



REGIONE CALABRIA
PROVINCIA DI COSENZA



COMUNE DI AMANTEA

MIGLIORAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL PORTO
TURISTICO DI AMANTEA

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

PROGETTISTI: RTP

CAPOGRUPPO MANDATARIA:

MANDANTE:



Viale Lazio, n°13
90144 Palermo (PA)



Corso Umberto I, n°154
80138 Napoli (NA)

Progettista Responsabile integrabile prestazioni specialistiche
Ing. *Guilermo Migliorino*



Elaborato:

STUDIO MORFOLOGICO

CODIFICA

2019-03

CODICE DOCUMENTO ITC

1	0,1	WW	R,H	0,9
---	-----	----	-----	-----

REV.

0

SCALA

ELABORATO

R9

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
0	12/03/2020	1° EMISSIONE	A. BORSANI	G. CANTISANI	A. BORSANI

Visto:

Il Responsabile Unico del Procedimento

Ing. Francesco STELLATO

INTRODUZIONE	1
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO.....	3
2. METODOLOGIA GENERALE DI LAVORO.....	4
3. STUDIO DELLA RISULTANTE DEL TRASPORTO SOLIDO POTENZIALE	6
3.1 Determinazione dell'esposizione medio climatica del moto ondoso all'interno dell'area dei frangenti	7
3.1.1 Clima ondometrico al largo.....	7
3.1.2 Determinazione della profondità di chiusura	9
3.1.3 Clima ondometrico sottocosta	10
3.2 Flusso energetico del moto ondoso sottocosta	11
4. ANALISI MORFOLOGICA IN FUNZIONE DELLE LINEE DI RIVA STORICHE	14
4.1 Dati cartografici di riferimento: selezione ed analisi qualitativa	14
4.2 Analisi diacronica di massima delle linee di riva.....	16
4.3 Analisi volumetrica e calcolo delle portate solide nette longitudinali	19

INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto a corredo del progetto dal titolo "Miglioramento infrastrutturale del porto turistico di Amantea".

Esso, è finalizzato all'analisi dei fenomeni di morfologia costiera con particolare riferimento alle tendenze evolutive in atto. L'insieme dei risultati forniti da detto studio è propedeutico sia alla individuazione e selezione della tipologia di interventi che si intende attuare per il perseguimento degli obiettivi progettuali sia alla successiva valutazione delle tendenze evolutive future per verificare l'effettiva rispondenza delle opere alle esigenze di protezione del litorale dall'erosione.

In generale, i litorali della costa tirrenica calabrese che si estende da Intavolata ad Amantea, negli ultimi decenni sono oggetto di marcati fenomeni erosivi riconducibili non solo alle condizioni di esposizione meteomarina ma anche alla presenza di fattori antropici che spesso hanno esasperato ed accelerato la naturale deriva litoranea dei sedimenti. L'arretramento della linea di costa è dovuto soprattutto:

- alla riduzione degli apporti di materiale solido al mare, causato dalle mutate condizioni idrogeologiche dei bacini idrografici riconducibili alla crescente occupazione degli alvei fluviali, soprattutto nei tratti vallivi, alle sistemazioni delle reti di deflusso superficiale, dalla riforestazione delle aree interne, agli emungimenti dalle falde e dagli stessi corsi d'acqua e ai prelievi dei sedimenti dagli alvei;
- alla marcata antropizzazione della fascia litoranea che ha "fagocitato" l'apparato dunale e retrodunale, con la realizzazione di infrastrutture di collegamento (in particolare la linea ferroviaria Salerno - Reggio Calabria) e l'espansione degli originari centri abitati di pescatori (sviluppatosi lungo tutto il litorale con la realizzazione di abitazioni poste al margine della spiaggia);
- alla realizzazione di opere di difesa di tipo radente senza definire preventivamente ed attuare un piano organico di interventi ma operando secondo logiche emergenziali; inizialmente sono state realizzate barriere radenti in massi naturali per la salvaguardia del rilevato ferroviario, altrimenti scalzato al piede dall'azione diretta delle mareggiate più intense; successivamente sono stati realizzati massicci muri in cemento armato per la salvaguardia dei giardini e delle stesse abitazioni poste fronte mare; questa tipologia di

intervento ha sortito l'effetto di "esportare" il fenomeno erosivo sottoflutto esasperando il più delle volte l'azione diretta del moto ondoso anche sulle stesse barriere radenti; attualmente molte di queste difese presentano evidenti segni di "ammaloramento" con fenomeni di scalzamento al piede che ne hanno compromesso la stabilità imponendo interventi di ripiego che si sono succeduti nel corso degli anni sempre più con carattere di emergenza con l'effetto di innescare una vera e propria "guerra di posizione" tra le attività antropiche e la costante e continua azione del mare.

La presenza del porto turistico (realizzato tra il 2000 ed il 2002), che oltre ad ostacolare il trasporto solido longitudinale, provocando un marcato fenomeno erosivo a Sud di esso, crea una schermatura del litorale dagli eventi provenienti dal settore di maestrale. Tutto ciò ha determinato una rotazione della linea di riva secondo la direzione della risultante energetica.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

Il litorale appartenente al Comune di Amantea, nella provincia di Cosenza, è posto a sud dell'unità fisiografica compresa tra Capo di Bonifati a nord e Capo Suvero a sud.

Si estende per circa 12,5 km tra la foce del torrente Verri (confine con il Comune di Belmonte Calabro) ed il Torrente Torbido (confine con Nocera).

Dall'analisi della Figura 1 è possibile osservare che lungo il tratto costiero sono presenti diversi corpi idrici, di cui solo due di questi hanno importante rilievo morfologico costiero in relazione alla loro



Figura 1: Inquadramento generale

capacità di trasportare sedimenti in mare. I due fiumi importanti sono rispettivamente il Catocastro e l'Oliva. Il verso della deriva litoranea è ovunque diretto da Nord verso Sud. L'elevata pendenza dei fondali consente agli stati di mare incidenti sul litorale di conservare un elevato contenuto energetico anche in prossimità della battigia dando luogo a significativi danni alla spiaggia emersa. Sempre dall'analisi della Figura 1 è possibile osservare che lungo il litorale in esame sono presenti numerose opere di difesa costiera e che il porto di Amantea rappresenta una forte discontinuità per il litorale stesso.

2. METODOLOGIA GENERALE DI LAVORO

Lungo le coste del Tirreno meridionale, la dinamica litoranea dei sedimenti è dominata dal moto ondoso frangente che determina sia la messa in sospensione che il movimento del materiale di fondo. Tale movimento avviene prevalentemente all'interno della zona dei frangenti e presenta due componenti principali:

- trasporto trasversale;
- trasporto longitudinale cioè parallelo alla linea di riva.

Come noto è proprio il trasporto solido longitudinale ad essere il principale responsabile dell'evoluzione a lungo termine dei litorali (mesi, anni), mentre la prima componente (trasporto trasversale) è essenzialmente responsabile dei fenomeni evolutivi a breve termine (singola mareggiata).

Lo studio della dinamica evolutiva del tratto di costa in questione è stato articolato nel modo seguente:

- determinazione delle componenti della risultante del flusso energetico associato al moto ondoso medio climatico in prossimità dell'area dei frangenti, ovvero del trasporto solido potenziale;
- calcolo del bilancio dei sedimenti della fascia attiva eseguita sulla base delle variazioni planimetriche della linea di riva.

Entrambi gli approcci sopra accennati consentono di determinare la direzione risultante del trasporto solido longitudinale netto.

In particolare, applicando la prima metodologia, che si basa sull'analisi della forzante di moto ondoso sul sistema litoraneo (ovvero dell'energia associata al moto ondoso che si “abbatte” lungo la fascia litoranea), è possibile calcolare le due componenti (longitudinale e trasversale rispetto alla linea di costa) della risultante del flusso incidente. Tale metodo consente di ottenere delle precise indicazioni sulla direzione e sull'entità dei contenuti energetici, nonché sulla capacità di messa in sospensione dei sedimenti ad opera del moto ondoso.

Tuttavia, essendo essenzialmente basato sull'analisi del “contenuto energetico” del moto ondoso, tale metodo non fornisce una stima reale dell'entità del trasporto solido perché prescinde dalle caratteristiche geomorfologiche del litorale (ad es. fuso granulometrico dei sedimenti, pendenza e profilo trasversale di spiaggia) e dagli effetti imputabili alla presenza di opere di difesa del litorale.

La seconda metodologia di indagine consente di stimare a posteriori l'entità del trasporto longitudinale netto risultante dal bilancio solido litoraneo responsabile delle variazioni osservate nel tempo della linea di riva. Questo criterio di analisi si basa unicamente sull'analisi della variazione della linea di riva nel tempo e pertanto ipotizza l'uniformità della geomorfologia del litorale (omogeneità delle caratteristiche dei sedimenti e soprattutto del profilo trasversale di spiaggia) e prescinde dalla conoscenza delle forzanti responsabili dell'evoluzione morfologica del litorale. Inoltre i calcoli condotti possono essere condizionati dalla non piena conoscenza di variazioni delle condizioni al contorno (ad es. la realizzazione di opere di difesa litoranea, l'immissione o il prelievo di sedimenti) subentrate nell'intervallo che intercorre tra i rilievi delle linee di riva.

I due metodi risultano tra di loro complementari ed i risultati da essi forniti consentono: una validazione reciproca degli stessi metodi con particolare riferimento ai dati di base assunti (moto ondoso e linee di riva) e alle ipotesi formulate per lo sviluppo dei calcoli; la comprensione, sulla base di dati oggettivi, della dinamica a lungo termine di un litorale, fornendo elementi e dati di riferimento indispensabili per una corretta successiva applicazione dei modelli numerici di evoluzione delle spiagge.

Maggiori dettagli circa i criteri seguiti per applicare le due metodologie sopra descritte vengono forniti nei prossimi paragrafi.

3. STUDIO DELLA RISULTANTE DEL TRASPORTO SOLIDO POTENZIALE

Le componenti del trasporto solido litoraneo (longitudinale e trasversale rispetto alla linea di riva) sono strettamente correlate alle rispettive componenti del flusso energetico associato al moto ondoso incidente in prossimità dell'area dei frangenti. Tuttavia la quantificazione esatta della correlazione tra l'energia "apportata" dal clima ondoso medio lungo la fascia litoranea ed il trasporto solido litoraneo che ne consegue è funzione anche di altri parametri che possono essere calibrati correttamente solo sulla base della conoscenza storica dell'evoluzione plano-altimetrica del litorale e delle caratteristiche dei sedimenti effettivamente presenti. In assenza degli elementi che consentono di calibrare la dipendenza funzionale tra le due quantità, si è soliti fare riferimento al trasporto solido potenziale, ovvero al flusso energetico potenziale risultante dall'esposizione medio climatica, prescindendo dal trasporto solido reale che è funzione anche di fattori geomorfologici quali le caratteristiche della "matrice detritica" che può comporre la fascia litoranea (emersa e sommersa) in termini di "struttura" granulometrica e della effettiva disponibilità della stessa. Infatti due litorali distinti, anche se caratterizzati dalle stesse condizioni di esposizione al moto ondoso e quindi dallo stesso flusso energetico potenziale, possono essere contraddistinti da diversi valori di trasporto solido effettivo (ad esempio si registrano condizioni di trasporto solido maggiori per litorali composti da sabbie rispetto a quelli composti da ghiaie e ciottoli; nel caso di litorali con formazioni rocciose lungo i fondali solitamente si riscontra un trasporto solido trascurabile). Ovviamente le effettive portate solide longitudinali e trasversali dipendono sia dalla disponibilità dei sedimenti sia dalle relative caratteristiche che ne determinano la mobilità.

L'obiettivo del lavoro descritto nei seguenti paragrafi è quello di determinare la variazione dell'intensità e del verso dei flussi energetici in prossimità dell'area dei frangenti lungo il tratto di costa in esame, considerando le componenti longitudinale e trasversale rispetto alla linea di riva.

In particolare nel seguito sono stati calcolati:

- la componente longitudinale della risultante del flusso energetico del moto ondoso medio climatico (ovvero del trasporto solido potenziale) sulla base dell'intensità e della direzione di provenienza degli stati di mare incidenti;

- la componente trasversale della risultante del flusso energetico del moto ondoso medio climatico (ovvero della capacità di messa in sospensione del materiale) sulla base della ripidità e della direzione di provenienza degli stati di mare incidenti.

3.1 Determinazione dell'esposizione medio climatica del moto ondoso all'interno dell'area dei frangenti

Per poter effettuare l'analisi dell'esposizione del litorale in esame al moto ondoso, il regime ondometrico, al largo di Amantea (derivato dalle registrazioni della boa RON di Cetraro, vedi lo studio meteomarino) è stato trasferito sottocosta.

3.1.1 Clima ondometrico al largo

L'applicazione del metodo della trasposizione geografica dei dati di moto ondoso (altezza, periodo e direzione) dalla boa ondometrica reale di Cetraro collocata nel punto di coordinate lat 39° 29' 28" e long 15° 52' 16" ad una distanza di circa 6 km dalla costa, alla boa virtuale posta al largo del paraggio di Amantea e del metodo per il calcolo delle direzioni del moto ondoso consente la determinazione del clima meteomarino al largo, con riferimento agli eventi ricadenti nel settore di traversia. Esso rappresenta un settore angolare comprendente tutte le direzioni da cui si presumano possano provenire le agitazioni ondose determinate dai venti foranei. L'arco di circonferenza, centrato sul punto al largo di Amantea, comprendente tutte le direzioni da cui possono provenire i venti foranei nel paraggio in esame è stato ottenuto considerando le possibili direzioni di provenienza delle onde sulla base della particolare esposizione del sito. Per il paraggio in esame, il settore di traversia, sui cui spirano i venti che possono creare significative agitazioni ondose, è compreso tra 195°N e 345°N, per un'ampiezza angolare pari a 150°, non molto dissimile da quello di Cetraro.

In particolare, dall'analisi del clima meteomarino al largo del paraggio di Amantea, derivante dalla trasposizione dei dati di Cetraro, emergono le seguenti caratteristiche:

- la percentuale degli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0.25 m, definiti come calme, è pari al 22.76 % circa;

- gli eventi più frequenti provengono, per il 42.13 % del totale dei casi, dal settore angolare 255°-285°N e per il 66.65 % dei casi dal settore 240°-300°N;
- i moti ondosi più intensi, aventi $H_s > 2.5$ m, rappresentano l'1.4 % degli eventi totali, e provengono soprattutto da tre limitati settori angolari (250°-285°N, 285°-315°N e 315°-345°N);
- la trasposizione geografica fa sì che gli eventi ondosi al largo del paraggio in esame tendano a concentrarsi nel settore angolare orientato verso la normale al litorale, la cui direzione media risulta pari a 262°N.

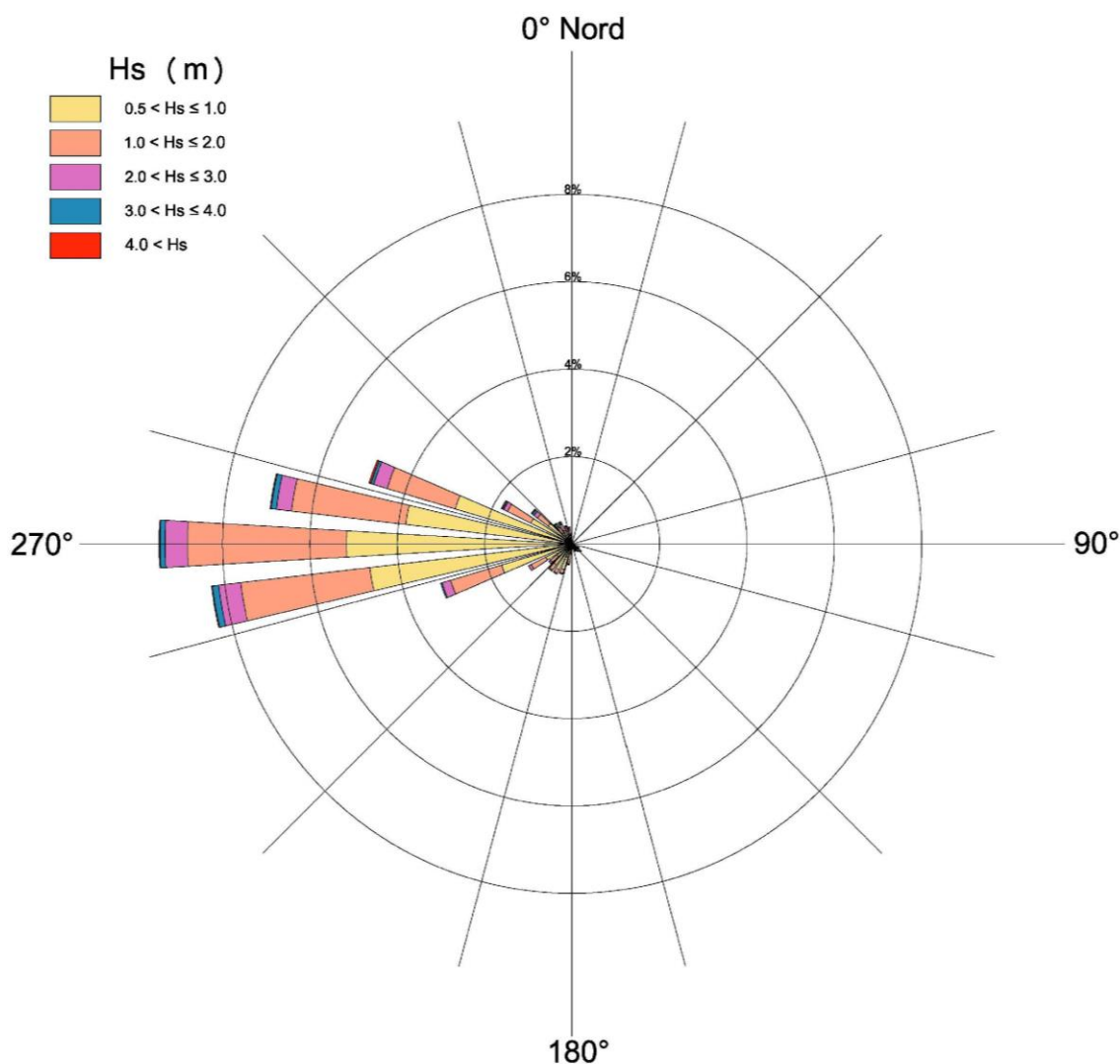


Figura 2: Clima ondometrico al largo di Amantea

3.1.2 Determinazione della profondità di chiusura

La profondità di chiusura di una spiaggia risulta la massima profondità del fondale in cui un'onda fa sentire i suoi effetti ai fini del trasporto solido litoraneo.

Il calcolo del suo valore può avvenire tramite la comparazione dei rilievi batimetrici delle medesime sezioni effettuate in anni diversi. In mancanza di queste informazioni, come nel caso dei paraggi in esame, si può usare una delle relazioni semiempiriche riconosciute in letteratura.

In particolare, per il paraggio di Amantea si è fatto riferimento alla relazione di Hellermeier, secondo cui:

$$h_c = 1.6H_{0,12}$$

dove:

h_c è la profondità di chiusura;

$H_{0,12}$ è l'altezza d'onda a largo che compare per 12 ore l'anno, nel settore di traversia considerato per il paraggio oggetto di studio.

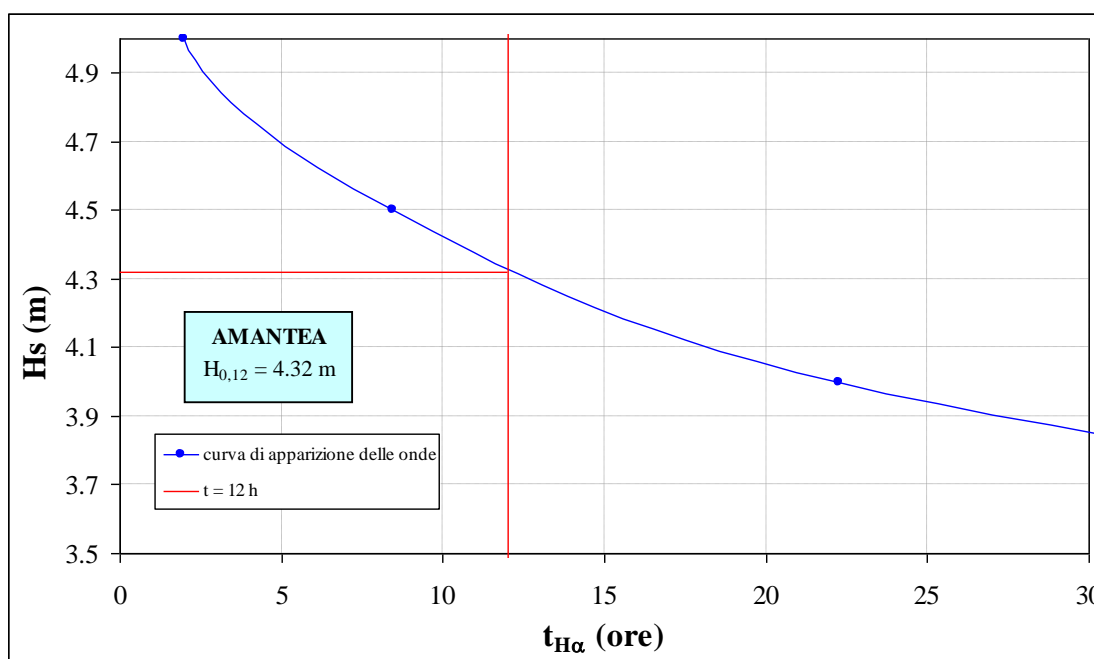


Figura 3: Particolare della curva di apparizione delle onde (paraggio di Amantea)

Dall’intersezione fra la curva di apparizione e la retta, si ricava $H_{0,12} = 4.32$ m (vedi Figura 49) e si determina, attraverso la succitata relazione di Hallermeier, il corrispondente valore della profondità di chiusura, $h_c = 6.91$ m.

3.1.3 Clima ondometrico sottocosta

Al fine di poter accuratamente caratterizzare l’esposizione medio climatica al moto ondoso all’interno dell’area dei frangenti, il regime ondometrico al largo è stato riportato sottocosta in un punto ubicato frontalmente al porto di Amantea e ricadente alla profondità di 20 m.

A tal fine è stato utilizzato il modello matematico bidimensionale di rifrazione diretta spettrale Swan (sviluppato dal Delft University of Technology), in quanto tale codice è in grado di tenere opportunamente conto dei principali fenomeni fisici presenti nel processo propagativo, rappresentati da:

- rifrazione e shoaling dovuti alle interazioni del moto ondoso con il fondale
- dissipazioni energetiche indotte dal frangimento;
- dissipazioni energetiche indotte dall’attrito sul fondo.

Dal punto di vista operativo, per poter trasferire il clima ondometrico registrato al largo per il punto a riva, sono stati simulati con il modello Swan complessivamente n spettri caratteristici di moto ondoso rappresentativi dei possibili stati di mare che possono verificarsi al largo di Amantea, utilizzando la metodologia descritta nello studio meteomarinario del presente progetto cui si rimanda per i dettagli.

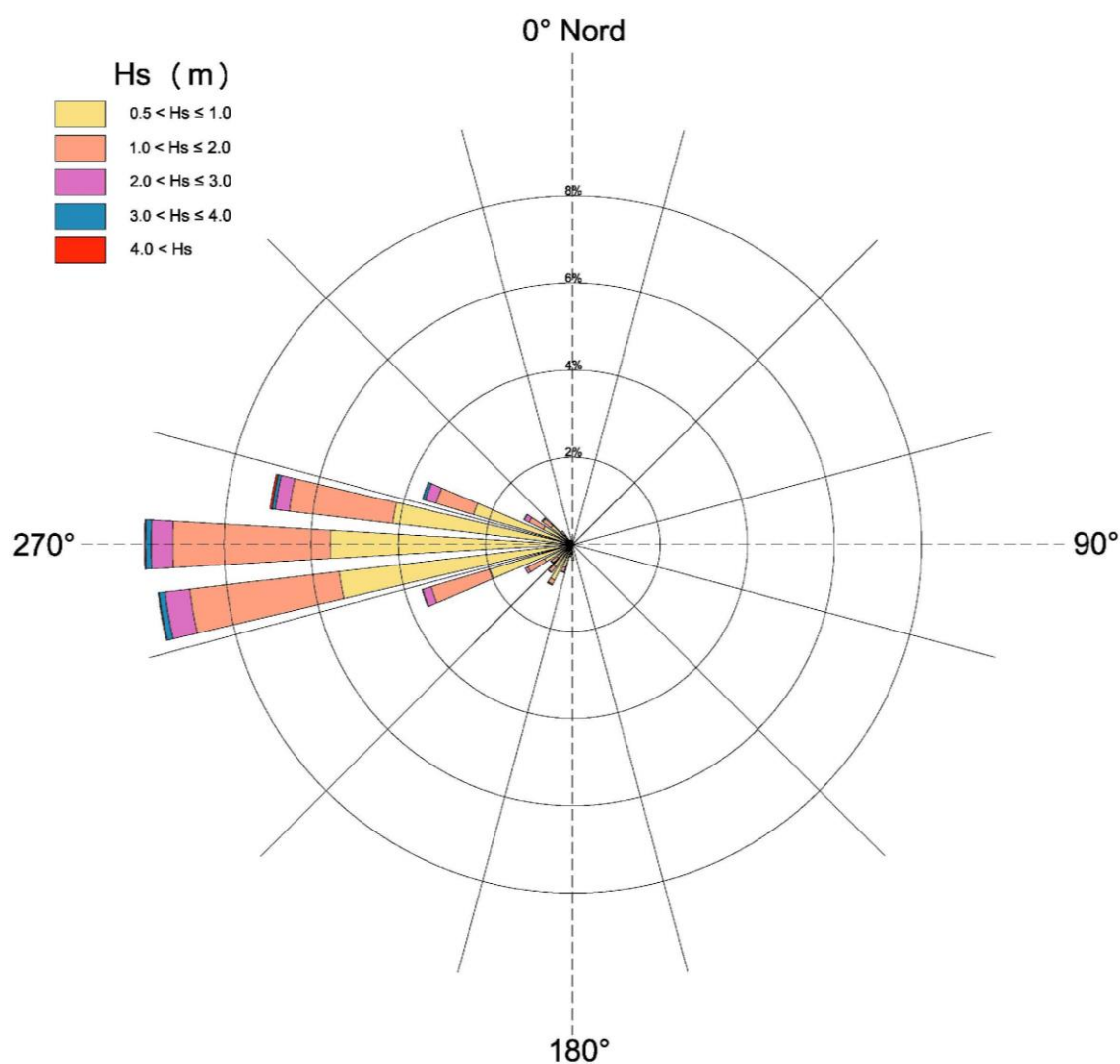


Figura 4: Esposizione medio climatica del litorale al moto ondoso sottocosta

Nella figura 4 è rappresentata l'esposizione medio climatica del litorale al moto ondoso sottocosta in un punto di fronte al porto alla profondità di 20 m, derivata dalla modellazione delle condizioni di largo riportate per il punto sottocosta.

3.2 Flusso energetico del moto ondoso sottocosta

La direzione risultante del flusso energetico del moto ondoso sottocosta lungo un litorale è utile per le considerazioni sul regime della dinamica litoranea. Infatti, la componente longitudinale del

trasporto solido può essere correlata alla componente longitudinale del flusso di energia del moto ondoso al frangimento. Poiché il coefficiente di correlazione tra le due quantità risulta essere funzione di alcuni parametri che possono essere individuati solo sulla base della conoscenza storica dell'evoluzione planimetrica del litorale e delle caratteristiche dei sedimenti effettivamente presenti, quando ci si riferisce al solo flusso di energia del moto ondoso frangente, cioè in assenza degli elementi che consentono di calibrare la dipendenza funzionale tra le due quantità, si è soliti fare riferimento al trasporto solido potenziale.

In pratica, la conoscenza della componente longitudinale del flusso di energia del moto ondoso frangente implica la conoscenza del "motore" dei sedimenti (trasporto potenziale); l'effettivo trasporto solido ovviamente dipende sia dalla disponibilità dei sedimenti sia dalle caratteristiche che ne determinano la mobilità. Pertanto la conoscenza di una adeguata serie storica relativa alla componente longitudinale del flusso di energia delle onde al frangimento (trasporto potenziale) consente di determinare in modo accurato il verso del trasporto solido medio annuo, mentre fornisce solo una stima della sua effettiva quantità. Tuttavia tale stima risulta di fondamentale importanza in quanto consente di eseguire numerose considerazioni di interesse applicativo e gestionale.

A tal fine risulta preliminarmente necessario ricostruire il clima ondoso poco oltre la linea di frangenti lungo una serie di punti considerati rappresentativi del litorale in esame.

Per ciascun punto è così possibile determinare, per ogni stato di mare ricostruito, il flusso di energia P del moto ondoso per unità di fronte d'onda. Successivamente, per ogni direzione di provenienza, è possibile determinare il valore medio del flusso energetico del moto ondoso, P_{mj} , degli stati di mare ricadenti nel settore di traversia.

Nel calcolo, in genere, si escludono gli eventi caratterizzati da un'altezza significativa inferiore ai 50 cm, in quanto dal punto di vista energetico e quindi della capacità di modellazione delle spiagge si possono ritenere trascurabili. In figura 5 è mostrato il diagramma polare del flusso energetico medio annuo sottocosta per Amantea.

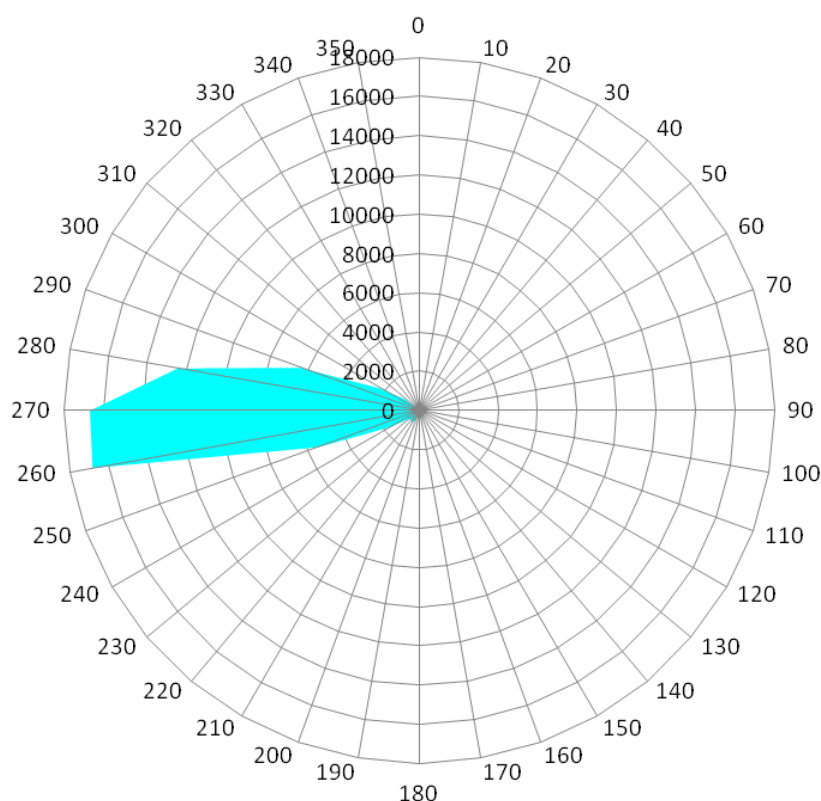


Figura 5: Flusso d'energia medio annuale sottocosta per il paraggio di Amantea

Con riferimento alla morfologia del litorale antistante il punto di calcolo del clima sottocosta per il paraggio in esame, viene riscontrato, dall'analisi della cartografia del luogo, un valore della direzione media del litorale pari a circa 172°N. Pertanto, l'angolo medio alla normale, ϑ_{norm} (°), del litorale rispetto al Nord Cartografico, risulta pari a 262°N.

Si considera, per convenzione, positivo il valore del flusso longshore diretto da Sud a Nord. La sua direzione, $\alpha_{energia} = 268.7^\circ N$, è coincidente con la risultante dei flussi energetici sottocosta caratterizzata dalla direzione dall'onda di modellazione annuale.

Pertanto, ne consegue un valore di α (angolo di inclinazione delle onde rispetto alla normale alla linea di costa), pari a:

$$\alpha = \alpha_{energia} - \alpha_{norm} = 6.7^\circ$$

I risultati mostrano un valore del flusso longshore medio annuo diretto da Nord verso Sud, negativo per convenzione è pari a:

$$Pls = 2.76 \text{ kW/m}$$

4. ANALISI MORFOLOGICA IN FUNZIONE DELLE LINEE DI RIVA STORICHE

Per poter verificare in modo oggettivo le tendenze evolutive che negli ultimi decenni hanno interessato l'unità fisiografica in esame, è stata condotta un'analisi comparativa delle linee di riva "storiche", derivate dalla cartografia ed aerofotogrammetrie degli ultimi decenni ed opportunamente digitalizzate e georeferenziate su CAD.

Successivamente i dati planimetrici sono stati importati su foglio elettronico per analizzare diacronicamente le linee di riva al fine di stimare il bilancio solido litoraneo per via indiretta ricavando così degli elementi di riferimento per il successivo studio di morfodinamica.

4.1 Dati cartografici di riferimento: selezione ed analisi qualitativa

L'obiettivo principale della ricostruzione storica dell'evoluzione della linea di riva risiede nell'acquisizione dei dati cartografici di base cui fare riferimento per la comprensione delle tendenze evolutive storiche ed in atto su cui basare le valutazioni circa i possibili scenari di evoluzione futura del litorale in esame.

Lo studio dell'evoluzione del litorale è stato condotto sulla base dei rilievi disponibili delle linee di riva esaminando differenti fonti quali ad esempio carte IGM, rilievi topografici, rilievi aerofotogrammetrici e foto da satellite. Le linee di riva considerate nel presente studio sono relative ai seguenti periodi:

- linee di riva del 1989 (ortofoto in scala 1:10.000 repertorio digitale del Portale Cartografico del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio);
- linee di riva del 1994 (rilievo topografico);
- linee di riva del 1996 (ortofoto in scala 1:10.000 repertorio digitale del Portale Cartografico del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio);
- linee di riva del 1998 (rilievo topografico);
- linee di riva del 2000 (ortofoto in scala 1:10.000 repertorio digitale del Portale Cartografico del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio);

- linee di riva del 2001 (ortofoto in scala 1:10.000 repertorio digitale del Portale Cartografico del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio);
- linee di riva del 2007 (rilievo topografico);
- linee di riva del 2012 (rilievo topografico);
- linee di riva del 2013 (rilievo topografico);

L’area investigata ricopre una porzione dell’unità fisiografica che si estende da Intavolata ad Amantea e precisamente riguarda un tratto di estensione pari a circa 5,5 km nel comune di Amantea.

L’analisi delle variazioni della posizione della linea di riva ha richiesto una preliminare georeferenziazione e sovrapposizione dei dati disponibili. Per ottenere una buona sovrapposizione sono stati individuati dei capisaldi comuni ai distinti gruppi di dati limitando così l’errore dovuto alle inevitabili distorsioni presenti nella cartografia opportunamente trasferita in formato digitale (mediante lettura ottica e decodifica in forma grafica digitale).

Il risultato della sovrapposizione delle linee di riva è riportato nella figura 6 assieme al posizionamento del sistema di riferimento.

Il sistema di riferimento cartesiano assunto per l’analisi delle linee di riva presenta l’asse delle ascisse orientato a 352° N parallelamente all’allineamento medio del litorale. L’origine del sistema di riferimento è stata posta in corrispondenza della foce armata del fiume Savuto.

Il sistema di calcolo utilizzato ha fornito una prima serie di dati statistici per le polilinee estrapolate rappresentative delle linee di riva di riferimento.

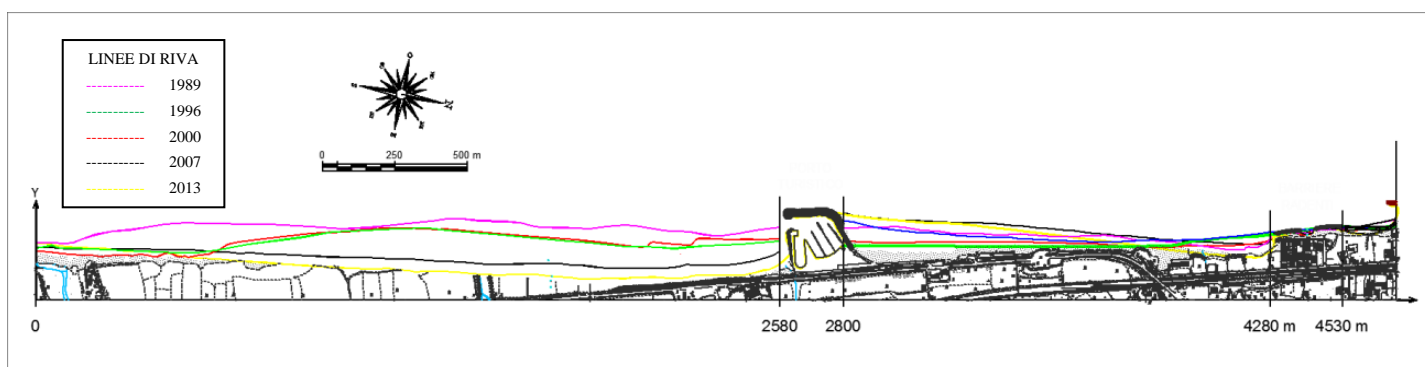


Figura 6: Linee di riva utilizzate per l’analisi diacronica del tratto di costa in esame ed impostazione del sistema di riferimento per l’estrpolazione e l’analisi delle linee di riva

4.2 Analisi diacronica di massima delle linee di riva

In una prima fase le linee di riva sono state regolarizzate operando una discretizzazione secondo un passo di 5 m (ritenuto più che soddisfacente anche in considerazione del sia del dettaglio che si vuole raggiungere che dai dati di input delle polilinee).

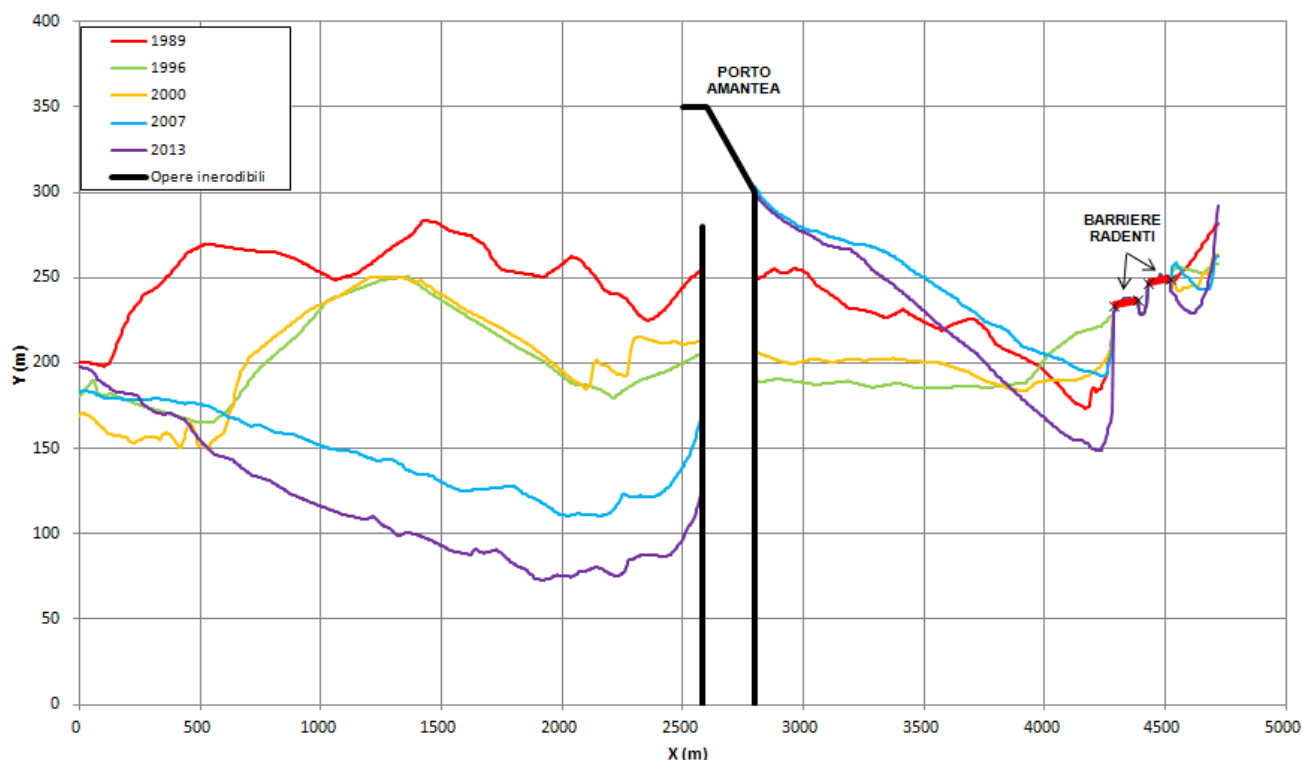


Figura 7: Rappresentazione delle linee di riva e delle opere di difesa costiera (scala distorta).

Le linee di riva così predisposte sono state comparate al fine di calcolare, in corrispondenza di ciascun vertice di discretizzazione, le variazioni subite dalla linea di riva secondo l'equazione:

$$\Delta Y_{1,2} = Y_2 - Y_1$$

ove il pedice indica l'anno di riferimento. Valori positivi di ΔY denunciano un avanzamento della linea di riva mentre valori negativi rappresentano un arretramento della linea di riva.

La fase successiva dell'analisi diacronica delle linee di riva è stata basata sull'analisi delle variazioni calcolate sul confronto dei dati considerando l'arco temporale d'insieme a partire dal 1989 (1989-1996, 1996-2000, 2000-2007 e 2007-2013). In tale modo è possibile evidenziare le caratteristiche

a lungo termine dei fenomeni di dinamica litoranea, prescindendo dalle eventuali variazioni a breve-medio termine della linea di riva.

I risultati statistici delle analisi sono riportati in graficamente nelle figure di seguito riportate.

Nella Figura 8 sono raffigurate in scala distorta le variazioni della linea di riva risultanti dal confronto diretto delle quattro coppie di rilievi consecutivi.

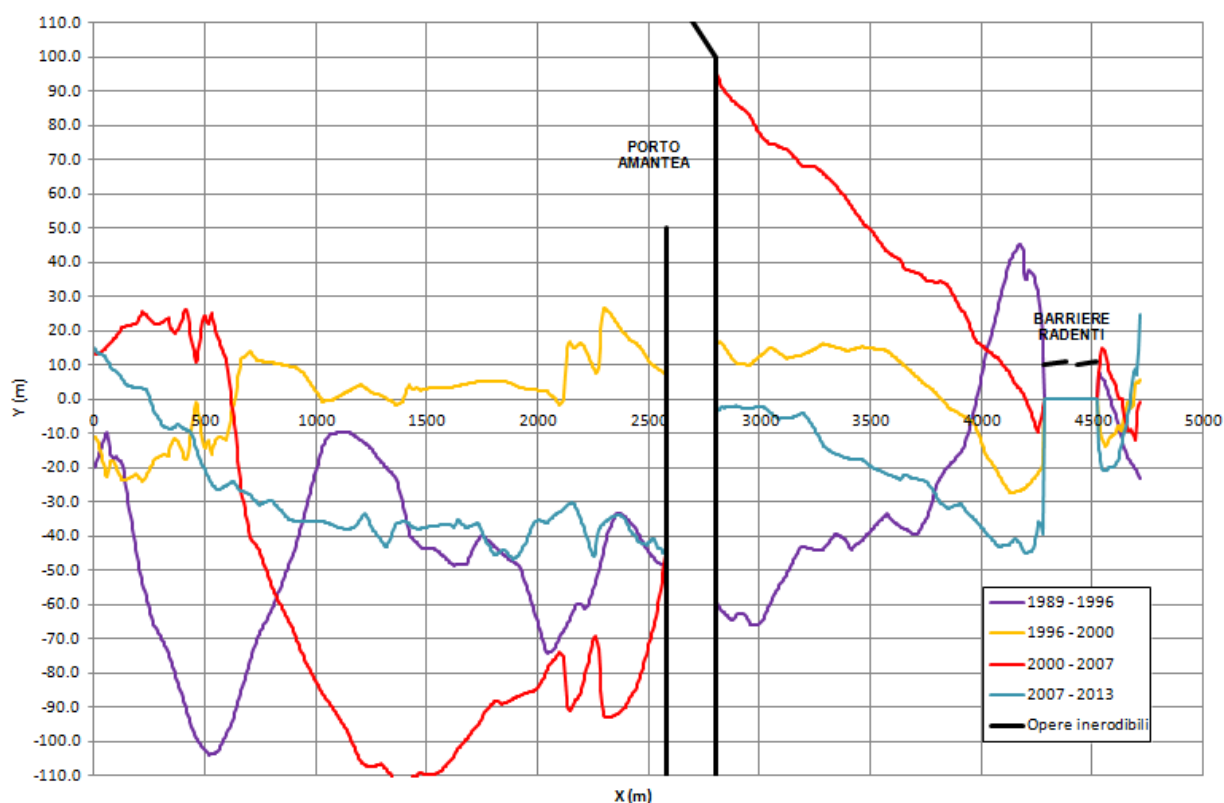


Figura 8: Rappresentazione delle linee di riva e delle opere di difesa costiera (scala distorta).

Osservando attentamente le due figura è possibile constatare un palese differente "comportamento" delle due sub-unità fisiografiche divise dal porto di Amantea nel tratto di costa in esame. La sub-unità Sud (lato sinistro), rispetto al sistema di riferimento adottato, subisce delle marcate variazioni della linea di riva limitate a degli arretramenti, la sub-unità Nord (lato destro) mostra le caratteristiche proprie di una pocket-beach con delle vere e proprie rotazioni della linea di riva attorno ad un "centro di rotazione" dovute anche alla più intensa interferenza esercitata dalle opere portuali.

Se si considerano le tendenze evolutive raffigurate, risulta abbastanza chiara la differenza tra quelle risultanti dai primi due confronti (1989-1996 e 1996-2000) e quella risultante dagli altri due confronti (2000-2007 e 2007-2013).

Fino alla realizzazione del porto di Amantea, si sono registrati periodi di erosione anche significativi con arretramenti della linea di riva su tutto il litorale, più accentuati nelle zone poste nelle immediate vicinanze delle opere di difesa (barriere frangiflutti e scogliere radenti).

A seguito della realizzazione dello porto si registra nel giro di pochi anni (2001-2007) un sensibile avanzamento della linea di riva posta sopraflutto al porto (Nord), che oramai raggiunge stabilmente il margine lato mare della diga foranea di ponente con accumuli di sedimenti in spessori che ormai hanno raggiunto la quota di sommità della berma. Parallelamente se si considera il tratto di litorale posto sottoflutto al porto (Sud), si è registrato un evidente arretramento della linea di riva che tende a ridursi solo in prossimità della foce armata del fiume Savuto che di fatto ha avuto negli anni una funzione di “punto fisso” sostenendo e favorendo l’allineamento della linea di riva in direzione ortogonale rispetto a quella della risultante medio climatica del flusso di energia associato al moto ondoso. Negli ultimi anni (2007-2013) il fenomeno di accumulo a nord della struttura portuale, con il conseguente avanzamento della linea di riva a ridosso del molo di sopraflutto del porto, è andato attenuandosi per “saturazione” della stessa diga ed i sedimenti sospinti dal moto ondoso incidente e dalle correnti litoranee tendono a passare oltre la testata della diga disperdendosi in buona parte lungo i fondali limitrofi (con profondità generalmente superiori ai 4 m) ed alimentando la formazione di una lingua di sabbia che tende ad emergere chiudendo addirittura l’imboccatura del porto.

Se poniamo l’attenzione sull’analisi in termini di variazioni di area della spiaggia emersa si evidenzia che il fenomeno di saturazione della spiaggia emersa posta sopraflutto al porto si è ormai esaurito, anzi in questi ultimi anni (2007-2013) il litorale compreso tra il molo sopraflutto del porto e le due barriere (BE10 e BE11) ha denunciato una costante riduzione della porzione emersa del litorale nella zona a nord pur mantenendosi pressoché invariata in prossimità del molo di sopraflutto del porto.

4.3 Analisi volumetrica e calcolo delle portate solide nette longitudinali

La serie di elaborazioni condotte si conclude con il calcolo del flusso solido longitudinale risolvendo, secondo uno schema implicito alle differenze finite, la nota equazione differenziale del bilancio solido litoraneo (utilizzata dai modelli numerici ad una linea) in funzione della componente longitudinale Q del flusso solido litoraneo:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{D_s} \cdot \left[\frac{\partial Q}{\partial x} - (q_o - q_i) \right] = 0$$

A tal scopo è necessario prefissare alcuni parametri ed ipotizzare le condizioni di flusso solido ai due estremi del tratto di costa in esame.

Nel caso in esame si è tenuto conto delle seguenti condizioni al contorno:

- Profondità D_s della fascia di litorale “attivamente” coinvolta dai fenomeni di trasporto solido litoraneo associati al moto ondoso incidente; questo parametro è definito in funzione della profondità di chiusura D_c della spiaggia sommersa e dell’altezza D_b della berma di incisione della spiaggia emersa; nel caso in esame sulla base dei dati oggettivi ricavati dallo studio meteomarinario e dallo stesso studio morfologico si è considerato un valore della profondità D_s pari a 10,24 m.
- Apporti solidi trasversali q_i lungo il tratto di costa in esame; il bacini idrografici dei fiumi che sfociano sul tratto di costa in esame forniscono un contributo modesto al bilancio solido litoraneo;
- Perdite solide trasversali q_o lungo il tratto di costa in esame; la “chiusura” del sistema considerato allo scambio di sedimenti con l’esterno, comporta che le perdite di materiale possano avvenire solamente in forma di “fuga” dei sedimenti verso il largo; uno degli obiettivi del modello empirico di evoluzione della linea di riva è proprio quello di quantificare come si distribuiscono le perdite solide trasversali lungo il litorale stabilendone il rateo annuo di incidenza sul bilancio solido costiero.

I risultati delle elaborazioni di calcolo Figura 10 confermano che il trasporto solido longitudinale di materiale è caratterizzato da un rateo annuo avente un andamento simile nei vari scenari esaminati e piuttosto condizionati dalla presenza delle opere foranee del porto di Amantea.

La componente longitudinale del trasporto solido litoraneo è contraddistinta da valori massimi dell'ordine di circa 116.000 m³/anno.

L'andamento del bilancio solido riferito ai vari periodi considerati, conferma la tendenza di arretramento della falcata sabbiosa posta a Sud del porto, soprattutto nelle immediate vicinanze dello stesso porto. In tale area è risultata maggiore la portata uscente dalle celle di calcolo rispetto a quella entrante.

Al contrario, nella parte Nord del litorale, il porto di Amantea, costituisce un forte elemento di discontinuità sul trasporto solido longitudinale imponendo di fatto con il suo molo sopraflutto un punto fisso che ha determinato nel corso di pochi anni un marcato accumulo di sedimenti ed un conseguente ed inesorabile avanzamento della linea di riva che si è ormai andata ad allineare con orientamento pressoché ortogonale alla direzione della “risultante” energetica del clima ondoso medio. Di conseguenza su ampia scala (spaziale e temporale) la componente longitudinale è praticamente nulla come documentato dai fenomeni di divagazione comunque limitata dei sedimenti che, seppure sono sufficienti per causare con periodicità annuale l'insabbiamento dell'imboccatura portuale, non riescono ad “aggirare e superare” in modo significativo le opere foranee del porto.

Tutto ciò ha di conseguenza interrotto di fatto la continuità del flusso solido litoraneo sottoflutto come chiaramente documentato dai marcati fenomeni erosivi che oltre a compromettere la stabilità strutturale di un ampio tratto della strada SS18 sono arrivati ormai a coinvolgere l'apparato focale del torrente Torbido posto ad oltre 1 km a sud del porto. Dai risultati delle elaborazioni di calcolo condotte con il modello numerico di analisi diacronica, confermano che il trasporto solido litoraneo riferito allo scenario temporale più recente 2007-2013 è contraddistinto da un rateo annuo tendente a diminuire ma comunque piuttosto sensibile con valori massimi dell'ordine dei 60000 mc/anno.

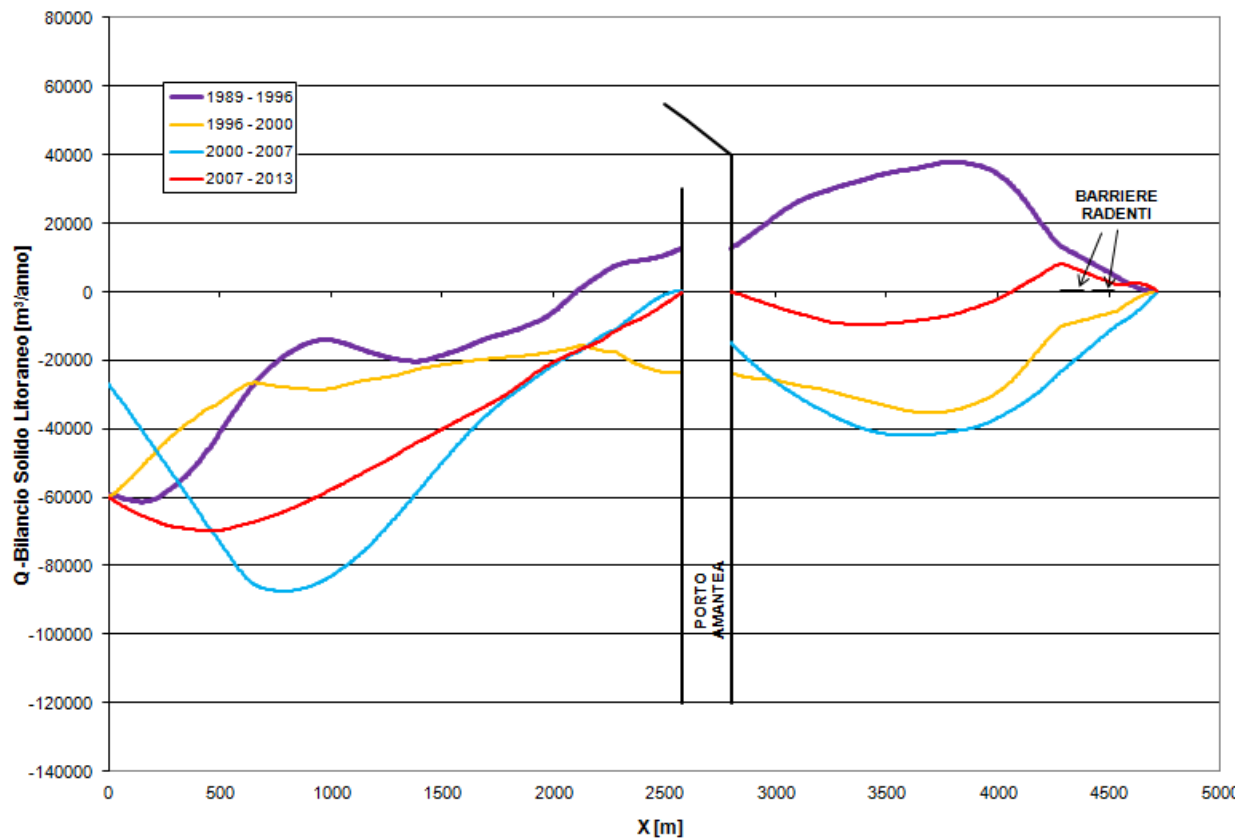


Figura 10 : Schema di bilancio del trasporto solido longitudinale determinato in funzione delle variazioni diacroniche della linea di riva.