l'**inquadramento geografico del paraggio**, ivi compresa l'**individuazione dei settori di traversia principale e secondario**, se esistente, oltre all'**analisi preliminare dei dati disponibili**.

Le fasi di studio mediante modello numerico sono infatti sempre precedute da un'attività di raccolta e processamento di tutti i dati disponibili in termini di batimetrie dei fondali, livelli di marea, vento, moto ondoso, dati da monitoraggio, ecc...

In particolare, i **dati batimetrici di dettaglio** non sono spesso disponibili e, comunque, sono generalmente limitati all'area in cui ricade la struttura o l'intervento, generalmente ridotta rispetto all'estensione complessiva dello studio. A tal fine risulta molto utile fare riferimento al database CM-93 di C-MAP. CM-93 è un database globale di cartografia nautica digitale realizzato e costantemente aggiornato dalla società norvegese C-MAP. CM-93 è quindi un vero e proprio archivio digitale in grado di fornire dati batimetrici a diversa scala e dettaglio utilizzabili per studi ed applicazioni di diverso genere. Qualora non disponibili sarà pertanto possibile per DHI Italia acquisire il set di dati di interesse e renderlo disponibile per lo studio utilizzando lo specifico modulo MIKE C-MAP già a disposizione.

Il modulo MIKE C-MAP è in grado inoltre di fornire informazioni sui **livelli di marea** astronomica, sia storici sia previsti, in corrispondenza di numerose stazioni poste lungo il litorale, generalmente poste a distanze non superiori a qualche decina di km l'una dall'altra.

Le informazioni riguardanti il **moto ondoso al largo**, in termini di caratterizzazione dell'altezza d'onda significativa, della direzione media di provenienza e del periodo associato, non sono sempre reperibili con facilità. La loro disponibilità varia significativamente in funzione della localizzazione del sito in esame. In particolare:

- se nelle vicinanze del sito in esame è localizzata una boa direzionale della Rete Ondametrica Nazionale, i dati, pubblicati da ISPRA, sono disponibili per tutta la durata di funzionamento della boa stessa (in genere, mai superiore ai 20 anni). I dati di boa possono essere utilizzati come riferimento anche qualora l'esposizione alle mareggiate secondo le diverse direzioni possa essere considerata simile tra il sito in esame ed il sito che ospita la boa ondametrica;
- in caso di impossibilità di utilizzo dei dati di boa ondametrica, DHI Italia è in grado di acquisire ed elaborare i dati provenienti da modelli d'onda globali (Met-Office, per esempio), che forniscono fino a 20 anni di risultati dei loro modelli nel Mar Mediterraneo, a risoluzione 35km x 35km, in termini di altezza d'onda significativa, direzione media di provenienza e periodo associato.

#### • **Analisi del moto ondoso al largo e trasposizione sottocosta**

Il **clima ondoso al largo** viene dapprima illustrato con l'ausilio della classica rappresentazione "a rosa" in termini di altezza d'onda significativa, direzione media di provenienza e frequenza di accadimento. Successivamente, a seguito dell'individuazione di un'opportuna soglia di altezza d'onda minima, viene processata una serie di eventi di mareggiata intensa sufficientemente numerosa da procedere ad una regolarizzazione statistica utilizzando il modulo **EVA - Extreme Values Analysis** del DHI<sub>Water•Environment•Health</sub>. Per indirizzare la scelta del tipo di distribuzione che meglio si adatta alle serie storiche delle osservazioni, i punti sperimentali sono riportati su un diagramma probabilistico semi logaritmico insieme alle curve determinate con i metodi di Gumbel e Weibull.

Sulla base dei dati caratteristici del clima ondoso al largo (altezza d'onda significativa, direzione, periodo) viene applicato un modello **bidimensionale di trasformazione del moto ondoso dal largo a sottocosta**. In particolare, viene utilizzato il modulo **MIKE 21 SW** al fine di determinare, attraverso l'approccio spettrale, la variazione dell'onda nella sua propagazione verso riva per effetto dell'attrito con il fondo, dello *shoaling*, della rifrazione e del frangimento. Il modulo SW di MIKE 21 rappresenta ad oggi lo stato dell'arte tra i modelli numerici di propagazione del moto ondoso e può essere considerato a tutti gli effetti uno standard in Italia come all'estero.

Qualora risulti necessario procedere con l'analisi del clima ondoso a partire da dati relativi ad un sito non coincidente con quello oggetto di studio, al fine dell'utilizzo del modulo SW si procederà inizialmente a trasporre tali dati in corrispondenza della posizione in cui sarà localizzata la condizione al contorno del modello mediante il tradizionale metodo dei **fetch efficaci**.

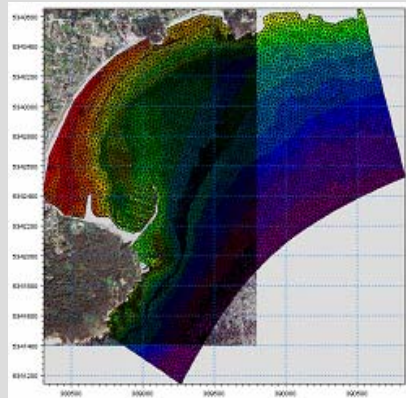
L'estrazione del clima ondoso locale viene effettuata nei pressi dell'imboccatura del bacino, in corrispondenza del molo di sopraflutto (ed eventuale sottoflutto) in progetto ed in alcuni siti limitrofi.

I dati trasposti vengono opportunamente processati e regolarizzati statisticamente al fine di individuare da un lato le altezze **d'onda di progetto in corrispondenza delle opere foranee e dell'imboccatura portuale** e di determinare dall'altro le classi altezza d'onda-frequenza che verranno utilizzate nella fase di scelta delle onde da simulare nell'ambito dell'attività di studio dell'agitazione ondosa residua all'interno del bacino portuale.

**MIKE 21 SW** è un modello spettrale per vento ed onde di nuova generazione, basato su una griglia non strutturata. Il modello simula la trasformazione di onde generate dal vento ed onde di swell sia offshore, sia in aree costiere.

MIKE 21 SW include due differenti formulazioni: "Directional decoupled parametric" e "Fully spectral". La prima delle due formulazioni è basata su una parametrizzazione dell'equazione di conservazione dell'energia del moto ondoso. La parametrizzazione è effettuata nel dominio della frequenza mediante l'introduzione come variabili dipendenti del momento di ordine zero e del momento di primo ordine dello spettro (Holthuijsen, 1989). La seconda formulazione è basata sulla conservazione dell'energia del moto ondoso come descritta da Komen (1994) e Young (1999). I fenomeni fisici che sono modellati con MIKE 21 SW sono i seguenti: Generazione dell'onda ad opera del vento;

- Interazione non lineare onda-onda;
- Dissipazione dovuta al cosiddetto "white capping"
- Dissipazione dovuta all'attrito con il fondo;
- Dissipazione dovuta al frangimento;
- Rifrazione e shoaling dovuti alle variazioni del fondale;
- Diffrazione e riflessione diretta;
- Interazione onde-correnti.



#### • Valutazione dell'agitazione ondosa residua all'interno della darsena

In accordo con quanto richiesto dal Decreto, DHI Italia è in grado di predisporre l'analisi modellistica del campo di **agitazione interna al bacino portuale**, relativamente allo stato di progetto: a tal fine viene utilizzato un modello numerico bidimensionale basato sul codice di calcolo MIKE 21 BW (Boussinesq Waves) del DHI.

Le geometrie dell'area e le relative quote batimetriche sono definite sulla base del progetto messo a disposizione. Con il modello così costruito si procede all'analisi della propagazione delle onde all'interno del bacino portuale. La definizione delle onde di riferimento per le simulazioni viene condotta nell'ottica di verificare, con il modello numerico, la rispondenza della soluzione progettuale alle indicazioni fornite dal **PIANC-AIPCN**, Associazione Internazionale di Navigazione, ai fini del controllo delle agitazioni degli specchi acquei protetti a servizio della nautica da diporto.

In particolare, il PIANC raccomanda le seguenti altezze d'onda significativa all'interno del porto:

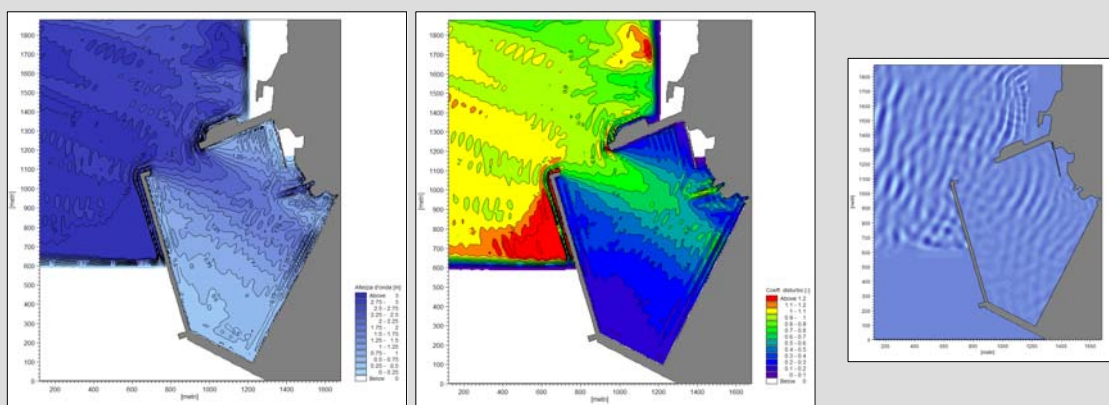
- condizione di "comfort", particolarmente importante nel caso di porti in cui si preveda la presenza prolungata di persone a bordo delle imbarcazioni:  $H_s = 0.15$  m per eventi con frequenza massima complessiva indicativamente non superiori a 5 giorni all'anno;
- condizione di "sicurezza":  $H_s = 0.30$  metri per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 5 anni;
- condizione "limite":  $H_s = 0.50$  m per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 50 anni.

La scelta di tali onde di riferimento per lo studio di agitazione interna viene effettuata a seguito di un'analisi statistica dei dati relativi al moto ondoso in prossimità dell'ingresso al porto, ottenuti mediante l'applicazione del modulo MIKE 21 SW di cui al paragrafo precedente.

Lo studio con il modello BW consente di definire i valori di altezza e direzione d'onda in tutti i punti del dominio di calcolo nonché di valutare i relativi coefficienti di disturbo in relazione al layout in esame.

A partire dai risultati del modello è inoltre possibile effettuare la stima del cosiddetto "down-time" ovvero dei giorni/anno nei quali è previsto il superamento di determinate soglie di altezza d'onda all'interno del porto e le conseguenti condizioni di parziale o non operatività dello stesso.

Il modulo Boussinesq Wave (BW) di MIKE 21 è basato sulla soluzione numerica delle equazioni di Boussinesq in due dimensioni. Tali equazioni includono i termini non lineari e la dispersione in frequenza. Il modello è in grado di riprodurre l'effetto combinato della maggior parte dei fenomeni che intervengono nella propagazione del moto ondoso in aree costiere e nei porti, quali shoaling, rifrazione, diffrazione e riflessione. MIKE21 BW può tenere in conto della porosità, per la simulazione della riflessione parziale e la trasmissione attraverso pali o frangiflutti. Inoltre è possibile applicare dei contorni assorbenti laddove sia necessario simulare l'assorbimento dell'energia dell'onda (ad esempio un contorno off-shore o una spiaggia). Il modello può essere applicato allo studio dell'agitazione di porti o in aree costiere ove sia limitato il frangimento.



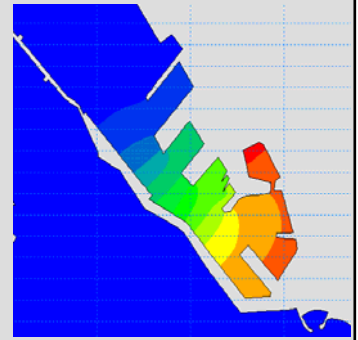
ATTIVITA' DI  
STUDIO PER  
PORTI  
TURISTICI

- **Analisi della circolazione interna al bacino portuale**

Un'importante attività di supporto alla progettazione del porto turistico è rappresentata dallo studio della circolazione interna al bacino portuale, finalizzata a stimare il tempo necessario per un ricambio completo e parziale delle acque interne al bacino stesso.

A tale proposito, viene predisposto un modello accoppiato idrodinamico e di dispersione (MIKE 21 HD + MIKE 21 TR) mediante il quale è possibile da un lato ricostruire scenari tipici dell'andamento delle correnti nei pressi del porto, intesi come combinazioni delle condizioni di marea, di vento e di moto ondoso incidente, e dall'altro simulare il processo di dispersione di un tracciante ipotizzato occupare l'intero specchio acqueo interno al bacino portuale con una concentrazione iniziale pari al 100%, al fine di analizzare il ricambio dei volumi d'acqua all'interno del bacino. L'individuazione degli scenari climatici su cui applicare il modello accoppiato idrodinamico e di dispersione viene di volta in volta effettuata in modo da ricostruire al meglio le condizioni medie ed estreme del paraggio.

Il modulo **MIKE 21 TR** simula il processo di dispersione a cui è soggetta una sostanza in acqua, sia essa disciolta o in sospensione. La sostanza può essere di vario tipo, conservativo o non conservativo, inorganica od organica (ad esempio sale, calore, coliformi o composti xenobiotici). Le equazioni di avvezione-dispersione sono risolte utilizzando accurati schemi ai volumi finiti che assicurano la conservazione della massa. E' possibile includere gli effetti della densità di corrente attivando l'opzione di feedback tra modulo TR e modulo idrodinamico, attraverso la quale i gradienti di densità diventano una forzante del modulo idrodinamico HD. Il modulo TR, infatti, è accoppiato dinamicamente con il modulo HD. Applicazioni tipiche che prevedono l'utilizzo del modulo TR sono studi di ricircolazione di acqua calda o fredda, simulazioni di traccianti e semplici studi di qualità delle acque.



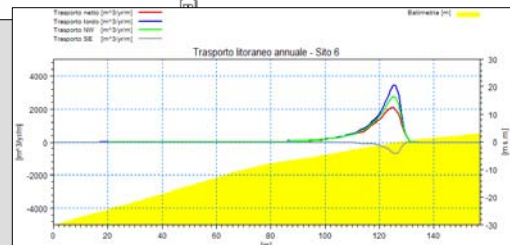
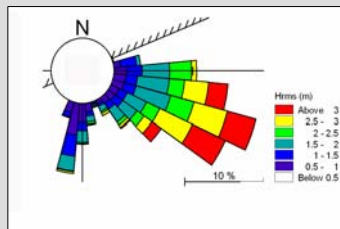
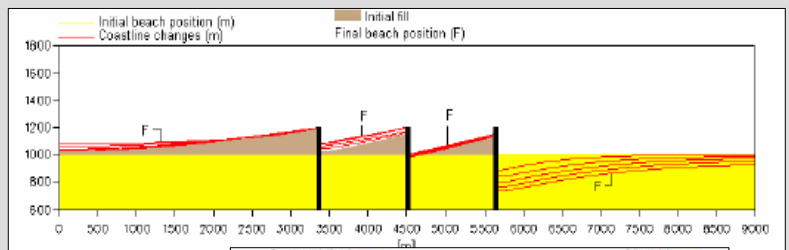
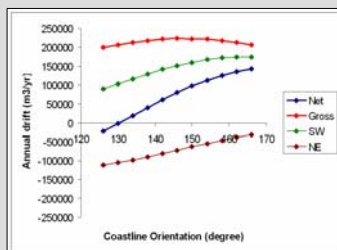
**ATTIVITA' DI STUDIO PER PORTI TURISTICI**

• **Studio delle dinamiche di trasporto litoraneo**

Lo **studio di base delle dinamiche di trasporto litoraneo** fa in genere riferimento al tratto di costa a cavallo dell'opera in progetto.

Il bilancio complessivo dei sedimenti caratteristico per il tratto di costa in esame viene preliminarmente calcolato, indipendentemente dalla presenza dell'opera portuale, mediante l'utilizzo del modulo LITDRIFT appartenente al pacchetto software di modellazione numerica LITPACK.

**LITPACK**, costituito da un insieme di moduli, calcola la trasformazione che subisce l'onda nella cosiddetta zona del surf, le correnti indotte dal moto ondoso ed il trasporto costiero per una tipologia di spiaggia lunga ed uniforme. LITPACK è in grado di calcolare, su una costa aperta ed uniforme, il trasporto solido litoraneo annuale. L'input è rappresentato dal moto ondoso, che può essere fornito sia mediante l'utilizzo di dati statistici sul moto ondoso stesso, sia utilizzando serie storiche di onde. LITPACK contiene inoltre un modulo finalizzato al calcolo dell'evoluzione della linea di costa, che simula tutti i casi possibili di evoluzione della linea di costa come funzione della variazione nel trasporto solido litoraneo dovuta alla presenza eventuale di strutture, delle variazioni nelle condizioni del moto ondoso, della conformazione della linea di costa e dei cambiamenti nel profilo della costa stessa. LITPACK comprende infine un modulo per l'evoluzione del profilo costiero studiato per ottenere il profilo, ad esempio, in presenza di spiagge oggetto di interventi di ripascimento.



I risultati delle simulazioni permettono di valutare:

- la quantificazione del trasporto netto e lordo annuo;
- la cosiddetta "orientazione di equilibrio della linea di costa", e l'orientazione che corrisponde ad un bilancio netto di zero trasporto;
- la distribuzione del trasporto litoraneo lungo il profilo trasversale alla costa;
- l'identificazione di quelle componenti dell'onda sottocosta che contribuiscono in maniera rilevante al bilancio del trasporto dei sedimenti.

Grazie ai risultati ottenuti dal modulo LITDRIFT di LITPACK vengono selezionate alcune componenti d'onda che contribuiscono significativamente al processo di trasporto di sedimenti litoraneo nella zona e, per tali componenti d'onda, viene eseguita, attraverso i moduli specifici di MIKE 21, una dettagliata modellazione bidimensionale del moto ondoso, delle correnti generate da quest'ultimo e del trasporto solido nell'area intorno al porto in progetto.

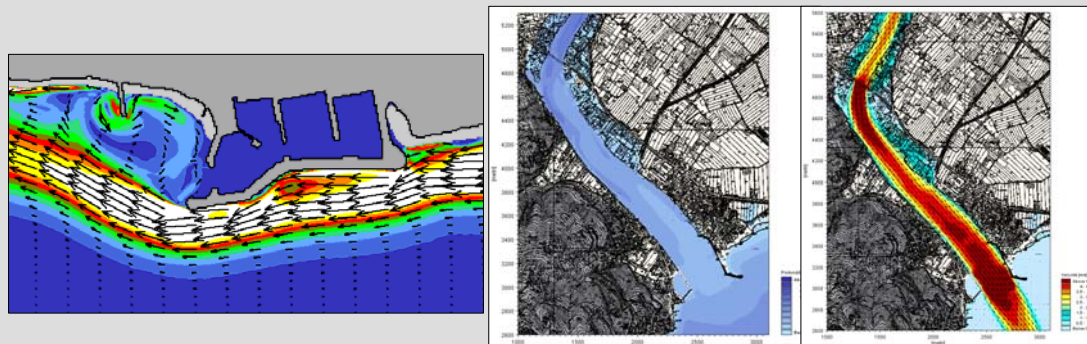
Tale dettagliata modellazione è in grado di fornire risultati sul comportamento dell'onda, delle correnti e del trasporto di sedimenti nel tratto in esame, permettendo di valutare l'impatto della presenza delle opere foranee del porto sulla costa immediatamente a monte ed a valle della struttura.

L'analisi dei risultati fornisce inoltre la **possibilità di analizzare eventuali criticità nell'area dell'imboccatura portuale determinate dall'insorgere di condizioni tali da favorire l'insabbiamento.**

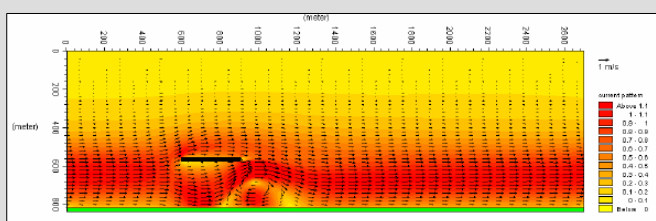
La risoluzione tipica della griglia utilizzata per la definizione della batimetria del modello, costruita con elementi triangolari a dettaglio variabile, tale da poter essere incrementato nelle aree di maggiore interesse, è dell'ordine dei 5 m.

ATTIVITA' DI  
STUDIO PER  
PORTI  
TURISTICI

I moduli **MIKE 21 HD** e **HD FM** simulano i livelli idrici ed i flussi determinati dai gradienti di radiation stress, dal vento, dalla marea o da portate fluviali. I risultati forniti sono rappresentati dalle variazioni spazio-temporali dei livelli idrici e dei campi di velocità.



I modelli **MIKE 21 ST** e **ST FM** calcolano il trasporto solido di superficie e di fondo dovuto all'azione combinata delle correnti e del moto ondoso. Il modulo di base del trasporto solido, STP, è lo stesso in MIKE 21 ST ed in LITPACK e fornisce come risultato i campi di capacità di trasporto nell'area modellata.



- **Dati necessari alle attività di studio**

Per l'esecuzione delle attività sopra descritte, è necessaria, nelle diverse fasi, la disponibilità dei seguenti dati:

- rilievo batimetrico dell'area del porto e dell'unità fisiografica circostante;
- caratterizzazione del clima ondoso al largo del sito in esame;
- dati storici di vento, adeguati a caratterizzare il clima anemometrico del sito;
- dati storici di dettaglio sufficiente a caratterizzare adeguatamente i livelli del mare nell'area in studio;
- caratteristiche sedimentologiche per il sito in analisi;
- layout di progetto del porto turistico.

Tali dati sono generalmente resi disponibili dal soggetto progettista dell'opera; qualora gli stessi dati risultassero non disponibili o, comunque, non adeguati a garantire un'elevata qualità tecnica dello studio, la loro acquisizione potrà essere cura di DHI Italia.



**ATTIVITA' DI  
STUDIO PER  
PORTI  
TURISTICI**