



REGIONE ABRUZZO COMUNE DI ORTONA



APQ-14 INTERVENTO DT03
Finanziamento con delibera C.I.P.E n° 84-2000

PIANO REGOLATORE PORTUALE 2010



CAPITANERIA DI PORTO DI ORTONA

Titolo elaborato :

STUDIO IDRODINAMICO E MORFODINAMICO

Responsabile del Procedimento e Coordinatore Generale del P.R.P.:

Dott. Ing. Nicola PASQUINI

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE PER IL LAZIO, ABRUZZO E SARDEGNA
UFFICIO 7 - OPERE MARITTIME

Progettisti:

Dott. Ing. Fabio RIVA
Dott. Ing. Luigi MINENZA

Collaboratori alla progettazione:

Geom. Massimiliano RICCI
Geom. Dario COMPAGNONE
Geom. Pietro PRATICO'

Gruppo specialistico di supporto alla progettazione:

Coordinamento tecnico-scientifico:	Prof. Ing. Alberto NOLI
Aspetti marittimi e modellistica idraulica:	Prof. Ing. Paolo DE GIROLAMO
Aspetti urbanistici:	Urb. Ivana PEDERIVA
Aspetti ambientali:	Dott. Ing. Paolo CONTINI
Aspetti socio economici, trasportistici e finanziari:	TRT- Trasporti e Territorio - Dott. Ing. Fabio TORTA

Elaborato:

S4

	Set. 2010	0	Emissione
--	-----------	---	-----------

Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE
-----------	------	------	-------------

Sommario

1. Premesse	4
2. Metodologia	5
1.1. Insabbiamento dell'imboccatura portuale	5
1.1. Evoluzione a lungo termine del litorale "Lido dei Saraceni"	8
2. Valutazione dell'insabbiamento dell'imboccatura portuale	10
2.1. Il modello numerico	10
2.2. Definizione dei domini di calcolo	12
2.3. Definizione delle condizioni di moto ondoso incidente	12
2.4. Risultati numerici	13
3. Analisi della tendenza evolutiva del litorale "Lido dei Saraceni"	24
4. Osservazioni conclusive	27
5. Bibliografia	28

Indice delle figure

<i>Figura 1: Schema qualitativo che descrive i parametri del metodo di Hsu e Evans (1989).....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2: Griglia di dettaglio per la configurazione attuale (AT, grafico a sinistra) e in configurazione di nuovo PRP (PRP, grafico a destra). L'asse delle ascisse è diretto lungo la direzione 62°N.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 0°N.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 20°N.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 40°N.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 60°N.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 7: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 80°N.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 100°N.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 120°N.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 10: Risultati numerici in termini di variazione di profondità per unità di tempo (m/s). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 20°N.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 11: Schema qualitativo per l'utilizzo del metodo di Hsu e Evans (1989) nel caso di baie non sviluppate.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 12: Identificazione dei punti necessari all'applicazione del metodo di Gonzales.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 13: Applicazione del metodo di Gonzales al modello di Hsu e Evans (1989) per il litorale del "Lido dei Saraceni".....</i>	<i>26</i>

1. PREMESSE

Con riferimento all' "Incarico di consulenza inerente gli aspetti marittimi" per la redazione del PRP del Porto di Ortona (OOMM/2284/A/09/FD – Comune di Ortona, prot. 3610 del 01/02/2010) conferito al Prof. Ing. Paolo De Girolamo e con riferimento al Disciplinare di Incarico Professionale (REP 26 del 21/12/2009) la presente relazione costituisce lo "*Studio idrodinamico e morfodinamico*" per la valutazione dei possibili scenari di interferenza delle nuove opere esterne portuali sulle spiagge limitrofe e dei fenomeni di insabbiamento dell'imboccatura portuale.

Per la redazione del presente studio il Prof. Paolo De Girolamo si è avvalso della collaborazione dell'Ing. Marcello Di Risio.

2. METODOLOGIA

La finalità del presente “Studio idrodinamico e morfodinamico” è quello di valutare eventuali fenomeni di insabbiamento dell’imboccatura portuale conseguenti alla realizzazione delle opere del nuovo PRP e l’influenza che le stesse hanno sulla spiaggia del Lido dei Saraceni, posto immediatamente a ridosso del radicamento del Molo Sud del Porto di Ortona.

1.1. Insabbiamento dell’imboccatura portuale

Per quanto riguarda il fenomeno dell’insabbiamento, la metodologia utilizzata è stata di tipo numerico, con la simulazione dell’idrodinamica indotta dal solo moto ondoso frangente e la conseguente valutazione dell’interrimento del canale di accesso. I risultati delle simulazioni numeriche, così come descritto più diffusamente nel seguito, sono stati analizzati secondo un approccio comparativo, valutando le differenze quantitative tra quelli ottenuti in situazione attuale e in condizioni di nuovo PRP. Più in particolare, considerando un fondo mobile, l’azione del moto ondoso concorre alla morfodinamica del fondale. Il simultaneo verificarsi dei fenomeni di propagazione ondosa, dell’instaurarsi di un campo di circolazione costiera e dell’evoluzione morfodinamica dei fondali rende il problema intimamente correlato da un rapporto di causa–effetto reciproco: il moto ondoso, nella sua propagazione, induce una circolazione costiera che influisce sulla propagazione delle onde stesse. D’altro canto il fenomeno nella sua globalità, costituito dalla propagazione del moto ondoso e dalla circolazione costiera, induce delle variazioni batimetriche che influiscono, a loro volta, sul campo cinetico: i fenomeni sono dunque accoppiati. Tuttavia è d’uso comune, per estensioni del dominio di calcolo estese, con estensioni dell’ordine dei chilometri, utilizzare un approccio disaccoppiato, soprattutto se si considera che l’effetto delle variazioni del fondo sulla propagazione e il frangimento del moto ondoso è trascurabile e che le variazioni del campo d’onda dovuto alla corrente indotta dal moto ondoso stesso sono anch’esse trascurabili quando l’intensità della corrente non è particolarmente elevata. In generale, definita la batimetria iniziale e le caratteristiche delle mareggiate incidenti, si calcolano le caratteristiche del moto ondoso nel dominio di calcolo con l’utilizzo di un modello di propagazione. Le spinte totali dovute al moto ondoso vengono così ottenute in base alla distribuzione spaziale di altezza d’onda e direzione di propagazione e sono utilizzate per il calcolo della circolazione costiera

indotta dal moto ondoso frangente. A tal punto si calcola l'evoluzione batimetrica tramite l'utilizzo di un modello morfologico e, all'occorrenza, l'intera procedura si itera sino a giungere ad una situazione stabile in termini batimetrici, se esiste.

Per la stima dell'interrimento del canale di accesso è possibile applicare una formulazione pratica che permette di valutare la sua capacità di intrappolamento del sedimento che, a causa del rallentamento della corrente fluida, tende a depositarsi sul fondo. Nell'ambito di questo studio si è scelto di utilizzare la formulazione che Galvin (1982) propose per la sedimentazione S_t ($m^3/m/s$) in un canale dragato:

$$S_t = Q_s \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^m \right]$$

nella quale Q_s ($m^3/m/s$) è il flusso di sedimenti (in sospensione e sul fondo) che attraversa una sezione verticale che delimita il canale di accesso portuale. Le profondità d_1 e d_2 sono rispettivamente quelle prima e dopo il dragaggio del canale. L'esponente m è compreso tra $3/2$ e $5/2$. Poichè il rapporto d_1/d_2 è inferiore all'unità, il valore maggiore ($5/2$) rappresenta la stima più gravosa della deposizione all'interno del canale di accesso.

Nel caso in studio, la profondità media dell'area occupata dal canale di accesso prima (d_1) e dopo il dragaggio (d_2) è pari a 12,5 m e 14,0 m rispettivamente. Pertanto la relazione proposta da Galvin (1982) si particolarizza nella:

$$S_t = 0,25Q_s \quad (1)$$

a indicare che il canale è soffre dell'insabbiamento per una misura pari al 25% della portata solida in transito nell'area occupata dal canale.

La stima della portata solida istantanea Q_s che fluisce attraverso una sezione verticale è legata, in linea di principio, alla concentrazione locale istantanea di sedimento e alla velocità della corrente:

$$Q_s(x, y, t) = \int_{-h(x, y)}^{\eta(x, y, t)} u(x, y, z, t) c(x, y, z, t) dz = Q_{ss} + Q_{sf} \quad (2)$$

nella quale u è la componente ortogonale alla superficie della velocità istantanea locale, c è la concentrazione di sedimento, h è la profondità locale e η è la posizione istantanea della superficie libera. La portata solida è costituita dal contributo del sedimento in sospensione (Q_{ss}) e di quello che si muove come trasporto di fondo (Q_{sf}).

Ipotizzando condizioni stazionarie e considerando il valore medio della velocità della corrente U e il valore medio della concentrazione di sedimento C , si ottiene:

$$Q_s(x, y) = U(h + \eta)C + Q_{sf} \quad (3)$$

Per il corretto utilizzo della (3) è necessario definire il valore della corrente media (U), del livello medio (η), della concentrazione media (C) e del trasporto solido al fondo. Per quanto riguarda le prime tre grandezze è necessario l'utilizzo di un modello di circolazione costiera e, successivamente, di un modello che risolve l'equazione di dispersione e diffusione con il termine sorgente a rappresentare la messa in sospensione del sedimento ad opera del fenomeno di frangimento (funzione di risospensione). Per la stima del trasporto di fondo è sufficiente l'utilizzo di formulazioni empiriche di letteratura, così come mostrato più specificamente nel seguito, tenendo conto, tuttavia, che esso è di molto inferiore rispetto a quello in sospensione all'interno della zona dei frangenti.

Un'alternativa all'utilizzo di un modello numerico è quello di utilizzare relazioni che forniscono direttamente il valore del trasporto solido in sospensione e al fondo dovuta all'azione combinata di onde e correnti. Camenen e Larson (2005, 2007, 2008) suggeriscono, per il trasporto solido di fondo la seguente relazione:

$$Q_{sf} = \sqrt{(s-1)gd_{50}^3} \left[a_c \sqrt{\theta_{cw,m}} \theta_{cw,m} \exp\left(-b_c \frac{\theta_{cr}}{\theta_{cw}}\right) \right]$$

Nella quale s indica la densità relativa, d_{50} è il diametro passante al 50%, $\theta_{cw,m}$ e θ_{cw} sono, rispettivamente, i parametri di Shields massimo e medio, θ_{cr} è il parametro di Shields critico, a_c e b_c sono due coefficienti (posti, nel seguito, pari a 12 e 4,5, Nam et al., 2009). Per il trasporto in sospensione, Camenen e Larson (2005, 2007, 2008), indicano la seguente formulazione:

$$Q_{ss} = U_c c_R \frac{\varepsilon}{w_s} \left[1 - \exp\left(-\frac{w_s d}{\varepsilon}\right) \right]$$

Nella quale U_c è la velocità della corrente, ε è la diffusività del sedimento, w_s la velocità di sedimentazione, d la profondità totale e c_R la concentrazione di riferimento al fondo fornita dalla

$$c_R = A_{cR} \theta_{cw,m} \exp\left(-4,5 \frac{\theta_{cr}}{\theta_{cw}}\right)$$

Nella quale A_{cR} è dato dalla seguente relazione:

$$A_{cR} = 3,5 \cdot 10^{-3} \theta_{cw,m} \exp(-0,3d^*)$$

Ove è definito il diametro adimensionale d^* .

$$d_* = \sqrt[3]{(s-1)g/v^2 d_{50}^3}$$

Si ricorda che il parametro di Shields è definito dalla:

$$\theta = \frac{\tau}{(s-1)\rho g d_{50}}$$

Nella quale τ è lo sforzo tangenziale.

1.1. Evoluzione a lungo termine del litorale “Lido dei Saraceni”

Per quanto riguarda l’influenza delle opere previste dal nuovo PRP, in particolare del prolungamento del Molo Sud, sulla morfodinamica a lungo termine del Lido dei Saraceni, è stato applicato il metodo proposto da Hsu e Evans (1989), ormai standard de facto in questo tipo di applicazioni.

Il metodo consiste nell’identificazione della forma planimetrica in condizioni “statiche”. A tal fine è necessaria la definizione della direzione delle onde più frequenti, del punto di diffrazione (sopraflutto, punto P in Figura 1) e del punto di controllo (sottoflutto, punto C in Figura 1). Vengono pertanto definite la linea di controllo, di lunghezza R_0 , che congiunge il punto di diffrazione e il punto di controllo, e l’angolo β che la linea di controllo forma con il fronte delle onde (Figura 1).

Il metodo si esplicita con una formula parabolica che permette di valutare la distanza della linea di riva dal punto di diffrazione (R) in funzione dell’anomalia θ rispetto al fronte dell’onda:

$$\frac{R_0}{R} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta} \right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2 \quad (4)$$

Nella quale i coefficienti sono stati valutati alla luce di osservazioni di campo e argomentazioni teoriche (Uda et al., 2100):

$$C_0(\beta) = -0,0116 + 0,3760\beta - 0,4510\beta^2 + 0,2760\beta^3 + 0,3310\beta^4 \quad (5)$$

$$C_1(\beta) = -2C_0 - \frac{\beta}{\tan \beta} + 2 \quad (6)$$

$$C_2(\beta) = C_0 + \frac{\beta}{\tan \beta} - 1 \quad (7)$$

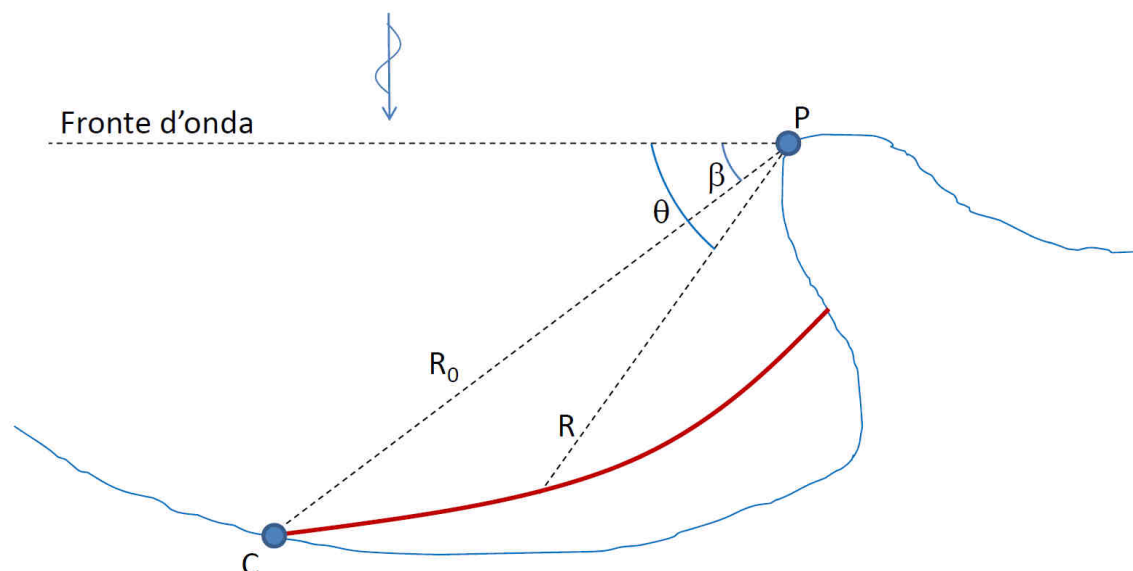


Figura 1: Schema qualitativo che descrive i parametri del metodo di Hsu e Evans (1989)

Poiché il metodo permette di stimare la posizione all'equilibrio della linea di riva. Se l'utilizzo della (4) riproduce soddisfacentemente la posizione della linea di riva allora il litorale può ritenersi in equilibrio statico. Se, invece, la linea di riva stimata non corrisponde all'andamento planimetrico del litorale osservato, allora si ha il caso dell'equilibrio dinamico. In quest'ultimo caso una variazione nell'esposizione alle onde, dovute a costruzioni di nuove opere, oppure una variazione dell'apporto solido tenderà a far arretrare la linea di riva, verso le condizioni di equilibrio.

Si osserva che il modello è particolarmente sensibile alla scelta del punto di controllo. Il punto di diffrazione è spesso identificabile nella presenza di promontori o, come nel caso in esame del Porto di Ortona, dalla presenza di opere portuali. Il punto di controllo, invece, è localizzato laddove il litorale assume un andamento rettilineo. Tale scelta si basa sull'ipotesi che il litorale, in questa zona, sia in equilibrio e che la giacitura della costa sia sostanzialmente ortogonale alla direzione delle onde più frequenti e al di fuori della "zona d'ombra" in cui ha luogo la diffrazione delle onde. In sostanza non sempre è possibile identificare materialmente il punto di controllo, ma è necessario valutare i valori di R_0 e β tramite formulazioni fisiche basate sull'analisi delle onde incidenti (Gonzales e Medina, 1997; 2001).

2. VALUTAZIONE DELL'INSABBIAMENTO DELL'IMBOCCATURA PORTUALE

Come anticipato, la valutazione dell'insabbiamento dell'imboccatura portuale e l'influenza delle nuove opere sull'idrodinamica dei litorali limitrofi, è stata affrontata tramite una metodologia comparativa. Nel seguito vengono mostrati e confrontati i risultati ottenuti in situazione attuale e in configurazione di nuovo PRP tramite l'applicazione di un modello numerico in grado di calcolare le caratteristiche propagative delle onde corte, la distribuzione del campo cinetico indotto e il trasporto solido che ne consegue.

2.1. Il modello numerico

Il modello numerico utilizzato è stato implementato sulla base di quello descritto in Roelvink et al. (2009). In estrema sintesi il modello è costituito da tre moduli di calcolo. I primi due moduli, legati alla propagazione del moto ondoso nel dominio, risolvono l'equazione della conservazione dell'azione d'onda (A) e del bilancio energetico del frangente al fine di calcolare le spinte indotte dal moto ondoso, successivamente utilizzate per il calcolo delle correnti indotte.

Più nel dettaglio, l'equazione di conservazione dell'azione d'onda A è:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial c_x A}{\partial x} + \frac{\partial c_y A}{\partial y} + \frac{\partial c_\theta A}{\partial \theta} = -\frac{D}{\sigma}$$

nella quale l'azione d'onda è definita in funzione dell'energia specifica (S_w), dipendente dalla direzione (θ) e dal punto considerato, e della frequenza angolare σ :

$$A(x, y, \theta) = \frac{S_w(x, y, \theta)}{\sigma(x, y)}$$

E nella quale sono definite le celerità c_x , c_y e c_θ e la funzione D , che descrive le dissipazioni e le produzioni energetiche.

La soluzione numerica dell'equazione della conservazione d'onda permette di calcolare il valore delle componenti del tensore di eccesso della quantità di moto:

$$S_{xx} = \int \left(\frac{c_g}{c} (1 + \cos^2 \theta) - \frac{1}{2} \right) S_w d\theta$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \int \sin \theta \cos \theta \left(\frac{c_g}{c} S_w \right) d\theta$$

$$S_{yy} = \int \left(\frac{c_g}{c} (1 + \sin^2 \theta) - \frac{1}{2} \right) S_w d\theta$$

Dalle quali è possibile poi calcolare le spinte indotte dal moto ondoso.

$$F_x = -\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right)$$

$$F_y = -\left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}\right)$$

Tuttavia è riconosciuto che nella zona dei frangenti la spinta del moto ondoso è legata alla presenza dei frangenti (roller). Al fine di valutare la spinta relativa alla propagazione del frangente, è necessario risolvere (numericamente) l'equazione di bilancio energetico:

$$\frac{\partial S_r}{\partial t} + \frac{\partial c_x S_r}{\partial x} + \frac{\partial c_y S_r}{\partial y} + \frac{\partial c_\theta S_r}{\partial \theta} = -D_r + D_w$$

Nella quale S_r è l'energia del frangente, D_w è la dissipazione calcolata sulla base della soluzione della conservazione dell'azione d'onda e D_r è la dissipazione indotta dalla presenza del frangente. La soluzione del bilancio energetico del frangente permette la definizione delle relative componenti del tensore di eccesso di quantità di moto che contribuiscono, nell'ipotesi di sovrapposizione degli effetti, alla definizione delle spinte del moto ondoso:

$$S_{xx,r} = \int \cos^2 \theta S_r d\theta$$

$$S_{xy,r} = S_{yx,r} = \int \sin \theta \cos \theta S_r d\theta$$

$$S_{yy,r} = \int \sin^2 \theta S_w d\theta$$

Le spinte ottenute vengono utilizzate come termine noto (forzante) delle equazioni non lineari delle onde in acqua bassa:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v - v_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{F_x}{\rho h}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u - v_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = + \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{F_y}{\rho h}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0$$

Nelle quali u e v sono le componenti delle velocità medie sulla verticale, η è la variazione del livello medio, τ_{sx} e τ_{sy} sono le tensioni che agiscono sulla superficie libera, τ_{bx} e τ_{by} quelle che agiscono sul fondo, f determina la forza di Coriolis e v_h è il coefficiente di viscosità "di vortice" (eddy viscosity).

2.2. Definizione dei domini di calcolo

Come premesso, sono stati presi in considerazione due diversi domini di calcolo. Il primo (denominato AT) si riferisce alla configurazione attuale, caratterizzato dalla presenza del prolungamento del Molo Nord (grafico a sinistra di Figura 2). Il secondo dominio di calcolo (denominato PRP) si differenzia dal primo per la presenza del prolungamento del Molo Sud (grafico a destra di Figura 2) e per la diversa quota di dragaggio dell'imboccatura portuale e del canale di accesso che si estende sino alla quota del fondo pari a -14 m l.m.m. Entrambi i domini di calcolo hanno un'estensione longitudinale (parallela alla giacitura media della costa) pari a 5000 m e un'estensione trasversale pari a 4500 m, estendendosi sino alla profondità pari a circa 30 m. L'asse delle ascisse riportato in Figura 2 è inclinato di 62° rispetto alla direzione del Nord, secondo la notazione nautica.

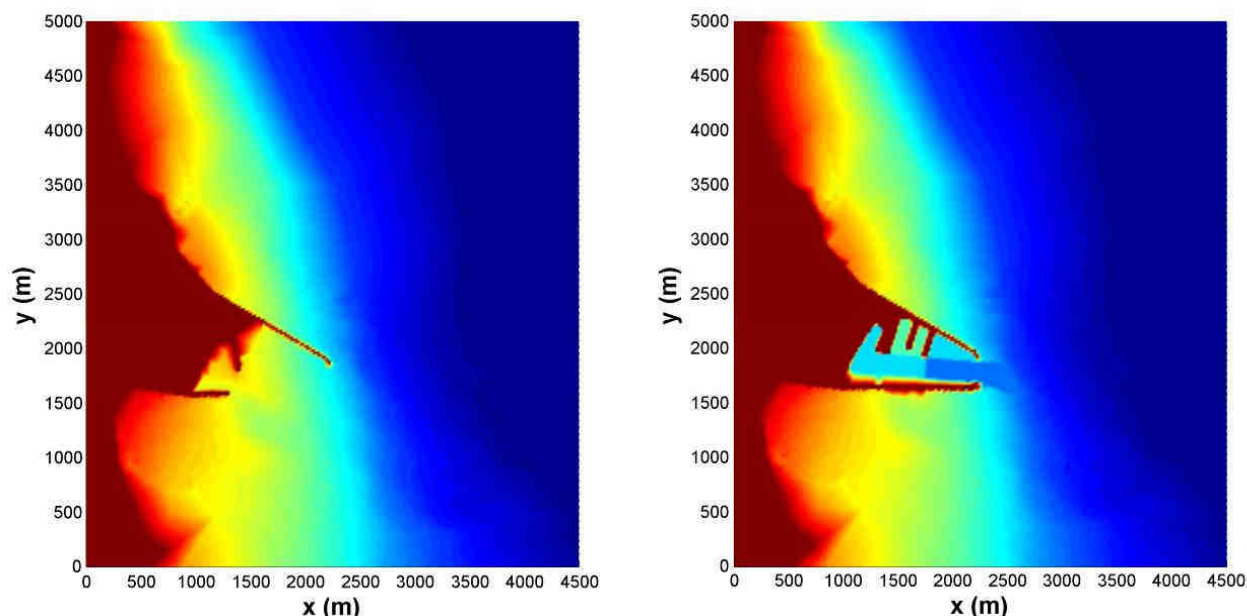


Figura 2: Griglia di dettaglio per la configurazione attuale (AT, grafico a sinistra) e in configurazione di nuovo PRP (PRP, grafico a destra). L'asse delle ascisse è diretto lungo la direzione 62°N .

I domini di calcolo sono stati discretizzati su una griglia uniforme di passo pari a 20 m, con una dimensione della griglia risultante pari a 225×250 nodi di griglia (56250 nodi di calcolo totali).

2.3. Definizione delle condizioni di moto ondoso incidente

Alla luce dei risultati dello studio meteomarinario, le condizioni di moto ondoso sono caratterizzate da due settori di traversia che coprono il settore angolare di provenienza delle onde compreso tra 310°N e 120°N . Tale settore, in corrispondenza di un punto posto in corrispondenza dell'imboccatura, si riduce a 350°N - 90°N con le

onde più elevate provenienti dal settore 10°N-50°N e quelli più frequenti provenienti dai settori 0°N e 80°N.

Al fine di valutare l'influenza delle opere portuali sui litorali vicini (in termini di idrodinamica indotta dalle onde e della morfodinamica che ne deriva) e sulle caratteristiche del fenomeno di insabbiamento dell'imboccatura, sono state definite un totale di 7 simulazioni numeriche per ognuno dei due domini di calcolo (per un totale di 14 simulazioni) diverse soltanto per la direzione di provenienza (compresa tra 0°N e 120°N), con altezza d'onda significativa pari a 2,0 m e periodo di picco pari a 6,5 s. L'intento è quello di simulare l'effetto di onde rare ma non estreme (con una frequenza di superamento pari a circa il 3% medio annuo) e mostrare che la configurazione del porto secondo il nuovo PRP non influenza l'idrodinamica indotta dal moto ondoso e non induce un movimentazione di sedimento tale da interessare il canale di accesso da fenomeni di insabbiamento indotto dall'azione delle onde.

2.4. Risultati numerici

I risultati numerici ottenuti sono mostrati, in termini di propagazione del moto ondoso e correnti indotte, dalla Figura 3 alla Figura 9.

Per gli stati di mare provenienti dalla traversia principale (angoli di provenienza sino a 60°N), il prolungamento del Molo Sud previsto dal nuovo PRP, mostra un incremento della zona interessata dal fenomeno della diffrazione con una conseguente diminuzione dell'altezza d'onda significativa in corrispondenza del "Lido dei Saraceni" (Figura 3, Figura 4 e Figura 5). In termini di propagazione ondosa, la configurazione PRP non influenza la propagazione degli stati di mare provenienti dal settore di traversia secondario (angoli di provenienza superiori a 60°N).

In termini di circolazione costiera, in virtù delle differenze osservate nella propagazione delle onde, la configurazione del nuovo PRP induce una lieve diminuzione delle correnti indotte da stati di mare provenienti dal settore di traversia principale in corrispondenza dell'area immediatamente a Sud del Molo Sud. Tuttavia, tale diminuzione è compensata da un lieve incremento delle correnti per gli eventi che provengono dal settore secondario.

In corrispondenza dell'imboccatura portuale non si osservano correnti significative ($|V| < 0,2$ m/s) in grado di trasportare il sedimento sino al canale di accesso e determinarne l'insabbiamento.

Trascurando il trasporto solido di fondo, la (1) con l'utilizzo della (3), fornisce:

$$S_t = 0,25U(h + \eta)C \quad (8)$$

Inserendo nella (8), a favore di sicurezza, la velocità pari a 0,20 m/s per tutta l'area occupata dal canale e trascurando il sovralzo indotto dal moto ondoso che, in assenza di frangimento, è sostanzialmente nullo, si ottiene:

$$S_t = 0,7C \quad (9)$$

Ipotizzando una lunghezza media del canale di dragaggio pari a 330 m e una larghezza media pari a 220 m, la (9) fornisce l'insabbiamento del canale in termini di decremento annuo della profondità dh :

$$dh = 9,99 \cdot 10^{-7} C \quad (10)$$

Si osserva che la (10) fornisce il decremento di profondità per unità di tempo del canale di accesso in funzione della concentrazione media di sedimento nel caso in cui esso sia interessato da onde con altezze a largo pari a 2,0 m (poiché è stata considerata una velocità in corrispondenza del canale pari a 0,2 m/s).

La concentrazione C può essere determinata tramite l'utilizzo di formule di letteratura oppure tramite la risoluzione (numerica) dell'equazione di diffusione e dispersione. Tuttavia è possibile anticipare in via qualitativa che, in situazioni simili a quella considerata, la concentrazione media raggiunge valori dell'ordine di qualche g/l (Goda, 2001), da cui si evince che la diminuzione di profondità del canale di accesso è, nel caso in cui si considerasse sempre presente un'altezza d'onda a largo di 2,0 m (ipotesi evidentemente conservativa), dell'ordine di 1 cm/anno.

Poiché in corrispondenza dell'imboccatura non si verifica il fenomeno del frangimento, è possibile valutare l'ordine di grandezza con le formule proposte da Camenen e Larson (2005,2007,2008), per le quali risulta:

$$Q_s(x, y) = Q_{ss} + Q_{sf}$$

Utilizzando una velocità della corrente pari a 0,2 m/s e un'altezza d'onda pari a 2,00 m si ottiene ($d_{50}=0,20$ mm):

$$Q_s(x, y) \cong 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

A cui corrisponde una capacità di intrappolamento del canale di accesso pari a:

$$S_t = 0,25Q_s \cong 5,9 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

Da cui si stima una diminuzione di profondità per unità di tempo (m/s) pari a

$$dh = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ m} / \text{s}$$

Che conferma l'ordine di grandezza valutato in via qualitativa precedentemente.

Le stesse risultanze si ottengono applicando un modello di dispersione e diffusione del sedimento in sospensione che tiene conto anche della componente di fondo del trasporto solido. La soluzione numerica (Figura 10) mostra che le variazioni di profondità per unità di tempo sono piccole e dello stesso ordine di grandezza di quelle appena calcolate. L'utilizzo del modello numerico, tuttavia, permette di valutare la distribuzione spaziale di tale variazione di profondità che non appare distribuita su tutta l'estensione del canale dragato, ma soltanto in corrispondenza delle testate dei prolungamenti del Molo Nord e Molo Sud.

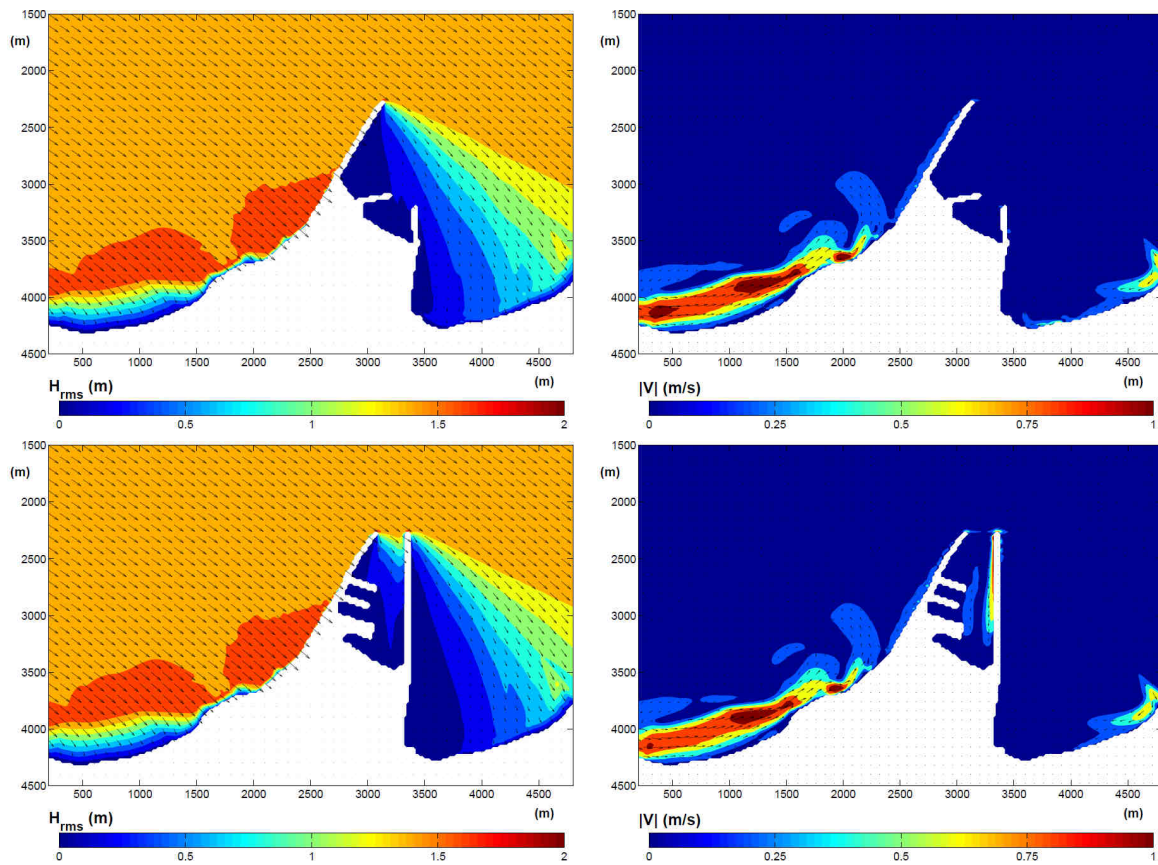


Figura 3: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 0°N.

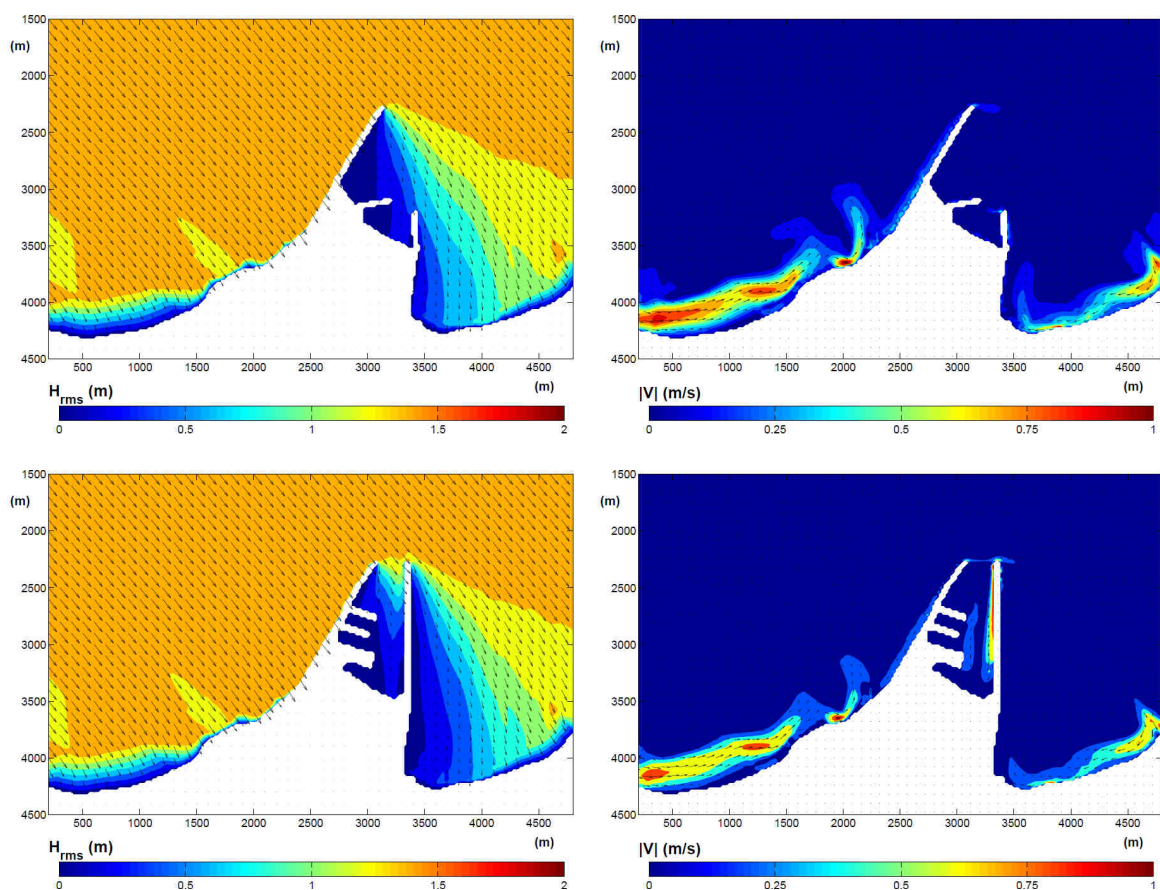


Figura 4: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 20°N.

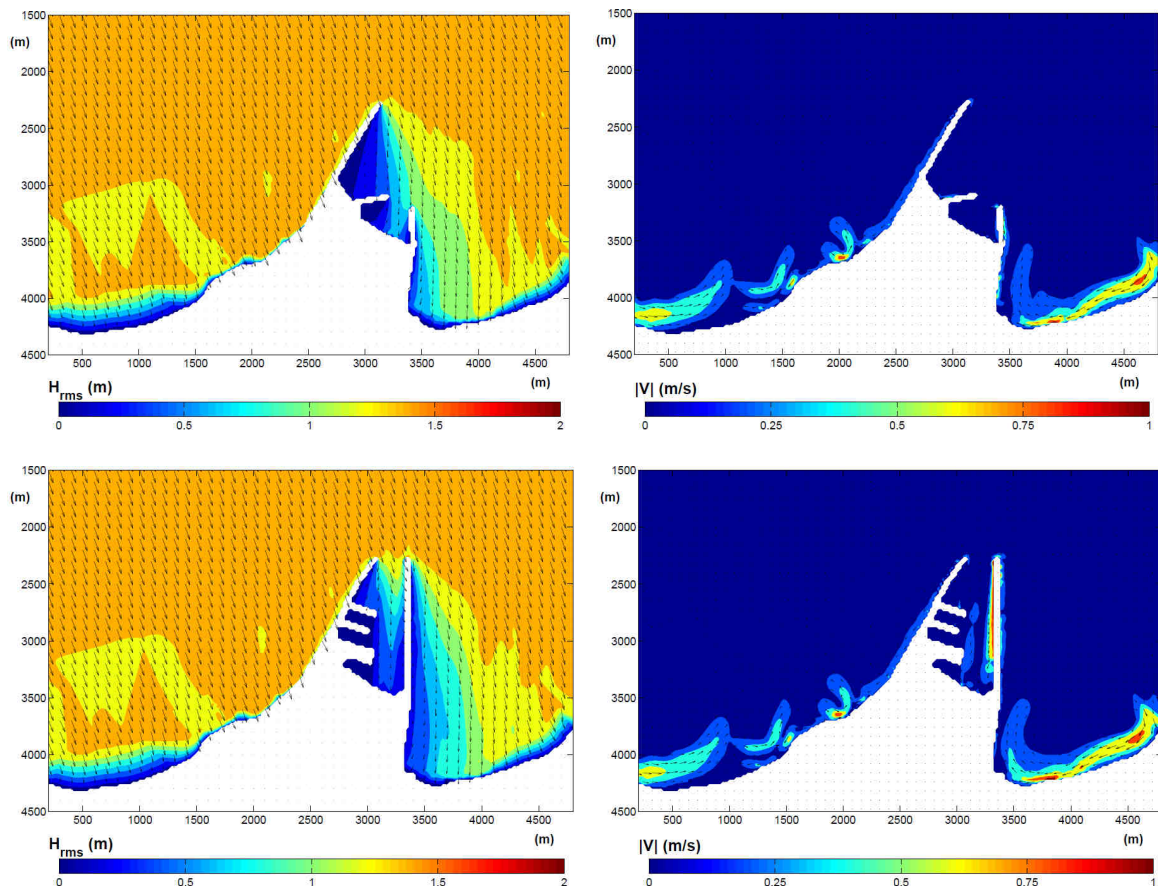


Figura 5: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 40°N.

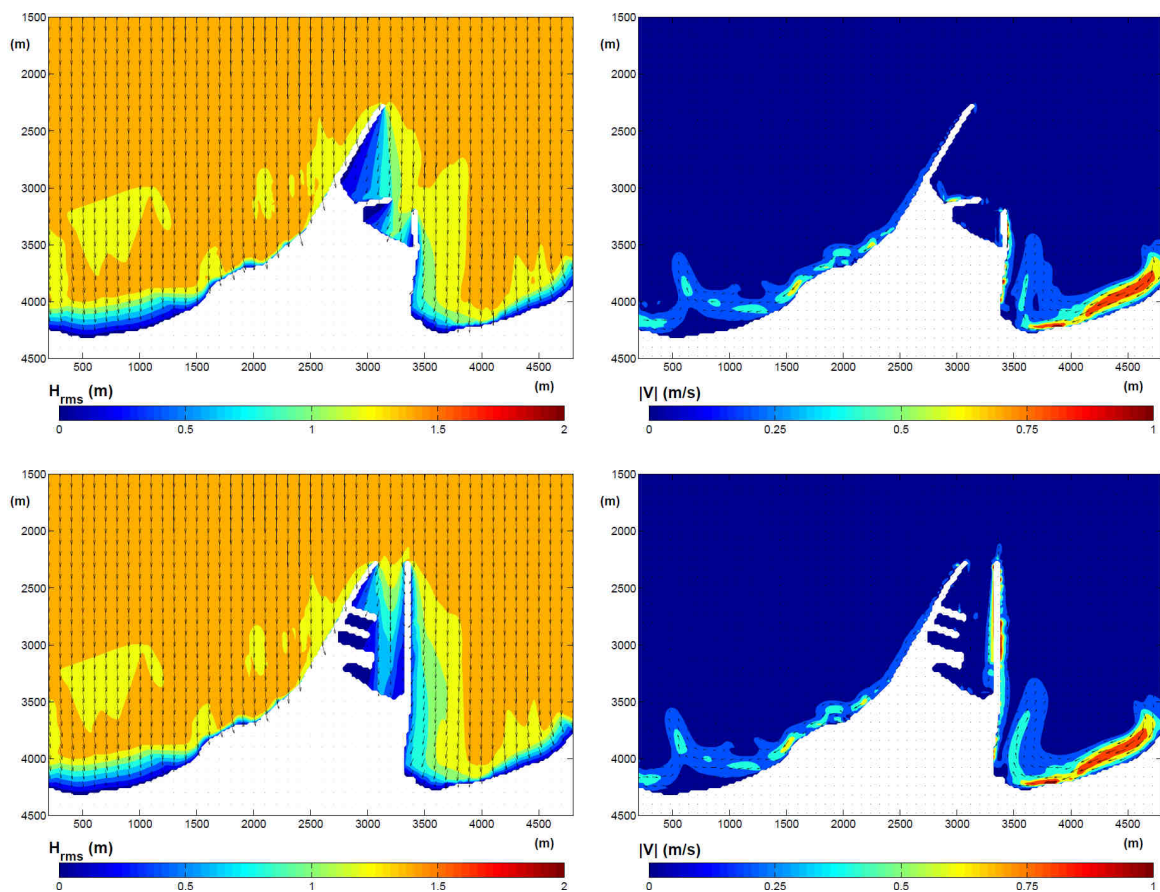


Figura 6: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 60°N.

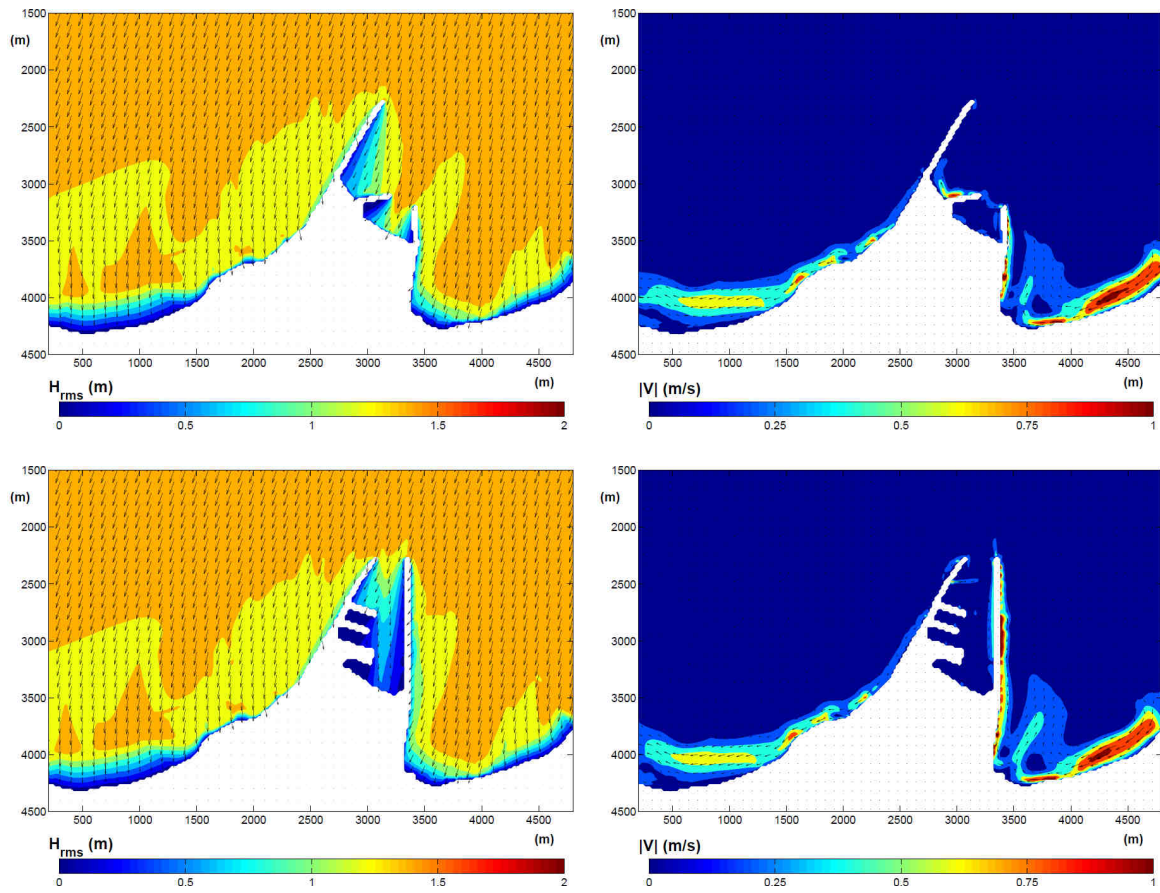


Figura 7: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 80°N.

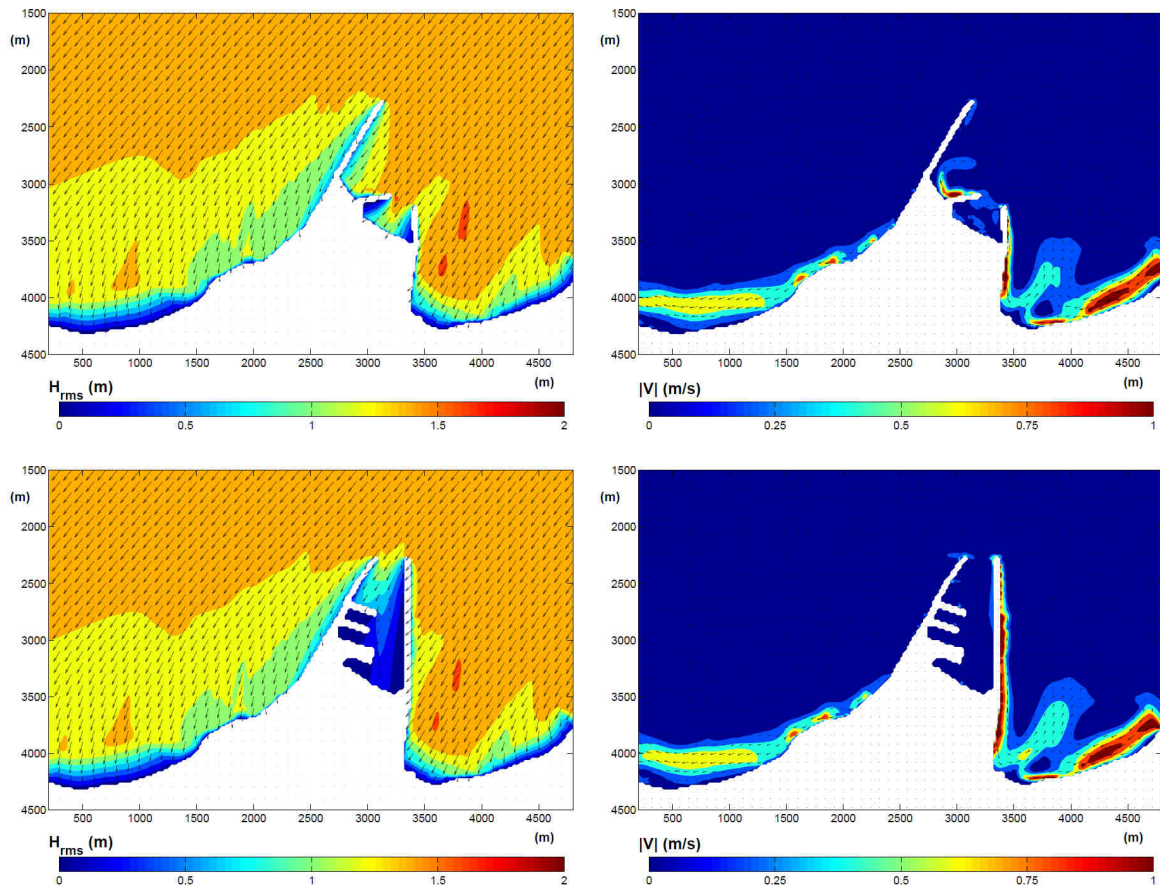


Figura 8: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 100°N.

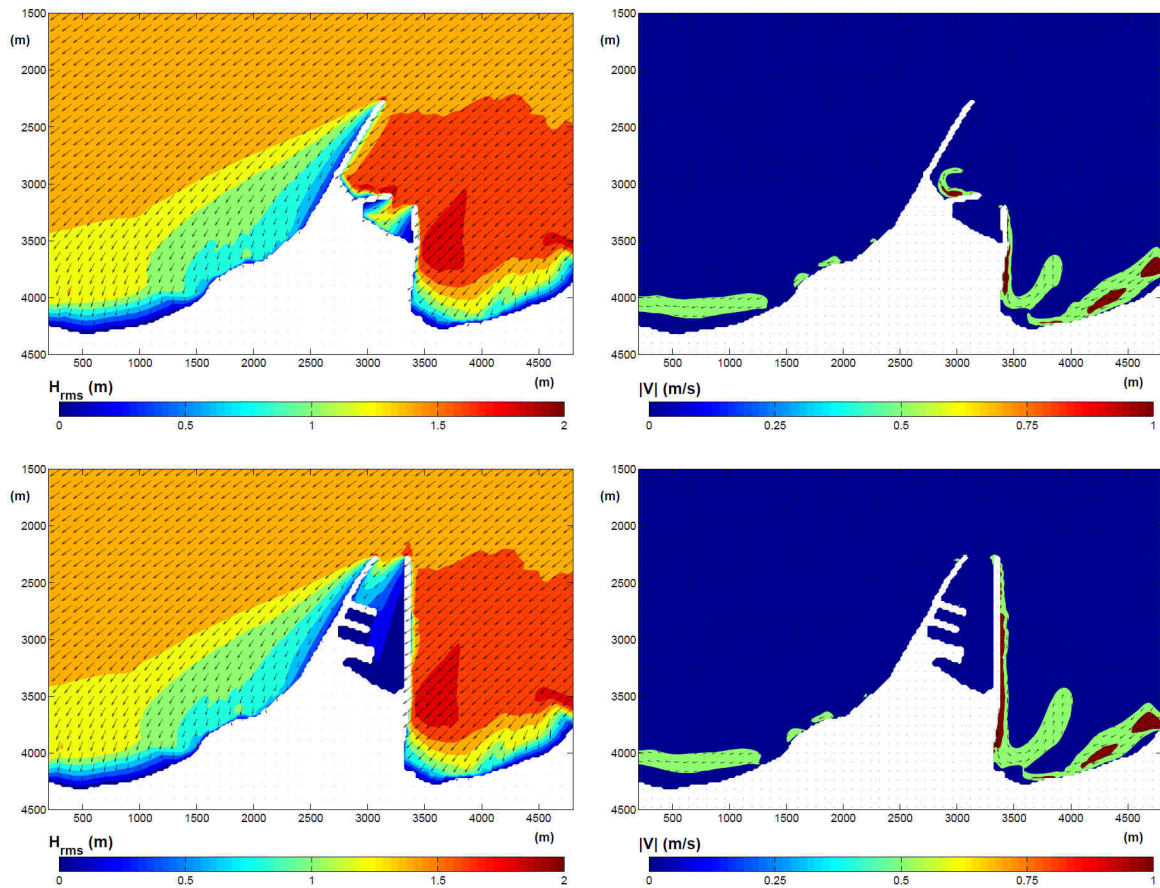


Figura 9: Risultati numerici in termini di propagazione del moto ondoso (grafici a sinistra) e di circolazione indotta (grafici a destra) in configurazione attuale (grafici in alto) e in configurazione di nuovo PRP (grafici in basso). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 120°N.

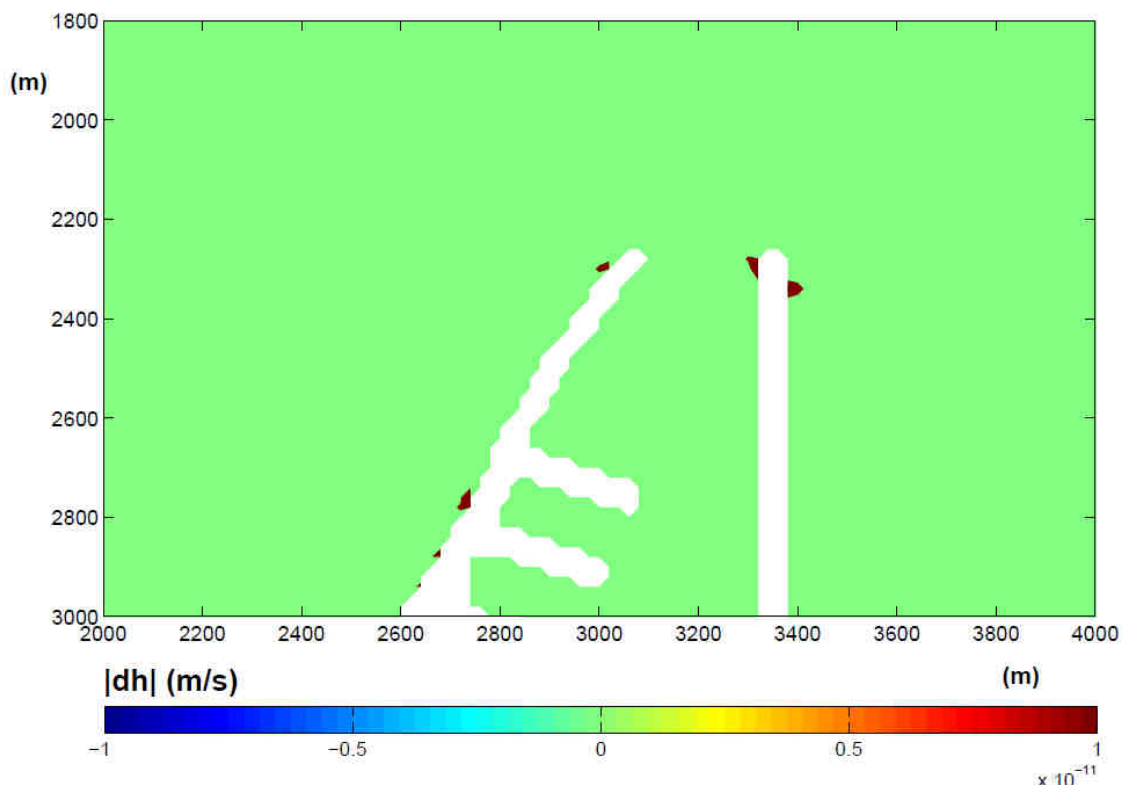


Figura 10: Risultati numerici in termini di variazione di profondità per unità di tempo (m/s). L'asse delle ordinate è diretto lungo la direzione 62°N. Caratteristiche a largo dell'onda incidente : altezza d'onda significativa 2,0 m, periodo di picco 6,5 s, direzione di provenienza 20°N.

3. ANALISI DELLA TENDENZA EVOLUTIVA DEL LITORALE “LIDO DEI SARACENI”

Per l’analisi della tendenza evolutiva del litorale “Lido dei Saraceni” è stato applicato il metodo di Hsu e Evans (1989), con le successive modificazioni proposte da Gonzales e Medina (2001) e Uda et al. (2010).

Come già anticipato, la difficoltà nell’applicare tale modello è la corretta identificazione del punto di controllo a partire dal quale il litorale mostra una giacitura, in condizioni di equilibrio, sostanzialmente ortogonale alla direzione del flusso medio energetico. Ciò indica che il punto di controllo è posto in corrispondenza della zona a partire dal quale il punto di diffrazione non influisce sulla propagazione del moto ondoso e, quindi, non induce nessun gradiente dell’altezza d’onda a frangimento (Gonzales e Medina, 2001). Il raggiungimento dell’equilibrio a tergo del punto di diffrazione, e fino al punto di controllo, è subordinato alla disponibilità di sedimento.

Nel caso del “Lido dei Saraceni” è evidente che la quantità di sedimento non è sufficiente alla presenza di una spiaggia che raggiunga una regione al di fuori dell’influenza del punto di diffrazione, rappresentato nella situazione attuale dalla testata del prolungamento del Molo Nord del Porto di Ortona. Nel passato il punto di diffrazione era rappresentato dalla testa del Molo Sud e, nella configurazione prevista dal nuovo PRP, sarà rappresentato dalla testata del prolungamento del Molo Sud.

Nel seguito si procede seguendo il procedimento proposto da Gonzales e Medina (2001), valido per spiagge non sviluppate (undeveloped bay) e noto con il nome di “metodo di Gonzales”. In tal caso è necessario valutare la direzione dei fronti d’onda in corrispondenza del punto di diffrazione. Tale direzione deve essere corrispondente a quella del flusso di energia medio (direzione dell’onda morfologica o equivalente). Successivamente è necessario definire il punto P_c , appartenente al litorale esistente in equilibrio (Figura 11). A tal punto è necessario valutare una lunghezza d’onda L_s rappresentativa del moto ondoso incidente. Gonzales e Medina (2001) indicano l’utilizzo del periodo dell’onda utilizzata per il calcolo della profondità di chiusura (T_{s12}), cioè dell’evento che viene raggiunto e superato per 12 ore/anno. Si definisce, successivamente, il valore di tentativo della distanza Y (Figura 11) e si valuta l’angolo α_{\min} con l’utilizzo della relazione:

$$\alpha_{\min} = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{\beta_r^4 / 16 + \beta_r^2 Y / 2 / L_s}}{Y / L_s} \right) \quad (11)$$

Nella quale β_r è un coefficiente pari a 2,13. In questo modo il punto P_0 risulta definito noto l'angolo $\beta (=90-\alpha_{min})$ e la distanza R_0 :

$$R_0 = \frac{R_c}{C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta_c} \right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta_c} \right)^2} \quad (12)$$

Deve risultare $Y=R_0 \cos \alpha_{min}$. Nel caso in cui il valore che ne risulta sia diverso dal valore di Y di tentativo, il procedimento va iterato fino alla convergenza. Identificata la posizione del punto P_0 è possibile utilizzare il metodo di Hsu e Evans (1989) per la ricostruzione del litorale in equilibrio.

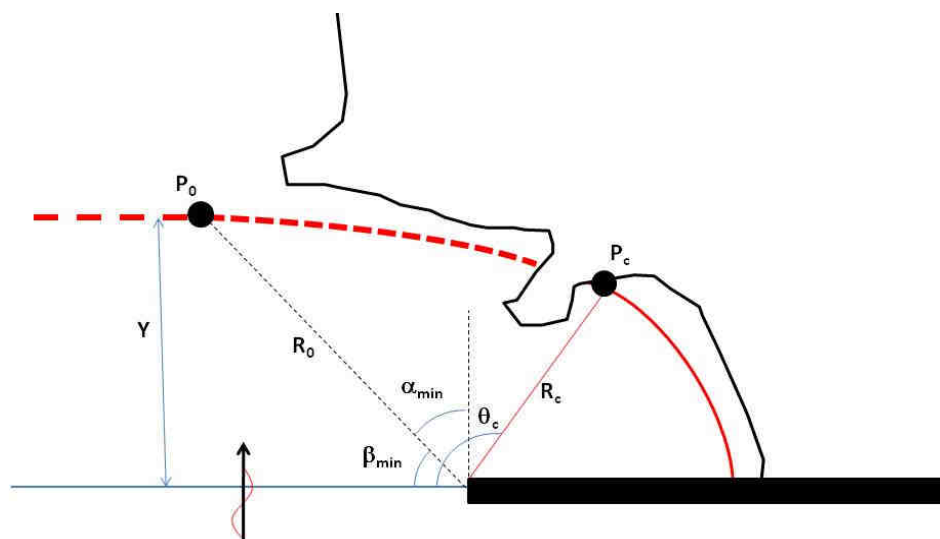


Figura 11: Schema qualitativo per l'utilizzo del metodo di Hsu e Evans (1989) nel caso di baie non sviluppate.

La Figura 12 mostra la collocazione dei punti necessari all'applicazione del metodo al litorale del "Lido dei Saraceni" nella configurazione passata (punto di diffrazione P_1), nella configurazione attuale (P_2) e nella configurazione di nuovo PRP (P_3). In alternativa al metodo appena descritto, Gonzales (1995) indica che qualsiasi punto appartenente al litorale può essere utilizzato come punto di controllo. In tal caso, tuttavia, la giacitura dei fronti d'onda deve essere pari alla tangente locale alla costa nel punto scelto.

La Figura 13 mostra i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di Gonzales. Dai risultati si evince che il modello riesce a ricostruire con soddisfacente approssimazione l'andamento planimetrico del litorale nella configurazione passata (a cui la foto satellitare utilizzata si riferisce, punto P_1). L'applicazione del metodo alla configurazione attuale evidenzia una sostanziale stabilità del litorale dopo la posa in opera del prolungamento del Molo Nord (Punto P_2), confermato dalle osservazioni in campo, con una lieve tendenza all'avanzamento nella zona

immediatamente a ridosso del radicamento del Molo Sud. La configurazione del nuovo PRP (punto P_3) non induce variazioni allo stato di equilibrio del litorale.

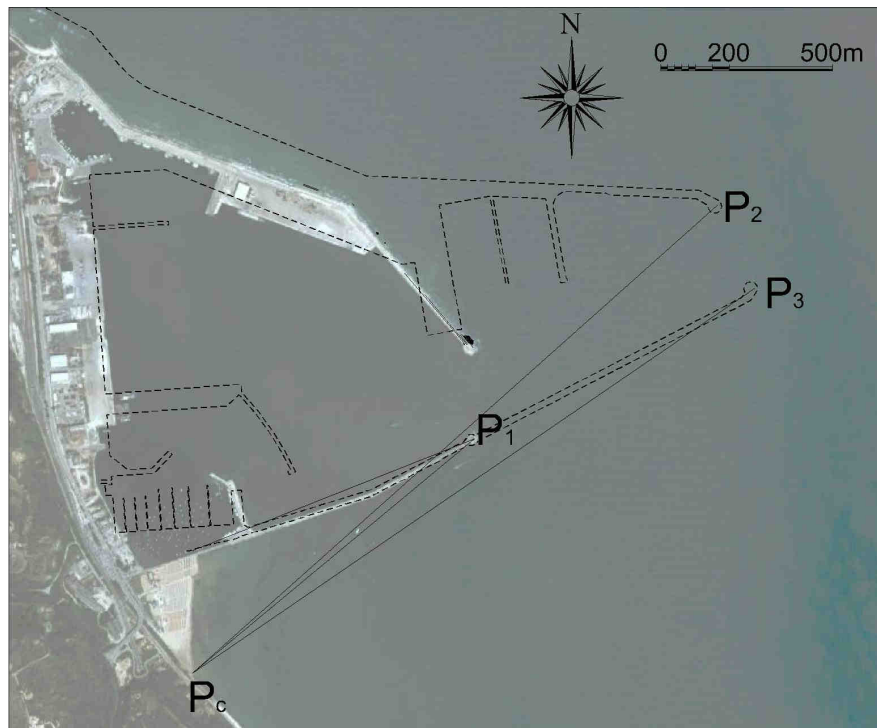


Figura 12: Identificazione dei punti necessari all'applicazione del metodo di Gonzales.

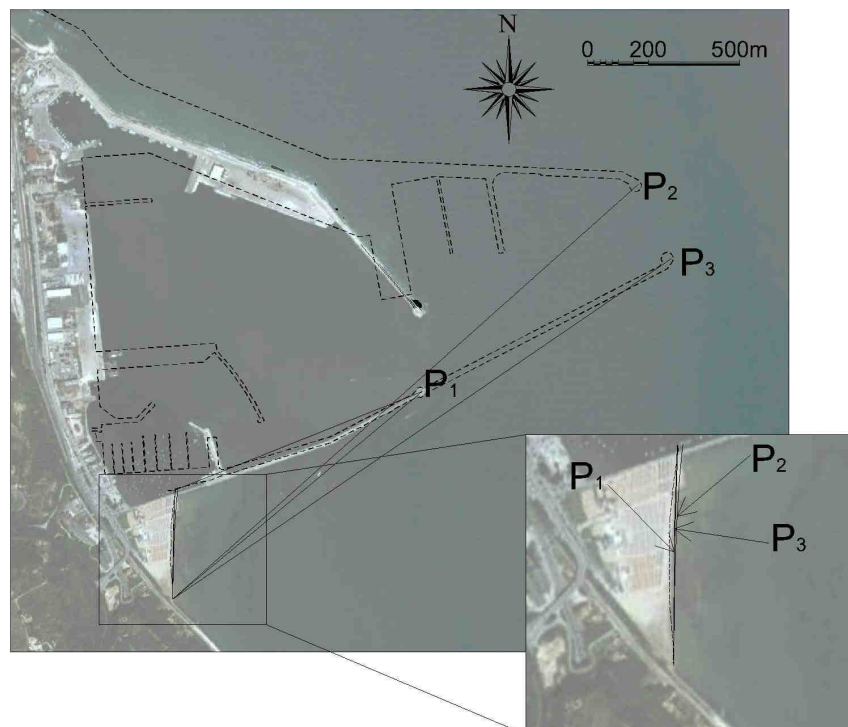


Figura 13: Applicazione del metodo di Gonzales al modello di Hsu e Evans (1989) per il litorale del "Lido dei Saraceni".

4. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Il presente documento è finalizzato allo studio idrodinamico e morfodinamico per la valutazione dei possibili scenari di interferenza sulle spiagge limitrofe e dei fenomeni di insabbiamento dell'imboccatura portuale. Lo studio è stato effettuato, per quanto riguarda l'idrodinamica, con un approccio numerico tramite utilizzo di un codice alle differenze finite. Per quanto riguarda la morfodinamica è stato applicato un modello numerico di dispersione e il macromodello noto con il nome di "Hsu e Evans".

Le simulazioni idrodinamiche, effettuate con condizioni di moto ondoso caratterizzate da altezza d'onda significativa pari a 2 m, ha mostrato che la configurazione prevista dal nuovo PRP induce variazioni legate alla sola zona d'ombra (diffrazione) causata dal prolungamento del Molo Sud. Tuttavia tale variazione nella propagazione del moto ondoso non induce differenze significative nel campo di corrente indotto dalle onde frangenti. In corrispondenza dell'imboccatura si osservano velocità di bassa intensità a cui corrisponde una capacità di trasporto che non pare avere effetti significativi sull'insabbiamento del canale di accesso.

L'applicazione del macromodello di Hsu e Evans alla limitrofa spiaggia de "Il Lido dei Saraceni" mostra che il prolungamento del Molo Sud non induce significative variazioni del profilo planimetrico di equilibrio rispetto alla situazione attuale, anche a causa del lieve spostamento del punto di diffrazione.

5. BIBLIOGRAFIA

Camenen, B., Larson, M., 2005. A general formula for non-cohesive bed load sediment transport. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 63, 249–260.

Camenen, B., Larson, M., 2007. A unified sediment transport formulation for coastal inlet application. Technical report ERDC/CHL CR-07-1, US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

Camenen, B., Larson, M., 2008. A general formula for noncohesive suspended sediment transport. *Journal of Coastal Research* 24 (3), 615–627.

Fernandez Luque, R., van Beek, R., 1976, *Erosion and transport of bed load sediment*, *Journal of Hydraulic Research*, 14, 127-144

Galvin, C., 1982, Shoaling with bypassing for channels at tidal inlets, *Proc. 18th International Conference on Coastal Engineering*

Glosh, L.K., Prasad, N., Joshi, V.B., Kunte, S.S., 2001, *A study on siltation in access channel to a port*, *Coastal Engineering*, 43, 59-74

Goda, Y., 2001, A new approach to beach morphology with the focus on suspended sediment transport, *Proc. First Conf. Asian and Pacific Coastal Engineering*, 1-24

Gonzalez, M., Medina, R., 2001. On the application of static equilibrium bay formations to natural and man-made beaches. *Coastal Engineering* 43 (3-4), 209–225

Hsu, J.R.C., Evans, C., 1989. Parabolic bay shapes and applications. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers Part 2*, 87, 557–570.

Kleinhans, M.G., Grasmeijer, B.T., 2006, *Bed load transport on the shoreface by currents and waves*, *Coastal Engineering*, 53, 983-996

Meyer-Peter, E., Mueller, R., 1948, Formulas for bed load transport, *Proc. IAHR*

Nam, P.T., Larson M., Hanson H, e Le Xuan Hoan, A numerical model of nearshore waves, currents, and sediment transport, *Coastal Engineering*, 56, 1084-1096

Parker, G., Klingeman, P., McLean, D., 1982, *Bedload and size distribution in paved gravel bed streams*, *Journal of Hydraulic Engineering*, 108, 544-571

Ribberink, J.S., 1998, *Bed-load transport for steady flows and unsteady oscillatory flows*, *Coastal Engineering*, 34, 59-82

Roelvink D., Reniers A., van Dongeren A, van Thiel de Vries C., McCall R., Lescinski, J., Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands, *Coastal Engineering*, 56, 1133-1152

Soulsby, R., Damgaard, J., 2005, *Bedload sediment transport in coastal waters*, *Coastal Engineering*, 52, 673-689

Uda, T., Serizawa, M., Kumada, T., Sakai, K., 2010. Model for predicting three-dimensional beach changes by expanding Hsu and Evans' model. *Coastal Engineering* 57, 194–202 Special Issue

Van Rijn, L.C., 1984, *Sediment transport part I: bed load transport*, *Journal of Hydraulic Engineering*, 110, 1431-1453

Van Rijn, L.C., 1993, *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*, Aqua Publication, Amsterdam, The Netherlands