



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

## **Tesi di tirocinio di formazione e orientamento**

(Convenzione stipulata tra ISPRA e l'Università degli studi di Napoli Parthenope )

### **IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO SWAN AL LITORALE SALERNITANO**

***Dr. Paolo Celentano***

**Tutor dell'Ente Promotore: Ing. Guido Benassai**

**Tutor ISPRA: Dr.ssa Arianna Orasi**

**ANNO 2009/2010**

Data	Firma Tirocinante	Firma del Tutor ISPRA	Firma Responsabile Servizio ISPRA
	Firma del Tutor Ente Promotore*		

\* Il Tutor dell'Ente Promotore sarà citato solo in presenza della firma

## **Abstract**

La presente tesi di tirocinio è stata incentrata sull'implementazione del modello di propagazione del moto ondoso SWAN (Simulating WAVes Nearshore) presso il litorale di Salerno. In particolare, l'obiettivo del lavoro è stato quello di fornire una descrizione dettagliata della fase di pre-processing, ossia delle procedure che portano alla creazione e alla preparazione dei dati di input da fornire al modello per produrre le previsioni di moto ondoso.

## **Prefazione**

La ricostruzione e la previsione modellistica del moto ondoso ad alta risoluzione richiede un impegno rilevante per la preparazione delle informazioni in input al codice di calcolo, per l'esecuzione delle simulazioni e per l'archiviazioni dei risultati. I tempi di calcolo dipendono inoltre dal numero di punti che costituiscono le griglie di calcolo e dalla loro risoluzione spaziale, crescendo in modo rilevante al diminuire del passo di griglia.

Tutti questi elementi devono essere tenuti ben in considerazione quando ci si accinge ad impostare quella che viene comunemente chiamata la fase di pre-processing nell'implementazione dei modelli.

È proprio a questa fase che è stata prestata maggior attenzione durante l'espletamento di questo tirocinio, valutando di volta in volta in modo critico e dettagliato le operazioni e gli strumenti necessari per la produzione dei file di input indispensabili per l'implementazione del modello SWAN.

La zona costiera di Salerno è stata scelta poiché già oggetto di un'analisi statistica, volta ad analizzarne l'erosione a lungo termine, e di un sopralluogo e una visita tecnica volti a valutare i danni causati da eventi estremi alle opere di difesa, al lungomare, alle costruzioni ad uso abitativo, ecc.

Il tirocinante ha svolto questo studio con cura e puntualità. Egli ha dimostrato una buona capacità nell'imparare ad utilizzare i diversi software di volta in volta necessari e ad analizzare criticamente i risultati ottenuti .

## INDICE

INTRODUZIONE.....	3
METODOLOGIA.....	4
CAPITOLO I : MODELLI D'ONDA SPETTRALI.....	5
1.1 Introduzione.....	5
1.2 SWAN : Simulating WAves Nearshore.....	6
CAPITOLO II : CARATTERIZZAZIONE DEL LITORALE SALERNITANO.....	9
2.1 Procedura analitica per la valutazione dell'erosione costiera.....	9
2.2 Descrizione unità fisiografiche.....	11
2.3 Analisi statistica dell'erosione costiera per la provincia di Salerno.....	12
2.4 Aggiornamento dell'erosione costiera nei siti critici con ortofoto 2000 – 2006...23	
CAPITOLO III : ANALISI DEGLI EVENTI METEOMARINI CHE HANNO INTERESSATO IL LITORALE CAMPANO NEL PERIODO: FINE ANNO 2008 E INIZIO ANNO 2009.....	26
3.1 Analisi meteomarina degli eventi tra il 01/11/2008 ed il 31/12/2008.....	26
3.2 Analisi meteorologica degli eventi tra 01/01/2009 ed il 10/03/2009.....	27
3.3 Analisi meteo marina degli eventi tra il 01/01/2009 ed il 10/03/2009.....	28
CAPITOLO IV : IMPLEMENTAZIONE DELLO SWAN.....	29
4.1 Scelta della zona d'interesse.....	29
4.2 Raccolta dei dati Batimetrici.....	30
4.3 Elaborazione dati.....	32
4.4 Creazione di un grigliato batimetrico.....	33
4.5 Implementazione dello SWAN.....	36
CONCLUSIONI.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	42

## INTRODUZIONE

In questo lavoro ho sviluppato una tematica affrontata già in alcune lezioni frontali e di laboratorio ovvero l'implementazione del modello SWAN (Simulating WAVes Nearshore). Si è deciso di indirizzare il lavoro, più che sull'implementazione effettiva del modello, su tutto quello che concerne la creazione e preparazione dei dati di input da fornire al modello stesso.

Come precedentemente detto, essendo l'implementazione dello SWAN una tematica già chiarita durante il master, questa scelta mi ha dato la possibilità di acquisire uno strumento ulteriore e più specialistico da poter poi utilizzare, si spera, in futuro.

Questo elaborato presenta, nel capitolo I, uno spaccato sui modelli d'onda spettrali, i diversi tipi, limitazioni e caratteristiche generali, con una maggiore attenzione al modello usato nel tirocinio. Nel capitolo II è stato analizzato il litorale salernitano, scelto per l'applicazione del modello, con una dettagliata caratterizzazione delle diverse unità fisiografiche esistenti. Il capitolo III, contiene l'analisi degli eventi meteomarini estremi che hanno interessato il litorale in esame, nei periodi di fine 2008 e inizio 2009.

Il capitolo IV, contiene la descrizione delle operazioni necessarie per poter implementare il modello. In fine sono state inserite le conclusioni, ovvero pareri personali in relazione a questo mio primo approccio alla modellistica costiera.

## METODOLOGIA

Le fasi dello studio sono state:

- **SCELTA DELLA ZONA D'INTERESSE:** ricaduta sulla zona di Salerno in quanto diversi tratti di litorale, sia costa alta che costa bassa sono caratterizzati da erosione a lungo termine. Nei periodi di dicembre 2008, gennaio-marzo 2009, il litorale è stato oggetto di diverse mareggiate che hanno provocato danni ingenti alle opere di difesa e alle costruzioni vicino alla costa.
- **RACCOLTA DE DATI BATIMETRICI:** Batimetria con isobate che vanno dalla profondità 0m(coste) alla -15m con passo di 1m. Scala molto dettagliata ma limitata ad un piccolo tratto di litorale. (Autorità di Bacino Destra Sele).  
Batimetria con scala 1Km per 1Km, risoluzione meno dettagliata, ma copertura di un area con estensione arbitraria. (**GEODAS :GEO**physical **DA**ta System, sistema interattivo di gestione di un database sviluppato dalla National Geophysical Data Center per l'assimilazione, la conservazione e il recupero dei dati geofisici).
- **ELABORAZIONE DATI:** In questo step i file di batimetria passano attraverso diversi software, per essere trasformati in un formato correttamente leggibile dal Delft3D. Quest'ultimo è il software che consentirà la creazione di un grigliato batimetrico da fornire come input allo SWAN.
- **CREAZIONE DI UN GRIGLIATO BATIMETRICO:** Dopo che i file delle batimetrie sono stati correttamente modificati, si può procedere con la creazione del grigliato tramite il Delft3D. Le caratteristiche della griglia sono state scelte in base all'estensione dell'area in esame e al suo orientamento geografico.
- **IMPLEMENTAZIONE DELLO SWAN:** Sono stati effettuati diversi run del modello introducendo come input un vento costante in velocità e direzione.

# CAPITOLO I

## MODELLI D'ONDA SPETTRALI

### 1.1 Introduzione

I modelli spettrali di propagazione del moto ondoso si dividono in prima, seconda e terza generazione. Il concetto chiave nella descrizione delle onde random è la distribuzione spettrale bidimensionale funzione della varianza dell'elevazione superficiale, utile per descrivere dinamicamente e probabilisticamente il campo d'onda locale.

La varianza dell'elevazione superficiale può essere considerata equivalente, a meno di una costante, alla densità di energia d'onda. Energia diviso frequenza intrinseca è chiamata wave action, che è un concetto molto usato perché si conserva in caso di interazione onda-corrente.

Lo spettro di distribuzione funzione della varianza, energia o wave action, è la principale quantità prognostica dei modelli phase-averaged delle onde random. La sua lenta evoluzione nel tempo e nello spazio può essere calcolata sulla base del bilancio di energia. Questo approccio fu introdotto da Gelci et al.(1956, 1957) e continuamente ripreso e sviluppato negli anni successivi.

La singola equazione su cui si basano i modelli in questione è il bilancio di energia.

Nella seconda generazione di modelli è stata data molta più importanza alle interazioni non lineari all'interno del bilancio di energia. Il maggior impedimento all'inserimento del termine non lineare erano i lunghi tempi computazionali per la sua valutazione, problema che si cercò di superare con lo sviluppo di un parametro che approssimasse il termine non lineare. Il parametro di Jonswap era la scelta più comune. Una sub-classe dei modelli di seconda generazione furono i così detti modelli ibridi, in particolare lo SWAMP (Sea Wave Modeling Project) che dimostrò la necessità di superare le limitazioni legate alla parametrizzazione dei termini non lineari all'interno dei modelli.

Il WAM è un modello di terza generazione, risolve le equazioni del trasporto dell'onda in modo esplicito senza alcuna presunzione sulla forma spettrale. I modelli di terza

generazione (come lo SWAN) si basano sulle Discrete Interaction Approximation (DIA) per il calcolo dei termini non lineari. Queste sono ancora un'approssimazione, ma nella loro formulazione risultano molto diverse dal semplice parametro usato nei modelli di seconda generazione.<sup>1</sup>

## **1.2 SWAN : Simulating WAVes Nearshore**

SWAN è un “wave action model” di terza generazione, cioè dinamico e completamente spettrale in frequenza e direzione. Consente di ottenere stime realistiche sulla propagazione delle onde in zone costiere e acqua bassa. Ha un'implementazione fisica ed algoritmi di calcolo numerico sviluppati e studiati appositamente per superare le tradizionali difficoltà incontrate nell'applicazione di un modello d'onda in zone costiere caratterizzate da basse profondità. Il modello SWAN può tenere conto dei seguenti processi: rifrazione dovuta al fondo e ai gradienti di corrente, shoaling dovuto al fondo e ai gradienti di corrente, riflessione dovuta alla corrente. Il modello inoltre considera le seguenti forzanti/processi dissipativi: generazione dovuta al vento, dissipazione dovuta al whitecapping, frangimento, attrito al fondo, ridistribuzione dell'energia sullo spettro dovuta ad interazioni non lineari (interazioni a tre e a quattro onde). La diffrazione e la riflessione non sono modellati da SWAN.

La scelta del codice SWAN risiede nel fatto che il software è disponibile gratuitamente e facilmente reperibile in rete.

In questo tipo di modello una questione importante da affrontare è la scelta dei grigliati (risoluzione, orientamento ecc.). In generale possiamo considerare due tipi di griglie: strutturate e non strutturate. Le griglie strutturate possono essere rettilinee e uniformi oppure curvilinee. Esse sono sempre costituite da quadrilateri in cui il numero di celle che si incontrano in un punto interno alla griglia è di 4. Nelle griglie non strutturate, questo numero può essere arbitrario (in genere tra 4 e 10). Per questo motivo il livello di flessibilità delle griglie non strutturate è di gran lunga superiore a quello delle griglie non strutturate.

Spesso la propagazione delle onde da vento, da acqua profonda a acqua bassa, avviene con scale spaziali molto diverse, per garantire risultati soddisfacenti dall'implementazione del

---

<sup>1</sup> BENASSAI G. Università di Napoli Parthenope (2006) - *Introduction to Coastal Dynamics and Shoreline Protection*. WIT Press Southampton, Boston.

modello, si ricorre al nesting. Questo processo consiste nel calcolare, prima le onde su una griglia spessa per una regione più vasta, e poi su una griglia più fine per una regione più piccola. Il calcolo sulla griglia fine utilizza le condizioni al contorno che sono generate dal calcolo sulla griglia più grossolana. Il nesting può essere ripetuto su scala sempre più ridotta usando lo stesso tipo di coordinate per le griglie fini e grossolane. L'idea del nesting e l'utilizzo di griglie non strutturate consentono, non solo l'adattamento ottimale della risoluzione delle maglie, ma anche la possibilità di generare griglie su geometrie complesse come isole e coste irregolari.<sup>2</sup>

### ***Limitazioni***

Lo SWAN utilizza, come altri modelli di terza generazione tipo WAM e WW3 le DIA che sebbene funzionino in molti casi, rappresentano comunque un' approssimazione dei termini non lineari.

Lo SWAN non calcola le correnti indotte da onde, che eventualmente dovrebbero essere fornite come input.

I fenomeni di diffrazione e riflessione non sono modellati da SWAN.

Lo SWAN è specificatamente designato per applicazioni costiere; su scala oceanica modelli come WAM e WW3 risultano più efficaci.<sup>3</sup>

### ***Scenari interni***

A volte l'input che l'utente fornisce allo SWAN è tale da far produrre al modello risultati inaffidabili e poco realistici. Questo può accadere per esempio se il campo delle batimetrie presenta errori e non è perfettamente risolto. Bisogna essere consapevoli del fatto che la griglia su cui i calcoli vengono effettuati si basa sulle griglie date in input, se ci sono risoluzioni differenti per i vari reticolati si possono creare risultati inaspettati. In tali casi lo SWAN può richiamare alcuni scenari interni anziché interrompere i calcoli, questo per la robustezza che caratterizza il modello.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup>THE SWAN TEAM (2009) – *Swan User Manual*. Delft University of Technology, Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences Environmental Fluid Mechanics Section The Netherlands

<sup>3</sup> THE SWAN TEAM (2009) – *Swan User Manual*. Delft University of Technology, Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences Environmental Fluid Mechanics Section The Netherlands

<sup>4</sup> THE SWAN TEAM (2009) – *Swan User Manual*. Delft University of Technology, Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences Environmental Fluid Mechanics Section The Netherlands



### ***Relazione tra SWAN e WAM, WAVEWACH III e altri***

La filosofia scientifica di base dello SWAN identica a quella dello WAM. Essendo anch'esso un modello di terza generazione utilizza le stesse formulazioni per i termini sorgente. Ci sono comunque delle differenze, in particolare lo SWAN contiene alcune formulazioni aggiuntive rispetto al WAM, per le condizioni di shallow water, ed inoltre le tecniche numeriche sono molto differenti.

Per quanto riguarda le relazioni con il WAVEWACH III bisogna sottolineare che quest'ultimo non solo usa diverse tecniche numeriche ma anche diverse formulazioni per l'input del vento e del fenomeno whitecapping.

Ad ogni modo la somiglianza che c'è tra i tre modelli può essere sfruttata in diversi modi, ad esempio per condividere i risultati scientifici tra un modello e l'altro, oppure effettuare il nesting dello SWAN nel WAM e nel WWIII.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> THE SWAN TEAM (2009) – *Swan User Manual*. Delft University of Technology, Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences Environmental Fluid Mechanics Section The Netherlands

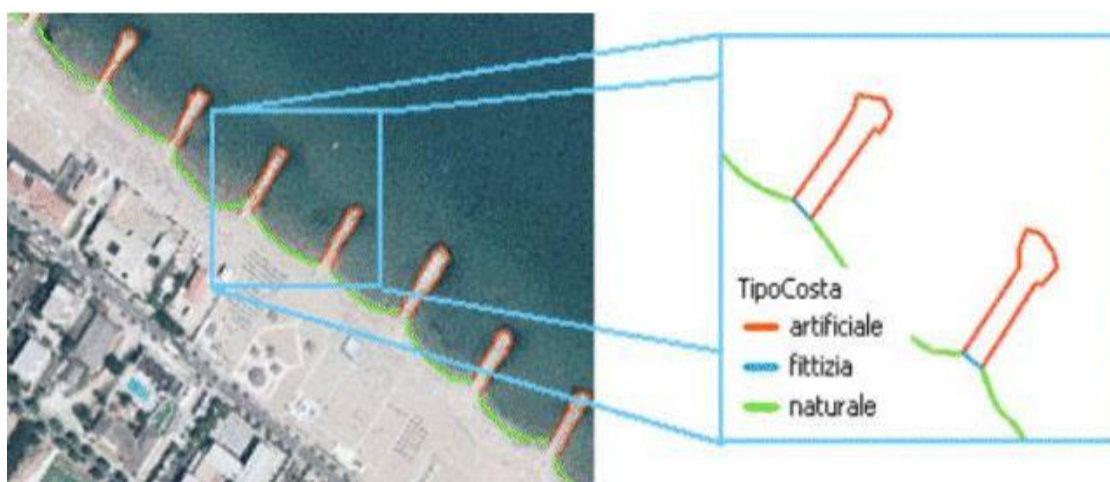
## CAPITOLO II

### CARATTERIZZAZIONE DEL LITORALE SALERNITANO

#### 2.1 Procedura analitica per la valutazione dell'erosione costiera

La procedura analitica per l'identificazione costiera è stata effettuata dall'ISPRA attraverso il progetto SIGC (Sistema Informativo Geografico Costiero).

La linea di costa, intesa come confine ultimo tra terraferma e mare, è stata acquisita con continuità anche in presenza di manufatti (opere di difesa e portuali, moli, ecc.). In corrispondenza delle foci di corsi d'acqua sono state acquisite le sponde per un tratto di 500m verso l'entroterra e la linea di costa è stata raccordata agli estremi delle sponde mediante un tratto fittizio. La linea di costa digitalizzata è stata classificata in: naturale, artificiale, in corrispondenza dei manufatti ed opere marittime, fittizia, in corrispondenza delle foci dei fiumi, per il tratto che raccorda gli estremi delle sponde del corso, e di alcune tipologie di opere marittime e di difesa.<sup>6</sup>



**Figura 2-1 : La linea di costa digitalizzata è stata classificata in: fittizia, naturale, artificiale**

<sup>6</sup> APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste

Per i tratti di costa naturale sono stati individuati i tratti di costa alta e di costa bassa; ove possibile la costa bassa è stata, inoltre, distinta in sabbiosa, ciottolosa e rocciosa. Tutte le opere di difesa dei litorali visibili con le ortofoto, incluse le opere emerse e sommerse non direttamente collegate alla linea di costa, sono state digitalizzate e catalogate per tipologia. L'analisi delle modifiche della linea di costa è stata effettuata mediante un confronto tra la linea di costa di riferimento (estratta dalla cartografia IGM in scala 1:25000) e la linea di costa digitalizzata (estratta dalle ortofoto digitali a colori IT2000, risoluzione spaziale di 1m) a meno di tutti i manufatti e corsi d'acqua, che sono stati sostituiti con i relativi tratti fittizi. Il confronto tra le due linee di costa è stato escluso anche in corrispondenza dei tratti di costa per cui sono state evidenziate delle incongruenze middleografiche e per le zone a copertura militare o industriale. Il risultato del confronto ha consentito la suddivisione della linea di costa digitalizzata dalle ortofoto in più tratti contigui classificati per variazione (avanzamento, erosione, stabilità) rispetto alla linea di costa IGM di riferimento e una corrispondente valutazione complessiva delle modifiche spaziali e nel tempo dei litorali italiani.<sup>7</sup>



**Figura 2-2 : Confronto linea di costa**

<sup>7</sup>APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste.

Per l'analisi delle variazioni della linea di riva sono state generate due fasce di interesse (buffer) ampie 5 e 30m e sub-parallele alla linea di costa di riferimento ricavata dai mosaici IGM. La fascia dei 5 m contiene la linea di riferimento IGM e gli eventuali errori di graficismo. La fascia dei 30 m, determinata sperimentalmente, contiene gli errori di coregistrazione delle due linee, derivanti dalle operazioni di scansione delle carte IGM, di mosaicatura e georeferenziazione. I tratti di costa digitalizzati dalle ortofoto, per sovrapposizione e analisi spaziali, sono stati identificati come modificati (avanzati/arretrati) solo se comprendevano almeno un punto avente distanza dalla linea di costa di riferimento uguale o superiore a 30m, mentre tutti gli altri tratti sono stati definiti stabili.<sup>8</sup>

## **2.2 Descrizione unità fisiografiche**

La fascia costiera della provincia di Salerno comprende l'omonimo golfo (partendo dal comune di Positano) esteso per circa 100 km tra Punta Campanella e Punta Licosa (a Sud di Agropoli), è compreso tra le direttrici 190° N - 280° N, con un fetch massimo di 304 m.n. (direttrice 230° N). In esso possono essere distinte due grandi sub-unità, una caratterizzata da coste alte incise nei depositi carbonatici dei Monti Lattari (costiera Amalfitana), ricca di suggestive insenature lungo le quali sono presenti piccole spiagge ghiaiose - ciottolose (pocket beaches), l'altra caratterizzata da coste basse e sabbiose alimentate dal Fiume Sele e dai corsi d'acqua minori del Picentino, Tusciano e Solofrone. Procedendo verso sud si estende, per circa 97km, la costa cilentana prevalentemente alta e rocciosa. Il settore di traversia principale è delimitato dalle direttrici 130° N (Punta Licosa) e 310° N (Capo Palinuro). Il fetch massimo corrisponde alla DD 230° N ed è pari a circa 530 m.n.. Le onde più frequenti provengono dal settore 240° N – 270°N determinando al frangimento una componente lungo riva con direzione e verso da NW a SE.

Infine il golfo di Policastro con andamento semicircolare dello sviluppo di circa 32 km, limitato dalle direttrici 150° N (Monti di Sapri) e 210° N (Punta degli Infreschi); il fetch massimo è pari a 560 m.n. (250° N), le onde a maggiore frequenza e contenuto energetico provengono dalle direttrici 210° N - 240° N le quali incidendo obliquamente generano al frangimento componenti longitudinali del flusso di massa da W verso E.

---

<sup>8</sup>APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste.

## 2.3 Analisi statistica dell'erosione costiera per la provincia di Salerno

### Provincia: Salerno Coste 222 Km

Tipo costa	Descrizione	Litologia	Lunghezza		Opere		
			[m]	[%]	N°	[%] N°	[%] Dim.
<b>Totale</b>			<b>222.021</b>	<b>100,0</b>			
<b>Naturale</b>			208.306	93,8			
	Alta		92.062	44,2			
	Bassa		116.244	55,8			
		Sabbiosa	104.383	89,8			
		Ciottolosa	0	0,0			
		Rocciosa	11.298	9,7			
		Non definito	563	0,5			
<b>Artificiale</b>			5.746	2,6	168	100,0	100,0
	Radente a gettata		4.866	84,7	32	19,0	46,6
	Radente a muro		492	8,6	6	3,6	4,7
	Scogliere emerse con varchi				44	26,2	36,4
	Scogliere emerse senza varchi				4	2,4	2,9
	Scogliere sommerse con varchi				0	0,0	0,0
	Scogliere sommerse senza varchi				0	0,0	0,0
	Pennelli obliqui emersi				6	3,6	2,8
	Pennelli obliqui sommersi				0	0,0	0,0
	Pennelli ortogonali emersi				8	4,8	3,7
	Pennelli ortogonali sommersi				0	0,0	0,0
	Pennelli a T emersi				0	0,0	0,0
	Pennelli a T sommersi				0	0,0	0,0
	Pennelli a Y emersi				0	0,0	0,0
	Isolotti				8	4,8	2,9
	Opere miste		0	0,0	6	3,6	
	Foci armate				2	1,2	
	Opere portuali				21	12,5	
	Altro (Ildi, pontili, ecc.)		388	6,8	31	18,5	
<b>Fittizia</b>			7.969	3,6			
	Collegamento porto		5.912	74,2			
	Collegamento opera		1.565	19,6			
	Collegamento foce del fiume		492	6,2			

**Analisi estesa a tutte le coste**

	Lunghezza	
	[m]	[%]
Coste	222.021	100,0
Stabili	160.982	72,5
Modificate	54.635	24,6
Non definito*	6.403	2,9
Coste modificate	54.635	24,6
Arretramento	41.387	18,6
Avanzamento	13.248	6,0

**Analisi estesa alle coste basse**

	Lunghezza	
	[m]	[%]
Coste	116.244	100,0
Stabili	65.425	56,3
Modificate	50.818	43,7
Non definito*	0	0,0
Coste modificate	50.818	43,7
Arretramento	39.601	34,1
Avanzamento	11.217	9,6

Tabella 2-1: Analisi statistica della costa salernitana.  
APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste

La costa alta rappresenta il 44% del totale, la restante parte, 56%, è prevalentemente bassa e sabbiosa. In ambito marittimo sono state censite 168 opere di difesa: 44 scogliere emerse,

32 radenti e 14 pennelli. L'analisi estesa alle coste basse ci mostra che il 56% si mantiene stabile naturalmente o per intervento dell'uomo, il 34% purtroppo è ancora in erosione.

Tre sono i tratti di litorale maggiormente colpiti dal fenomeno erosivo nella provincia di Salerno: il primo, che si sviluppa dalla periferia urbana della città in corrispondenza della foce del Fiume Irno, tra le località Pastena, Torrione, Mercatello e S. Leonardo, con esigue spiagge e con un'urbanizzazione molto spinta; il secondo, che raggiunge poi, verso Sud, l'ala destra del Fiume Sele, con in parte ancora intatti i caratteri naturali della fascia costiera grazie ad un minore carico antropico. Il terzo, invece, è situato all'interno del Golfo di Policastro, comprende il litorale sotteso dal complesso di foce del Fiume Bussento, da Torre Oliva a Marina di Capitello, per una estensione di circa 5km. Le spiagge del primo tratto (da Salerno alla foce del Fiume Picentino) sono di tipo sabbioso, talvolta ghiaioso. Nel passato la principale fonte di alimentazione era rappresentata dagli apporti detritici dei Fiume Irno e Picentino i cui bacini imbriferi sono impostati su depositi carbonatici e terrigeni, mentre, in misura modesta, contribuiva all'alimentazione degli arenili anche una fitta serie di impluvi che incidono i versanti carbonatici dei Monti di Pastena. Numerose opere di sistemazione idraulico-forestale, hanno fortemente ridotto il contributo solido alla foce dei due fiumi. A ciò va aggiunto anche un'ininterrotta serie di abitazioni e/o di strutture che occupano la fascia costiera bloccando il naturale e vitale collegamento tra l'entroterra e la costa. La spiaggia ha un'ampiezza variabile tra 10 m e 40 m. L'arenile si presenta con un'elevata acclività e le granulometria dei sedimenti lungo la battigia ricadono nelle classi più grossolane anche sotto forma di cuspidi ghiaiose e ciottolose (beach cusps). In quest'area i fenomeni erosivi hanno portato, in conseguenza di una spiccata diminuzione dell'ampiezza originaria della spiaggia, alcune strutture residenziali e/o turistiche quasi a contatto diretto con il mare; sovente in concomitanza con le mareggiate più violente la strada provinciale SP 175° in alcuni punti è lambita direttamente dalle acque marine. Il susseguirsi lungo l'arenile di una serie di foci fluviali segna il secondo tratto in studio; procedendo verso Sud si incontra, infatti, la foce del Torrente Asa che si imposta su una spiaggia a forte pendenza dove le granulometria più abbondanti sono quelle grossolane. Ancora sedimenti grossolani si rinvencono in corrispondenza della foce del Fiume Tusciano distribuiti sulle ali di foce formando accumuli con forte pendenza. Procedendo dalla sponda sinistra della foce del Fiume Tusciano, verso la zona Lido Lago progressivamente l'ampiezza della spiaggia aumenta e quest'ultima diviene di tipo sabbioso; la maggiore ampiezza dell'arenile permette l'insediamento di numerosi stabilimenti balneari. Il terzo tratto (sub-unità del Bussento)

presenta spiagge ghiaioso - sabbiose, ampie qualche decina di metri, rifornite di materiali clastici oltre che dal Fiume Bussento e dal suo affluente principale, il Torrente Sciarapotamo, anche dai piccoli corsi d'acqua provenienti dai rilievi collinari terrigeni di Tempa S. Martino (q 218 m), S. Cristoforo (q 217 m) e S. Caterina (q 389 m) che bordano il tratto costiero.<sup>9</sup>

### ***Litorale della foce del Fiume Irno***

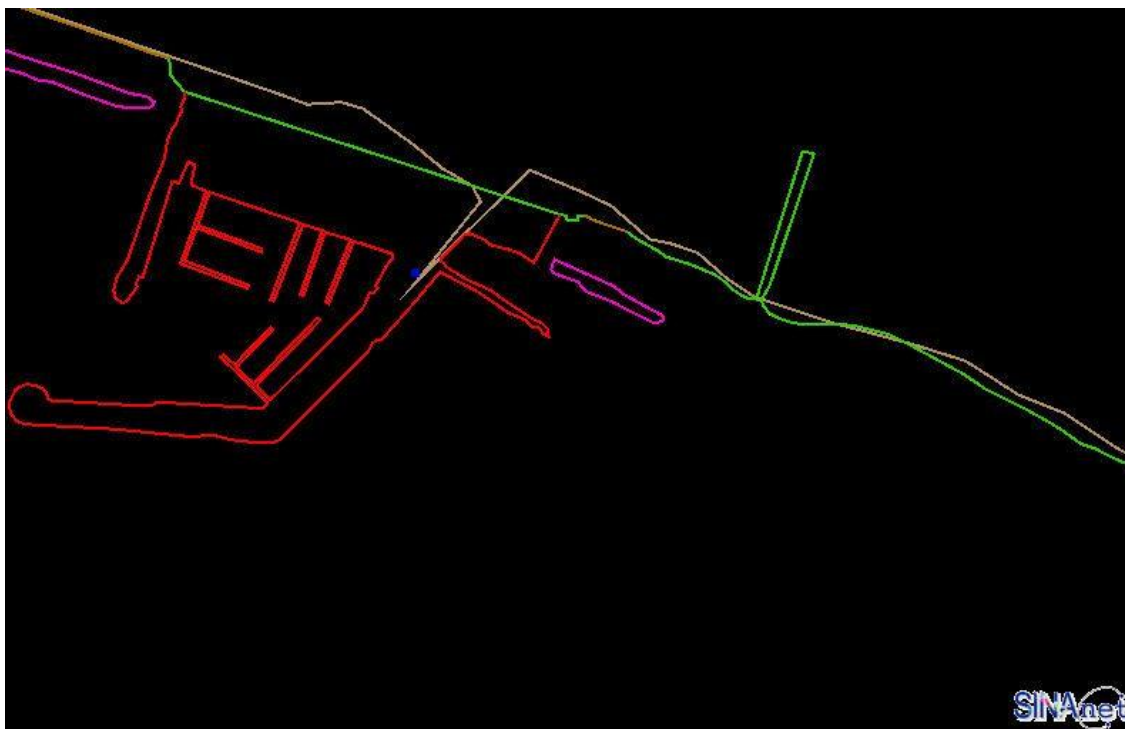
Dal confronto tra l'aerofoto del 1984, l'aerofoto del 1995 e l'ortofoto del 1998 si evince la condizione di degrado della costa ed il notevole tasso di arretramento della linea di spiaggia. Infatti nel periodo dal 1984 al 1995 la foce risulta arretrata di circa 30m, successivamente nel periodo dal 1995 al 1998 la linea di costa risulta in condizioni di relativa stabilità. La linea di battigia in destra idrografica della foce è arretrata di circa 20m dal 1984 al 1995 (tasso di circa 2.0m/anno); quella in sinistra idrografica è arretrata mediamente di circa 10m nello stesso periodo, per un'estensione longitudinale di 600m a partire dalla foce, successivamente dal 1995 al 1998 il tasso di erosione è diminuito, e si è conseguita una relativa stabilità del litorale. Non si notano particolari scompensi di flusso detritico longitudinale a causa della presenza del porto; tale circostanza, unitamente alla presenza di tomboli

pressoché simmetrici a tergo di scogliere parallele poste sul medesimo litorale, suggerisce un trasporto di sedimenti soprattutto di tipo trasversale alla linea di costa. Dal confronto 1954 – 2000 la foce risulta sostanzialmente stabile mentre la linea di riva sia in destra che in sinistra idrografica è avanzata di circa 10m.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup>APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste.

<sup>10</sup>BENASSAI G. Università di Napoli Parthenope (2009) – Analisi dell'erosione costiera in Italia ed in Campania. La gestione del paesaggio marino nelle politiche di sviluppo del territorio Villa Campolieto –Ercolano 29/05/2009.



**Figura 2-3 : Foce Irno, confronto linea di costa 1954 (in marrone) e 2000 (in verde)**  
**APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste.**

### ***Litorale Mercatello – Torrente Asa***

Presenta spiagge di tipo sabbioso, talvolta ghiaioso con ampiezza variabile tra 10m e 40m. Nel corso degli ultimi anni sono state realizzate sporadicamente numerose opere di difesa; si tratta prevalentemente di piccole barriere distaccate o aderenti poste a protezione di importanti infrastrutture. Nel semestre invernale posso verificarsi violente mareggiate data la particolare esposizioni alle ondate da WSW, con ingenti danni per la sede stradale, spesso invasa dall'acqua, e per i numerosi stabilimenti balneari. Dal confronto 1954 -2000 si nota che gran parte del litorale è in arretramento di circa 20m, con incremento notevole nei pressi della foce del FIUME Picentino dove si possono raggiungere anche i 50m. Procedendo verso il Torrente Asa la situazione peggiora: tra il 1954 e il 2000 persi almeno 40m di spiaggia.<sup>11</sup>

<sup>11</sup>APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste.





**Figura 2-4 : Foce Picentino, confronto linea di costa 1954 e 2000.**  
**APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste**

### ***Litorale della foce del Fiume Tusciano***

L'analisi storiografica della linea di costa effettuata con riferimento alle foto aeree del 1984, del 1995 e del 1998, mostra che il litorale in destra idrografica del Fiume Tusciano risulta in avanzamento sia dal confronto tra la cartografia 1975 e l'aerofoto 1984, sia dal confronto tra quest'ultima e l'aerofoto 1995; dal confronto tra quest'ultima e l'ortofoto 1998 si nota una relativa stabilità. Anche il litorale in sinistra idrografica risulta in relativa stabilità, dal momento che si nota un avanzamento della spiaggia dal confronto tra la linea di battigia del 1984 e quella del 1995, ed un arretramento dal confronto tra l'aerofoto 1995 e l'ortofoto 1998. L'analisi effettuata prendendo in considerazione la linea di riva IGM del 1954 e l'ortofoto IT2000 mostra, invece, una forte erosione sia in destra idrografica (50-60m), sia in sinistra idrografica del Fiume Tusciano (20-30m).<sup>12</sup>

<sup>12</sup>APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste.



**Figura 2-5: Foce Tusciano, confronto linea di costa 1954 e 2000.**  
**APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste**

### ***Litorale Canale Acque Alte Lignara - Torrente Fiumarello***

Analizziamo adesso il tratto di litorale compreso tra lo sbocco del Canale Acque Alte Lignara (nel comune di Eboli – SA) e la foce del Torrente Fiumarello (nel comune di Capaccio – SA). L'ampiezza della spiaggia emersa varia da 10 a 70 m, con cordone dunare in lunghi tratti antropizzato dagli stabilimenti balneari. La pineta litoranea, ampia circa 300 m, limita verso terra la linea di costa. La perdita areale di spiaggia emersa, tra il 1943 e il 1994, era diffusa su quasi tutta la costa, mentre nel decennio 1994-2004 ha interessato un tratto di soli 8 km, compreso tra la località Chiariello (Eboli) e Villaggio Merola (Capaccio). Qui le riduzioni areali della spiaggia emersa sono apparse ancora elevate e gli arretramenti sono risultati molto spinti. Nelle restanti località la dinamica della linea di riva durante il decennio 1994-2004 ha riequilibrato il litorale, recuperando l'arretramento riscontrato a partire dal 1943 e, in limitati tratti, progradando di alcuni metri. Si è potuto notare, inoltre, che, nel periodo 1943-1994, per l'intera costa indagata la diminuzione areale della spiaggia emersa era pari a poco più di 1 ettaro ogni 10 anni, mentre nel decennio 1994-2004 la perdita areale di superficie si è ridotta di dieci volte. Nel confronto tra la linea di riva IGM 1954 e l'ortofoto IT2000 si nota che l'intero tratto tra il Canale



Acque Alte Lignara e Villaggio Merola risulta in arretramento con situazione critica proprio tra le località Chiariello e Villaggio Merola, il picco massimo di erosione, circa 200m, si raggiunge proprio in prossimità della foce del Fiume Sele. Da Villaggio Merola al Torrente Fiumarello, invece, la costa risulta pressoché stabile, d'altronde l'utilizzo di una scala temporale più ampia tiene conto dei miglioramenti riscontrati tra il 1994 e il 2000 che hanno in buona parte compensato la forte erosione degli anni '50.

In passato i forti processi di erosione dovuti alle mareggiate sono stati sempre bilanciati da un rilevante apporto solido, proveniente da un bacino idrografico che, per estensione territoriale, è il più importante bacino di alimentazione di sedimenti del Golfo di Salerno.<sup>13</sup>



**Figura 2-6: Foce Sele, confronto linea di costa 1954 e 2000.**  
**APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste**

Tuttavia, da ormai più di un secolo tale bacino è interessato da cospicue derivazioni d'acqua, che hanno causato una progressiva riduzione della capacità di trasporto solido a mare da parte del reticolo idrografico. Occorre aggiungere che la presenza di alcuni importanti sbarramenti fluviali (traversa fluviale sul Sele a Serre e traversa fluviale sul Tanagro a Polla) ha ulteriormente ridotto l'apporto naturale a mare dei sedimenti. Nel complesso la perdita areale di litorale sabbioso è rallentata di dieci volte negli ultimi anni,

<sup>13</sup> APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste.

probabilmente perché dagli anni '80 non vengono realizzati ulteriori interventi di cementificazione nel bacino del Sele.

### ***Litorale Casal Velino***

Il litorale appartenente al Comune di Casal Velino è posto sulla costa tirrenica, e si estende per circa 6.5 km tra il paese di Pioppi (confine con il comune di Pollica) e la foce del Fiume Alento (confine con il comune di Ascea). Dal porto di Casal Velino a Torre la Punta (circa 3km) la costa si presenta bassa e sabbiosa, costituita da sabbie medio - fini ed in prossimità della battigia da ghiaie e sabbie mediogrossolane. I cordoni dunari risultano stabilizzati, con altezza media di 1 m. Le dune sono costituite da sabbie con stratificazione incrociata e coperte da vegetazione bassa, tipica di questo ambiente. La spiaggia sommersa ha una pendenza variabile tra 2:100 e 4:100.

Il tratto di Marina di Casal Velino è caratterizzato dalla presenza di diversi interventi antropici, innanzitutto il porto di Casal Velino, di tipologia a bacino, costituito da un molo sopraflutto (principale) radicato a riva a protezione del “bacino”, realizzato con massi a gettata con coronamento in calcestruzzo armato, e da un molo sottoflutto (secondario), costituito da un terrapieno protetto da una scogliera in massi naturali. Proprio al ridosso del porto si incontra una successione di nove scogliere frangiflutti, emerse, in massi naturali, poste in opera a protezione del litorale sabbioso per cercare di contenere gli effetti erosivi indotti dal trasporto solido longitudinale. Proseguendo verso la foce del Fiume Alento si incontrano diverse difese radenti realizzate a protezione di edifici oramai interessati dall'azione diretta del moto ondoso. L'area in esame è soggetta, già dalla fine del secolo scorso, ad una tendenza di tipo recessivo che si protrae fino ai nostri giorni, imputabile ad una intensa attività umana nel bacino idrografico del Fiume Alento e lungo la fascia costiera. In particolare risultano prelevati 2 milioni di m<sup>3</sup> di inerti in alveo dal 1970 al 1980 (dati ufficiali), per realizzare sull'intero bacino 6 dighe, prevalentemente in terra, la più grande delle quali, la diga di Piano della Rocca, presenta una capacità di invaso di 34 milioni di m<sup>3</sup> e sottende un bacino di 102 km<sup>2</sup>.

Dal confronto tra le linee di riva del 1954 e del 2000 si riscontra ad est del porto, in corrispondenza delle barriere frangiflutti, una debole propensione all'avanzamento, dovuta alla capacità di “catturare” le sabbie da parte delle scogliere con la conseguente formazione di salienti a tergo delle stesse. Fuori dalla zona di influenza delle opere di difesa si rileva

una netta tendenza erosiva che raggiunge l' apice proprio in prossimità della foce del Fiume Alento con arretramento di circa 60m di spiaggia.<sup>14</sup>



**Figura 2-7: Litorale Casal Velino, confronto linea di costa 1954 e 2000.**  
APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste

### ***Spiaggia di Cala del Cefalo (Marina di Camerota)***

Impostata sul complesso di foce del F. Mingardo, caratterizzata da sabbie mediofini che lungo la linea di riva cedono il posto a ghiaie e sabbie medio - grossolane. Tra il 1871 e il 1950 un primo arretramento della spiaggia legato a fattori naturali che hanno comportato una riduzione dell'apporto solido a mare.

Negli anni '50 come testimonia la cartografia IGM la terraferma nella foce del Mingardo arrivava ad un piccolo scoglio a mare e le due rive erano coperte da un bosco di ontani. Con la costruzione della strada Palinuro - Marina di Camerota e della Mingardina è iniziata la grande stagione delle ruspe, che hanno prelevato migliaia di metri cubi di ghiaia e sabbia dal letto del fiume Mingardo e dal canale artificiale creato alla sua foce. Inoltre l'amministrazione locale ha rilasciato decine di concessioni per stabilimenti balneari che hanno ulteriormente lisciato e arato le spiagge danneggiando la flora dunale e favorendo

---

<sup>14</sup>APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste.



l'asporto della sabbia da parte del mare. In particolare nell'area di scoglio Mingardo, dove si è andata configurando una profonda falcatura d'erosione, si determina tra il 1989 ed il 1995 la progressiva scomparsa del tombolo che lo univa alla terraferma, cosicché lo scoglio stesso si viene a trovare completamente circondato dall'acqua. Dal confronto tra la linea di riva 1954 e 2000 si evince che la spiaggia ha subito un arretramento complessivo pari a circa 130m.<sup>15</sup>



**Figura 2-8: Spiaggia Cala del Cefalo: confronto linea di costa 1954 e 2000.**  
APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste

### ***Subunità del Bussento***

La subunità del Bussento ha risentito notevolmente delle ripetute migrazioni subite negli ultimi secoli dalla porzione terminale dell'asta fluviale in senso orario da E verso W. Lo spostamento dell'asse fluviale è particolarmente evidente nel periodo di tempo compreso tra il 1871/73 ed il 1908, verosimilmente a causa del taglio naturale del meandro che si era configurato: la foce si sposta di oltre 1 Km favorendo una notevole progradazione della piana costiera con valori di 250÷400 m. Tra il 1908 ed il 1954 si evidenzia una ulteriore migrazione dell'asse verso ovest (circa 100 m) cui si associa però un forte arretramento

<sup>15</sup>APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste.

delle ali, fino a 100 m in destra e 200 m in sinistra. Tra il 1956 ed il 1974-78 in sinistra foce si verifica un arretramento di 2,6 m per anno mentre in destra, ad una prima fase di avanzamento (3m per anno) fa seguito tra il 1974 ed il 1978 una netta tendenza all'arretramento. Il materiale eroso in questo periodo va ad alimentare le spiagge di Policastro e di Capitello favorendone l'accrescimento (2 m per anno). A partire dal 1978 si osserva una radicale modificazione della subunità a seguito della realizzazione del Porto di Marina di Policastro. Dall'analisi 1954-2000 effettuata con il SIGC si osserva che il molo sopraflutto del porto agisce da vero e proprio pennello intercettatore per i sedimenti provenienti dall'area di Foce Bussento; si è così determinato un notevole avanzamento della spiaggia sopraflutto (circa 70m ), e un rapido arretramento della spiaggia sottoflutto, dove sono state realizzate una serie di opere di difesa a diversa tipologia: scogliere aderenti, pennelli e barriere distaccate di modeste dimensioni che hanno determinato soltanto un'ulteriore variazione del regime idrodinamico, favorendo la progressiva erosione della spiaggia fino a Marina di Capitello. Il confronto 1995-2002 evidenzia, invece, per l'area di sopraflutto del Porto di Policastro un avanzamento della linea di riva compreso tra 10 e 30 m, con un valore medio di 3 m/anno, mentre per l'area di sottoflutto, più specificamente per il tratto compreso tra il Cimitero e Marina di Capitello in territorio comunale di Ispani, si rilevano valori di arretramento elevati con picchi di -27÷-31m in corrispondenza del Cimitero (oltre 4 m/anno). E' interessante notare che a fronte di un incremento di superficie di spiaggia pari a circa 30.000m<sup>2</sup> calcolato per l'area di sopraflutto nel periodo 1954/2002, si riscontra nell'area di sottoflutto un decremento pari a circa 185.000m<sup>2</sup>, in particolare per l'area compresa tra il Cimitero di Ispani e Marina di Capitello si riscontra un decremento di superficie di circa 26.000m<sup>2</sup> nel periodo 1995/2002.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup>BENASSAI G. Università di Napoli Parthenope (2009) – Analisi dell'erosione costiera in Italia ed in Campania. La gestione del paesaggio marino nelle politiche di sviluppo del territorio Villa Campolieto –Ercolano 29/05/2009.



**Figura 2-9: Foce Bussento e porto di Policastro: confronto linea di costa 1954 e 2000.**  
**APAT- Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine Servizio Difesa delle Coste**

## **2.4 Aggiornamento dell'erosione costiera nei siti critici con ortofoto 2000 – 2006**

In questo paragrafo saranno illustrati i risultati del relativo confronto tra le linee di riva 2000 e 2006 precedentemente digitalizzate. L'analisi interesserà i tratti di litorale che nell'arco temporale 1954-2000 hanno manifestato il maggior arretramento o avanzamento. Valuteremo gli effetti delle opere di difesa costruite a ridosso degli anni duemila, quantificando, ove presente, l'avanzamento prodotto e l'area interessata da eventuali tomboli.

### ***Litorale Casal Velino***

Il porto artificiale di Marina di Casal Velino è protetto da un molo di sopraflutto a tre bracci e da un molo di sottoflutto a gomito con testata a forma triangolare. Entrambi modificano sensibilmente la dinamica costiera bloccando il naturale trasporto di sedimenti da NW verso SE, per tale motivo nella zona di sottoflutto è stato realizzato un sistema di nove barriere emergenti con varchi per proteggere la costa dall'azione erosiva del moto ondoso. Poiché la costruzione dell'opera viene solitamente effettuata ad una certa distanza



dalla linea di costa, la principale funzione di protezione si esplica nei confronti delle onde più alte, che sono quelle con maggiore capacità erosiva, determinandone una notevole perdita di energia. Un sistema di barriere può catturare anche materiali: la capacità erosiva delle onde muove i sedimenti lungo i varchi, e successivamente ne favorisce la deposizione nella zona d'ombra, contribuendo alla formazione del tombolo. E' da notare che se i varchi sono troppo larghi le cuspidi si formano con difficoltà, mentre se sono troppo stretti possono aversi problemi di ricambio delle acque. La configurazione, la spaziatura regolare e la distanza dalla costa consentono alle barriere emergenti di controllare l'erosione mediante la creazione di zone concave nei tratti di costa tra un frangiflutti e l'altro, e la formazione di cuspidi (tomboli), nei settori a tergo delle strutture, originando un profilo della linea di riva meno naturale ma più stabile nei confronti del moto ondoso. L'aggiornamento con la linea di riva del 2006 mostra l'efficacia delle opere di difesa, evidenziando sia la formazione del piccolo tombolo non presente nell'ortofoto 2000, sia l'avanzamento di circa 10m (valore medio) della spiaggia protetta.<sup>17</sup>

### ***Spiaggia Cala del Cefalo, Marina di Camerota***

Per contrastare il forte arretramento degli ultimi cinquanta anni, sono state realizzate quattro opere di difesa, sicuramente successiva al 1998 perché non visibili dalle riprese aeree "Italia 2000". Si tratta di due barriere sommerse adiacenti lo scoglio del Mingardo disposte obliquamente alla linea di riva, un pennello sommerso lungo circa 50m, perpendicolare alla spiaggia con lo scopo di rallentare il trasporto litoraneo e diminuire la pendenza della spiaggia sommersa, e un'ultima barriera sommersa più distante dalle altre posizionata parallelamente al litorale per contrastare l'azione erosiva delle onde. Dal confronto 2000/06 la linea di riva in sinistra idrografica della foce del Mingardo risulta ancora in arretramento di circa 10m (valore medio), purtroppo le opere realizzate sono ancora recenti e non è possibile visualizzare gli effetti. Procedendo verso sud-est, per un tratto di circa 2km, si nota che la costa è arretrata di circa 25m rispetto al 2000. Sarebbe interessante condurre un'analisi più approfondita sulla dinamica costiera per posizionare eventuali opere di difesa in grado di bloccare tale tendenza.<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> BENASSAI G. Università di Napoli Parthenope (2009) – Analisi dell'erosione costiera in Italia ed in Campania. La gestione del paesaggio marino nelle politiche di sviluppo del territorio Villa Campolieto –Ercolano 29/05/2009.

<sup>18</sup> BENASSAI G. Università di Napoli Parthenope (2009) – Analisi dell'erosione costiera in Italia ed in Campania. La gestione del paesaggio marino nelle politiche di sviluppo del territorio

### ***Litorale Marina di Policastro e Marina di Capitello***

Dall'aggiornamento 2006 si nota il forte arretramento che continua ad interessare la foce del Bussento, con picchi superiori ai 40m, conseguenza dei numerosi sbarramenti subiti dal fiume. La situazione cambia radicalmente avvicinandosi al porto di Marina di Policastro, il molo sopraflutto svolge le stesse funzioni di un pennello bloccando il naturale afflusso di sedimenti, con conseguente avanzamento della linea di riva quantificato in circa 25m (valore medio). Nell'area sottoflutto un sistema di quattro pennelli emersi unito alla presenza di diverse opere aderenti ha stabilizzato il litorale fino al confine con Marina di Capitello (comune di Ispani). Le due barriere aderenti proteggono la costa dalle forti mareggiate del periodo invernale, evitando l'ulteriore erosione legata al trasporto solido trasversale causato principalmente dalle correnti di ritorno e alle asimmetrie del campo di moto ondoso. Il campo di pennelli, invece, trattiene i sedimenti del predominate trasporto trasversale, prodotto dalla corrente litoranea generata dal frangimento delle onde. Successivamente riprende la forte erosione costiera nonostante la presenza di diverse opere aderenti costruite con l'obiettivo di dissipare l'energia del moto ondoso. Proprio al confine tra le frazioni di Policastro e Capitello, la situazione più critica con la linea di riva che in soli 7 anni è arretrata di circa 30m (valore medio).<sup>19</sup>

## CAPITOLO III

### **ANALISI DEGLI EVENTI METEOMARINI CHE HANNO INTERESSATO IL LITORALE CAMPANO NEL PERIODO: FINE ANNO 2008 E INIZIO ANNO 2009**

#### **3.1 Analisi meteomarina degli eventi tra il 01/11/2008 ed il 31/12/2008**

Le mareggiate che hanno interessato il litorale della Campania nei mesi di novembre e dicembre 2008 possono essere distinte nei seguenti eventi:

mareggiata 04 ÷ 05/11/08

mareggiata 21 ÷ 23/11/08

mareggiata 24 ÷ 25/11/08

mareggiata 28 ÷ 29/11/08

mareggiata 10 ÷ 12/12/08

mareggiata 14 ÷ 16/12/08

La mareggiata 04 ÷ 05/11/08 è stata caratterizzata da stati di mare provenienti da Sud (Scirocco) con  $2.0 < H_s \leq 3.5$  m. La durata dell'evento è stata di circa 15 ore.

La mareggiata 21 ÷ 23/11/08 è stata caratterizzata da stati di mare provenienti da Nord-Ovest, con  $H_s$  fino a 5.0-5.50 m. La durata dell'evento è stata di circa 36 ore.

La mareggiata 24 ÷ 25/11/08 è stata caratterizzata da stati di mare provenienti da Sud-Ovest, con  $H_s$  fino a 3.50 m. La durata dell'evento è stata di circa 21 ore.

La mareggiata 28 ÷ 29/11/08 è stata caratterizzata da stati di mare provenienti da Sud (Scirocco) con  $H_s$  fino a 5.50 m, successivamente gli stati di mare hanno cambiato direzione di provenienza (Sud-Ovest / Libeccio) con  $H_s$  fino a 5.0 m. La durata dell'evento è stata di circa 30 ore.

La mareggiata 10 ÷ 13/12/08 è stata caratterizzata da stati di mare provenienti da Sud (Scirocco), con  $H_s$  fino a 3.50 m, successivamente gli stati di mare hanno cambiato direzione di provenienza (Sud-Ovest / Libeccio) con  $H_s$  fino a 3.5 m. La durata dell'evento

è stata di circa 69 ore. La mareggiata 14 ÷ 16/12/08 è stata caratterizzata da stati di mare provenienti da Sud (Scirocco), con Hs fino a 3.50 m. La durata dell'evento è stata di circa 36 ore.

### **3.2 Analisi meteorologica degli eventi tra 01/01/2009 ed il 10/03/2009**

In tale periodo, la regione Campania ha continuato ad essere interessata da fenomeni meteorologici abbastanza persistenti, in questo caso caratterizzati da precipitazioni anche estremamente abbondanti. In particolare nei giorni dal 1 al 3 gennaio 2009 la Campania è stata interessata da una perturbazione di origine atlantica, che inizialmente si è portata sull'Italia Settentrionale per poi interessare anche il resto della penisola. Nel giorno di giovedì 1 gennaio 2009 il minimo di tale struttura si è spostato sull'Adriatico Centrale, favorendo l'instaurarsi di un flusso di correnti umide ed instabili con associate precipitazioni sparse, localmente anche di forte intensità. Nel successivo giorno di venerdì 2 gennaio 2009 l'approfondimento di una nuova struttura depressionaria proveniente dall'Europa nord-orientale, ha determinato condizioni meteorologiche perturbate sulle regioni centro-meridionali, con precipitazioni diffuse e persistenti sulla Campania, a prevalente carattere di rovescio.

Sulla regione si sono abbattuti quantitativi di pioggia che nel periodo compreso tra l'1 ed il 4 gennaio hanno superato i 200 mm in 72 ore, assumendo caratteristiche di temporale forte con intensità fino ed oltre i 30mm/h. Dopo una breve pausa dall'evento precedente, dal pomeriggio del 20 gennaio è ripresa una nuova importante fase avversa caratterizzata dal succedersi di diversi impulsi perturbati, di cui il più rilevante si è manifestato nei giorni 24 e 25 gennaio. I flussi umidi ed instabili provenienti prevalentemente dai quadranti meridionali, hanno determinato fenomeni temporaleschi su tutta la Campania, mantenendo tale situazione praticamente invariata fino alla giornata di venerdì 23 gennaio 2009 e favorendo precipitazioni di tipo soprattutto impulsivo. Quindi, dopo una nuova breve tregua, nel pomeriggio di sabato 24 gennaio, lo scenario meteorologico è cambiato radicalmente, quando, una perturbazione atlantica ha determinato precipitazioni, sempre temporalesche, ma ancor più intense e più frequenti fino alla giornata di lunedì 26 gennaio 2009. La distribuzione delle precipitazioni registrate dagli strumenti al suolo ha visto

maggiormente interessata la provincia di Napoli in generale e la zona costiera di Napoli in particolare.

### **3.3 Analisi meteo marina degli eventi tra il 01/01/2009 ed il 10/03/2009**

Le precipitazioni descritte sono state accompagnate da venti di burrasca con raffiche in diversi punti. La severa ventosità è stata conseguentemente accompagnata da condizioni di mare agitato o molto agitato che, soprattutto su ampi tratti della costa campana, ha provocato l'intrusione delle forti mareggiate anche in aree antropizzate. Le mareggiate hanno colpito duramente tutta la fascia costiera della Campania, con notevoli danni documentati alla provincia di Salerno.

Le mareggiate che hanno interessato il litorale della Campania nei mesi di gennaio, febbraio e marzo 2009 possono essere distinte nei seguenti 3 eventi:

mareggiata 24 ÷ 26/01/2009

mareggiata 07 ÷ 08/02/2009

mareggiata 04 ÷ 06/03/2009

La mareggiata 24÷26/01/2009 è stata caratterizzata da stati di mare provenienti da Sud-Ovest ed Ovest, con Hs fino a 5.50 m. La durata dell'evento è stata di circa 48 ore.

La mareggiata 07÷08/02/2009 è stata caratterizzata da stati di mare provenienti da Sud-Ovest ed Ovest, con Hs fino a 3.50 m. La durata dell'evento è stata di circa 30 ore.

La mareggiata 04÷06/03/2009 è stata caratterizzata da stati di mare provenienti da Sud-Ovest ed Ovest, con Hs fino a 4.50 m. La durata dell'evento è stata di circa 45 ore.<sup>20</sup>

---

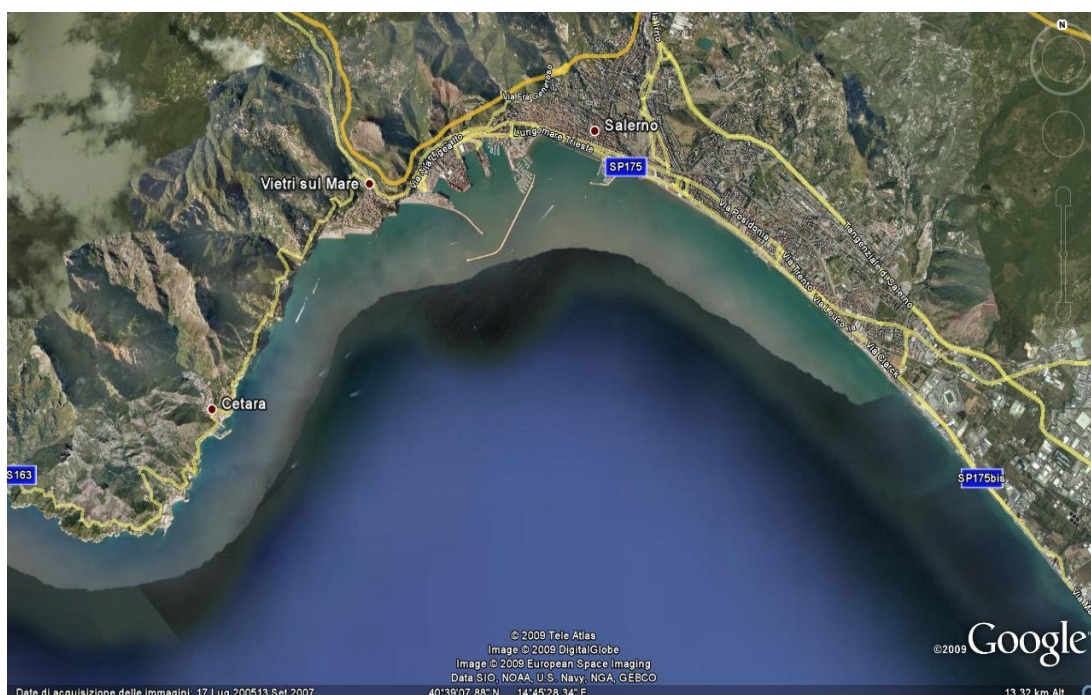
<sup>20</sup> BENASSAI G., CELENTANO P., SESSA F. (2009) – *Coastal Storm Damage Reduction Program in Salerno Province After Winter 2008 Storm*. International Conference on Physical Coastal Processes, Management and Engineering 14 - 16 September 2009 – Malta

## CAPITOLO IV

### IMPLEMENTAZIONE DELLO SWAN

#### 4.1 Scelta della zona d'interesse

La scelta della zona da sottoporre ai run del modello è ricaduta sul Golfo di Salerno.



**Figura 4-1 : Panoramica sul Golfo di Salerno, zona presa in esame per l'implementazione del modello**

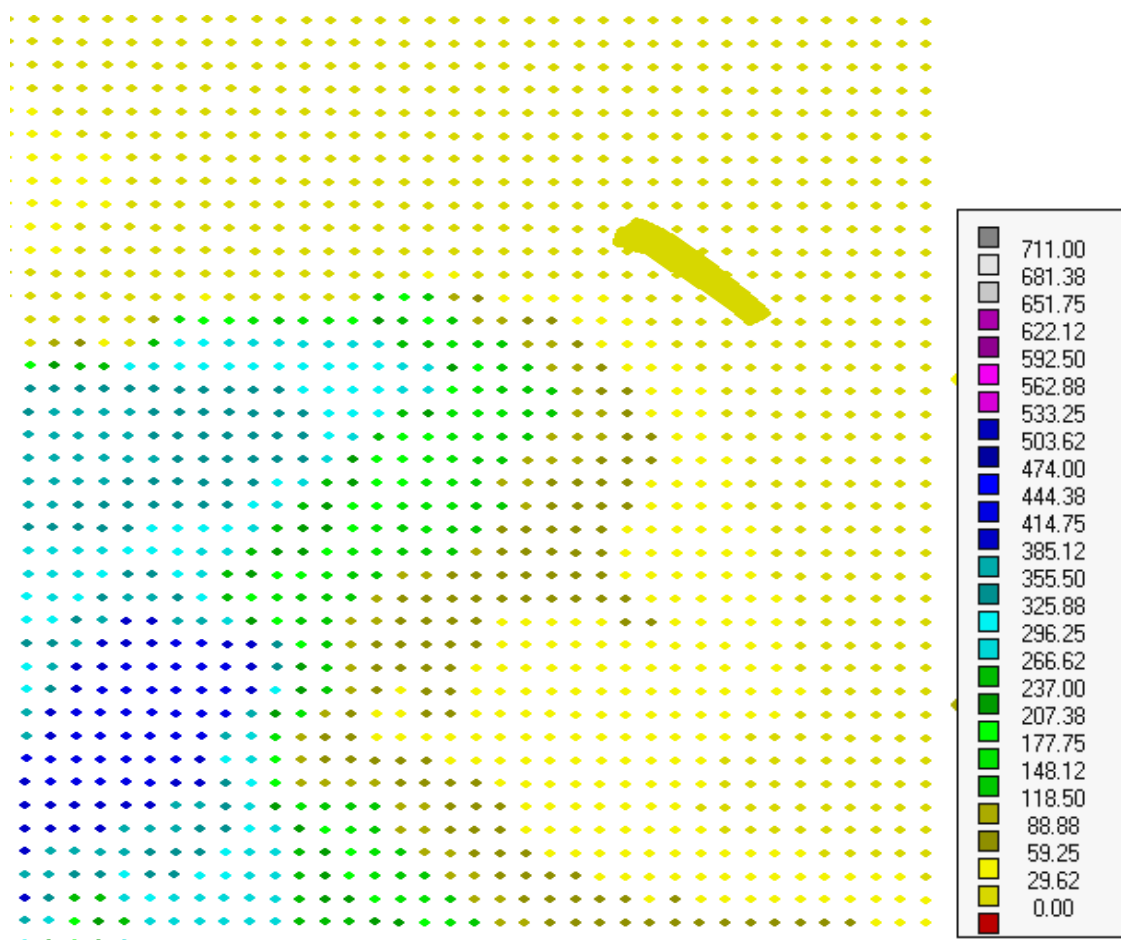
Possiamo definire il litorale di Salerno come una zona 'calda', non per il suo clima piuttosto mite, ma perché è stata oggetto di diversi eventi estremi tra fine 2008 e inizio 2009, in particolare le mareggiate del 28-29/11/2008, 24-26/01/2009, 07-08/02/2009, 04-06/03/2009 con mare proveniente da Nord e Nord-Ovest e Hs fino a 5.50m che hanno provocato diversi danni lungo tutta la costa.

Va inoltre ricordato che, durante le lezioni del master, la zona costiera di Salerno è stata oggetto di un'analisi statistica volta ad analizzare l'erosione a lungo termine che caratterizza sia tratti di costa alta che di costa bassa. Con un sopralluogo e una visita

tecnica inoltre, è stato possibile osservare, in diversi punti, i danni causati dai suddetti eventi estremi alle opere di difesa, al lungomare, alle costruzioni ad uso abitativo, ecc.

#### **4.2 Raccolta dei dati batimetrici**

I dati batimetrici disponibili inizialmente, sono stati forniti dall'Autorità di Bacino Destra Sele. Si tratta di una batimetria molto dettagliata, con isobate relative alle profondità di -15m fino alla costa, con passo di 1m. Il tratto costiero coperto da questi dati si è però dimostrato troppo limitato spazialmente, per poter costruire una griglia batimetrica da fornire come input al modello. E' stato necessario integrare questi dati con una batimetria che coprisse una zona di litorale più vasta, ciò è stato possibile grazie al GEODAS (**GE**Ophysical **DA**ta **S**ystem), un sistema interattivo di gestione del database sviluppato dalla National Geophysical Data Center per l'assimilazione, la conservazione e il recupero dei dati geofisici. Tramite una semplice registrazione in rete, è stato possibile scegliere la zona di interesse per i dati batimetrici e la sua estensione. Il risultato è stato una batimetria con scala 1Km per 1Km, quindi con una risoluzione meno dettagliata, ma con una copertura sufficiente per creare la griglia batimetrica.



**Figura 4-2 : Sovrapposizione della batimetria ottenuta dal GEODAS con la batimetria ottenuta dall'Autorità di Bacino Destra Sele**



**Figura 4-3 : In dettaglio la batimetria ottenuta dall'Autorità di Bacino Destra Sele**



Dalla sovrapposizione delle due batimetrie (figura 4-2) si distingue lievemente il litorale, e risulta chiaro, come le batimetrie da 0m a -15m (in dettaglio nella figura 4-3) fossero relative ad un piccolo tratto di costa, da qui la necessità di integrarle con ulteriori dati batimetrici.

### **4.3 Elaborazione dati**

In questo step i file di batimetria passano attraverso diversi software, per essere trasformati in un formato correttamente leggibile dal Delft3D. Quest'ultimo è il software che consentirà la creazione di un grigliato batimetrico da fornire come input allo SWAN.

#### ***AUTOCAD***

Il file relativo alle batimetrie da 0m a -15m , in formato .dwg (ovvero il formato tipico usato in autocad), è stato filtrato. Ad esclusione delle isobate vere e proprie sono state cancellate tutte le isolinee riguardanti strade, palazzi, elementi grafici, ecc. Successivamente ad ogni singola isobata è stato assegnato il valore relativo alla propria profondità, che non era presente come terza coordinata effettiva, ma solo come elemento grafico. In fine il file è stato salvato in formato .dxf.

#### ***Dxf2xyz***

Con questo software, disponibile gratuitamente in rete, il file precedente viene trasformato nel formato .xyz che è il formato usato dal Delft3D. Si è deciso poi di suddividere il file .xyz considerato, in 16 file .xyz, ognuno relativo ad una certa quota batimetrica. Questa operazione ha consentito una diminuzione della dimensione del file, e quindi una maggiore facilità nella gestione dei dati.

#### ***MATLAB***

Con tale software invece è stata effettuata la trasformazione delle coordinate, relative al file di batimetrie con scala 1km, da sferiche (latitudine e longitudine) in cartesiane (xyz), in modo da avere tutti i file di batimetrie con la medesima tipologia di coordinate. La scelta di avere tutti i file in coordinate xyz è stata fatta per avere la possibilità di costruire, tramite il

Delft 3D, un grigliato batimetrico ruotato di un certo angolo a seconda dell'orientamento della zona considerata. Al contrario, l'uso di coordinate sferiche, non avrebbe consentito la costruzione di una griglia ruotata.

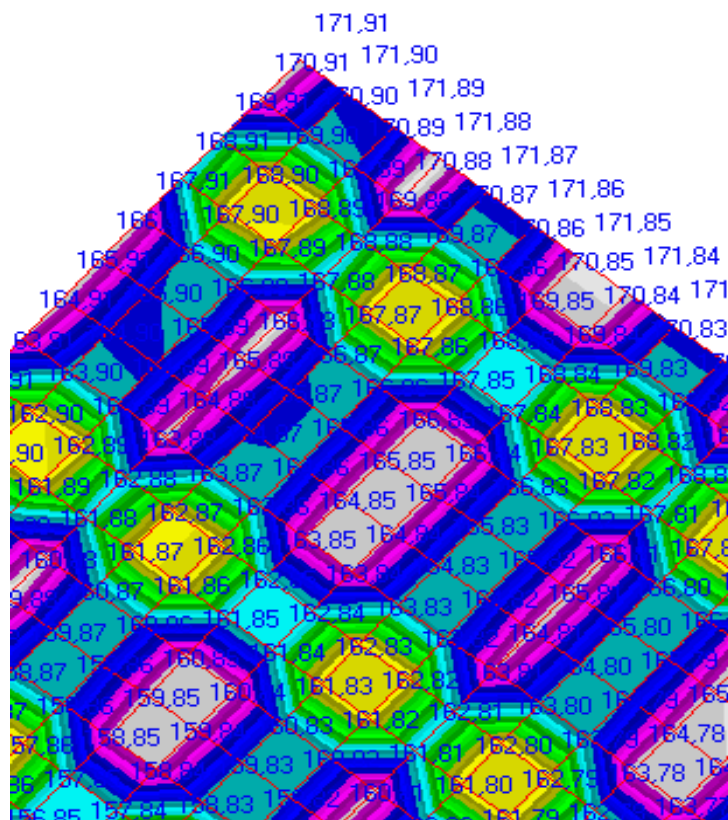
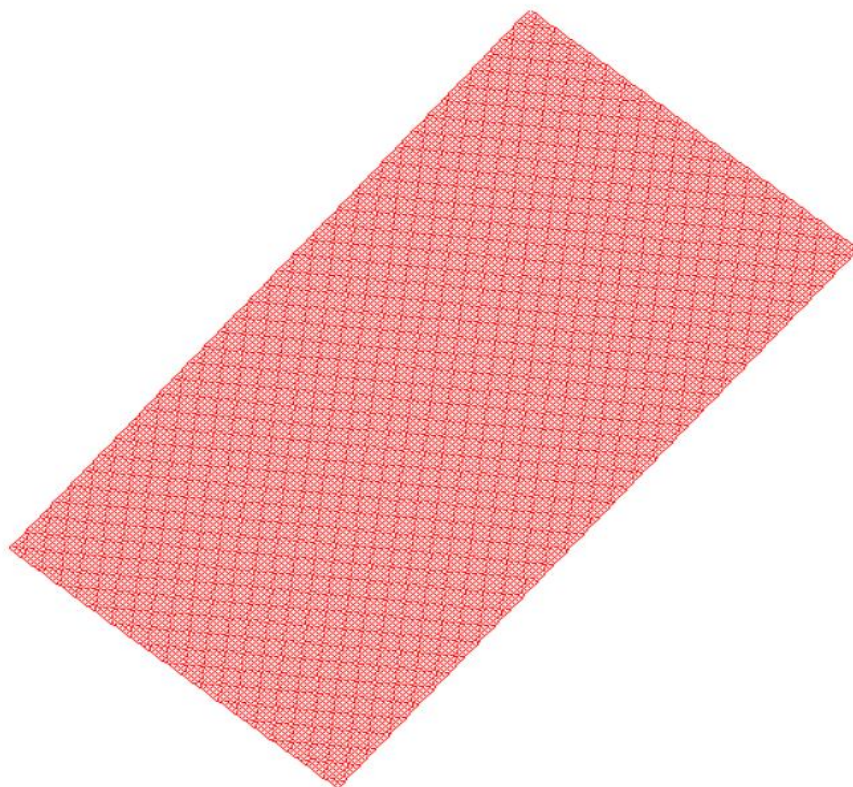
Infine, per consentire una corretta lettura dei file da parte del Delft3D , è stato necessario sostituire tutti i valori delle quote positive (terra) con un valore nullo, e tutti i valori negativi (profondità) con valori positivi. Questo perchè il software non legge valori negativi di batimetria.

#### **4.4 Creazione di un grigliato batimetrico**

Dopo che i file delle batimetrie sono stati correttamente modificati, si può procedere con la creazione del grigliato tramite il Delft3D.

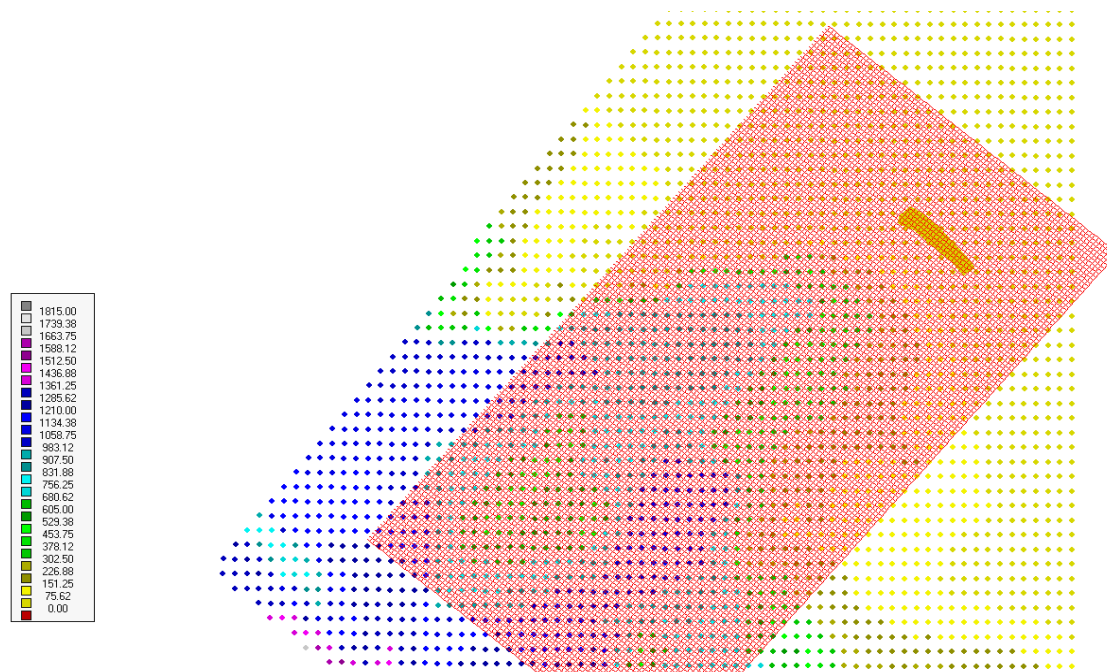
In base all'estensione dell'area in esame e al suo orientamento geografico, sono state scelte le seguenti caratteristiche della griglia, (riportata in figura 4-4):

- coordinate vertice di partenza ( $x=450766N, y=4431788^{\circ}$ );
- nodi( $x=171, y=91$ );
- dimensione griglia( $x=85500m, y=45500m$ );
- passo( $\Delta x=500m, \Delta y=500m$ );
- rotazione( $50^{\circ}$ ) .

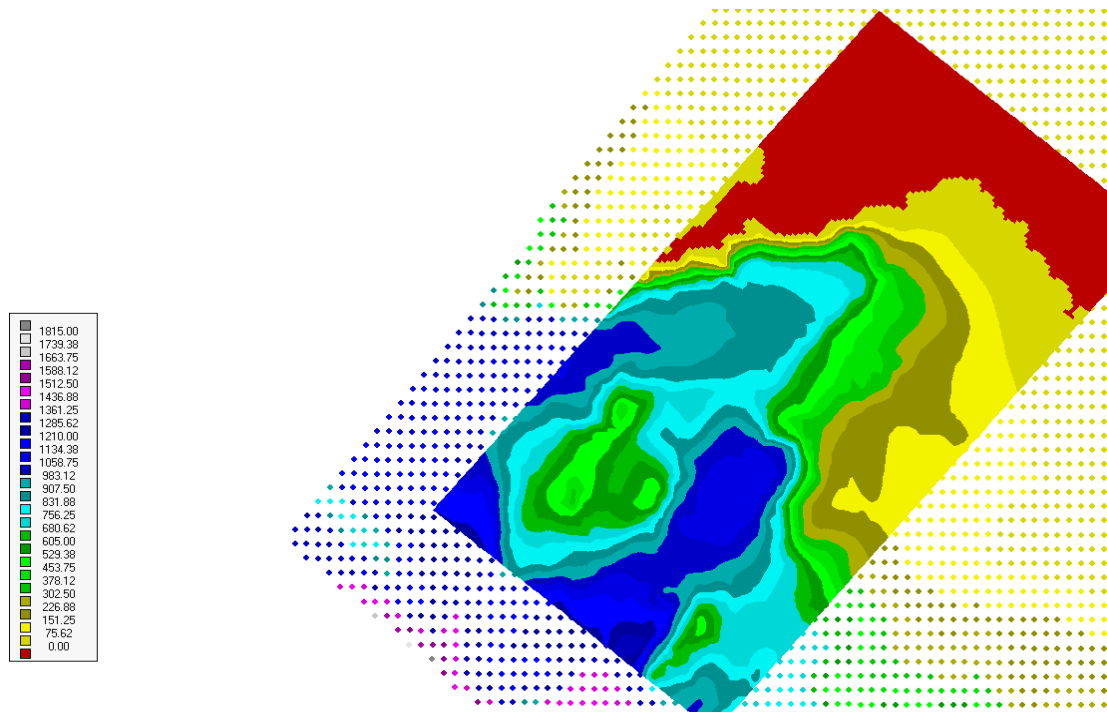


Dalla figura 4-5 è possibile notare le varie celle della griglia e le coordinate di ciascun nodo.

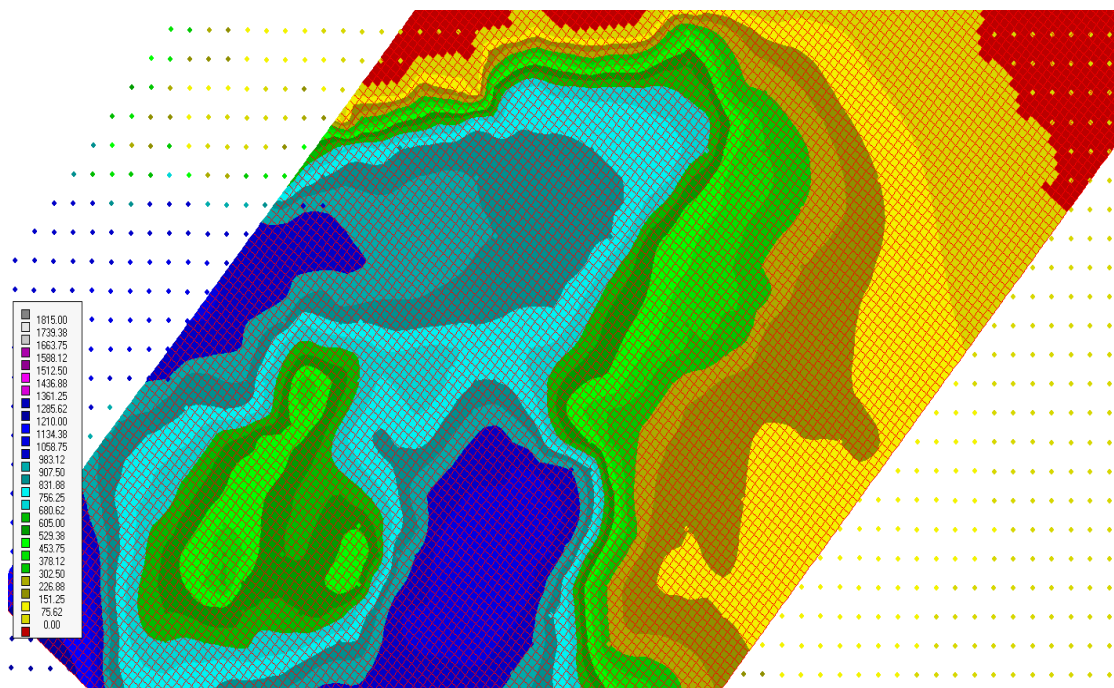
Il passo successivo consiste nel caricare le batimetrie sulla griglia (figura 4-6),



**Figura 4-6:** Caricamento delle batimetrie sul grigliato, graficamente appare una sovrapposizione



**Figura 4-7:** Risultato ottenuto dall' operazione di interpolazione



**Figura 4-8: Risultato dell'operazione di smmothing**

ed effettuare l'operazione d'interpolazione, il cui risultato (figura 4-7) ci da un'idea più chiara di come varia la profondità nell'area in esame. Successivamente si effettua l'operazione di smoothing che consente di 'lisciare' le varie isolinee ed eliminare tutte quelle irregolarità risultanti dall'operazione precedente, così da renderle più uniformi e vicine a quelle reali.

Quest'operazione si può effettuare più volte riducendo progressivamente le irregolarità presenti, ovviamente 'smoothare' troppe volte il grigliato rischia di eliminare caratteristiche delle isolinee effettivamente presenti nella realtà.

Una volta ritagliato il grigliato, in modo da eliminare le batimetrie esterne ad esso, può essere inserito come input nei run del modello.

#### **4.5 Implementazione dello SWAN**

Sono stati effettuati diversi run del modello introducendo come input un vento costante in velocità e direzione. In base all'orientamento della zona e quindi del grigliato batimetrico è stata scelta una direzione di 220° che il modello per default considera a 10m di altitudine; le velocità del vento scelte sono 20m/s, 25m/s, 30m/s, in modo da simulare vari stati di mare. C'è da aggiungere che è stata utilizzata, nel modello la convenzione SET NAUT, in

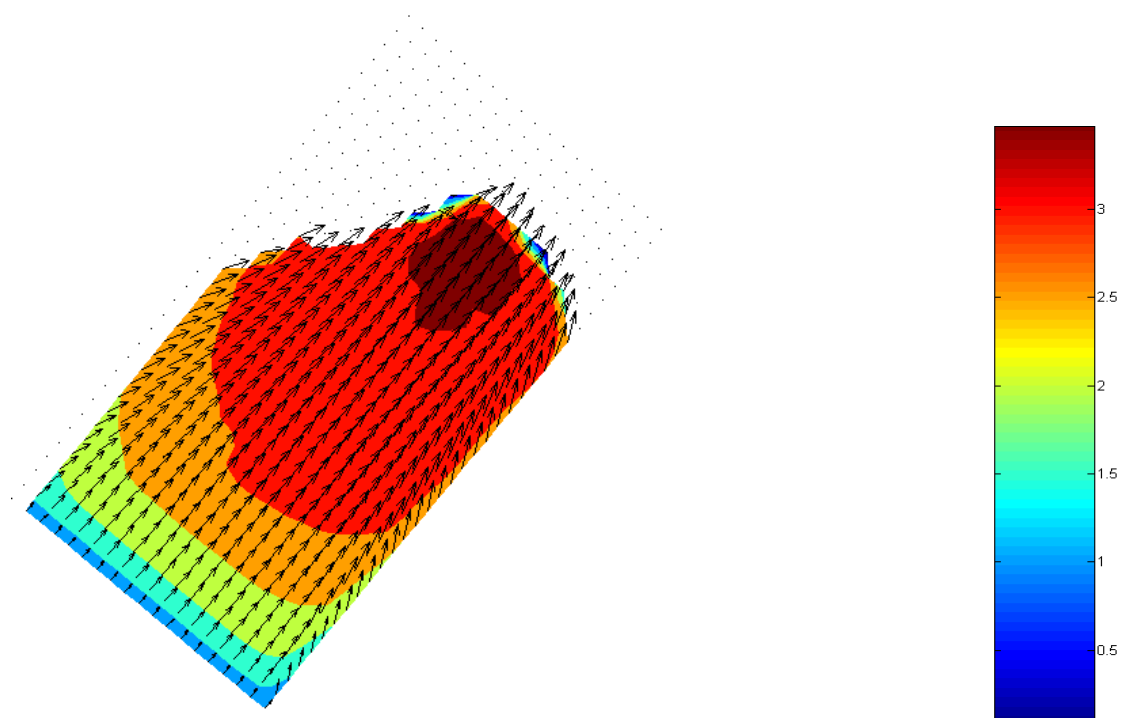
tal modo le direzioni di vento e moto ondoso sono di provenienza e misurate in senso orario partendo dal nord geografico.

E' stata inserita una condizione al contorno costante sul lato sud della griglia, ed è stato effettuato un confronto tra i risultati ottenuti con lo stesso input di vento, ma considerando anche fenomeni fisici tipici della scala costiera (attrito con il fondo, setup delle onde, whitecapping, interazioni tra onde).

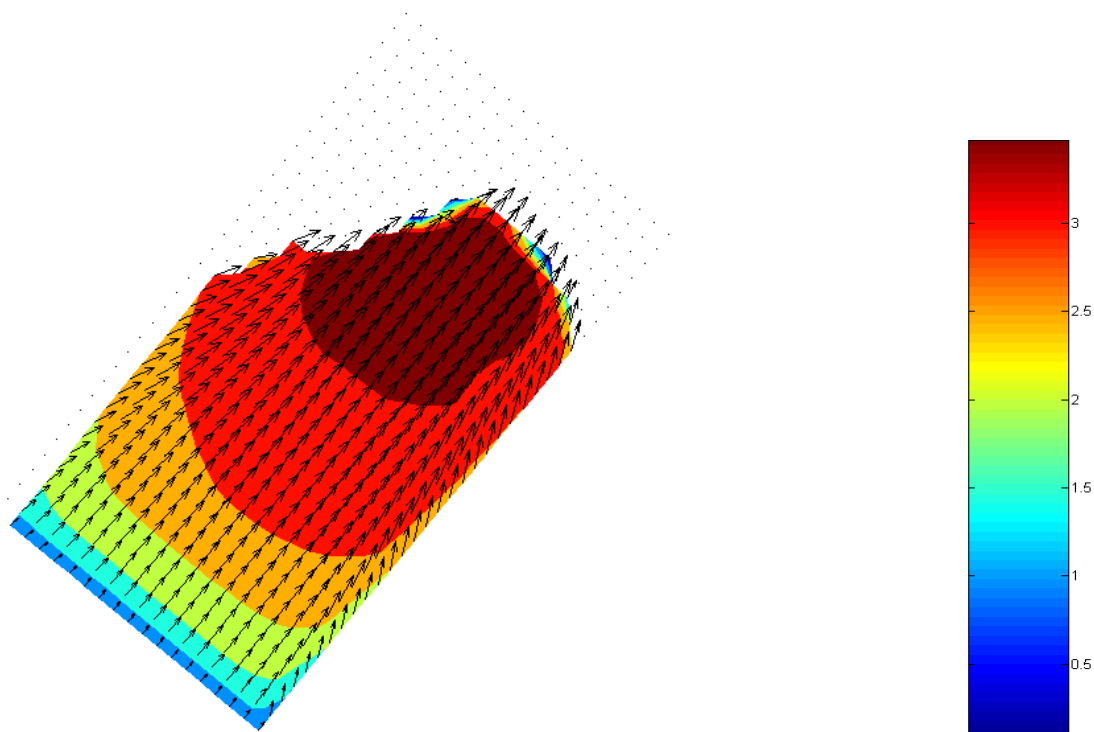
I risultati ottenuti sono stati graficati mediante Matlab e riportati di seguito. Sono stati rappresentati in sequenza i vari run del modello, partendo dalle velocità vento più basse fino a quelle più alte. Sono stati riportati inoltre i risultati con le medesime velocità e direzione di vento ma con l'aggiunta dei fenomeni fisici su scala costiera. Le frecce indicano la direzione del moto ondoso, mentre i colori rappresentano, a seconda della scala, le diverse altezze d'onda raggiunte.

Osservando i grigliati si nota, partendo dal lato sud, la condizione al contorno inserita (ovvero c'è una direzione e velocità del moto ondoso scelta e inserita manualmente nei run, e non calcolata dal modello); avvicinandosi alla costa le altezze d'onda aumentano, perché diminuisce la profondità. Quello che differenzia i risultati con e senza i fenomeni fisici, è l'aumento, nei primi, dell'ampiezza dell'area con massima altezza d'onda in prossimità della costa.

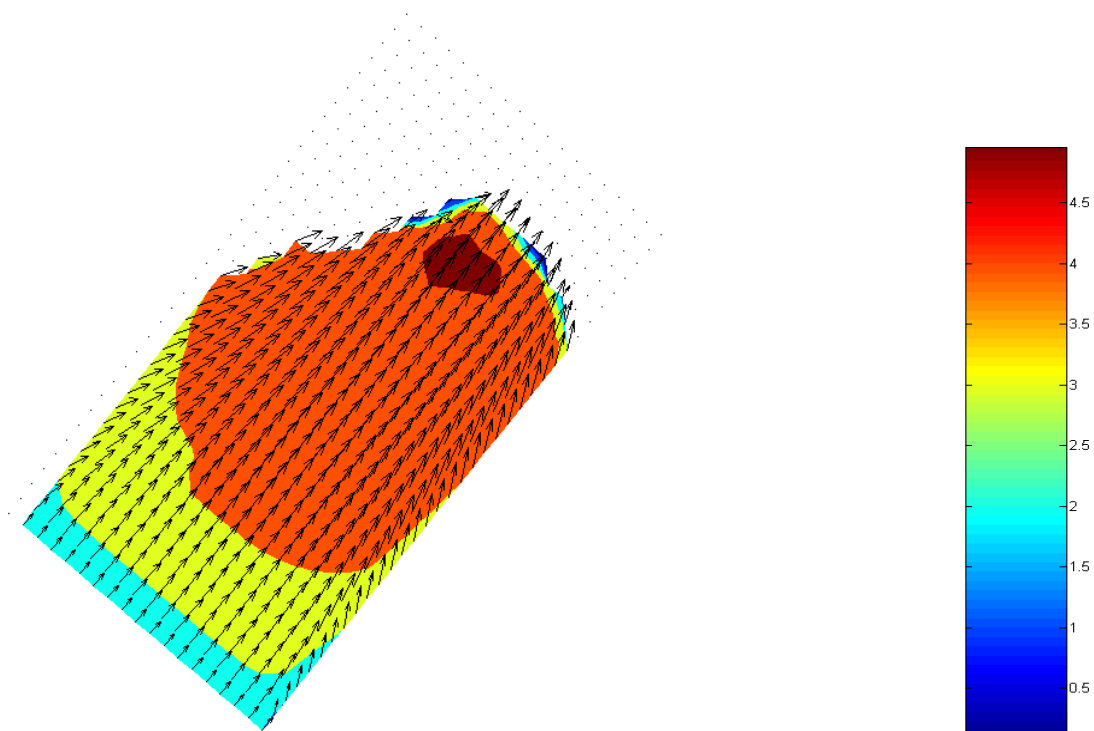




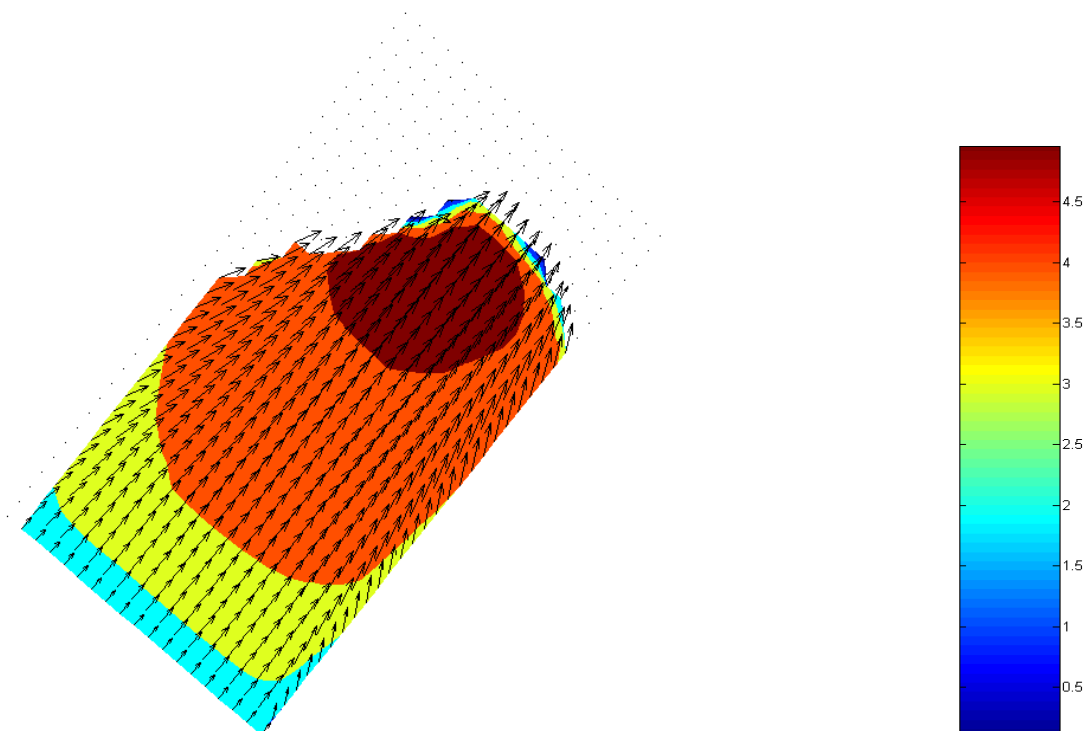
**Figura 4-9: Risultati dell'implementazione del modello SWAN per velocità vento = 20m/s**



**Figura 4-10: Risultati dell'implementazione del modello SWAN per velocità vento = 20m/s considerando i fenomeni fisici a scala costiera**

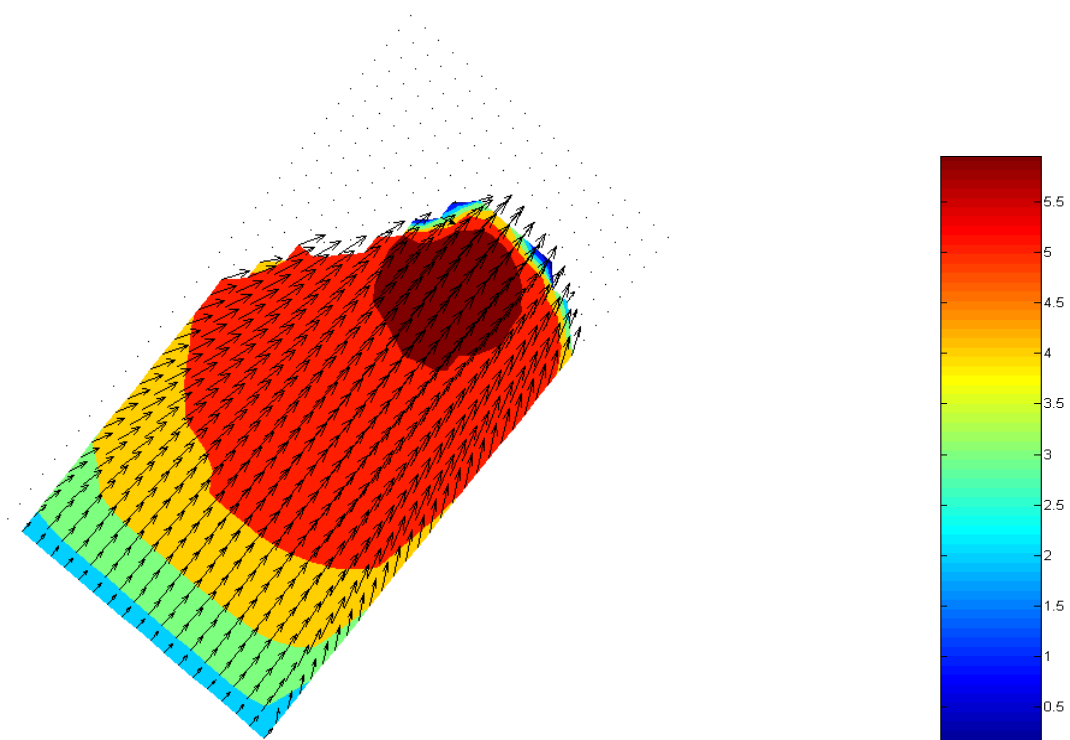


**Figura 4-11: Risultati dell'implementazione del modello SWAN per velocità vento = 25m/s**

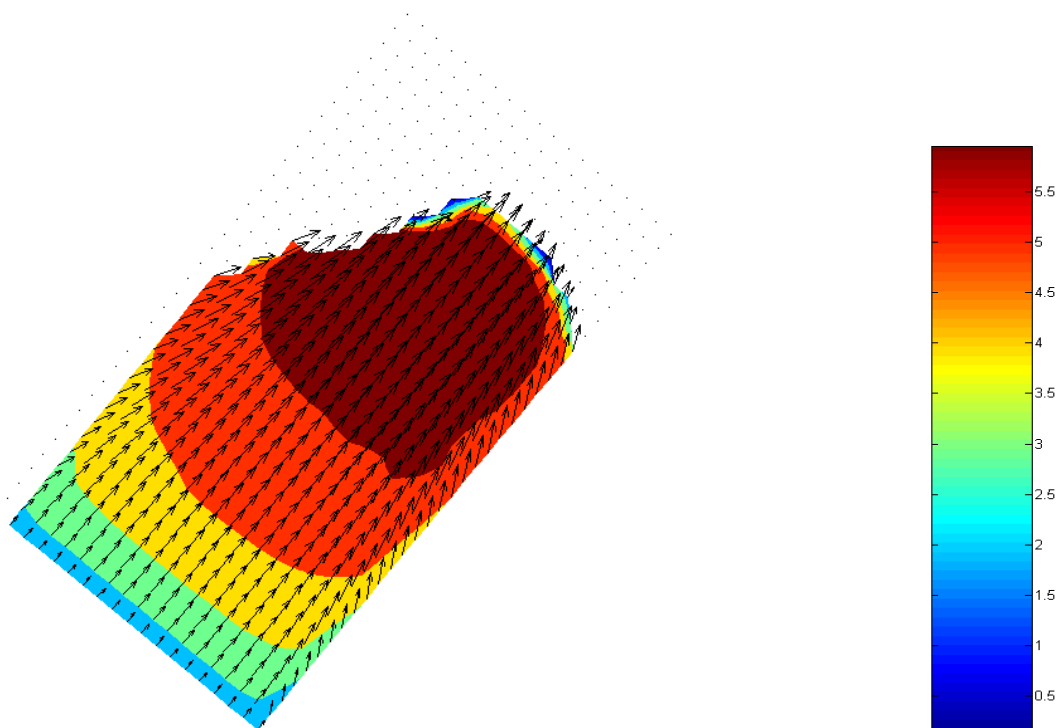


**Figura 4-12: Risultati dell'implementazione del modello SWAN per velocità vento = 25m/s considerando i fenomeni fisici a scala costiera**





**Figura 4-13: Risultati dell'implementazione del modello SWAN per velocità vento = 30m/s**



**Figura 4-14: Risultati dell'implementazione del modello SWAN per velocità vento = 30m/s considerando i fenomeni fisici a scala costiera**

## CONCLUSIONI

Il modello SWAN (Simulating WAVes Nearshore) si è dimostrato un discreto modello di propagazione del moto ondoso. Il suo utilizzo è facilitato grazie ad un ottimo manuale d'uso scritto in modo chiaro, sintetico e immediato, molto utile per effettuare rapide ricerche.

Inoltre, sotto condizioni semplificate come quelle applicate in questo studio, non necessita di girare con macchine eccessivamente potenti.

Le difficoltà maggiori, che generalmente si riscontrano nell'utilizzo di questo modello, non riguardano l'implementazione vera e propria ma la preparazione di tutto ciò che serve al modello per girare, ovvero i dati di input. La creazione di questi dati, come le batimetrie e i campi di vento, necessita di molto lavoro e inoltre dell'utilizzo di diversi software, spesso non gratuiti ( un chiaro esempio può essere il Delft3D) e quindi non sempre facilmente disponibili.

Infine occorre sottolineare che, generalmente sarebbe opportuno confrontare i risultati ottenuti con questo modello, con dati osservati se esistenti, per poterne valutare meglio le performance.

## BIBLIOGRAFIA

BENASSAI G. Università di Napoli Parthenope (2006) - *Introduction to Coastal Dynamics and Shoreline Protection*. WIT Press Southampton,Boston. pp 117-119.

THE SWAN TEAM (2009) – *Swan User Manual*. Delft University of Technology, Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences Environmental Fluid Mechanics Section The Netherlands. pp 3-7.

BENASSAI G. Università di Napoli Parthenope (2009) – Analisi dell’erosione costiera in Italia ed in Campania. La gestione del paesaggio marino nelle politiche di sviluppo del territorio  
Villa Campolieto –Ercolano 29/05/2009 pp 45-70.

BENASSAI G., CELENTANO P.,SESSA F. (2009) – *Coastal Storm Damage Reduction Program in Salerno Province After Winter 2008 Storm*. International Conference on Physical Coastal Processes, Management and Engineering 14 - 16 September 2009 – Malta.