

INDICE

1. PREMESSE	2
2. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	3
3. REQUISITI TECNICO-FUNZIONALI DELLE OPERE IN PROGETTO	4
3.1. DEFINIZIONE DEI CRITERI DI PROGETTO	4
3.1.1. <i>Durata minima di vita dell'opera</i>	5
3.1.2. <i>Probabilità di danneggiamento ammissibile dell'opera</i>	6
3.1.3. <i>Calcolo del tempo di ritorno dell'onda di progetto</i>	8
3.1.4. <i>Sovralzo del livello marino</i>	8
3.1.5. <i>Parametri meteomarini di progetto</i>	11
4. VERIFICHE IDRAULICHE E STRUTTURALI DELLE NUOVE SCOGLIERE	12
4.1. DIMENSIONI E CARATTERISTICHE STRUTTURALI.....	12
4.2. VERIFICHE DI STABILITÀ DELLA SCOGLIERA	13
5. VERIFICA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA ALL'INTERNO DELLE CELLE	22
5.1. APPLICAZIONE DEL SISTEMA DI MODELLAZIONE SMS	22
5.2. DISCRETIZZAZIONE DELLO SPECCHIO LIQUIDO.....	23
5.3. DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO	24
5.4. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRODINAMICHE	25
5.5. CONCLUSIONI	34
APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS	35
INTRODUZIONE.....	35
CODICE RMA-2	36
APPLICAZIONI.....	36
5.6. EQUAZIONI UTILIZZATE.....	37
RMA-437	
EQUAZIONI UTILIZZATE	38
PROCESSO DI SIMULAZIONE	38
<i>Costruzione della griglia</i>	38
<i>Condizioni al contorno</i>	39
GFGEN	39
RMA-2	39
<i>Post-processing con il SMS</i>	40
<i>Validazione</i>	40

1. PREMESSE

La presente relazione riporta i calcoli delle strutture progettate nell'ambito degli "Interventi di difesa e ripascimento del litorale del golfo di Salerno", dal fiume Picentino a torre S. Marco, al fine di effettuare le dovute verifiche idrauliche e di stabilità delle nuove opere.

Le opere marittime progettate ricalcano essenzialmente la tipologia delle scogliere a gettata, tutte realizzate in massi naturali e pietrame, necessarie per la protezione di zone interessate, ormai da anni, da marcati fenomeni di erosione. Ove questi fenomeni erosivi hanno portato o porteranno nei prossimi anni ad un arretramento della linea di riva tale da compromettere la sicurezza di strutture e/o infrastrutture civili si è previsto anche il versamento di un certo quantitativo di materiale, idoneo per il ripascimento delle spiagge.

Per il dimensionamento delle opere di difesa si è tenuto conto di un tempo di vita utile delle opere di 25 anni ed un tempo di ritorno dell'evento meteomarinico di progetto pari a $T_R = 50$ anni.

Per il dimensionamento degli interventi di ripascimento si è considerato un tempo di vita utile di 5 anni. I quantitativi dei volumi complessivi di ripascimento sono stati stimati sulla base dei risultati ottenuti dallo studio specialistico di morfodinamica litoranea, condotto nell'ambito delle attività progettuali e a cui si rimanda per maggiori dettagli, e tenendo conto sia delle somme a disposizione per la realizzazione degli stessi interventi che dell'elevato prezzo di fornitura e posa in opera delle sabbie provenienti da cava terrestre.

In particolare, per le verifiche di stabilità d'insieme degli interventi di ripascimento (evoluzione nel medio e lungo termine della linea di riva), si è fatto riferimento ai risultati delle simulazioni condotte con apposito modello numerico illustrato nello specifico studio morfodinamico allegato al presente progetto definitivo.

2. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

I risultati ottenuti dalla campagna di indagini effettuate di recente, autunno 2012, lungo l'ampio tratto di costa che costituisce il Golfo di Salerno, hanno consentito di definire in maniera sufficientemente dettagliata la natura e le principali caratteristiche chimico-fisico e microbiologiche dei fondali e della spiaggia emersa che saranno interessate dalle scogliere e dal versamento di materiale sabbioso.

Nel dettaglio, lungo tutta la falcata costiera interessata dagli interventi, vista anche la tipologia delle opere rigide in progetto, a gettata, e le funzionalità principali che dovranno assolvere (barriere frangiflutti e pennelli destinati ad attenuare il moto ondosso incidente la costa attraverso la dissipazione di energia ad opera del frangimento delle onde) non si ravvisano particolari problematiche legate alle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni di fondazione.

Peraltro, tutte le scogliere sono caratterizzate da una sezione trasversale trapezia, avente una base maggiore pari almeno a 20 m, che consente una buona ripartizione dei carichi, derivanti principalmente dal peso proprio delle opere, sui terreni di fondazione verificando ampiamente le dovute condizioni di stabilità d'insieme richieste per le opere.

Nel dimensionamento strutturale delle scogliere si è tenuto comunque conto di un fattore di ingozzamento massimo dell'ordine del 15% a fronte di una porosità d'insieme delle singole scogliere pari al massimo al 35% per la messa in opera alla rinfusa degli elementi lapidei che le compongono.

3. REQUISITI TECNICO-FUNZIONALI DELLE OPERE IN PROGETTO

Gli interventi previsti dal presente progetto definitivo per la difesa del tratto di litorale del golfo di Salerno consistono nella realizzazione delle seguenti opere:

- n. 4 barriere longitudinali sommerse abbinata a n. 19 pennelli parzialmente sommersi, tutte realizzate in massi naturali di natura calcarea, a realizzare una serie di celle aventi la duplice funzionalità di attenuare il moto ondoso incidente e di contenere la deriva del materiale sabbioso;
- n. 42 pennelli a "T" e n. 3 pennelli parzialmente sommersi, sempre realizzati con massi naturali di natura calcarea e posti ad interasse variabile, al fine di ridurre le correnti longitudinali sotto costa, principali responsabili dell'erosione costiera.
- versamento di 200.000 m³ di sabbia, idonea per il ripascimento, in alcune aree opportunamente scelte sulla base di oggettive criticità legate all'erosione costiera.

Le caratteristiche geometriche delle opere in progetto sono riportate in apposite tavole grafiche a cui si rimanda per maggiori dettagli.

Come meglio evidenziato nella Relazione Generale degli interventi, allegata al presente progetto, i lavori marittimi sono finalizzati all'attenuazione delle azioni del moto ondoso incidente la costa ed al contenimento dei processi di dinamica costiera che, nel caso specifico, ha causato rilevanti arretramenti della linea di riva. Nel contempo il sistema di difesa costiera proposto è compatibile con le esigenze di fruibilità turistico balneare ed è contraddistinto da condizioni di minimo "impatto" ambientale e paesaggistico.

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i criteri seguiti per la definizione dei parametri di progetto necessari per il corretto dimensionamento idraulico e strutturale delle singole opere.

3.1. Definizione dei criteri di progetto

Il sistema di difesa progettato deve assolvere alla funzione primaria di contenere i fenomeni erosivi indotti dal moto ondoso incidente lungo il litorale.

I calcoli preliminari condotti sono finalizzati al dimensionamento strutturale delle opere a gettata che costituiscono i nuovi pennelli a "T" e le opere di difesa a "celle" costituite da barriere sommerse e pennelli trasversali.

Come accennato in precedenza, l'intero sistema di difesa progettato si compone di due tipologie di opere marittime così distinte:

- scogliere sommerse disposte in maniera pressoché parallela alla linea di riva;
- pennelli a "T" parzialmente sommersi disposti in maniera pressoché ortogonale alla linea di riva.

Con riferimento a quanto indicato dalle "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti", edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996), per il dimensionamento strutturale delle scogliere si deve valutare preliminarmente la durata di vita utile T_u , in relazione alle sue caratteristiche funzionali (livello di sicurezza che deve assolvere e tipologia d'uso).

Si valuta inoltre, la massima probabilità di danneggiamento ammissibile P_f per l'opera, in funzione delle ripercussioni economiche e degli eventuali rischi per le vite umane connessi al cosiddetto "evento meteomarinico di progetto" contraddistinto da un determinato tempo di ritorno durante la vita di esercizio dell'opera.

Tra gli altri criteri di progetto vanno richiamati quelli operativo-funzionali cui deve assolvere il sistema di difesa. Nel caso in esame le nuove opere garantiscono, oltre ad una sensibile attenuazione dell'azione del moto ondoso incidente, un importante sostegno, nel senso longitudinale della costa, per il profilo trasversale della spiaggia che ricade all'interno delle nuove opere.

3.1.1. Durata minima di vita dell'opera

Con riferimento alla seguente Tabella 3.1 ed alle indicazioni relative desunte dalle succitate Istruzioni Tecniche, le scogliere contemplate dal presente progetto possono essere considerate come infrastrutture civili di uso generale con un livello di sicurezza 1 e pertanto contraddistinte da una durata minima di vita pari a 25 anni.

Tabella 3.1 - Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo T_v

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

dove

Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.).

Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.).

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

3.1.2. Probabilità di danneggiamento ammissibile dell'opera

Con riferimento alla seguente

Tabella 3.2 ed alle indicazioni desunte dalle succitate Istruzioni Tecniche, per le opere marittime contemplate dal presente progetto si può ritenere accettabile lo scenario di danno incipiente con rischio limitato per la vita umana e ripercussioni economiche medio-basse assumendo quindi una probabilità massima di danneggiamento pari a 0,4.

Tabella 3.2 - Massima probabilità di danneggiamento P_f ammissibile nel periodo di vita operativa

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0.50	0.30
Media	0.30	0.20
Alta	0.25	0.15
Distruzione totale		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0.20	0.15
Media	0.15	0.10
Alta	0.10	0.05

dove

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili, si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione.

Per queste opere si deve comunque verificare anche lo scenario di rovina totale, cioè del superamento di un livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale l'opera cessa di svolgere un'apprezzabile funzione protettiva.

Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento dell'opera non è prevista alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato.

Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed, il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20.

3.1.3. Calcolo del tempo di ritorno dell'onda di progetto

Il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp} viene calcolato, in funzione del tempo di vita dell'opera $T_v = 25$ e della probabilità di danneggiamento $P_f = 0,4$, tramite la relazione seguente:

$$T_{rp} = T_v / [-\ln (1-P_f)] \quad (1)$$

Assumendo il criterio del danno incipiente si impone $P_f = 0,4$ e quindi:

$$T_{rp} = 25 / [-\ln (0.4)] \sim 50 \text{ anni.}$$

Inoltre, al fine di verificare anche la stabilità delle opere durante le lavorazioni di costruzione, e cioè in fase provvisoria, è stato definito il rischio ammissibile di danneggiamento delle opere stesse assumendo una durata di vita inferiore ad 1 anno.

Con riferimento sempre alla

Tabella 3.2 si può assumere una probabilità di danno incipiente pari a 0.30, ovvero una probabilità di distruzione totale pari a 0.15. Applicando sempre l'equazione (1), ma assumendo $T_v = 1$ e P_f pari a 0.3 (per danni incipienti) e 0.15 (per la distruzione dell'opera), si ottiene un tempo di ritorno degli eventi meteomarini da "temere" durante le fasi di costruzione pari rispettivamente a circa 3 e 6 anni. Nelle verifiche di stabilità dell'opera parzialmente costruita ci si riferisce dunque a stati di mare associati a tempi di ritorno di questo ordine di grandezza.

3.1.4. Sovralzo del livello marino

Il massimo innalzamento ed abbassamento del l.m.m. comprende differenti contributi dovuti ai vari fattori meteomarini che lo determinano, quali:

- la marea astronomica $S_{m(+)}$ e $S_{m(-)}$;
- la variazione della pressione atmosferica $S_{\Delta p(+)}$ e $S_{\Delta p(-)}$;
- il vento di tempesta S_v caratterizzato da lunghe durate associato alle mareggiate più intense;
- il set-up dovuto al frangimento delle onde.

Pertanto, il calcolo del sovrizzo minimo e massimo si può esprimere come segue:

- $S_{\min} = S_{m(-)} + S_{\Delta p(+)}$
- $S_{\max} = S_{m(+)} + S_{\Delta p(-)} + S_v$

dalle quali è possibile osservare come l'unico contributo che assume valori sempre positivi è quello relativo al vento di tempesta S_v .

Per il calcolo delle variazioni a breve termine del livello marino si è fatto riferimento ai risultati riportati nella Relazione tecnica Studio meteomarinario R.04.

1. Contributo della marea astronomica

I valori dell'ampiezza di marea astronomica massimi si hanno in epoca sizigiale, con i seguenti valori:

- massima escursione positiva: $S_{m(+)} = + 0.20$
- massima escursione negativa: $S_{m(-)} = - 0.20$

2. Contributo della marea meteorologica

Per la definizione della marea meteorologica si distinguono:

Variazione della pressione atmosferica

Ipotizzando una $P_{atm}=1013$ mb, un massimo barico registrato pari a $p_{\Delta p(+)}=1044$ mb, un minimo barico registrato: $p_{\Delta p(-)}=975$ mb e ricordando che ad 1 mb di pressione corrisponde una variazione della superficie marina di 0.0101329 m, si ottengono i seguenti valori max e min di variazione del livello del mare dovuta alla pressione atmosferica:

$$S_{\Delta p(+)} = - 0.31 \text{ m}; S_{\Delta p(-)} = + 0.38 \text{ m}$$

Sovralzo dovuto al vento di tempesta

Il calcolo del sovrizzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:

$$S = \frac{K_p \cdot L_p \cdot U^2}{g(D - d - S)} \ln\left(\frac{D}{d + S}\right)$$

dove

- $K = 3 \times 10^{-6}$;
- $g = 9.8065 \text{ m/s}^2$;
- d è la profondità del fondale ove si calcola il sovrizzo, assunta pari a 0;
- D è la profondità limite assunta per la piattaforma continentale, assunta pari a – 200 m s.l.m.;
- U è la velocità costante del vento di tempesta assunto pari a 20 m/s
- L_p è l'estensione della piattaforma continentale pari a 15000 m.

Lungo la linea di riva, quindi, questa fornisce un valore pari a:

$$S = 0.05 \text{ m}$$

Sovralzo dovuto moto ondoso

Le onde provenienti da largo sono destinate a frangere ad una certa profondità dando origine ad una variazione del livello della superficie marina.

Nel dettaglio, lungo la fascia litoranea, confinata tra la linea dei frangenti e la linea di riva, si registra un abbassamento del livello marino (wave set-down) nella zona di frangimento delle onde ed un successivo innalzamento verso riva (wave set-up). Il calcolo dei due termini di set-down h_b e set-up h_s , rappresentativi del fenomeno, può essere effettuato attraverso la seguente formula: $S_{up} = \Delta S - S_{dw}$, dove:

$H_b = 8 \text{ m}$ - altezza d'onda di progetto con $T_R = 50$ anni

$T = 11.5 \text{ s}$ - periodo associato all'onda di progetto

$h_b = 10.3 \text{ m}$ - profondità del fondale su cui frange H_b

$$\Delta S = 0.15 h_b = 1.54 \text{ m};$$

$$S_{dw} = \frac{0.536 H_b^{(3/2)}}{g^{1/2} T} = 0.35 \text{ m}$$

e che pertanto lungo la linea di riva assume un valore di $S_{up} = 1.19 \text{ m}$.

Sovralzo Totale

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrizzo lungo riva sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma, considerando che in generale

non si verifica la piena concomitanza di tutti i contributi, si può cautelativamente assumere una riduzione del 35% per il dislivello massimo generato ottenendo così

$$S_{tot} = (S_{max} + S_{up}) \times 0.75 = (0.20 + 0.38 + 0.05 + 1.19) \times 0.75 = 1.36 \text{ m}$$

Tale valore risulta di fondamentale importanza per stabilire la quota della berma di sommità della parte emersa del pennello con particolare riferimento alla parte radicata a terra. Infatti, è necessario evitare che la massima risalita del moto ondoso possa creare fenomeni di escavazione, sull'estremità del radicamento a terra dei pennelli, tali da poter compromettere la funzionalità del pennello stesso ovvero all'intercettazione del trasporto solido longitudinale.

Al fine di evitare tale problematica, la quota di sommità del pennello nella parte di radicamento a terra, tenuto conto anche del sovrizzo del livello medio del mare lungo la linea di riva, è stata fissata a +1.50 m s.l.m.

3.1.5. Parametri meteomarini di progetto

Per la scelta dei parametri di progetto da utilizzare per le verifiche idraulico-strutturali delle opere previste dal presente progetto, si è fatto riferimento ai risultati ottenuti dallo studio meteomarino descritto nella Relazione tecnica Studio meteomarino R.04, cui si rimanda per maggiori dettagli, ove sono stati definiti i principali parametri che caratterizzano il regime d'onda al largo e sotto costa del sito in esame. Nella tabella seguente sono stati riportati i parametri di progetto che sono stati utilizzati per il dimensionamento e le verifiche delle opere.

		Onde di progetto al largo		
Fasi	Tr (anni)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)
Costruttive	5	6.1	10.5	210÷280
Esercizio	50	8.0	11.5	210÷280
	1	4.9	9.5	210÷280

4. VERIFICHE IDRAULICHE E STRUTTURALI DELLE NUOVE SCOGLIERE

Il presente capitolo riporta il dimensionamento delle opere a gettata in massi naturali da porre a difesa del litorale del golfo di Salerno.

Per il dimensionamento delle principali componenti geometrico-strutturali, si sono assunte le condizioni meteomarine di progetto (onde e sovralti di marea) riportate nel capitolo precedente e determinate nello studio meteomarino redatto nell'ambito del progetto definitivo e a cui si rimanda per maggiori dettagli, tenendo conto anche delle reali esigenze costruttive e verificandone la stabilità strutturale.

4.1. Dimensioni e caratteristiche strutturali

PENNELLI

Al fine di limitare gli effetti di bordo ovvero consentire un maggiore passaggio di materiale sabbioso messo in sospensione e soggetto alla deriva, in alcuni tratti si è scelto di utilizzare dei pennelli classici, quindi senza l'utilizzo della barriera longitudinale intestata sull'estremità del pennello stesso, parzialmente sommersi e leggermente più corti rispetto a quelli previsti sull'intero litorale e contraddistinti dalle seguenti caratteristiche:

- una lunghezza complessiva pari a circa 130 m, di cui circa 50 m sommersi sino a quota - 2.0 m s.l.m. ed 80 m emersi con quota di sommità pari a +1.5 m s.l.m.;
- un primo tratto emerso radicato a terra per non più di 25 m;
- una berma di sommità della parte emersa larga 3 m e una berma di sommità della parte sommersa larga 7.2 m;
- pendenza delle scarpate pari a $b/h=3/2$.
- opera tutta realizzata in massi naturali da 1-3t.

PENNELLI a "T"

Sono contraddistinti da:

- una lunghezza variabile mediamente tra circa 130 m e 160 m e tale da non interessare mai profondità superiori a circa - 5,0 m s.l.m.
- una prima parte emersa con quota di sommità pari a +1.5 m radicata a terra per non più di 25 m;

- un secondo tratto, sempre emerso e a quota +1.5 m, che si estende verso mare per una lunghezza media di circa 60 m;
- un tratto sommerso, sino a quota -2.0 m, di collegamento tra il pennello emerso e la barriera di estremità posta trasversalmente al pennello stesso e debolmente sommersa con quota di sommità pari a -0.5 m;
- una berma di sommità larga 3m nel tratto emerso, larga 7.2 m lungo il tratto sino a quota -2.0 m e larga 7.8 m nel tratto della barriera longitudinale debolmente sommersa che costituisce l'elemento a "T";
- una pendenze delle scarpate dell'opera pari a $b/h=3/2$;
- un tratto trasversale, che costituisce il pennello, realizzato in massi naturali da 1-3t e un tratto longitudinale, che costituisce l'elemento a T, realizzato in massi naturali da 3-7t.

CELLE

Sono contraddistinte da:

- una serie di pennelli parzialmente sommersi intestati su una barriera longitudinale sommersa sulla quale sono stati aperti dei varchi, opportunamente protetti al piede con pietrame, per favorire all'interno delle celle la circolazione idrica e l'eventuale accesso ai mezzi nautici di soccorso;
- caratteristiche geometriche e tipologia delle opere uguali a quelle utilizzate per i pennelli a "T";
- varchi realizzati con massi naturali da 3-7t, larghi circa 40 m, posizionati all'incirca in corrispondenza della mezzeria delle singole celle e aventi una berma di sommità posta a quota -2.0 m s.l.m. e larga circa 16 m.

La messa in opera dei massi naturali dovrà essere effettuata alla rinfusa, ovvero con posa in opera in maniera disordinata, e comunque tale da garantire una porosità d'insieme compresa tra il 30 ed il 40%.

4.2. Verifiche di stabilità della scogliera

Per le nuove opere a gettata, previste dal presente progetto definitivo, si è proceduto ad una verifica della congruità del peso dei singoli massi che le costituiscono

utilizzando il metodo proposto da Van Der Meer ed il cui concetto di base può essere così sintetizzato: la “risposta” della struttura, e quindi la sua stabilità, alle sollecitazioni indotte dalla mareggiata di progetto dipende sostanzialmente da:

- tipo di “impatto” (frangimento) dell’onda, ξ_m , sulla mantellata;
- caratteristiche strutturali della mantellata.

Le caratteristiche strutturali della mantellata sono legate alla pendenza α del paramento lato mare, al peso medio dei massi M_{n50} , ed alla porosità P della struttura.

Le relazioni di calcolo di Van der Meer, sulla scorta di copiose prove sperimentali, tengono conto dell’azione di onde irregolari e comunque degli effetti della variabilità del periodo d’onda, particolarmente significative in acque molto basse ($d/L < 0,15$) ove si collocano generalmente le opere di difesa costiera:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \text{ per frangente tipo plunging } (\xi_m < \xi_{mc}) \quad (7)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P \text{ per frangente tipo surging } (\xi_m > \xi_{mc}) \quad (8)$$

con

- H_s = altezza d'onda significativa al piede della scogliera
- ξ_m = parametro di surf o numero di Iribarren per il periodo medio

$$\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{g T_m^2}}}$$

- $T_z \approx T_m$ = periodo d'onda medio (s)
- α = pendenza della mantellata (°)
- $\Delta = (\gamma_m / \gamma_a - 1)$ massa relativa del masso
- γ_a = peso specifico dell'acqua marina (1030 Kg/m^3)
- γ_m = peso specifico del masso (2600 Kg/m^3)
- D_{n50} = diametro nominale del masso, $D_{n50} = (W_{50} / \gamma_m)^{1/3}$ (m)
- W_{50} = valore del peso corrispondente al 50% nella curva di distribuzione (kg)
- P = coefficiente di permeabilità della struttura (= 0.30 per scogliere convenzionali)

- S = livello di danneggiamento ammesso, $S = A / D_{n50}^2$
- A = area erosa nella sezione
- N = numero di onde (tipicamente 3600)
- $M_{n50} = D_{n50}$ = peso medio del masso immerso

Il termine S sintetizza la “deformazione” indotta dall’onda di progetto sull’originaria geometria dell’opera e pertanto viene assunto come parametro rappresentativo delle condizioni di stabilità strutturale d’insieme. Per scogliere contraddistinte da una mantellata composta da almeno due strati di massi e da pendenze dei paramenti dell’opera fino ad $1/3$, valori di S inferiori a $0.5 \div 2.0$ offrono condizioni di grande stabilità delle mantellate, valori di S compresi tra 2.0 e 4.0 riflettono condizioni di “inizio danneggiamento”, equivalenti cioè ad un grado di danneggiamento inferiore al 5%, pienamente accettabile per il corretto esercizio delle opere marittime a gettata. Valori di S compresi tra 4.0 e 6.0 indicano condizioni di danneggiamento che impongono interventi “manutentivi” di ricarica e riprofilatura della scogliera; valori superiori ad 8 denunciano uno scenario di collasso dell’opera.

Il parametro critico di surf per paramenti ripidi ($\cot\alpha < 3$) è calcolato come

$$\xi_{mc} = \left[6.2 P^{0.31} \sqrt{\tan\alpha} \right]^{1/(P+0.5)}$$

mentre per pendenze lievi ($\cot\alpha > 3$) è pari a:

$$\xi_{mc} = \left[3.58 P^{0.31} \right]^{1/(P+0.5)}$$

Per opere emerse, ma comunque tracimabili, il valore del diametro medio D_{n50} dei massi di mantellata deve essere ridotto in funzione del seguente fattore di riduzione:

$$D_{n50} = \frac{D_{n50}}{(1.25 - 4.8R_p^*)} \quad \text{valida per} \quad 0 < R_p^* < 0.052 \quad (9)$$

$$\text{ove} \quad R_p^* = \frac{R_c}{H_s} \sqrt{\frac{s_{op}}{2\pi}}$$

Per il dimensionamento delle opere a gettata di tipo sommerso si è soliti fare riferimento alla seguente relazione proposta da Van Der Meer e derivata dalle prove sperimentali condotte da Gilver e Sorensen:

$$\frac{h'_c}{h} = (2.1 + 0.1 \cdot S) \cdot e^{-0.14 \cdot N_s^*} \quad (10)$$

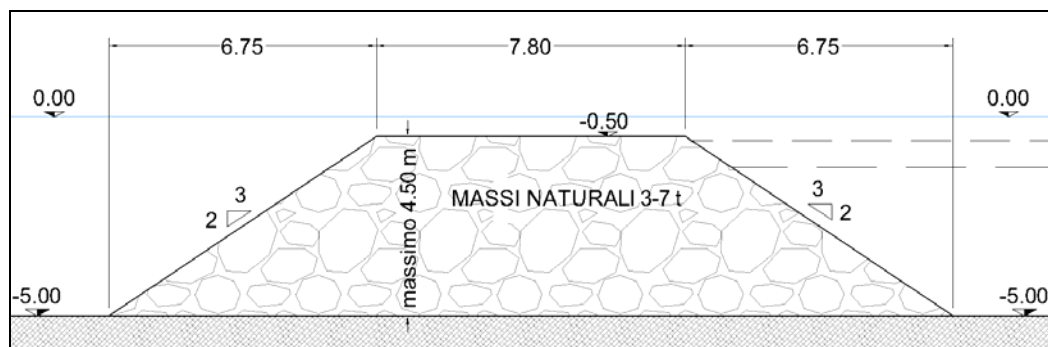
ove:

- h'_c è lo “spessore” della scogliera;
- h è la profondità minima al piede dell’opera (al netto delle oscillazioni del livello marino);
- S è il livello di danneggiamento;
- $N_s^* = \frac{H_s^{2/3} \cdot L_p^{1/3}}{\Delta \cdot D_{n50}}$ è il “numero di stabilità spettrale” definito in funzione di parametri caratteristici dell'onda di progetto e della struttura dell'opera.

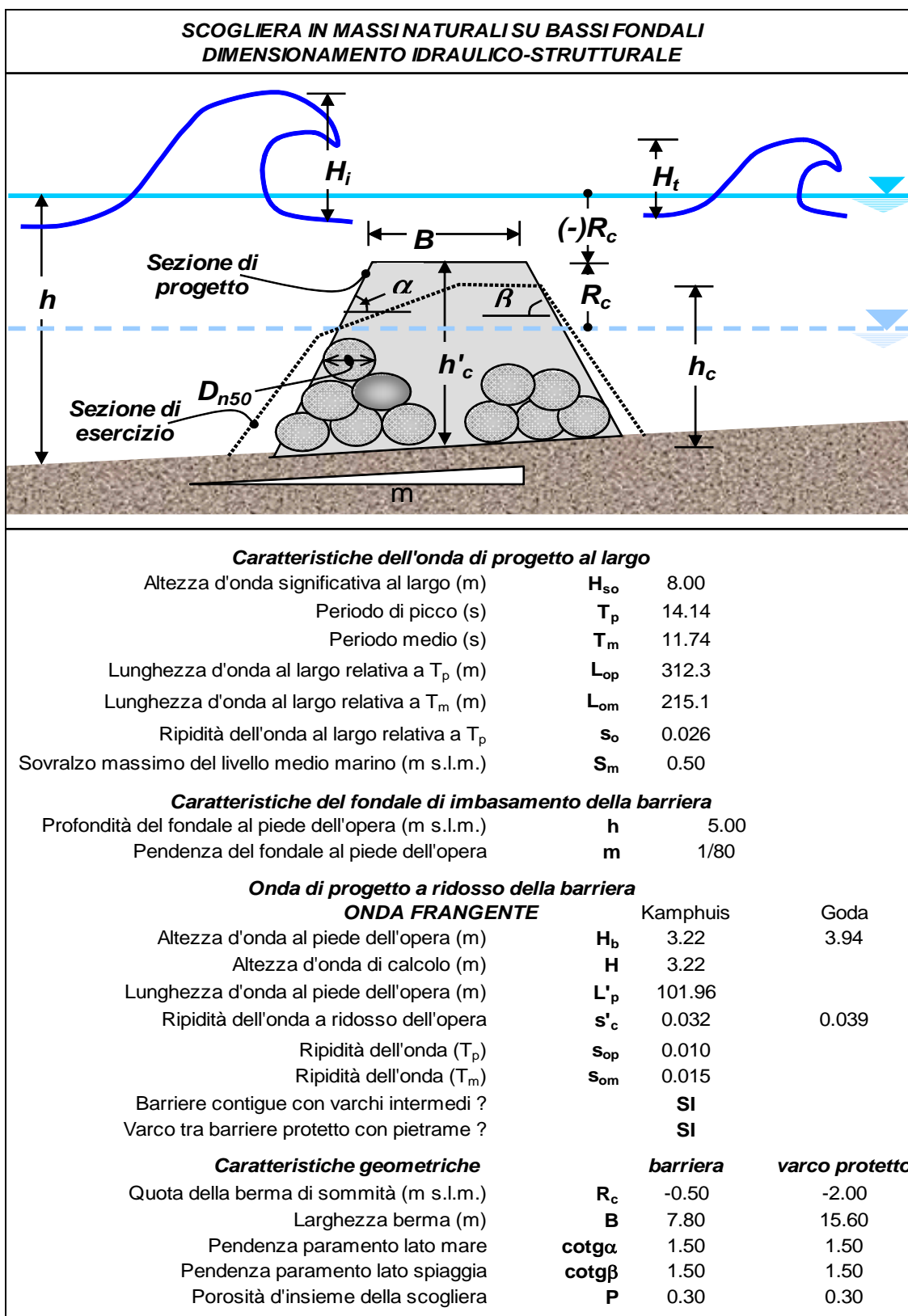
I metodi sopra descritti richiedono la preliminare caratterizzazione della “mareggiata di progetto” definita in funzione dell’altezza significativa H_s , della lunghezza d’onda media L_m e della durata o numero di onde N che contraddistinguono l’evento ondoso. Ovviamente si devono verificare preliminarmente le eventuali condizioni di frangimento indotto dai fondali antistanti l’opera che possono limitare l’altezza d’onda H_s .

Per le verifiche di stabilità si sono prese come riferimento le sezioni delle opere maggiormente sollecitate e di seguito riportate.

1. SEZIONE TIPO DELLA BARRIERA LONGITUDINALE SOMMERSA DELLE CELLE E DEI PENNELLI A “T”

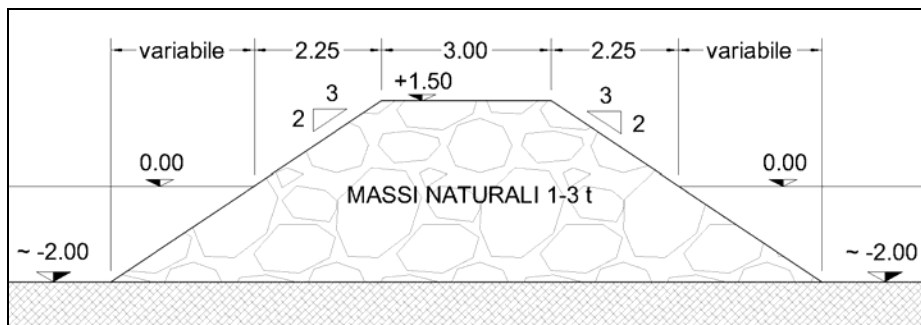


I risultati delle verifiche vengono di seguito riportati in maniera sintetica.

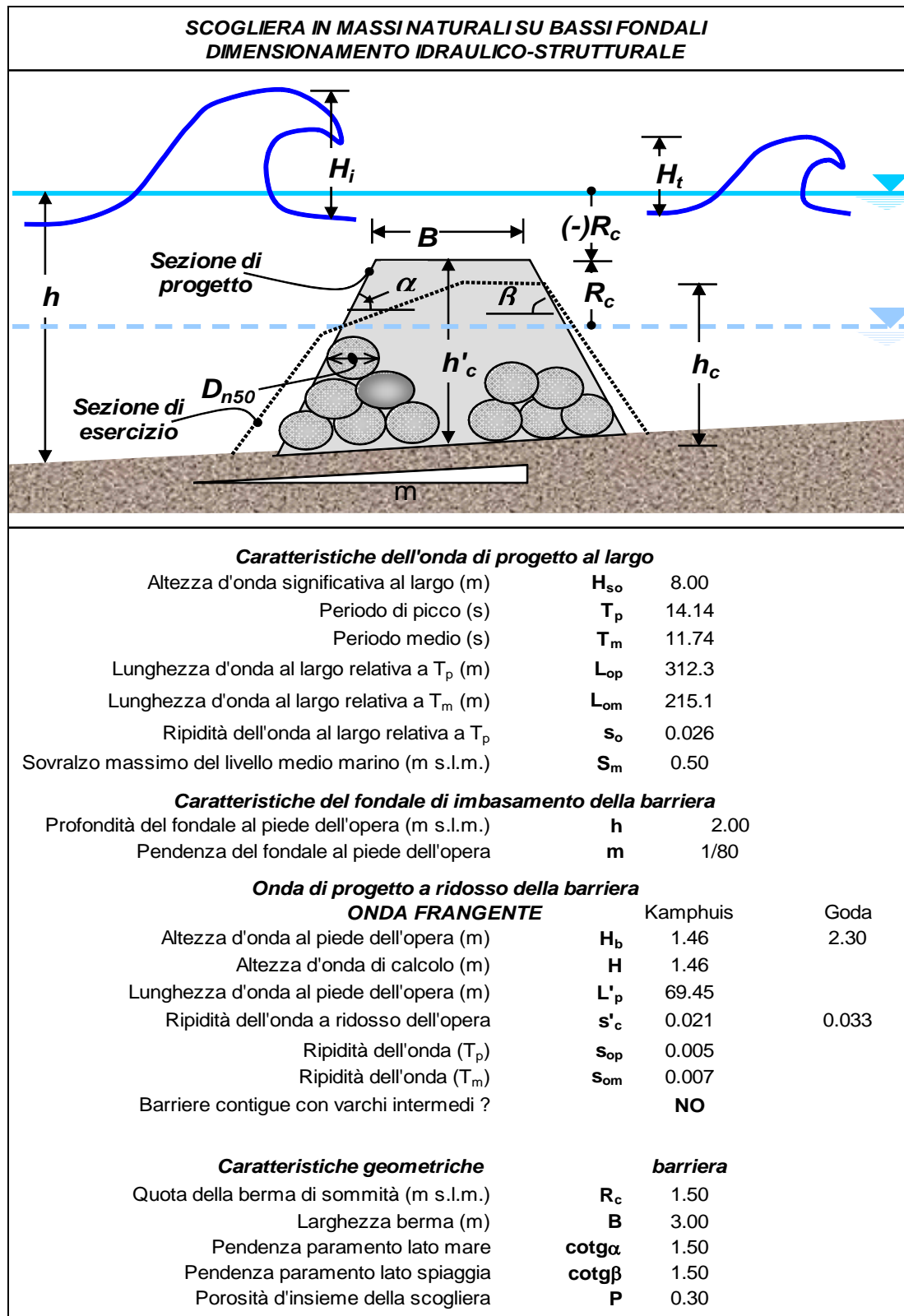


VERIFICHE IDRAULICHE			
Trasmissione del moto ondoso a tergo (D'Agremond-Van der Meer, 1996)			
$K_t = -a \cdot \frac{R_c}{H_s} + \left(\frac{B}{H_s} \right)^{-b} \cdot (1 - \exp(-c \cdot \xi)) \cdot d$		a	0.40
		b	0.31
		c	0.50
		d	0.64
Schema di comportamento della barriera sommersa convenzionale			
Parametri adimensionali di progetto			
		barriera	varco protetto
Altezza di sommità relativa (compreso il sovrizzo)	R_c/H_s	-0.31	-0.78
Parametro di Iribarren	ξ_{op}	6.57	6.57
Larghezza di berma relativa	B/H_s	2.42	4.85
Coefficiente di trasmissione	K_t	0.59	0.69
Altezza d'onda trasmessa a tergo della barriera (m)	H_t	1.91	2.22
VERIFICHE STRUTTURALI			
Parametri strutturali			
Numero di onde rappresentative della mareggiata	N	3600	
Parametro critico di Iribarren	ξ_{mc}	4.76	
Fattore di riduzione per le condizioni di tracimazione	R_p^*	-	sommersa
Parametro di Iribarren	ξ_m	5.45	surging
Tipo di frangimento a ridosso della barriera			surging
Peso specifico apparente dei massi (kg/m ³)	ρ_r	2600	
Peso specifico dell'acqua marina (kg/m ³)	ρ_w	1030	
Densità relativa della mantellata	$\Delta = \rho_r/\rho_w - 1$	1.52	
Livello di danneggiamento ammissibile	S	2.00	
Diametro medio dei massi di mantellata (m)	D_{n50}	1.24	
Peso medio dei massi di mantellata (t)	M_{n50}	5.00	
Bulk number = $A\sqrt{D_{n50}^2}$	B_n	42.58	
Condizioni di stabilità per scogliera sommersa			
Verifica in funzione di S prefissato			
Numero di stabilità della barriera	N*s	6.70	
Valore minimo del diametro dei massi di mantellata	D_{n50}	1.00	verificato
Peso minimo dei massi di mantellata (t)	M_{n50}	2.57	
Altezza di cresta della barriera STABILE	hc	4.50	
Verifica in funzione di D_{n50} prefissato			
Numero di stabilità della barriera	N*s	5.39	
Livello di danneggiamento massimo	S	0.00	verificato
Altezza di cresta della barriera STABILE	hc	4.50	

2. SEZIONE TIPO DEL PENNELLO NELLA TESTATA DELLA PARTE EMERSA



I risultati delle verifiche vengono di seguito riportati in maniera sintetica.



VERIFICHE STRUTTURALI			
Parametri strutturali			
Numero di onde rappresentative della mareggiata	N	3600	
Parametro critico di Iribarren	ξ_{mc}	4.76	
Fattore di riduzione per le condizioni di tracimazione	R_p^*	0.02	tracimabile
Parametro di Iribarren	ξ_m	8.09	surging
Tipo di frangimento a ridosso della barriera			surging
Peso specifico apparente dei massi (kg/m ³)	ρ_r	2600	
Peso specifico dell'acqua marina (kg/m ³)	ρ_w	1030	
Densità relativa della mantellata	$\Delta = \rho_r / \rho_w - 1$	1.52	
Livello di danneggiamento ammissibile	S	2.00	
Diametro medio dei massi di mantellata (m)	D_{n50}	0.92	
Peso medio dei massi di mantellata (t)	M_{n50}	2.00	
Bulk number = A_w / D^2_{n50}	B_n	34.12	
Condizioni di stabilità per scogliera a cresta bassa			
Verifica in funzione di S prefissato			
Numero di stabilità della barriera	Ns	1.36	
Valore minimo del diametro dei massi di mantellata	D_{n50}	0.82	verificato
Peso minimo dei massi di mantellata (t)	M_{n50}	1.43	
Altezza di cresta della barriera STABILE	hc	3.50	
Verifica in funzione di D_{n50} prefissato			
Numero di stabilità della barriera	Ns	1.21	
Livello di danneggiamento massimo	S	1.12	verificato
Altezza di cresta della barriera STABILE	hc	3.50	

Dall'analisi dei risultati si evince che le barriere longitudinali debolmente sommerse, sia delle opere di difesa a "celle" che delle testate dei pennelli a "T", dovranno essere realizzate con massi naturali aventi un peso medio di 5 t (massi di 3^a categoria compresi tra 3 - 7 t), mentre i pennelli potranno essere realizzati con massi naturali aventi un peso medio pari a 2 t (massi di 2^a categoria compresi tra 1 - 3 t).

I valori di danneggiamento S sono sempre inferiori a 2,0 garantendo quindi condizioni di grande stabilità a tutte le opere a gettata previste dal presente progetto definitivo ovvero limitati interventi di manutenzione volti al rifiorimento e alla risagomatura delle mantellate.

I risultati ottenuti in accordo con quanto desunto dalla modellazione numerica hanno consentito, inoltre di verificare l'andamento dell'altezza d'onda in prossimità della linea di riva e quindi il grado di attenuazione delle opere di difesa in progetto con particolare riferimento alle barriere poste a protezione del litorale appartenente al comune di Pontecagnano.

Infatti, dall'analisi risulta evidente come le nuove opere rigide, siano esse barriere o varchi, garantiscono, favorendo il fenomeno del frangimento, una buona attenuazione dei valori dell' altezza d'onda incidente anche con condizioni di moto ondoso estreme.

Inoltre, gli interventi di ripascimento previsti in alcune aree, opportunamente scelte sulla base di oggettive criticità legate all'erosione costiera, consentono di allontanare l'azione diretta del moto ondoso incidente con conseguenti benefici sulle condizioni di sicurezza delle strutture poste subito a ridosso della battigia e che attualmente risultano essere interessate da evidenti fenomeni di erosione costiera.

5. VERIFICA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA ALL'INTERNO DELLE CELLE

Per poter verificare in modo oggettivo l'influenza sul campo idrodinamico delle nuove celle di difesa, previste dal progetto definitivo degli "Interventi di difesa e ripascimento del litorale del golfo di Salerno", è stato utilizzato il modello matematico SMS, in grado di fornire per lo scenario ipotizzato tutte le necessarie indicazioni sulle grandezze fisiche che caratterizzano la circolazione idrica.

In via cautelativa, le simulazioni sono state condotte utilizzando come unica forzante idrodinamica le oscillazioni di livello dovute alla sola marea astronomica.

5.1. Applicazione del sistema di modellazione SMS

I modelli di calcolo impiegati nel presente studio appartengono al sistema di modellazione SMS che consente di simulare i fenomeni idrodinamici che si verificano nel flusso di masse d'acqua superficiali tramite il codice di calcolo agli elementi finiti RMA-2, descritto in appendice.

Il programma SMS, operativo in ambiente Windows, è stato utilizzato anche per le procedure di post-processor relative alle analisi ed alle realizzazione dei grafici bidimensionali che riproducono i risultati delle elaborazioni.

Nella fase preliminare dello studio (procedura di pre-processor), è stato utilizzato il codice GFGEN per la costruzione del reticolo geometrico, agli elementi finiti, con cui è stato discretizzato lo specchio liquido da simulare. Successivamente, all'interno del modello di calcolo sono state definite le condizioni idrodinamiche al contorno considerando le sole oscillazioni del livello marino, condizione certamente più gravosa ai fini della circolazione idrica all'interno della cella di difesa, imposte lungo una linea che rappresenta il mare aperto.

Per la configurazione presa in esame è stato quindi possibile, attraverso l'applicazione del modello SMS con un passo temporale di 30 minuti, studiare il campo idrodinamico indotto dall'azione della sola marea all'interno di una "cella tipo", rappresentativa delle opere di difesa previste lungo il litorale di Pontecagnano.

5.2. Discretizzazione dello specchio liquido

Per la corretta applicazione delle routine di calcolo idrodinamico del modello SMS è stato necessario effettuare un'attenta e dettagliata discretizzazione del sistema liquido della configurazione di progetto da simulare.

Per la batimetria dei fondali e per lo schema planimetrico della cella di difesa da prendere in esame (Figura 5.1 e Figura 5.2), si è fatto riferimento alla batimetria di dettaglio rilevata di recente lungo tutto il golfo di Salerno e alle planimetrie di progetto definitivo.

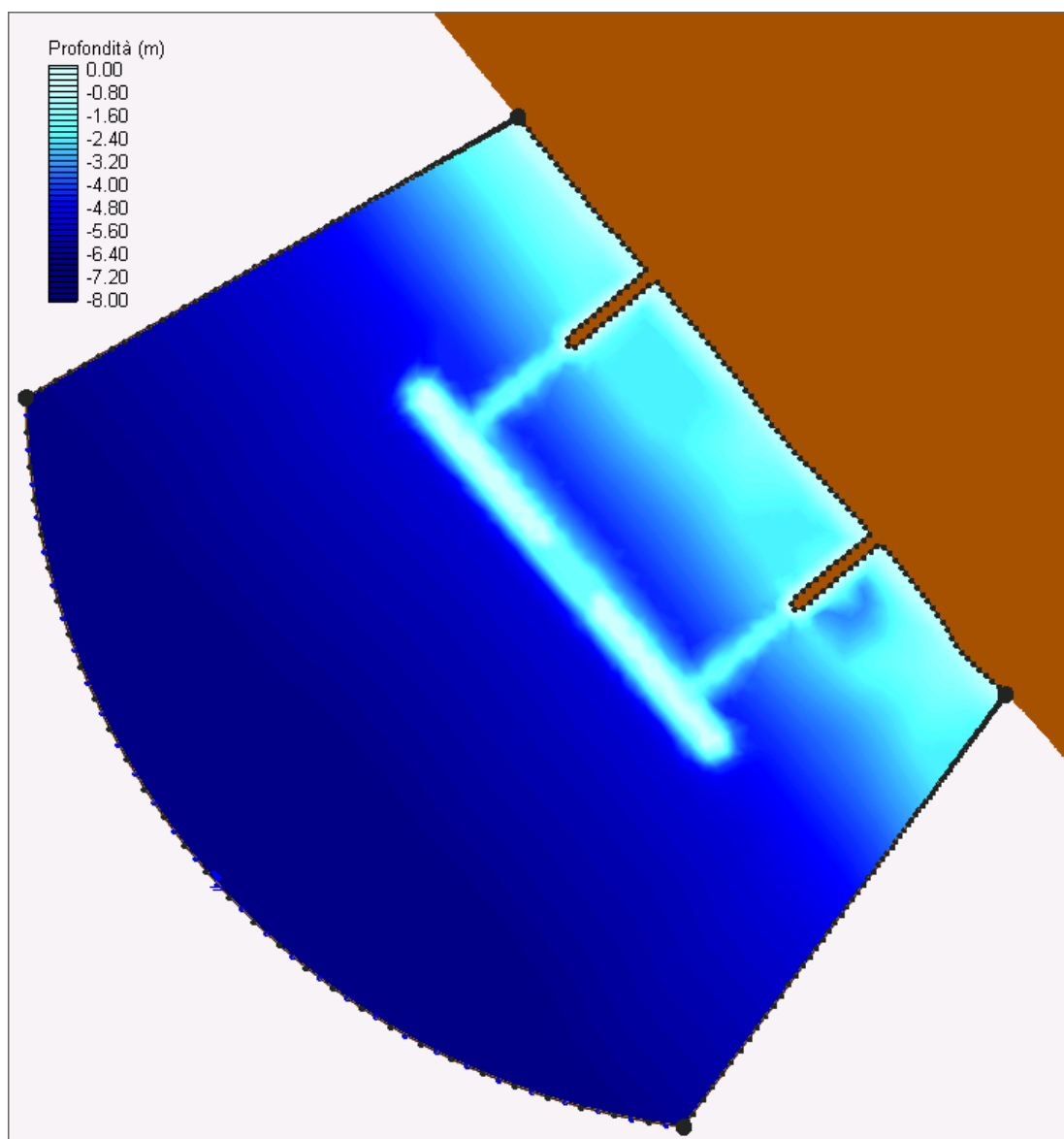


Figura 5.1 - Configurazione di progetto (cella tipo): batimetria di riferimento per il modello SMS.

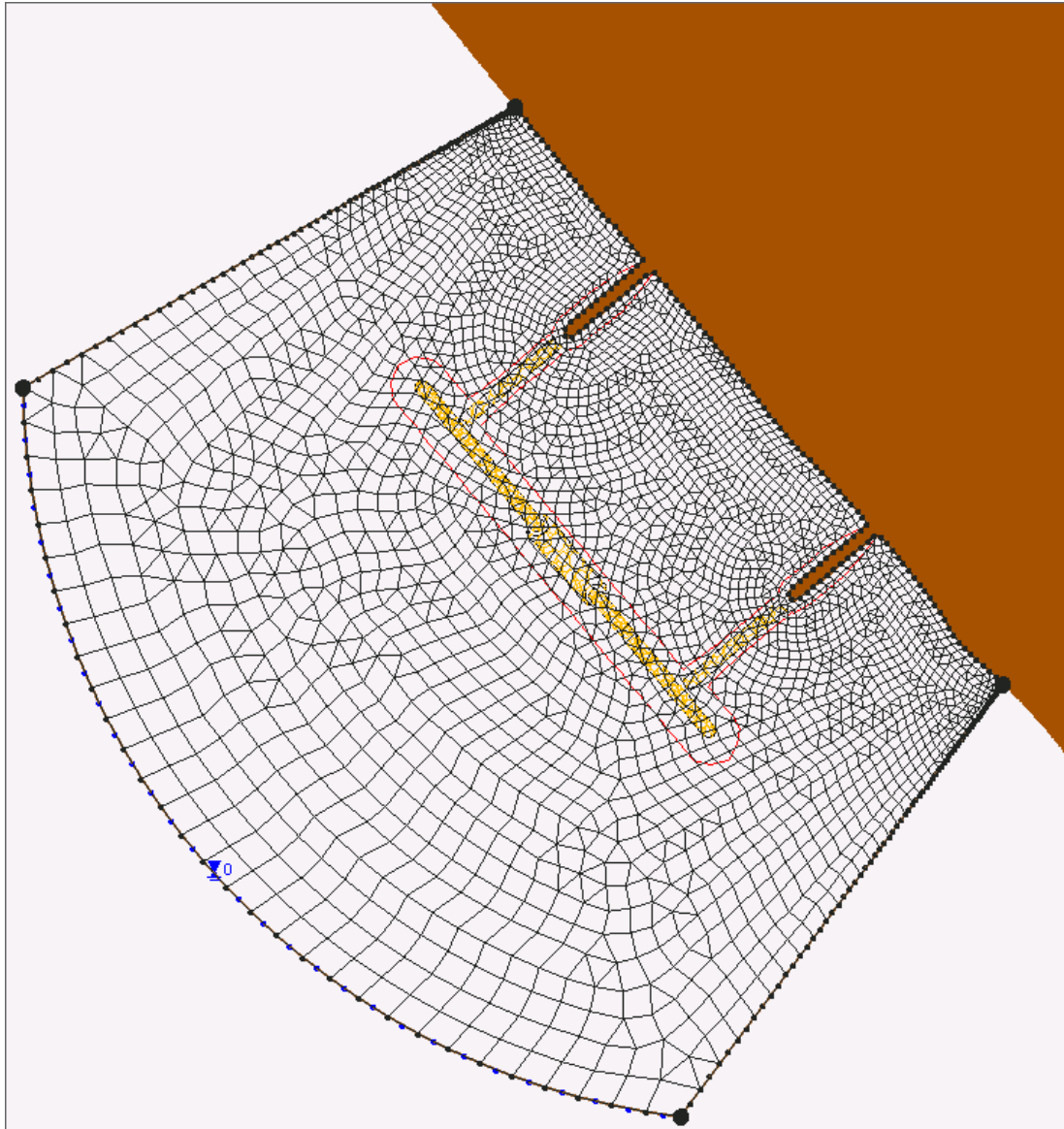


Figura 5.2 - Configurazione di progetto (cella tipo): discretizzazione dello specchio liquido nel modello SMS

5.3. Definizione delle condizioni al contorno

Per la configurazione presa in esame nel presente studio, rappresentative degli interventi previsti per la difesa del litorale di Pontecagnano, al fine di poter determinare il campo idrodinamico all'interno della cella stessa in seguito alle sole oscillazioni di marea, è stato necessario definire ed impostare all'interno del modello matematico SMS le opportune condizioni al contorno.

Nel dettaglio, lungo una linea di contorno che rappresenta le condizioni in mare aperto sono state imposte, con un intervallo temporale tra i dati di mezz'ora, le oscillazioni di marea in termini di variazioni del livello idrico.

Le oscillazioni del livello idrico si riferiscono ad una marea di tipo semi-diurno con altezze pari a 0.4 m e 0.3 m per un intervallo temporale di 120 ore e 10 cicli di marea (Figura 5.3).

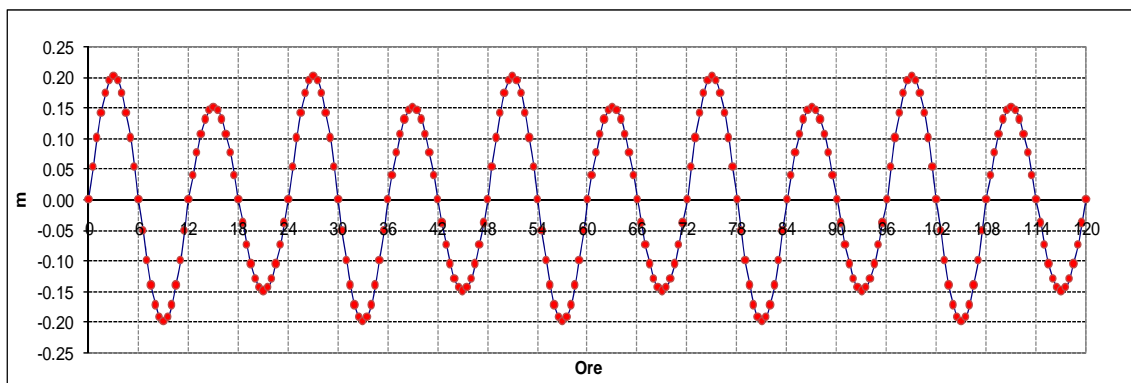


Figura 5.3 – Variazioni di livello considerate come condizioni al contorno per il modello SMS.

5.4. Risultati delle simulazioni idrodinamiche

Completata la fase di discretizzazione del sistema liquido e di definizione delle condizioni al contorno è stato applicato il programma GFGEN per la predisposizione dei file di input (in codice binario) utilizzati successivamente dal programma di idrodinamica RMA-2 agli elementi finiti.

Con quest'ultimo programma poi sono state condotte delle simulazioni con lo scopo di determinare il campo idrodinamico dovuto alle sole variazioni della marea astronomica.

Nelle figure tra Figura 5.4 e Figura 5.11 è possibile verificare il campo di velocità che si registra nelle varie fasi di marea.

La scala di rappresentazione delle velocità (m/s) mostra, come ci si poteva aspettare, che all'interno della cella di difesa la circolazione idrica dovuta alla sola marea risulta buona registrandosi velocità tali da garantire il ricambio idrico dell'intera cella con alcuni cicli di marea ovvero con un tempo non superiore a circa 36 ore.

Al termine di queste simulazioni si è quindi constatato che la capacità naturale di ricircolo delle acque all'interno delle celle di difesa previste lungo il litorale di Pontecagnano è certamente tale da garantire un buon ricambio idrico, ovvero all'interno delle celle non si creano delle zone di ristagno tali da far temere un sensibile decadimento della concentrazione di ossigeno.

lasciando supporre livelli di qualità delle acque accettabilità, anche nei periodi estivi, caratterizzati da temperature medie elevate e correnti litoranee basse, quando risultano esasperati i cicli biologici dei micro-organismi algali.

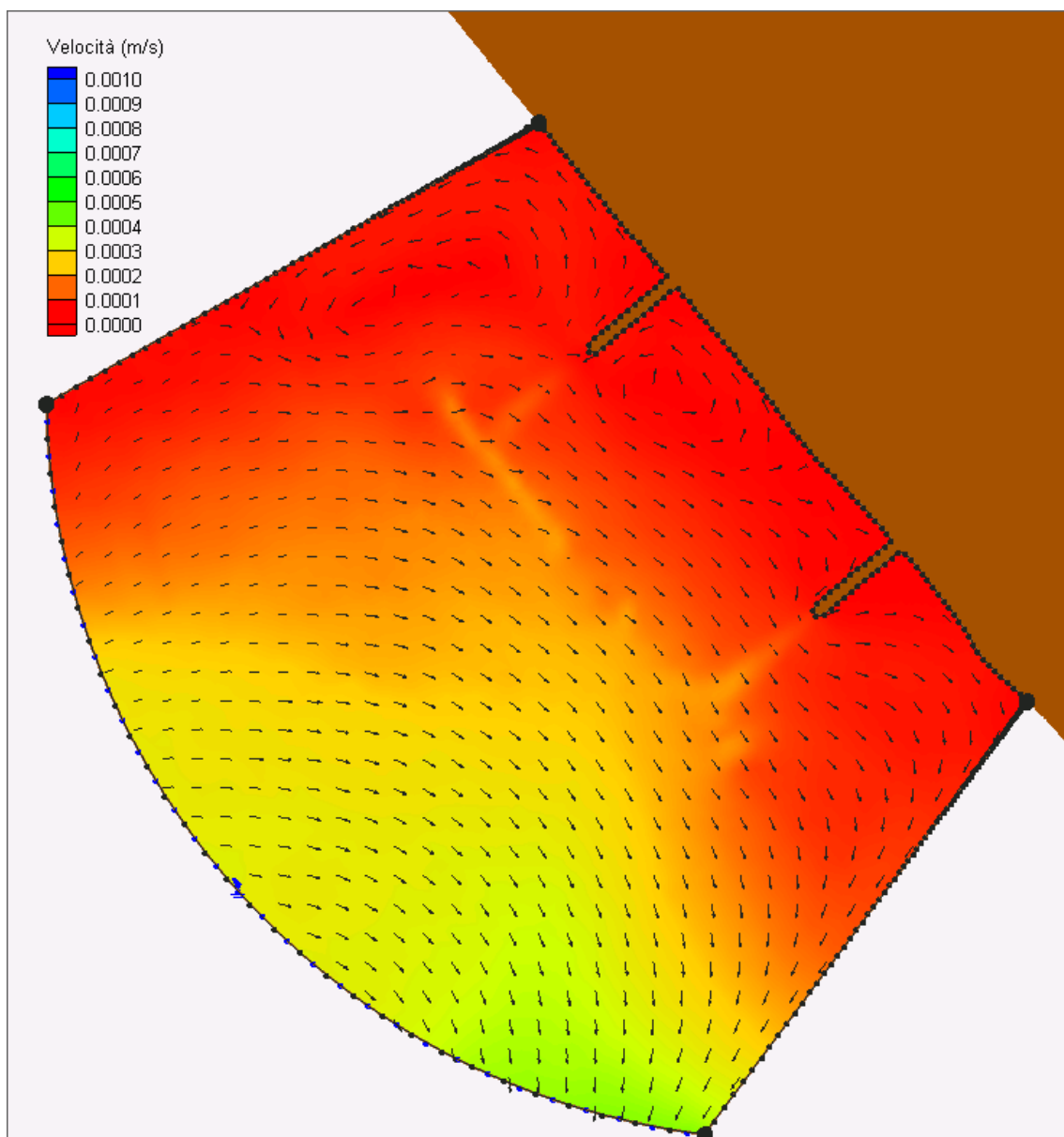


Figura 5.4 -- Particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 3.00 (inversione del flusso)

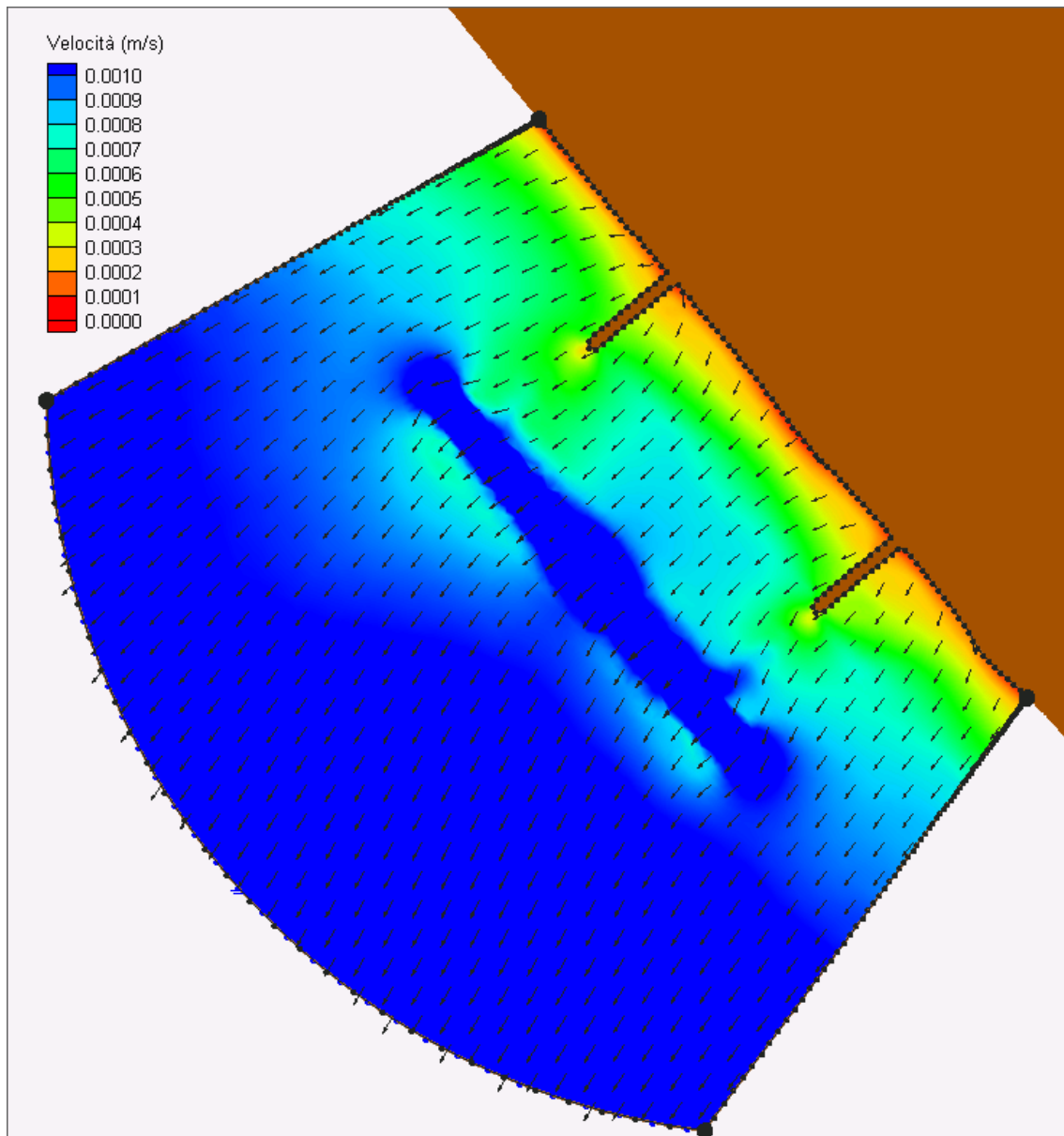


Figura 5.5 – Particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 6.00 (fase di flusso).

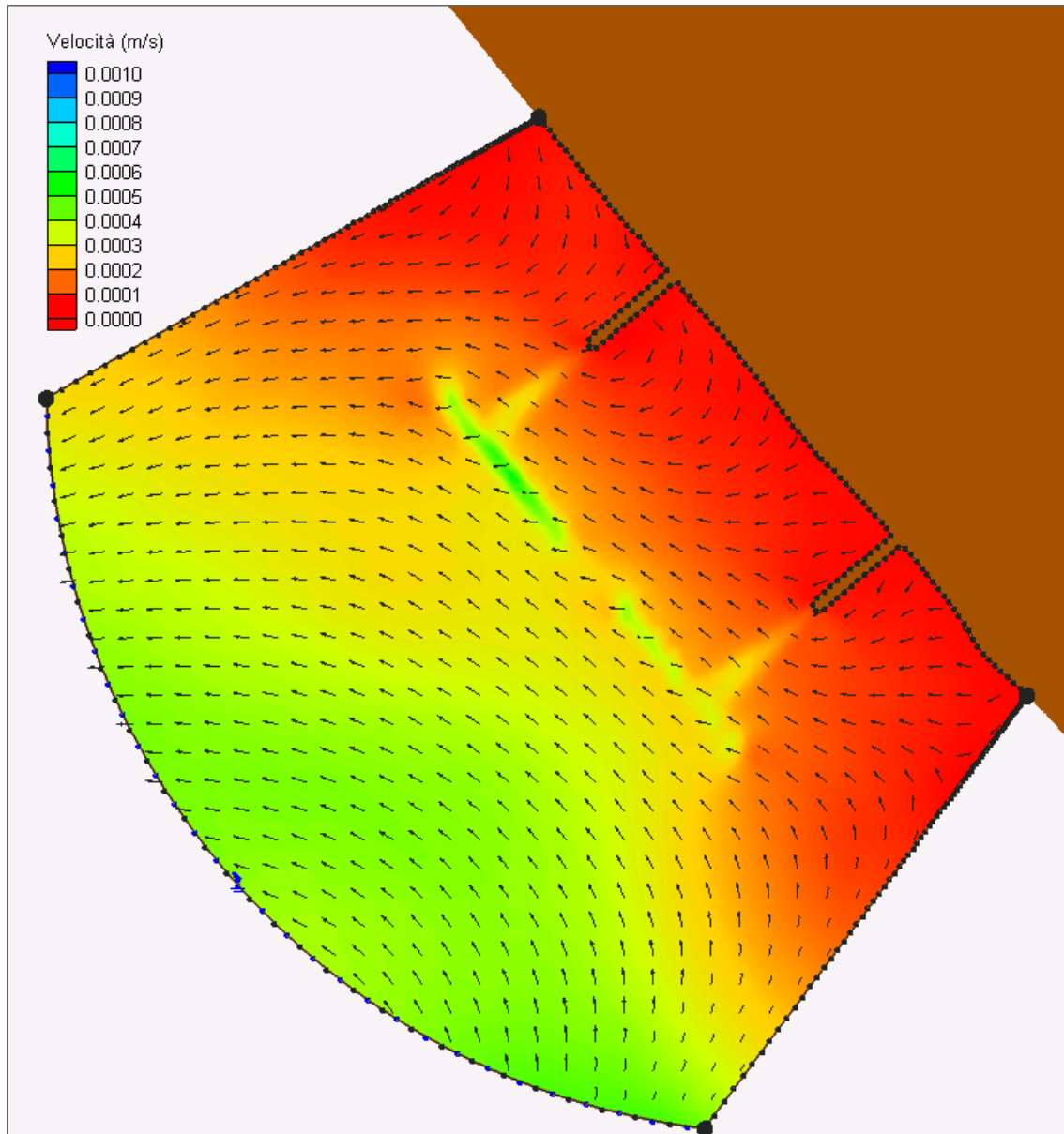


Figura 5.6 – Particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 9.00 (inversione del flusso).

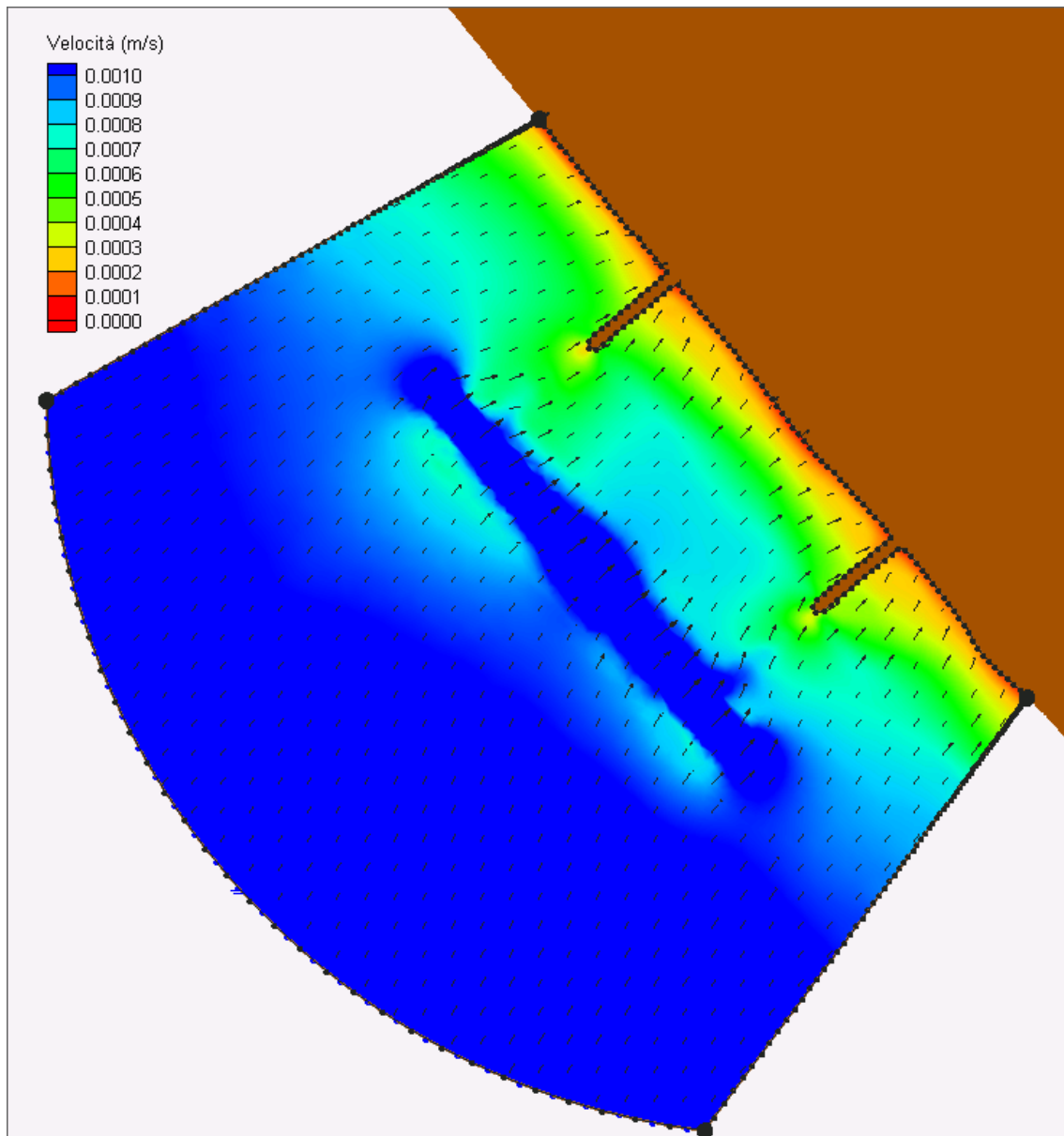


Figura 5.7 – Particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 12.00 (fase di riflusso).

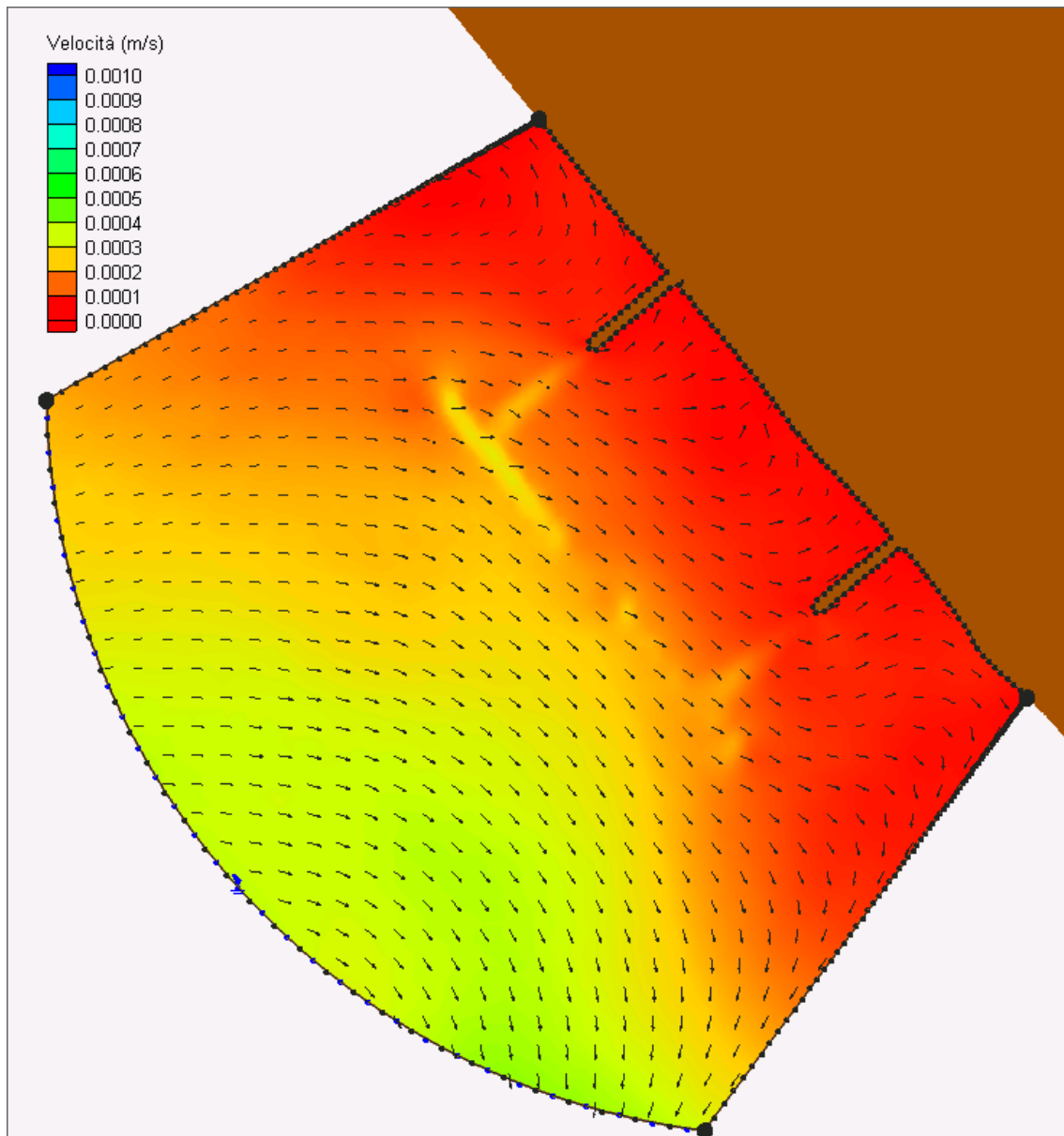


Figura 5.8 – Particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 15.00 (inversione del flusso).

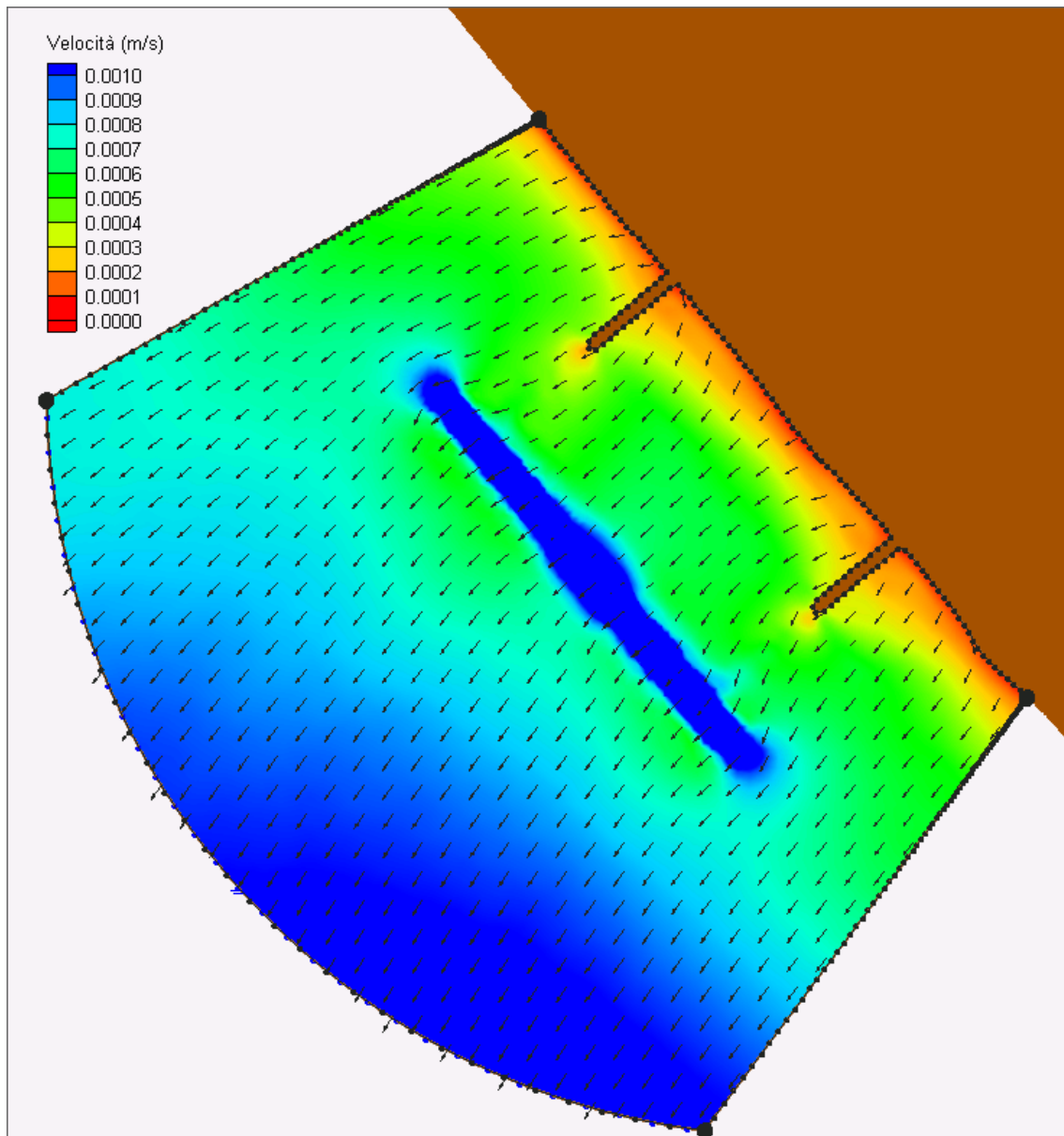


Figura 5.9 – Particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 18.00 (fase di flusso).

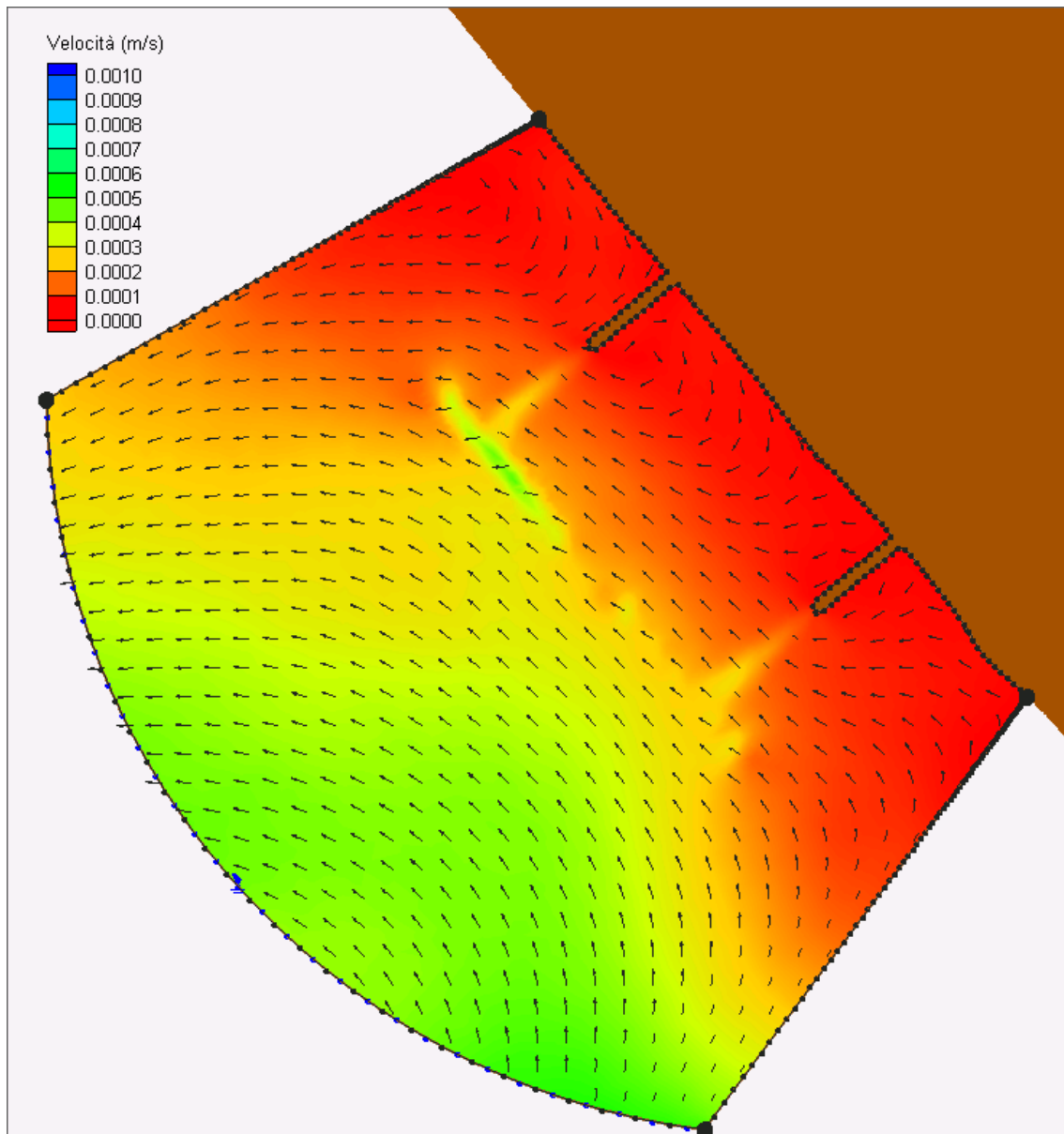


Figura 5.10 – Particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 21.00 (inversione del flusso).

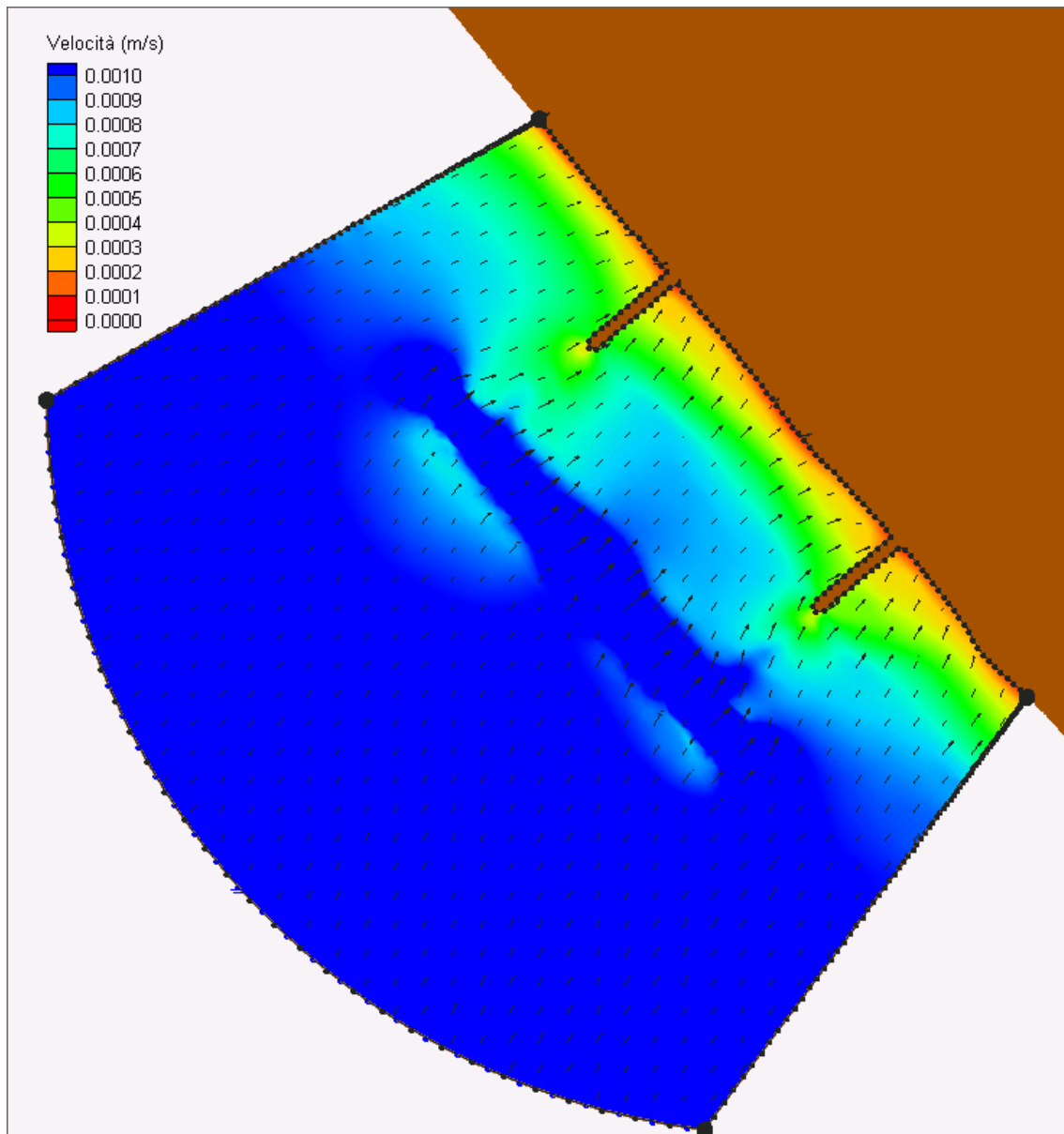


Figura 5.11 – Particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 24.00 (fase di riflusso).

5.5. Conclusioni

Attraverso l'applicazione del modello SMS è stato possibile determinare il campo delle velocità indotte dalle sole oscillazioni di marea all'interno della cella tipo rappresentativa delle opere a gettata previste dal progetto definitivo per la difesa del litorale appartenente al comune di Pontecagnano.

E' importante sottolineare che i risultati ottenuti dalle diverse simulazioni fanno riferimento alle condizioni più gravose ai fini della qualità delle acque.

Infatti, nelle condizioni di input per il modello SMS, sono state considerate come forzanti per il campo idrodinamico le sole escursioni di marea tralasciando gli effetti dovuti all'azione del moto ondoso ed all'azione del vento che favoriscono il movimento delle masse d'acqua all'interno delle celle di difesa in progetto.

I risultati ottenuti dalle simulazioni mostrano, come ci si poteva aspettare essendo le opere sommerse per la quasi totalità del loro sviluppo, che all'interno della cella di difesa la circolazione idrica dovuta alla sola marea astronomica risulta buona, registrandosi velocità tali da garantire il ricambio idrico dell'intera cella con alcuni cicli di marea ovvero con un tempo non superiore a circa 36 ore.

In conclusione è possibile affermare che la realizzazione delle nuove celle difesa, in progetto per la protezione del litorale ricadente nel comune di Pontecagnano, non peggiora in maniera significativa la capacità di ricambio idrico delle acque litoranee, lasciando quindi pressoché inalterate le attuali condizioni organolettiche che contraddistinguono le acque del Golfo di Salerno. Tale affermazione prescinde da eventuali sversamenti sulla costa, tipo condotte fognarie o scarichi di altro genere, che potrebbero interessare le celle, direttamente o indirettamente, con conseguenti ripercussioni sulla qualità delle acque e su eventuali processi di eutrofizzazione.

APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS

Introduzione

Il sistema TABS è stato sviluppato dalla United States Army Engineering Waterways Experiment Station per simulare numerosi problemi idrodinamici in acque basse.

Il modello SMS è provvisto di pre-post processore grafico per programmi che richiedono griglie 2D agli elementi finiti sviluppato dall'Engineering Computer Graphics Laboratory a Brigham.

I programmi contenuti nel pacchetto TABS possono essere usati per analizzare le variazioni di livello ed il campo di velocità per problemi idrodinamici in acque basse. Il TABS fornisce sia soluzioni in moto permanente che in moto vario, in altre parole la soluzione può trovarsi sia per istanti di tempo che per una serie di passi temporali.

I programmi del pacchetto TABS contengono, inoltre, un codice per la simulazione della diffusione di inquinanti, dell'erosione e del trasporto solido.

In una tipica applicazione, SMS viene utilizzato per costruire un reticolo agli elementi finiti della regione simulata e per applicare condizioni al contorno. Le informazioni che descrivono le griglie vengono quindi salvate in un file geometrico ed in uno o più file in cui sono contenute le condizioni al contorno.

Il software TABS è quindi utilizzato per eseguire analisi idrodinamiche attraverso simulazioni numeriche. Le soluzioni creano uno o più file contenenti, tra le altre cose, i livelli di superficie idrica e il campo di velocità in ciascun nodo della griglia presa in esame. Questi file soluzione possono essere introdotti nel modello SMS che consente una loro visualizzazione sotto forma di grafici vettoriali a colori, corredati se necessario dell'andamento temporale delle differenti grandezze di interesse.

Il modello SMS può essere utilizzato, anche, come un pre e post processore per altri programmi agli elementi finiti, purché questi programmi siano compatibili con i formati utilizzati. Il modello SMS è idoneo per la costruzione di griglie grandi e complesse (potendo raggiungere anche centinaia di elementi) di forma arbitraria.

L'intero pacchetto software è disponibile a livello commerciale ed è provvisto del manuale per l'utente.

I due componenti principali del sistema TABS, il codice RMA-2 per la determinazione del campo idrodinamico ed il codice RMA-4 per l'individuazione della concentrazione dell'ossigeno disciolto, vengono descritte di seguito.

Codice RMA-2

Il cuore del sistema TABS è rappresentato dal programma RMA-2 per la simulazione di moti a superficie libera. L'RMA-2 è un programma bidimensionale agli elementi finiti per la soluzione di problemi idrodinamici, che fornisce risultati mediati sulla verticale.

Originariamente, l'RMA-2 è stato sviluppato da Norton ed altri (1973) della Resource Management Associates, Inc. di Davis, in California. Diverse modifiche al codice originale sono state fatte da alcuni ricercatori della Waterway Experiment Station (Thomas e McAnally, 1991).

Applicazioni

L'RMA-2 può essere utilizzato per calcolare i livelli di superficie idrica e il campo di velocità nei punti nodali di una griglia agli elementi finiti che rappresenta un corpo d'acqua come ad esempio un fiume, un porto o un estuario.

L'RMA-2 può fornire soluzioni sia in moto permanente che in moto vario. In altre parole, le condizioni al contorno (portata entrante, livelli di superficie idrica) variano nel tempo e la soluzione si può trovare per un determinato numero di passi temporali. Ciò rende possibile la simulazione di condizioni dinamiche per le correnti causate da portate variabili o cicli mareali. L'RMA-2 non è applicabile a problemi con correnti supercritiche.

L'output dell'RMA-2 viene registrato in un file soluzione binario. Il file può contenere la soluzione di uno o più passi temporali, in funzione del fatto che sia stata eseguita un'analisi stazionaria o transitoria. Il file soluzione può essere introdotto nel processore grafico SMS per una rappresentazione grafica dei risultati.

5.6. Equazioni utilizzate

Le equazioni che governano il moto delle acque poco profonde, risolte dall'RMA-2, sono le seguenti:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) - \frac{\varepsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - \frac{\varepsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

dove

x = distanza nella direzione x (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

u = velocità orizzontale della corrente nella direzione x [LT^{-1}]

y = distanza nella direzione y (laterale alla direzione della corrente) [L]

v = velocità orizzontale della corrente nella direzione y [LT^{-1}]

t = tempo [T]

g = accelerazione dovuta alla gravità [LT^{-2}]

h = profondità dell'acqua [L]

a_0 = quota del fondo [L]

ρ = densità del fluido [ML^{-3}]

ε_{xx} = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione x [$MT^{-1}L^{-1}$]

ε_{xy} = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione x [$MT^{-1}L^{-1}$]

ε_{yx} = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione y [$MT^{-1}L^{-1}$]

ε_{yy} = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione y [$MT^{-1}L^{-1}$]

C = coefficiente di scabrezza di Chezy (derivato dal coefficiente di Manning n) [$L^{2/3}T^{-1}$]

RMA-4

L'RMA-4 è la parte del sistema TABS utilizzata per la simulazione della diffusione dell'ossigeno disciolto e per il trasporto di inquinanti. Utilizza la soluzione idrodinamica dell'RMA-2 per definire un campo di velocità per una data griglia. Inoltre legge un insieme di condizioni specificati dall'utente come input. Tali condizioni sono specificati come valori di massa o concentrazione e da tassi di decadimento per ciascun

componente. L'RMA-4 quindi simula la diffusione e/o dissipazione del costituente per un dato numero di passi temporali.

L'output dell'RMA-4 è registrato in un file soluzione binario. Il file soluzione può essere introdotto nel SMS per una rappresentazione grafica dei risultati.

Equazioni utilizzate

L'equazione che governa la convezione-diffusione risolta dall'RMA-4 è la seguente:

$$h \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \sigma + kc \right) = 0$$

dove

x = distanza nella direzione x (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

u = velocità orizzontale della corrente nella direzione x [LT^{-1}]

y = distanza nella direzione y (laterale alla direzione della corrente) [L]

v = velocità orizzontale della corrente nella direzione y [LT^{-1}]

t = tempo [T]

c = concentrazione del costituente [ML^{-3}]

D_x = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione x [L^2T^{-1}]

D_y = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione y [L^2T^{-1}]

σ = sorgente o uscita locale del costituente [$MT^{-1}L^{-2}$]

k = tasso di decadimento del costituente [T^{-1}]

Processo di Simulazione

In un tipico problema di simulazione con il software TABS, la sequenza di operazioni per effettuare le simulazioni vengono eseguite secondo una specifica sequenza. Ciascuno di questi passi viene brevemente descritto di seguito.

Costruzione della griglia

Anzitutto deve essere costruita una griglia agli elementi finiti che descriva la batimetria (geometria della superficie del fondo) del corpo d'acqua che deve essere

simulato. I dati geometrici nella forma di coordinate xyz vengono inseriti nel SMS ed usati come base per la costruzione di una griglia agli elementi finiti.

Nei casi in cui è disponibile una carta delle isobate, i punti possono essere digitalizzati dalle linee isobate e introdotti nel SMS per la costruzione della griglia. Se non si dispone di una batimetria possono essere utilizzati rilievi o misure di indagini dirette.

Il software SMS è provvisto di numerosi strumenti per la generazione di una griglia e per l'editing interattivo. Questi strumenti sono descritti più dettagliatamente nel tutorial e nel manuale di riferimento. La geometria della griglia viene salvata dal SMS in un file di testo di tipo ASCII.

Condizioni al contorno

Una volta costruita la griglia l'utente assegna le condizioni al contorno alla griglia. Le condizioni al contorno vengono usualmente introdotte come una portata entrante ad una estremità della griglia e come una prevalenza o un livello di superficie idrica all'estremità opposta della griglia. L'utente deve anche introdurre il coefficiente di Manning n ed i coefficienti di scambio turbolento per differenti regioni della griglia. Tutti questi parametri possono essere introdotti interattivamente utilizzando il software SMS. Le condizioni al contorno vengono salvate dal SMS in un file di testo ASCII distinto dal file geometrico, ma comprendente le indicazioni in esso contenute.

GFGEN

Una volta costruita la griglia, viene eseguito il programma GFGEN prima di effettuare le simulazioni con l'RMA-2. Il GFGEN è un pre processore geometrico propedeutico per l'RMA-2. Il GFGEN legge il file di testo ASCII che descrive la geometria e lo valida e quindi lo trasforma in un equivalente file binario.

RMA-2

Il passo successivo nel processo di simulazione è quello di effettuare le simulazioni con il programma RMA-2. L'RMA-2 legge il file di testo ASCII con

l'indicazione delle condizioni al contorno e il file geometrico binario preparato precedentemente dal programma GFGEN. A questo punto il programma RMA-2 calcola la soluzione idrodinamica nei differenti punti della griglia considerata e genera un file soluzione binario da introdurre nel processore grafico del SMS.

Post-processing con il SMS

Dopo aver effettuato le simulazioni con il programma RMA-2, i risultati devono essere osservati con il processore grafico SMS. Il software SMS consente di visualizzare i diagrammi vettoriali della velocità e grafici a colori sia della velocità che del livello idrico superficiale. Per le soluzioni transitorie si può generare l'andamento temporale per i nodi selezionati e le sequenze di animazione. Prima di visualizzare la soluzione idrodinamica, l'utente deve verificare che i risultati siano congruenti con la realtà fisica. Se necessario deve essere ridefinita in dettaglio la griglia oppure devono essere modificati i coefficienti di input e successivamente deve essere effettuata una nuova soluzione.

Validazione

In molti casi, l'RMA-2 viene utilizzato per simulare l'effetto di una nuova struttura sull'idrodinamica di un corpo d'acqua. In genere in tali casi si segue l'intero processo sopra descritto con una griglia che rappresenta il corpo d'acqua nello stato attuale. Una volta che il modello è stato tarato (confrontandolo con misure o indagini disponibili), il SMS può essere utilizzato per modificare la griglia in modo tale che essa rappresenti le condizioni successive alla realizzazione della struttura presa in esame. L'RMA-2 viene quindi utilizzato ancora una volta per simulare l'effetto della nuova struttura sull'idrodinamica, in modo da verificare le modifiche indotte sul campo idrodinamico.