



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)*



*Hydraulic Soil Maritime Engineering  
Corso Umberto I, n°154  
80138 Napoli (NA)*

Progettista Responsabile integrative prestazioni specialistiche  
*Ing. Guglielmo Migliorino*



Elaborato:

**RELAZIONE DI SINTESI STUDI, RILIEVI ED INDAGINI  
 TECNICHE E SPECIALISTICHE**

CODIFICA	<input type="text" value="2019-03"/>	CODICE DOCUMENTO ITC	<input type="text" value="1 0,1 WW R,G 0,2"/>	REV.	<input type="text" value="0"/>	SCALA	ELABORATO
							<b>R2</b>
Rev.	Data	Descrizione		Redatto	Controllato	Approvato	
0	12/03/2020	1° EMISSIONE		G. CANTISANI	A. BORSANI	G. MIGLIORINO	
				Visto: Il Responsabile Unico del Procedimento <b>Ing. Francesco STELLATO</b>			

## RELAZIONE GENERALE E TECNICA

### SOMMARIO

INTRODUZIONE .....	1
1. RILIEVO TOPO-BATIMETRICO .....	2
1.1. Piano di navigazione .....	3
1.2. Rilievo topografico della spiaggia emersa e sommersa fino alla -0,5m .....	3
1.3. Rilievo topografico della linea di riva .....	3
1.4. Rapporto attività di rilievo area esterna alla darsena .....	4
1.5. Rapporto attività di rilievo area interna alla darsena .....	4
1.6. Elaborazione post-processing del rilievo .....	4
2. ANALISI GEO-SEDIMENTOLOGICA .....	5
2.1. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area .....	6
2.2. Sismicità dell'area.....	8
2.3. Sedimentologia delle aree di intervento.....	11
2.4. Materiali da approvvigionamento.....	15
2.5. Indagini in sito.....	21
3. STUDIO METEOMARINO AL LARGO E A RIVA .....	22
3.1. Trasposizione dei dati di moto ondoso .....	24
3.2. Propagazione del moto ondoso sottocosta.....	26
3.3. Clima meteomarino medio sottocosta .....	27
3.4. Determinazione dell'onda di progetto .....	29
3.5. Profondità di chiusura di spiaggia.....	29
3.6. Risalita del moto ondoso sulla spiaggia.....	30
4. STUDIO MORFOLOGICO DEL LITORALE .....	31
4.1. Analisi Morfologica in funzione delle linee di riva storiche .....	32
4.2. Analisi diacronica di massima delle linee di riva .....	33
5. STUDIO MORFODINAMICO: EVOLUZIONE RECENTE DELLA LINEA DI RIVA..	35
5.1. Configurazione “A”: evoluzione libera del litorale a 2 e 5 anni.....	35
5.2. Configurazione “B”: evoluzione del litorale in ipotesi di progetto a 2 e 5 anni.....	38

6. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI .....	43
6.1. Risultati ottenuti: granulometria .....	43
6.2. Risultati ottenuti: analisi chimiche .....	44
6.3. Risultati ottenuti: analisi ecotossicologiche .....	45
6.4. Classificazione ponderata.....	46

## INTRODUZIONE

La presente relazione mostra una sintesi di tutti gli studi specialistici, rilievi e indagini eseguite a corredo del progetto per l'intervento denominato "Miglioramento infrastrutturale del Porto Turistico di Amantea" finanziato dalla Regione Calabria Dipartimento Infrastrutture LL.PP, con la Delibera di G.R. n. 309/2018 denominata "Patto per lo sviluppo della Regione Calabria" -POR Calabria FESR/FSE 2014/2020 Asse VII Obiettivo Specifico 7.2 Azione 7.2.2.

## 1. RILIEVO TOPO-BATIMETRICO

Il rilievo è finalizzato alla caratterizzazione topografica e batimetrica della spiaggia emersa e sommersa ove verranno eseguite le opere marittime di progetto. Le operazioni di rilievo sono state eseguite il giorno 16 Settembre 2019 e vengono di seguito descritte.

Nel presente paragrafo vengono descritte le procedure e le strumentazioni utilizzate per il rilievo topobatimetrico propedeutico alla progettazione definitiva dei lavori denominati “Miglioramento infrastrutturale del porto turistico di Amantea”.

Scopo del rilievo è quello di fornire dati aggiornati propedeutici alla progettazione e di fornire al monitoraggio un riferimento iniziale per la valutazione dell'efficacia degli interventi realizzati. Il rilievo ha interessato l'area compresa all'interno dell'area portuale e, per quanto riguarda l'area esterna, si è effettuato un rilievo per circa 1.2 km di cui 800 a Nord del Porto e 400 a Sud. Le attività di rilievo hanno previsto le seguenti fasi:

- ✓ Predisposizione del piano di navigazione;
- ✓ Installazione di una rete di caposaldi;
- ✓ Rilievo topografico della spiaggia emersa, della linea di riva e dei primi fondali fino alla profondità di -0,5 m
- ✓ Rilievo batimetrico dei fondali dalla profondità di -0,5 m fino alla profondità di chiusura dedotta dallo studio meteo-marino del paraggio.

La restituzione del lavoro ha previsto la redazione dei seguenti elaborati:

- Relazione di rilievo topo-batimetrico, corredata da documentazione fotografica, in cui vengono descritte la strumentazione utilizzata, le modalità di rilievo e di elaborazione dei dati;
- Allegati alla relazione: tabelle di marea; monografie dei caposaldi.
- Tavole plano-batimetriche che riportano la linea di riva, le opere esistenti, i transetti topo-batimetrici, il quadro delle rotte di navigazione (strisciate punti battuti), le isobate,
- Allegati alle tavole plano-batimetriche: profili trasversali delle sezioni.

Le attività di rilievo della spiaggia emersa, della linea di riva e della spiaggia sommersa, sono state eseguite con l'ausilio di strumentazione topografica di precisione.

Per l'esecuzione del rilievo batimetrico della spiaggia sommersa, in accordo alle prescrizioni del capitolato speciale, la base è stata posizionata a terra su di un caposaldo preventivamente materializzato ed appartenente alla rete di caposaldi di riferimento per la macro-area di progettazione.

Il sonar utilizzato è stato in grado di acquisire dati di profondità con cadenza di un punto al secondo con la precisione di +/- 5 cm utilizzando un impulso con una frequenza operativa di 200 KHz ed un cono di emissione inferiore a 10°, compensatore d'onda .

### **1.1. Piano di navigazione**

Le aree da rilevare sono state suddivise mediante transetti di rilevamento, sub-ortogonali all'allineamento medio della linea di riva, paralleli tra loro e distanti mediamente circa 75 m con progressivo infittimento a circa 10 m nei pressi della diga foranea. Il percorso di navigazione ha previsto una successione di rotte perpendicolari alla linea di riva procedendo da largo verso riva e da riva verso largo in modo da poter ottenere un numero di punti sufficiente alla successiva fase di elaborazione con un idoneo infittimento in corrispondenza delle aree di ubicazione delle opere. E' stato previsto che il rilievo dell'area venisse chiuso con una navigazione circa parallela alla linea di riva e profondità superiore ai 9 m.

### **1.2. Rilievo topografico della spiaggia emersa e sommersa fino alla -0,5m**

Il rilievo topografico della spiaggia emersa, eseguito con strumentazione GPS, è volto alla sua caratterizzazione morfologica e tende ad evidenziare criticità e variazioni di quota con particolare attenzione alla presenza di eventuali opere di difesa emergenti. Il rilievo è stato eseguito appoggiandosi alla stazione fissa e picchettando con l'unità mobile in modalità picchettamento, salvo infittimento in punti particolari della sezione trasversale, lungo ciascun transetto predisposto nel piano di navigazione, a partire da un termine inderodabile (ad es. ciglio stradale o altre opere civili infrastrutturali) fino alla linea di riva.

### **1.3. Rilievo topografico della linea di riva**

Il rilievo della linea di riva è stato eseguito battendo 3-4 punti a cavallo della stessa, distanti non più di 1 metro. Questa tecnica consente poi di determinare la posizione della linea di riva relativa allo zero assoluto mediante interpolazione tra i punti battuti. Il rilievo topografico della spiaggia emersa e della linea di riva sarà collegato al rilievo dei fondali e per la verifica della compatibilità delle misurazioni si

sovrapporranno per almeno 15 mt. La determinazione della linea di riva è stata integrata mediante l'utilizzo di un dispositivo drone.

#### **1.4. Rapporto attività di rilievo area esterna alla darsena**

Messo a punto il piano di navigazione come precedentemente descritto, si è montato sul natante l'attrezzatura GPS e l'ecoscandaglio, provvedendo alla verifica della taratura dello stesso mediante una serie di misure della profondità con cordella metrica inestensibile; quindi si è partiti via in condizioni di mare calmo e cielo sereno. L'area di rilievo ha interessato la zona a Nord del porto per un'estensione di circa 800 ml e a Sud dello stesso per un'estensione di circa 400 ml, per un totale di 1.2 km. La durata del rilievo è stata di circa 2 ore e non si sono avuti particolari problemi durante la realizzazione della stessa.

#### **1.5. Rapporto attività di rilievo area interna alla darsena**

Giorno 29 Agosto 2019, a seguito di una riunione tecnica che ha visto coinvolti i progettisti e l'amministrazione nella figura del RUP, è emersa la necessità di effettuare un dragaggio dell'area interna portuale. Tale intervento non risultava previsto dal Progetto di Fattibilità.

Con Determina n.288/19 del Responsabile del Servizio il Comune di Amantea finanzia il rilievo dell'area interna portuale. Tale rilievo è stato effettuato giorno 18 Novembre 2019, seguendo lo stesso iter e lo stesso schema tecnico di quello seguito per l'area limitrofa a quella in oggetto.

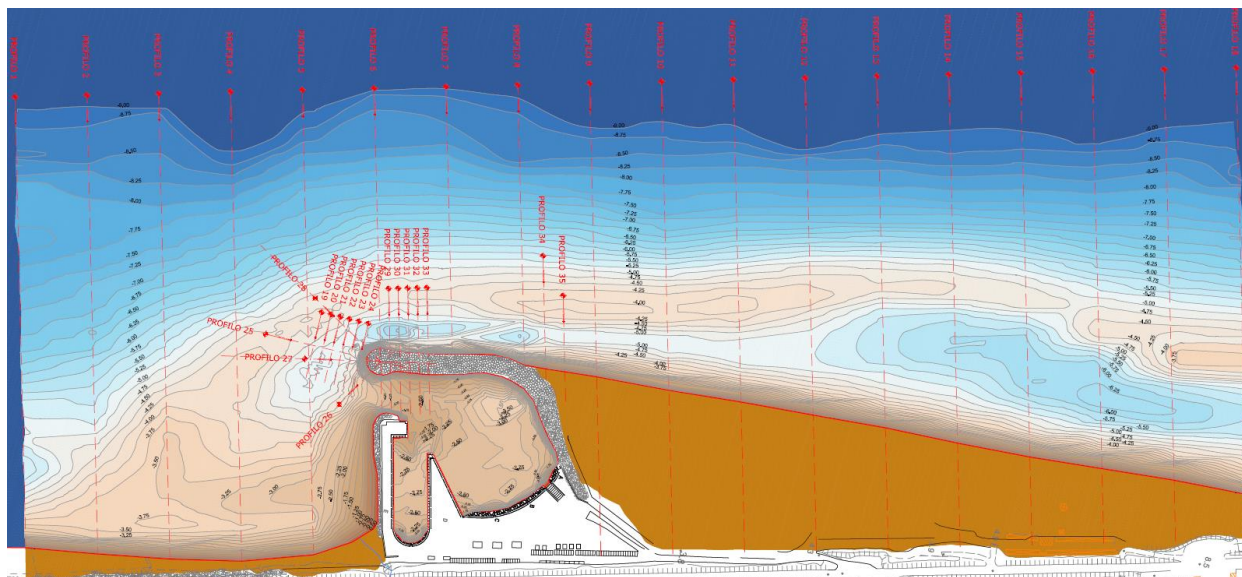
#### **1.6. Elaborazione post-processing del rilievo**

I dati di profondità sono stati rielaborati per tener conto dell'andamento delle maree giornaliera i cui dati sono stati ricavati dalla Rete Mareografica Nazionale (scaricabili dal portale ISPRA –ex APAT). Il mareografo di riferimento scelto è stato quello di Cetraro (CS).

Una volta acquisite queste misure i dati sono stati ulteriormente elaborati con la creazione di un Modello Tridimensionale del terreno (DTM), rappresentativo del rilievo effettuato.

In una prima fase viene estratta la linea di riva dalle misure eseguite a terra e, successivamente, viene utilizzata questa come polilinea di vincolo per la successiva elaborazione delle misure di profondità quindi la rappresentazione delle isobate e delle isoipse. Questa procedura permette di rendere più sensibile il modello alle brusche discontinuità presenti nei bassi fondali tirrenici calabresi.

Nella successiva figura sono riportate, sulle planimetrie delle aree di rilievo, i transetti topo-batimetrici, le isobate e le isoipse.



*Rappresentazione delle rotte di navigazione, dei punti rilevati, delle isobate e delle isoipse*

## 2. ANALISI GEO-SEDIMENTOLOGICA

Lo studio geomorfologico dell'area di interesse, si è articolato su fasi di lavoro analitiche, diagnostiche e propositive. Per la conoscenza preliminare e per una prima valutazione dei caratteri geoambientali del territorio, la fase di analisi si è basata sulla raccolta dei dati derivanti da studi ed indagini geognostiche precedenti e dalla bibliografia geologica, geomorfologica, idrogeologica, sismologica e geologico-tecnica disponibile.

Successivamente a questa prima fase di ricerca bibliografica, si è proceduto alle osservazioni di campagna mediante un accurato rilevamento geologico di dettaglio, al fine di meglio definire e cartografare i vari caratteri geologici, geomorfologici, tettonici, etc., integrati dalla fotointerpretazione ed alla realizzazione della campagna di indagini geognostiche e di laboratorio consistite in:

- n° 1 sondaggio con carotaggio continuo della profondità di 30 metri ed esecuzione di n° 7 prove SPT in foro, prelievo di n° 4 campioni indisturbati e n° 2 campioni a disturbo limitato;
- prove di laboratorio su ciascun campione prelevato dal sondaggio con carotaggio continuo;
- n° 1 prospezione sismica con metodologia MASW sulla banchina Amerigo Vespucci, della lunghezza di 50 m;
- n° 1 prospezione geoelettrica sulla banchina Amerigo Vespucci, della lunghezza di 130 m;
- n° 1 prova georadar sulla banchina Cristoforo Colombo, della lunghezza di 75 m.

La successiva fase di diagnosi, suffragata dalle indagini geognostiche e di laboratorio disponibili ed eseguiti per l'area di studio, ha consentito la formulazione delle proposte progettuali.



Nella fase propositiva, si sono formulate le proposte di fattibilità geologica tecnico- ambientale delle azioni di progetto. L'area di intervento, si configura all'interno dell'area 18 del “Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria”, ossia nel tratto omogeneo di costa tirrenica compreso tra la foce del Fiume Savuto ed il Torrente Laponte (AMA 18-1 ed AMA 18-2).

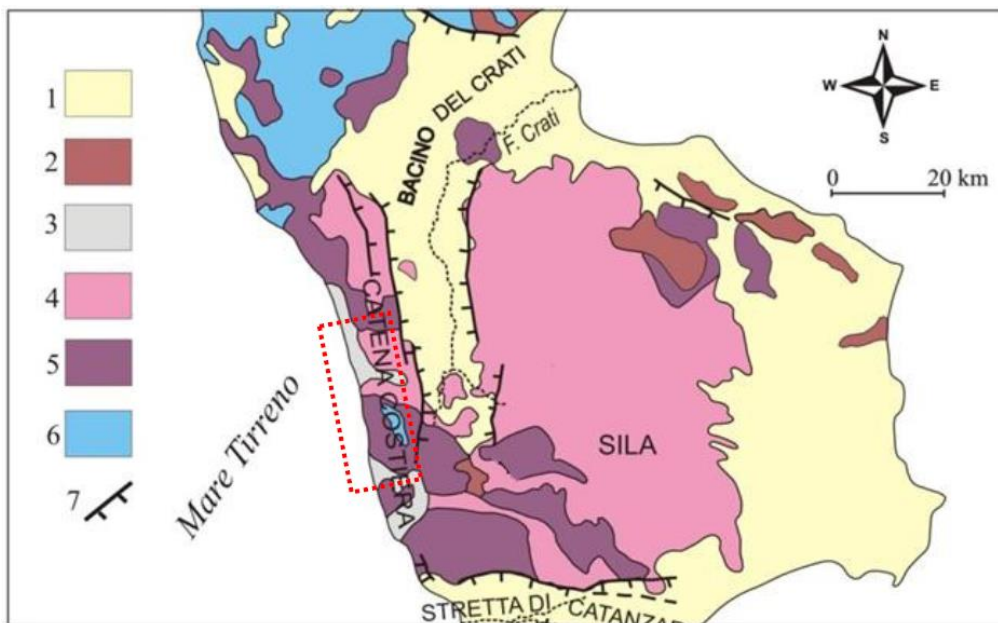
## **2.1. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area**

La costa tirrenica in esame (area 18 del Master Plan) è caratterizzata da un andamento pressoché rettilineo, avente direzione all'incirca N-S, e da una stretta fascia di pianura costiera, localmente assente e più ampia nella zona meridionale, delimitata ad est dal massiccio montuoso della catena costiera: rilievo stretto ed allungato, parallelo alla costa e con versanti molto ripidi.

In particolare, nei bacini dell'area 18, i complessi della catena Alpina di derivazione oceanica sono rappresentati soprattutto da metamorfiti di basso-medio grado (filladi, filladi carbonatiche) e rocce carbonatico-silicee, associati a meta vulcaniti basiche (rocce verdi) e radiolariti; quelli continentali sono rappresentati da gneiss, gneiss granatiferi e granodioriti, con alla base livelli filladici. Le rocce della Catena Appenninica sono rappresentate essenzialmente da calcari e dolomie che affiorano in finestra tettonica sottoforma di rilievi quali M. Cocuzzo e M. Barbaro o di depressioni (piccolo affioramento nella parte bassa del versante a sud di Coreca nel Comune di Amantea, riportato nell' Allegato 1.

Localmente e con maggiore estensione nel settore meridionale, le rocce (paleozoiche e mesozoiche) sono ricoperte dai depositi Miocenici di origine marina (prevalentemente: conglomerati, arenarie, calcari evaporitici ed argille) e Pleistocenici (conglomerati e sabbie bruno-rossastri costituenti i terrazzi marini paralleli alla costa e i terrazzi fluviali lungo i corsi d'acqua più importanti).

Infine, lungo i letti dei corsi d'acqua e lungo la stretta fascia costiera affiorano depositi continentali recenti (Olocenici) rappresentati da alluvioni mobili e fissate dalla vegetazione, conoidi detritiche di varia origine e detriti di frana, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie; inoltre lungo il litorale affiorano con discontinuità lembi di dune sabbiose mobili o stabilizzate e i depositi di spiaggia attiva



*Schema geologico generale ed ubicazione dell'ambito di studio (rettangolo rosso)*

La geologia delle aree d'intervento, tratto costiero tra il F. Savuto e il F. Oliva (Allegato 1 – stralcio Carta Geologica della Calabria), è caratterizzata da un substrato metamorfico (prevalentemente scisti filladici), affiorante a partire dalle prime pendici dei versanti, nella zona di sbocco del fiume Savuto sulla piana costiera, e più diffusamente sui rilievi a sud del Savuto. Su tale substrato poggiano terreni trasgressivi miocenici (arenarie con soprastanti argille) affioranti sul versante destro del fiume Savuto e più diffusamente verso nord (bacino del F. Torbido), sulle pendici ad est di Campora S. Giovanni fino al Bacino del F. Oliva. Stratigraficamente al di sopra delle suddette litologie sono presenti formazioni Pleistoceniche (conglomerati e sabbie bruno-rossastri) costituenti i terrazzi marini paralleli alla costa e lembi di terrazzi fluviali lungo i corsi del Savuto e dell'Oliva.

Infine, nella piana costiera affiorano depositi continentali recenti (Olocenici) rappresentati da alluvioni mobili e fissate dalla vegetazione e conoidi di deiezione allo sbocco di alcuni torrenti sulla piana, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie; inoltre lungo il litorale affiorano con discontinuità dune sabbiose mobili o stabilizzate e i depositi di spiaggia attiva costituiti da sabbie e ghiaie.

Dall'esame dell'Allegato 1 (Carta Geologica Ufficiale - rilievo completato nel 1962) è possibile osservare che: le dune a sud del F. Torbido erano molto estese (larghezza massima di circa 350 m); il F. Savuto allo sbocco sulla piana costiera inondava, attraverso numerosi canali anastomizzati, una vasta area a nord

fino a intercettare una biforcazione del F. Torbido. Infatti, lungo il percorso della linea ferroviaria (unica infrastruttura allora esistente) sono riportati tre attraversamenti fluviali (ponti) oltre a quello più a sud dove confluisce attualmente tutto il corso d'acqua del Savuto e del F. Grande, a seguito dei lavori di canalizzazione ed arginatura effettuati negli anni successivi.

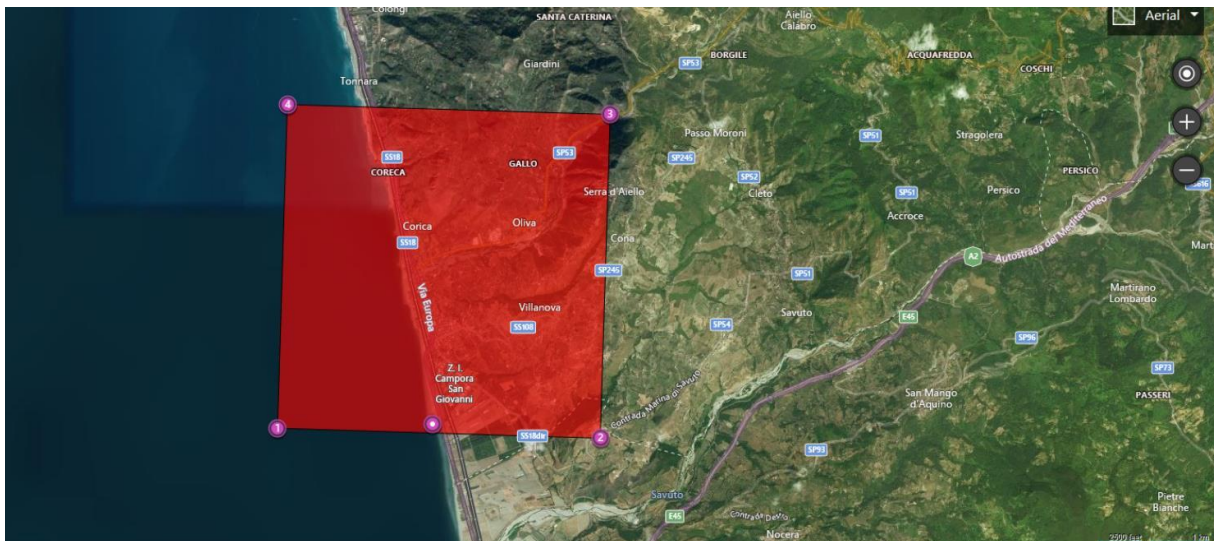
Per quanto concerne gli aspetti litologici dei depositi spiaggia emersa il Progetto di ricerca “Trasporto solido dei corsi d'acqua e interazione tra il trasporto solido litoraneo e fluviale”, Lotto N. 11 del servizio “Studio e sperimentazione di metodologie e tecniche per la mitigazione del rischio idrogeologico” Misura 1.4 del POR Calabria 2000 – 2006 Azione 1.4c” (riguardante la foce del F. Savuto e disponibile presso l'Autorità di Bacino Regionale), evidenzia in sintesi “due fasce ben distinte: ghiaia eterogranulare costituita da clasti, di genesi metamorfica, ad elementi piatti e subarrotondati nella zona di battigia, e sabbie quarzoso-feldspatiche a granulometria media e discretamente classate costituenti il settore di berma fino al cordone di duna. Evidenzia, inoltre che il sistema dunale risulta, quasi totalmente smantellato, non è più protetto dalla spiaggia emersa in forte deficit sedimentario; l'area retrodunale è interessata da pratiche agricole; nel complesso, il sistema di spiaggia risulta ancora riconoscibile; in pochi settori il cordone è in fase di smantellamento o in stato di sofferenza”.

## **2.2. Sismicità dell'area**

Amantea, secondo l'Ordinanza n° 3274 del 20.03.2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri, modificata dall'OPCM n° 3431 del 03.05.2005, rientra nelle “Zone sismiche 1”. Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (ag). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008), infatti, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

Data: 04/02/2020



Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 39.0546417 [°]  
 Longitudine (WGS84): 16.0925217 [°]  
 Latitudine (ED50): 39.0556641 [°]  
 Longitudine (ED50): 16.0933304 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	40999	39.054970	16.062420	2670.22
2	41000	39.053440	16.126680	2890.21
3	40778	39.103410	16.128680	6123.32
4	40777	39.104940	16.064370	6022.44

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

**Punto 1**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.053	2.361	0.289
SLD	50	0.068	2.369	0.320
	72	0.081	2.402	0.334
	101	0.094	2.415	0.348
	140	0.108	2.431	0.358
	201	0.126	2.460	0.370
SLV	475	0.179	2.463	0.425
SLC	975	0.234	2.517	0.445
	2475	0.321	2.615	0.462

**Punto 2**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.059	2.358	0.286
SLD	50	0.077	2.336	0.317
	72	0.093	2.348	0.327
	101	0.110	2.357	0.338
	140	0.129	2.374	0.346
	201	0.152	2.395	0.356
SLV	475	0.220	2.446	0.380
SLC	975	0.294	2.460	0.422
	2475	0.415	2.538	0.443

**Punto 3**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.059	2.356	0.286
SLD	50	0.079	2.330	0.317
	72	0.095	2.339	0.327
	101	0.112	2.351	0.337
	140	0.131	2.369	0.345
	201	0.155	2.390	0.355
SLV	475	0.226	2.440	0.378
SLC	975	0.302	2.451	0.419
	2475	0.430	2.525	0.441

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.053	2.357	0.288

R02 – RELAZIONE DI SINTESI DEGLI STUDI SPECIALISTICI

SLD	50	0.069	2.365	0.320
	72	0.082	2.395	0.334
	101	0.095	2.406	0.347
	140	0.110	2.418	0.358
	201	0.128	2.445	0.368
SLV	475	0.183	2.446	0.422
SLC	975	0.240	2.509	0.441
	2475	0.331	2.601	0.459

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.358	0.287
SLD	50	0.073	2.351	0.318
SLV	475	0.201	2.451	0.403
SLC	975	0.265	2.487	0.433

### 2.3. Sedimentologia delle aree di intervento

Con Decreto 15 luglio 2016, n. 173 “Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”, (16G00184) (GU Serie Generale n.208 del 06-09-2016 - Suppl. Ordinario n. 40), entrata in vigore il 21/09/2016, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, al fine della tutela dell'ambiente marino, determina:

- a) le modalità per il rilascio dell'autorizzazione di cui all'articolo 109, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152, per l'immersione deliberata in mare dei materiali di escavo di fondali marini o salmastri o di terreni litoranei emersi di cui al comma 1, lettera a) del medesimo articolo 109;
- b) i criteri omogenei per tutto il territorio nazionale, per l'utilizzo di tali materiali ai fini di ripascimento o all'interno di ambienti conterminati, ai quali le regioni conformano le modalità di caratterizzazione, classificazione ed accettabilità dei materiali in funzione del raggiungimento o mantenimento degli obiettivi di qualità ambientale dei corpi idrici marino costieri e di transizione;
- c) la gestione dei materiali provenienti dal dragaggio delle aree portuali e marino costiere non comprese in siti di interesse nazionale;
- d) la gestione dei materiali provenienti dai siti di interesse nazionale risultanti da operazioni di dragaggio nelle aree portuali e marino costiere, al di fuori di detti siti.

Per l'intervento denominato “Miglioramento infrastrutturale del Porto Turistico di Amantea”, in particolare per l'intervento B – “By-pass delle sabbie” ed intervento G – “Dragaggio della darsena interna portuale”, sono stati prelevati dei campioni sui quali si sono effettuate delle analisi sedimentologiche, le quali hanno fornito informazioni sulle dimensioni dei sedimenti presenti nelle aree in esame, avvalorando la scelta della “spiaggia a Nord del porto” come sito di prelievo dell'inerte da ripascimento.

Su ciascun campione è stata eseguita:

- misura del peso specifico dei grani;
- analisi granulometrica mediante setacci e/o crivelli.

Le analisi sedimentologiche eseguite sui campioni prelevati ex novo per tale progetto definitivo, hanno fornito informazioni sulle dimensioni dei sedimenti presenti nelle aree in esame, avvalorando la scelta della “spiaggia a Nord del porto” come sito di prelievo dell'inerte da ripascimento.

Le proprietà granulometriche dei sedimenti possono venire utilizzate anche attraverso l'analisi di alcuni parametri statistici, per ricostruire processi e differenziare ambienti e singoli sistemi sedimentari.

L'analisi fattoriale delle percentuali granulometriche si basa sul presupposto che ogni sedimento clastico sia costituito da un certo numero di popolazioni elementari che possono venire trasportate in modo diverso ed avere quindi una storia deposizionale diversa.

Dal riconoscimento e dall'analisi di tali popolazioni si possono trarre indicazioni sui processi e sugli ambienti sedimentari.

In linea generale, le zone con granulometria più grossolana indicano la presenza di notevole energia derivata dai fattori meteomarini, che impedisce la deposizione delle particelle più fini.

Ad una zona con alta energia corrisponde un'area soggetta ad intensa attività di trasporto dei sedimenti e quindi ad un'intensa attività erosiva. Al contrario, a zone caratterizzate da granulometria più fine corrispondono aree soggette a debole energia meteomarina, che consente la deposizione dei sedimenti.

L'indicazione che si può trarre da questo tipo di indagine è di carattere qualitativo, ma la combinazione di queste misure con i dati meteomarini ed altre condizioni al contorno consente di effettuare le seguenti valutazioni.

In particolare permette di:

- valutare la compatibilità dei materiali esaminati rispetto alle aree in cui si intende intervenire;
- calibrare e successivamente verificare i modelli matematici dell'evoluzione della linea di costa;
- valutare quantitativamente l'azione del moto ondoso sul trasporto dei sedimenti;
- valutare l'impatto delle opere costiere sulla dispersione dei sedimenti.

Per la determinazione delle caratteristiche tessiturali delle aree in esame, sono stati prelevati in totale n° 15 campioni: n° 8 campioni sono stati prelevati dalla spiaggia a Nord del Porto, n° 2 campioni sono stati prelevati dalla spiaggia a Sud del porto, mentre gli altri n° 5 campioni sono stati prelevati dal fondale interno al porto, la cui ubicazione è rappresentata nella seguente "Planimetria dei punti di campionamento". Tali campioni sono stati analizzati presso I.P.G. di Castrolibero (CS). Nella seguente tabella vengono riportate la sigla dei campioni, la quota di prelievo, la localizzazione ed i valori del D50(mm):

N° campione	Tipologia di campione	Localizzazione		D <sub>50</sub> (mm)
13177/5451	P1 0,00-1,00 m	39° 03' 43.4" N 16° 05' 28.0" E	Nord Porto spiaggia emersa	0.68
13178/5451	P1 1,00-2,00 m	39° 03' 43.4" N 16° 05' 28.0" E	Nord Porto spiaggia emersa	0.77
13179/5451	P2 0,00-1,00 m	39° 03' 37.6" N 16° 05' 28.6" E	Nord Porto spiaggia emersa	0.78
13180/5451	P2 1,00-2,00 m	39° 03' 37.6" N 16° 05' 28.6" E	Nord Porto spiaggia emersa	1.20
13181/5451	P3 0,00-1,00 m	39° 03' 32.5" N 16° 05' 29.1" E	Nord Porto spiaggia emersa	0.98
13182/5451	P3 1,00-2,00 m	39° 03' 32.5" N 16° 05' 29.1" E	Nord Porto spiaggia emersa	1.30
13183/5451	P4 0,00-1,00 m	39° 03' 25.3" N 16° 05' 30.5" E	Nord Porto spiaggia emersa	1.00
13184/5451	P4 1,00-2,00 m	39° 03' 25.3" N 16° 05' 30.5" E	Nord Porto spiaggia emersa	2.80



13185/5451	P5 0,00-1,00 m	39° 03' 16.7" N 16° 05' 38.2" E	Sud Porto spiaggia emersa	1.60
13186/5451	P6 0,00-1,00 m	39° 03' 04.5" N 16° 05' 43.3" E	Sud Porto spiaggia emersa	0.95
13188/5452	P7 0,00-1,00 m	39° 03' 16.1" N 16° 05' 31.3" E	Interno Porto fondale	0.78
139189/5452	P8 0,00-1,00 m	39° 03' 17.0" N 16° 05' 30.1" E	Interno Porto fondale	0.58
13190/5452	P9 0,00-1,00 m	39° 03' 18.2" N 16° 05' 30.0" E	Interno Porto fondale	0.41
13191/5452	P10 0,00-1,00 m	39° 03' 18.0" N 16° 05' 32.2" E	Interno Porto fondale	1.40
13192/54512	P11 0,00-1,00 m	39° 03' 17.4" N 16° 05' 35.1" E	Interno Porto fondale	0.90

Nella seguente tabella, è possibile confrontare il D50 medio corrispondente ad ogni area esaminata:

Localizzazione	D <sub>50</sub> medio (mm)	Classe granulometrica
Nord Porto	1.19	Sabbia molto grossolana
Sud Porto	1.27	Sabbia molto grossolana
Interno Porto	0.81	Sabbia grossolana

Dalle tabelle si deduce che la granulometria della spiaggia emersa a Nord del porto risulta compatibile per il ripascimento da effettuare a Sud del porto, mentre all'interno del porto la granulometria risulta inferiore (meno stabile). Tuttavia, considerando il volume esiguo di materiale che viene prelevato in seguito all'intervento di dragaggio della darsena interna portuale rispetto al totale, può considerarsi anch'esso compatibile per il ripascimento da effettuare a Sud del porto.

## 2.4. Materiali da approvvigionamento

Per la realizzazione delle opere in progetto, l'ATP ha individuato come possibile sito di approvvigionamento, la cava "Magari", ubicata nella frazione di Potame nel Comune di Domanico, in località "Magari".

La scelta di tale sito è stata fatta sulla natura e sulla dimensione del materiale estrattivo nonché sull'ubicazione del sito stesso, che si trova a circa 25 Km di distanza dalle aree in cui si intende intervenire.

Dai sopralluoghi effettuati, nell'ambito dei 50 km dalle aree di cantiere, tale cava risulta essere, sia da un punto di vista tecnico che amministrativo, l'unica a soddisfare determinati requisiti.

Dal punto di vista tecnico, tale cava produce materiale di varia pezzatura che va dal pietrame ai massi di IV categoria (>7 tonnellate). La reale produzione dei massi di IV categoria è stata verificata dalla scrivente ATP nell'ambito di un sopralluogo di natura conoscitiva.

La tabella a seguire riporta l'elenco delle quantità di materiale lapideo e di pietrame complessivamente utilizzato per la costruzione delle opere di progetto.

LAVORAZIONI	udm	Progetto definitivo
Scavo subacqueo mezzi terrestri	m <sup>3</sup>	6610,57
Scogli 1^ categoria	t	0,00
Scogli 2^ categoria	t	32928,71
Scogli 3^ categoria	t	23344,81
Scogli 4^ categoria	t	8605,95
<i>Totale scogli</i>	t	<i>64879,47</i>
Salpamento di scogli	m <sup>3</sup>	5400,00
Geotessile	m <sup>2</sup>	3898,50
Pietrame di basamento	m <sup>3</sup>	12381,39
Palo di segnalazione	n.	2,00
Ripascimento	m <sup>3</sup>	245052,00
Ripascimento stratificato	m <sup>3</sup>	7288,39
Ripascimento con materiale escavo	m <sup>3</sup>	6610,57
<i>Totale ripascimento</i>	m <sup>3</sup>	<i>258950,96</i>

Per le quantità sopra indicate, stimate nell’ambito della progettazione definitiva, la partecipante ATI, ha inoltrato espressa richiesta per la prenotazione delle stesse. La sopra indicata cava ha offerto tale disponibilità per cui si ha ragione di poter essere certi sull’approvvigionamento dei materiali per la costruzione delle opere (Allegato 3a).

L’ammasso roccioso costituente la cava è caratterizzato da rocce grigiastre compatte e con struttura cristallina; presenta una elevata resistenza all’erosione e permeabilità da media ad elevata. Si tratta di calcari dolomitici del Triassico, da grigio chiaro a grigio scuro, generalmente a grana fine e compatta. Tali rocce sono state utilizzate anche in tutti gli altri interventi di difesa costiera realizzati negli anni precedenti nel Comune di Amantea nonché per la realizzazione del porto turistico ubicato in località Campora ovvero nelle aree di cantiere.

### ***Ubicazione del sito***

Il sito di approvvigionamento si colloca nel settore centro-occidentale della Calabria, nel territorio montuoso del litorale tirrenico cosentino, che si eleva ad Ovest della valle del Fiume Crati. In particolare tale sito è ubicato alle pendici occidentali di Monte Scudiero (1294 m s.l.m.), nel settore meridionale del territorio comunale di Domanico, precisamente a Sud della frazione di Potame.

Il sito estrattivo è collegato alla Strada Statale n.108 “Silana di Cariati” che rappresenta la viabilità principale e che collega Amantea con Domanico e poi con Rogliano, mediante la strada comunale per Lago, sulla quale si immette l’ingresso della stessa area estrattiva. L’accesso è ubicato in posizione tale da non creare disagi alla viabilità ordinaria.

### ***Caratterizzazione geotecnica***

Nel seguente paragrafo viene fornito un sunto delle principali caratteristiche geotecniche dell’ammasso roccioso costituente l’area estrattiva.

Per la classificazione del grado di alterazione è stato fatto riferimento allo schema adottato da Cascini et al., 1992, elaborato presso il Geotechnical Control Office di Hong Kong, riportato di seguito in tabella:

Classe	Descrizione	Caratteri distintivi materiale roccioso	Caratteri distintivi ammasso roccioso
<b>VI</b>	Terreno residuale e colluviale	Terreno prodotto dall'alterazione in posto, con la tessitura della roccia originaria completamente distrutta, e interessato da processi colluviali, granulometria da sabbia con ghiaia limosa a limo con sabbia argilloso.	Terreni residuali e colluviali con lembi di saprolite, roccia assente.
<b>V</b>	Roccia completamente alterata o <i>saprolite</i>	Roccia completamente disgregata avente la consistenza di un terreno, ma che presenta discontinuità allo stato relitto ed è ancora preservata la tessitura originaria. Si disgrega rapidamente in acqua, la punta del martello da geologo si indenta in profondità e il coltello solca facilmente la superficie, pezzi di roccia si sgretolano con le mani. Valori del Martello di Schmidt:0-1	Saprolite con lembi isolati di terreno residuale e nuclei di roccia meno alterati, la percentuale di terreno supera il 50%
<b>IV</b>	Roccia altamente alterata	Roccia completamente alterata e intensamente alterata, frammenti di grosse dimensioni possono essere rotti con le mani ma non sgretolati, si disgrega in piccola parte se immersa in acqua, la punta del martello da geologo si indenta in superficie, Martello di Schmidt: 11-22	Roccia altamente alterata con lembi di terreno residuale e saprolite e con nuclei di roccia meno alterati, la percentuale di terreno non supera il 50%
<b>III</b>	Roccia moderatamente alterata	Roccia completamente decolorata tranne che in alcuni punti lontani dalle fratture, alterata ma ancora dotata di discreta resistenza. Frammenti di grosse dimensioni non si rompono con le mani e non si disgregano in acqua; la punta del martello da geologo riga la superficie; Martello di Schmidt: 25-55	Roccia moderatamente alterata con nuclei di roccia da altamente debolmente alterati; percentuale di terreno non supera il 30%
<b>II</b>	Roccia debolmente alterata	Roccia decolorata solo lungo le discontinuità; la resistenza è prossima a quella della roccia non alterata; colore marrone nelle discontinuità.	Roccia debolmente alterata con zone di maggior alterazione lungo le fratture; percentuale massima di terreno 10%
<b>I</b>	Roccia fresca	Roccia nella quale non sono visibili segni di decolorazione e di alterazione.	Roccia non alterata con locali segni di debole alterazione; terreno assente.

Secondo tale tabella, il calcare dolomitico caratterizzante il sito di estrazione è stato messo in relazione alla classe II e classificato come “Roccia debolmente alterata”.

I principali parametri geotecnici dell' ammasso roccioso in esame sono riassumibili nella seguente tabella:

Parametro Geotecnico	Simbolo	Unità di misura	Valore
<b>Densità relativa</b>	Dr	%	<b>100</b>
<b>Angolo di attrito</b>	$\varphi$	(°)	<b>36-41</b>
<b>Peso di volume</b>	$\gamma$	(t/m <sup>3</sup> )	<b>1,8-2</b>
<b>Peso di volume saturo</b>	$\gamma_{\text{sat}}$	(t/m <sup>3</sup> )	<b>2,3</b>
<b>Coesione</b>	c	(t/m <sup>2</sup> )	<b>0,30</b>

Le classificazioni geotecniche dei materiali lapidei sono basate sulla descrizione della struttura e delle condizioni delle discontinuità, da cui si ricavano i parametri di resistenza e di deformabilità. I metodi utilizzati si basano sulla stima della qualità dell'ammasso roccioso, da cui sono stati estrapolati gli indici e le caratteristiche meccaniche dell'ammasso considerato nella sua globalità (angolo di attrito e coesione).

Le classificazioni utilizzate si basano sui seguenti metodi:

- Metodo di Bieniawski (1989): si basa sul rilievo di sei parametri ai quali è assegnato un peso: R1 valore assegnato alla compressione uni assiale; R2 valore assegnato all'indice RQD; R3 valore assegnato alla spaziatura delle discontinuità; R4 valore assegnato alle condizioni delle discontinuità; R5 valore assegnato alle condizioni idrauliche; R6 valore assegnato all'orientamento delle discontinuità. La classificazione definisce due valori dell'indice RMR base e corretto.
- Metodo di Barton (1979): si basa sulla determinazione dell'indice di qualità Q, che è funzione di RQD, numero di sistemi di fratture  $J_n$ , scabrezza delle discontinuità  $J_r$ , riempimento delle fratture  $J_a$ , condizioni idrauliche  $J_w$ , riduzione del carico citostatico SRF.

Le tabelle riportate nell'allegato 3b, riportano i criteri di determinazione di tali valori.

Per la determinazione dei parametri geotecnici dell'ammasso dolomitico, le varie misurazioni sono state eseguite in n.6 stazioni di rilevamento. Nell'allegato 3c vengono riportati i relativi report:

I risultati di tali rapporti di prova possiamo riassumerli nelle seguenti tabelle:

<b>Classificazione di BIENIAWSKI</b>					
<b>Stazione di misura</b>	<b>Classe</b>	<b>RMR</b>	<b>Qualità dell'ammasso roccioso</b>	<b>Coesione (kPa)</b>	<b>Angolo d'attrito (°)</b>
F1	III	50	Discreta	375	42
F2	II	61	Buona	330	38
F3	II	74	Buona	370	42
F4	V	19	Molto scadente	345	39
F5	III	46	Discreta	355	40
F6	III	48	Discreta	365	41

<b>Classificazione di BARTON</b>					
<b>Stazione di misura</b>	<b>Q</b>	<b>RMR</b>	<b>Qualità dell'ammasso roccioso</b>	<b>Coesione (MPa)</b>	<b>Angolo d'attrito (°)</b>
F1	3,33333	55	Scadente	0,315	36
F2	3,75	56	Scadente	0,385	43
F3	10	65	Mediocre	0,365	41
F4	6,66666	61	Mediocre	0,38	43
F5	1,66666	49	Scadente	0,315	36
F6	1,66666	49	Scadente	0,345	39

Di seguito vengono forniti in modo schematico i dati relativi a prove eseguite sui materiali di cava dal laboratorio PREMACE S.r.l.. Nell'allegato 3d verranno inseriti i rapporti di prova.

Nell'anno 2001 sono state eseguite delle prove preliminari di qualificazione su materiale lapideo che hanno fornito i seguenti risultati:

<b>Peso di Volume</b> medio (4 campioni)	2785 kg/m <sup>3</sup>
<b>Coefficiente d'Imbibizione</b> medio (5 campioni)	0,36%
<b>Resistenza a Compressione</b> medio, su <u>provini asciutti</u> (4 campioni)	1780 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Resistenza a Compressione</b> medio, su <u>provini saturi d'acqua</u> (4 campioni)	1766 kg/cm <sup>2</sup>

Nella stessa occasione è stata determinata la Gelività del materiale, che risulta essere non gelivo. La compressione è stata eseguita su n. 4 provini cubici dopo 20 cicli di gelo e disgelo (da -10°C a 35°C), da cui sono stati ricavati:

<b>Peso di Volume</b> medio	2789,6 kg/m <sup>3</sup>	<b>Resistenza a Compressione</b> medio	1873 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Peso di Volume</b> medio saturo	2721,5 kg/m <sup>3</sup>	<b>Resistenza a Compressione</b> medio saturo	1767 kg/cm <sup>2</sup>
Riduzione subita	- 2,50%	Riduzione subita	- 6,02%

Alla conclusione delle prove, erano assenti sia le screpolature che le lesioni.

Nell'anno 2002 sono stati esaminati n. 4 classi di inerti; inoltre sono state determinate la resistenza a compressione e la resistenza all'usura.

Classi d'inerti	<5	5÷10	10÷15	15÷25
Massa Volumica apparente dei granuli dell'aggregato <b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,843	2,811	2,818	2,817
Massa Volumica apparente dell'aggregato non addensato <b>g/cm<sup>3</sup></b>	1,764	1,536	1,550	1,554

Il valore medio della Resistenza a Compressione determinato in questa occasione è pari a 1780 kg/cm<sup>2</sup>. La determinazione della Resistenza all'Usura, è il rapporto tra il valore dell'usura del granito di S. Fedelino (utilizzato come parametro di riferimento) e il valore dell'usura del materiale esaminato. Il valore dell'usura si riferisce ad un percorso di mola pari a 500m.

Usura granito di S. Fedelino $U_0$ (mm)	Usura campione in esame $U_c$ (mm)	Resistenza all'usura $U_0 / U_c$
2,00	1,34	1,49

Un materiale è resistente all'usura se il valore del rapporto è  $\leq 1.5$ .

Nel 2008 è stato eseguito un esame petrografico macroscopico su un campione di roccia frantumata, "sabbia e pietrisco", che evidenzia il colore grigio scuro, la presenza di calcite e dolomite, la struttura compatta.

Negli anni 2011-2013 sono state esaminate n.5 classi di inerti:

Classi d'inerti	<4	4÷8	8÷16	16÷22	22÷28
Massa Volumica apparente <b>Mg/m<sup>3</sup></b>	2,831	2,821	2,839	2,825	2,840
Massa Volumica del granulo in s.s.a. <b>Mg/m<sup>3</sup></b>	2,823	2,809	2,822	2,811	2,832

## 2.5. Indagini in sito

Per la realizzazione delle opere in progetto

La campagna di indagini geognostiche realizzata a supporto del progetto per i lavori di “Miglioramento infrastrutturale del Porto Turistico di Amantea”, finalizzata alla ricostruzione del modello geologico e geologico – tecnico del sottosuolo della zona di interesse, è consistita nell’esecuzione di:

- N. 1 sondaggio con carotaggio continuo;
- N. 1 prospezione sismica di superficie con metodologia MASW ;
- N. 1 prospezione geoelettrica in configurazione multielettrodica;
- N. 1 indagine geofisica con il metodo elettromagnetico impulsivo noto come Ground Penetrating Radar (GPR) o Georadar.



**Figura 7** – Ortofoto del porto di Amantea con indicazione delle indagini eseguite.

Per la consultazione dei risultati ottenuti dalle indagini in sito e di laboratorio eseguite, si rimanda all’elaborato: “R11 – Rapporto sulle indagini”, che costituisce parte integrante del presente studio.



### **3. STUDIO METEOMARINO AL LARGO E A RIVA**

La prima parte dello studio è relativa alla selezione della boa ondometrica, da cui poter effettuare le analisi delle registrazioni delle serie temporali delle grandezze del moto ondoso (altezza, periodo e direzione di provenienza).

Lo studio riguarda la modellazione del clima meteomarino al largo e sottocosta del paraggio di Amantea, importante comune costiero del tirreno calabrese centrale appartenente alla provincia di Cosenza.

Successivamente, i dati meteomarini della boa ondometrica di riferimento sono opportunamente trasferiti al largo del paraggio di Amantea, attraverso il metodo della trasposizione geografica, che consente la determinazione dei valori di altezza e periodo nell'area oggetto di studio, mediante un approccio empirico per la determinazione della deviazione angolare, che subiscono le onde nel trasferimento da un paraggio ad un altro.

La propagazione delle onde viene effettuata attraverso un modello numerico, basato sull'evoluzione spaziale dello spettro d'energia del moto ondoso, che tiene conto degli effetti dello shoaling e della rifrazione.

Sulla base del clima meteomarino al largo, vengono determinate le mareggiate che hanno investito il paraggio di Amantea e viene successivamente effettuata l'analisi degli eventi estremi di moto ondoso per differenti settori direzionali, ai fini della determinazione dell'onda di progetto a prefissato tempo di ritorno.

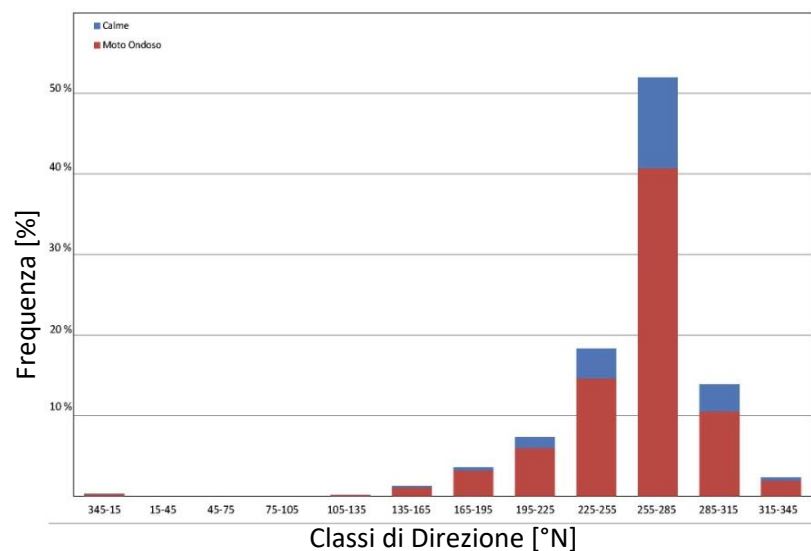
Per i tempi di ritorno più significativi viene successivamente effettuata la propagazione delle onde di progetto fino a sottocosta, ai fini del dimensionamento delle opere di difesa costiera previste per il litorale in esame.

La caratterizzazione del moto ondoso medio ed estremo al largo di Amantea è stata effettuata a partire dall'analisi delle serie storiche registrate dagli ondometri del Tirreno Centro-Meridionale della Rete Ondometrica Nazionale (RON) del Sistema Idrografico e Mareografico Nazionale

Le registrazioni utilizzate, tra quelle a disposizione della boa di Cetraro, sono relative al periodo compreso tra il 1 Aprile 1999 – ed il 31 Marzo 2007, tali dati sono sufficienti per la definizione di un clima meteomarino e per un successivo studio di dinamica costiera di un paraggio.

La serie storica dei dati ondametrici registrati dall'ondametro di Cetraro è stata sottoposta ad opportuna validazione, attraverso l'eliminazione degli eventi non registrati dalla boa e gli eventi considerati anomali.

In figura sono rappresentati i dati di Boa di Cetrato, per mezzo di un istogramma in cui le calme ( $H_s < 0.25$  m) sono separate dagli eventi di moto ondoso ( $H_s > 0.25$  m).



*Percentuali di apparizione del moto ondoso al largo di Cetraro*

In figura sono state riportate, sotto forma di diagramma polare, le frequenze di apparizione delle classi di altezza d'onda significativa suddivise in questo caso, per maggiore accuratezza, in settori direzionali di  $10^\circ$ .

Gli eventi ondosi aventi  $H_s > 4$  m sono stati raggruppati in una stessa classe in modo da avere una visualizzazione grafica più chiara. Si evince che il settore direzionale  $255^\circ$ - $265^\circ$ N rappresenta quello cui competono il maggior numero di eventi di moto ondoso e quelli più estremi, seguiti, in ordine decrescente, dai settori  $265^\circ$ - $275^\circ$ N e  $245^\circ$ - $255^\circ$ N.

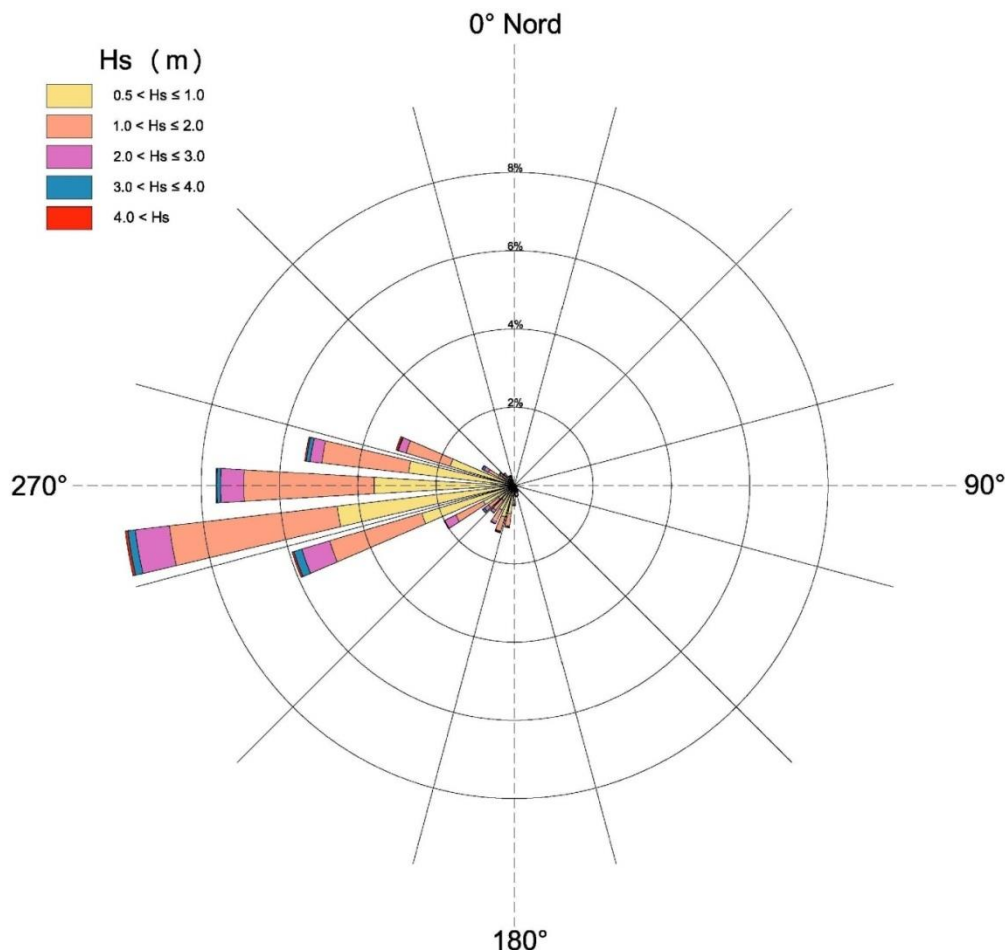


Diagramma polare delle frequenze di apparizione degli eventi di moto ondoso al largo di Cetraro

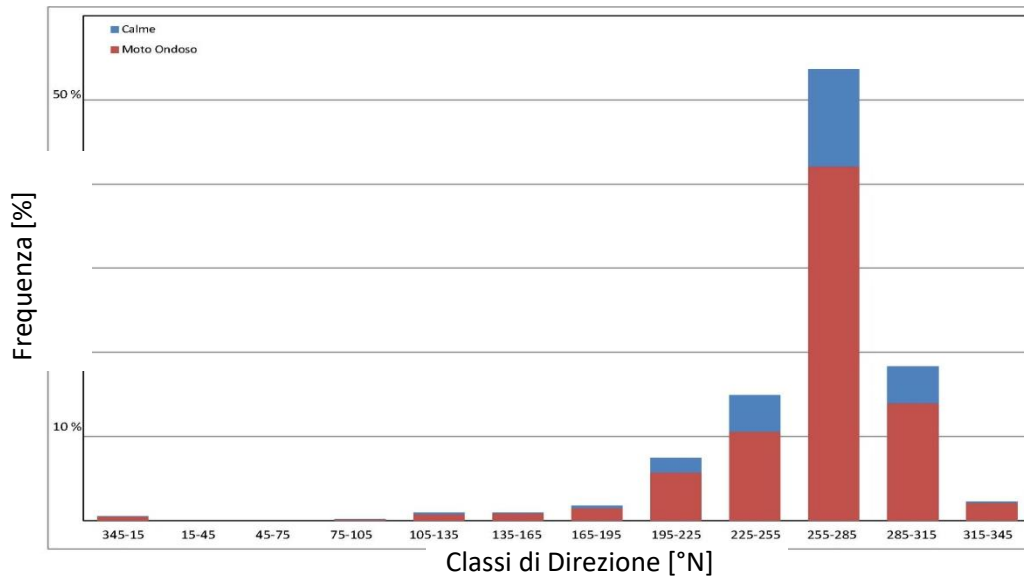
### 3.1. Trasposizione dei dati di moto ondoso

La definizione del clima di moto ondoso al largo di un paraggio risulta fondamentale per impostare gran parte degli studi che vengono eseguiti nel campo dell'ingegneria costiera e, più in generale, delle costruzioni marittime.

Nel caso in esame, partendo dalle serie storiche dei dati di moto ondoso registrati dall'ondametro di Cetraro, occorre determinare quale sia il clima meteomarinico al largo del paraggio di Amantea, che non risulta disporre di misure dirette di moto ondoso.

L'ipotesi di base del metodo della trasposizione geografica consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione) che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse.

Il metodo consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relativi al punto di misura (boa ondometrica di Cetraro) e a quello di interesse (boa virtuale di Amantea), che risulta un punto ottimale per la modellazione meteomarina media ed estrema per il tratto litoraneo in esame (Figura 4).



Percentuali di apparizione del moto ondoso al largo di Amantea

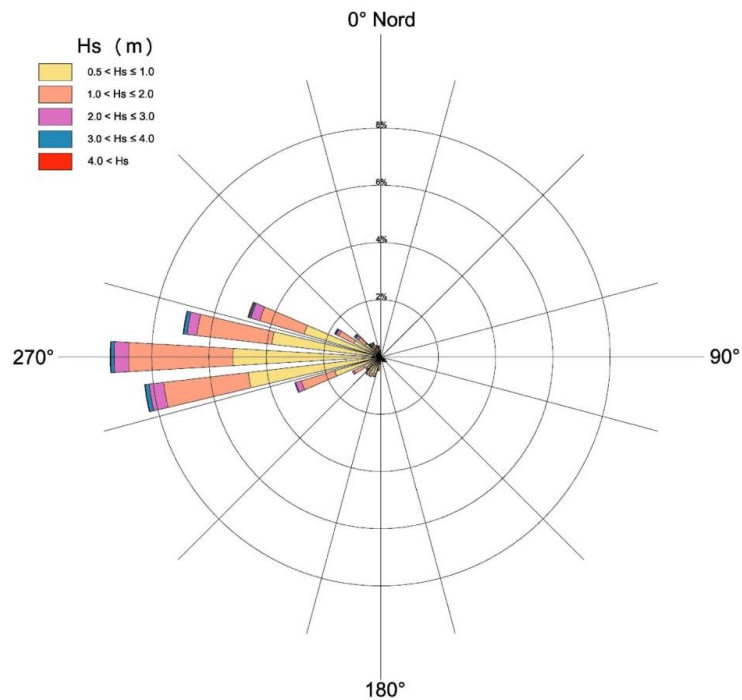


Diagramma polare delle frequenze di apparizione degli eventi i moto ondoso al largo di Amantea

In particolare, dall’analisi del clima meteomarinario al largo del paraggio di Amantea, ricavato 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, dalla direzione 270°N e per il 66.65 % dei casi dal settore compreso tra 240°-300°N;
- i moti ondosi più intensi, aventi  $H_s > 2.50$  m, rappresentano l’1.34 % degli eventi totali, e provengono soprattutto da due limitati settori angolari (255°-285°N e 285°-315°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 280°N.

### **3.2. Propagazione del moto ondososo sottocosta**

La corretta descrizione delle trasformazioni che le onde subiscono in prossimità della costa risulta essere di estrema importanza per la comprensione dei processi di idrodinamica e morfodinamica costiera e per l’eventuale progettazione o verifica di opere marittime a difesa dei litorali.

La propagazione del clima ondososo da largo verso riva in corrispondenza del paraggio di Amantea è stata effettuata con il modello numerico SWAN, acronimo di Simulating WAVes Nearshore, la cui implementazione è stata sviluppata dal Dipartimento di Meccanica dei Fluidi dell’Università di Delft.

Nel modello SWAN sono rappresentati i seguenti processi di propagazione d’onda:

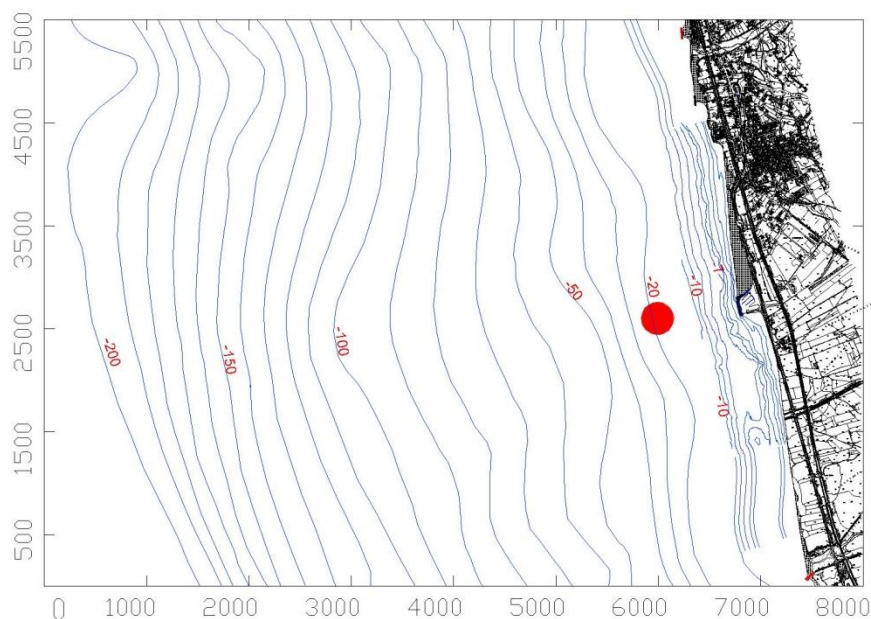
- Propagazione lungo lo spazio geografico;
- Rifrazione dovuta a variazioni del fondale marino e della corrente;
- Shoaling dovuto a variazioni del fondale marino e della corrente;
- Bloccaggio e riflessione da parte di correnti in direzione opposta;
- Trasmissione, bloccaggio o riflessione da parte di ostacoli.

Inoltre, nello SWAN vengono rappresentati i seguenti processi di generazione e dissipazione d’onda:

- Generazione dovuta al vento;
- Dissipazione dovuta alla rottura in cresta (whitecapping);

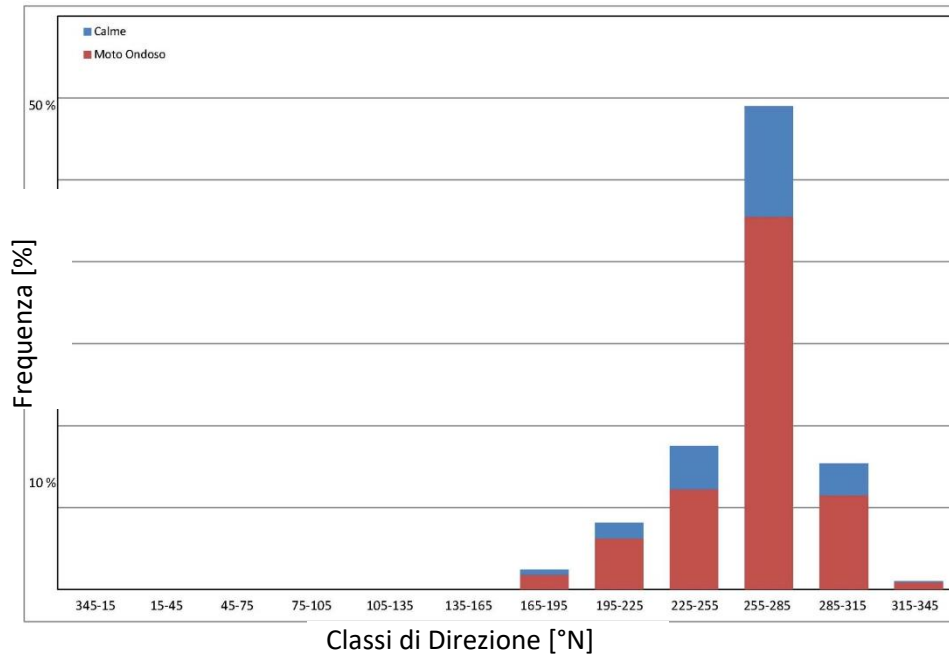
- Dissipazione dovuta alla rottura d’onda indotta dalla profondità;
- Dissipazione dovuta all’attrito sul fondo;
- Interazioni onda-onda (quadruple e triple);
- Diffrazione a tergo di ostacoli.

Il primo passo nello studio di propagazione del clima ondoso da largo verso riva con il modello SWAN ha riguardato la preparazione di una griglia di calcolo innestata sulla batimetria in corrispondenza del paraggio di Amantea.



### 3.3. Clima meteomarinario medio sottocosta

Sulla base delle simulazioni numeriche effettuate con il modello SWAN, in Tabella 9 viene mostrato il clima meteomarinario medio ricavato sottocosta, corrispondente al punto sottocosta di riferimento per i successive analisi morfodinamiche, posizionato circa alla batimetrica -20 m e avente coordinate ( $x = 6000$  m,  $y = 2600$  m). Il clima ondoso è stato pertanto suddiviso per classi di direzioni medie di provenienza del moto ondoso ricadenti nel paraggio di Amantea ( $165^{\circ}$ - $345^{\circ}$ N), e caratterizzate da uno specifico valore di classe d’altezza d’onda  $H_s$ , a partire da 0.5 m, e dai rispettivi valori di  $T_m$  e  $T_p$ , determinati attraverso le correlazioni altezza-periodo calcolate in precedenza.



Percentuali di apparizione degli eventi di ondosso Sottocosta per il paraggio di Amantea

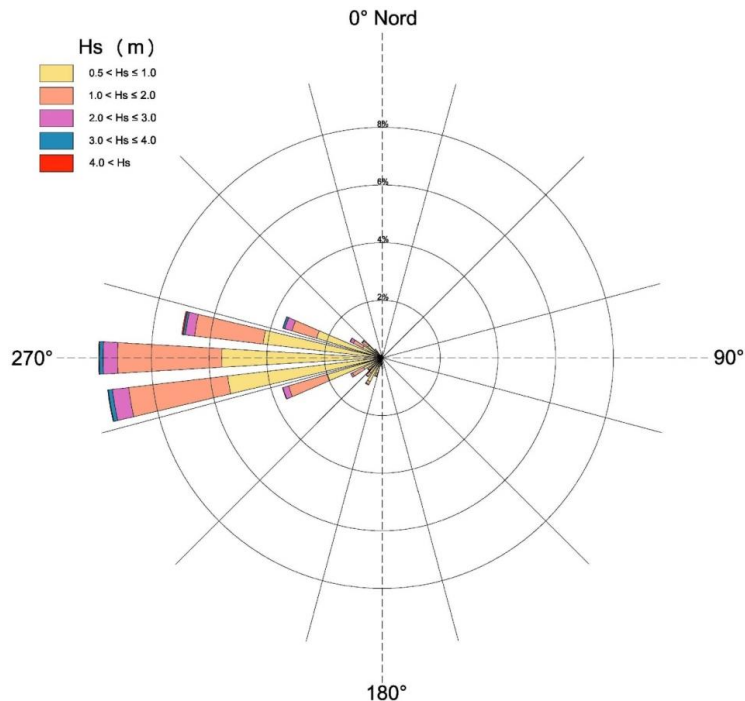


Diagramma polare delle frequenze di apparizione degli eventi di moto ondosso sottocosta (-20 m) per il paraggio di Amantea (punto di coordinate: x = 6000 m, y = 2600 m)

### 3.4. Determinazione dell'onda di progetto

In ogni opera marittima si deve valutare la durata di vita presunta, in relazione al progetto in cui è inserita, tenuto conto delle sue caratteristiche funzionali.

Si valuta inoltre, il livello di rischio o probabilità di superamento dell'onda di progetto, tenuto conto dei danni che tali onde possono arrecare all'opera e della possibilità di ripristinare la normale funzionalità con operazioni di manutenzione.

Nel caso di Amantea le opere di difesa progettate devono essere considerate come infrastrutture civili di uso generale con un livello di sicurezza pari ad 1 associato ad un tempo di vita dell'opera pari a 25 anni.

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente od alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito.

Nel caso in esame si può considerare un rischio limitato di perdita di vita umana ed una ripercussione economica medio-bassa. Assumendo il criterio del danno incipiente si impone  $P_f = 0,4$  e quindi  $T_{rp} = 25/[-\ln(0.6)] = 50$  anni.

In relazione a questo tempo di ritorno, dalla statistica degli eventi estremi, si può desumere che:

- l'altezza d'onda significativa di progetto è pari a 9.56 m con periodo di 12,83 s al largo con la direzione di provenienza del moto ondoso compresa tra 225° e 315° N;

### 3.5. Profondità di chiusura di spiaggia

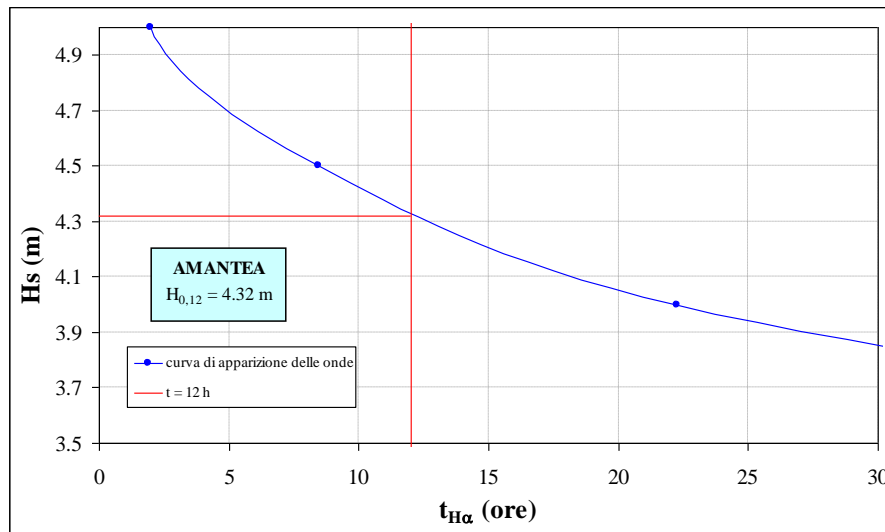
La profondità di chiusura di una spiaggia risulta la massima profondità del fondale in cui un'onda fa sentire i suoi effetti ai fini del trasporto solido litoraneo.

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.

Dall'intersezione fra la curva di apparizione e la retta, si ricava  $H_{0,12} = 4.32$  m (vedi Figura 39) e si determina, attraverso la succitata relazione di Hallermeier, il corrispondente valore della profondità di chiusura,  $h_c = 6.91$  m.





Particolare della curva di apparizione delle onde (paraggio di Amantea)

### 3.6. Risalita del moto ondoso sulla spiaggia

Il run up (risalita sulla spiaggia del moto ondoso) è definito come la quota più alta raggiunta dall'acqua su una spiaggia nel corso di una mareggiata. In generale, a parità di altezza d'onda al frangimento, il run up è tanto maggiore quanti maggiori sono la lunghezza d'onda e la pendenza della spiaggia emersa.

Con riferimento ad un assegnato stato di mare, viene determinato il massimo valore del run up,  $Ru_{2\%}$ , utilizzando la relazione empirica proposta da Waal e Van Deer Meer (1992)

Per determinare il massimo valore di risalita del livello d'acqua sulla spiaggia emersa, il valore del massimo run up va sommato al valore del sovrizzo di tempesta, pari a 1.34 m e inteso come somma del massimo sovrizzo di tempesta meteorologica (onde, venti ed effetto barico inverso) e del massimo della marea astronomica. Pertanto il valore massimo del livello idrico sul pennello,  $R$ , rispetto al l.m.m. risulta:  $R = \text{Sovrizzo di tempesta} + Ru = 3.33 \text{ m}$ .

Si evidenzia, infine, che il valore della fascia attiva di spiaggia ove si muove il trasporto solido risulta compreso pertanto fra il valore massimo,  $R = +3.33 \text{ m}$  sul l.m.m., e il valore della profondità di chiusura,  $h_c$ , pari a  $-6.91 \text{ m}$  sul l.m.m.

#### 4. STUDIO MORFOLOGICO DEL LITORALE

Il presente studio 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.

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.

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) subentrante nell'intervallo che intercorre tra i rilievi delle linee di riva.

#### **4.1. 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.

##### *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.

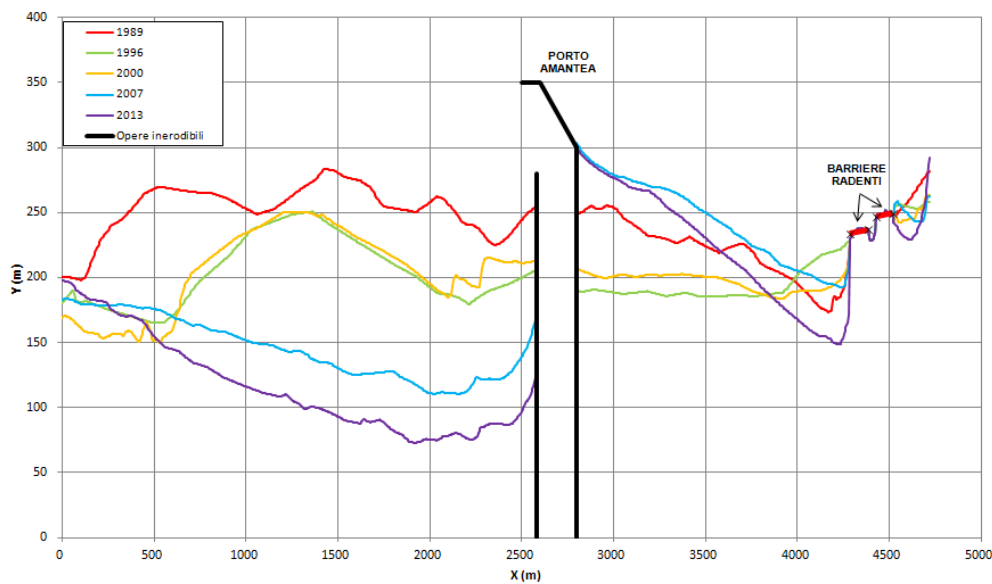
Lo studio dell'evoluzione del litorale è stato condotto sulla base dei rilievi disponibili delle linee di riva esaminando differenti fonti quali ad esempio carte IGM, rilievi topografici, rilievi aerofotogrammetrici e foto da satellite. Le linee di riva considerate nel presente studio sono relative ai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

## 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).



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.

### 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:

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

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.

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 ondososo 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 m3/anno.

## **5. STUDIO MORFODINAMICO: EVOLUZIONE RECENTE DELLA LINEA DI RIVA**

Al fine di valutare in modo oggettivo le possibili interferenze procurate nel medio e lungo periodo dagli interventi di progetto nei confronti dell'attuale dinamica evolutiva è stato l'utilizzato il modello numerico di spiaggia "GENESIS".

Lo studio viene concepito ai fini di valutare sia la situazione attuale del litorale sia quella futura nonché per la verifica di efficacia degli interventi di progetto.

Il modello adottato consente di valutare avanzamenti ed arretramenti della linea di riva nel corso degli anni indotti dal trasporto solido longitudinale a sua volta causato dal moto ondoso incidente.

La prima fase di applicazione del modello GENESIS ha avuto per obiettivo la taratura e calibrazione dello stesso.

La seconda fase di applicazione del modello GENESIS ha avuto per obiettivo la simulazione numerica dell'evoluzione futura della linea di riva in uno scenario di previsione a 2 e 5 anni.

A tal fine sono state considerate due configurazioni di modellazione, la prima relativa allo stato attuale e la seconda relativa allo stato di progetto, come segue:

- Configurazione "A": evoluzione libera del litorale;
- Configurazione "B": evoluzione del litorale in ipotesi di progetto.

### **5.1. Configurazione "A": evoluzione libera del litorale a 2 e 5 anni**

L'evoluzione futura della linea di riva è un'operazione che viene condotta sulla base dei risultati della taratura.

L'evoluzione, quindi, permette di prevedere l'andamento futuro della linea di riva, in un orizzonte temporale comparabile con quello adottato per la taratura.

Nel caso specifico sarà effettuata a 2 e 5 anni in ipotesi di evoluzione libera del litorale, ovvero in assenza di realizzazione di alcun intervento che possa modificare l'assetto morfodinamico del tratto di costa.

Le linee di riva simulate dal modello matematico per gli anni 2022 e 2025 descrivono, in generale, l'equilibrio della spiaggia di sottoflutto ed avanzamento di quella di sottoflutto rispetto al porto turistico di Amantea.

L'analisi dettagliata del comportamento della linea di riva registrata dal modello può essere meglio descritta separando il contesto nord da quello sud rispetto all'infrastruttura portuale.

*Evoluzione libera del litorale a 2 e 5 anni – spiaggia di sottoflutto portuale (sud)*

Il tratto oggetto di studio, che si estende per circa 1500 metri a sud del porto di Amantea è caratterizzato dalla presenza di tre importanti opere marittime di protezione della costa di recente realizzazione (2017), due scogliere emerse del tipo “headless breakwaters” ed un pennello semisommerso di chiusura.

L'intervento di costruzione delle suddette opere rigide è stato realizzato circa tre anni fa e con esso è stato effettuato un ripascimento di circa 100.000 mc con prelievo di sabbia sul sopraflutto portuale.

Il modello GENESIS registra un trasporto solido longitudinale da nord verso sud ed un andamento della linea di costa pressoché simile a due e cinque anni evidenziando, per altro, l'equilibrio della spiaggia stessa. L'analisi è descrittiva di un tratto di costa protetto da un sistema chiuso di opere rigide che non consente perdite di materiale sabbioso se non di ridotte quantità. Il modello registra esclusivamente movimenti di sabbia all'interno del sistema di opere con leggeri effetti di bordo determinati da andamenti stagionali della risultante energetica del moto ondoso.

Si registra :

- un leggero accumulo di sedimenti a ridosso del pennello PS01 con avanzamento della linea di costa di circa 10/12 metri;
- un avanzamento di circa 5 metri nella parte concava di costa tra il pennello PS01 e la barriera emersa BE03;
- condizioni di equilibrio tra le due barriere emerse BE03 e BE05;
- un leggero arretramento della linea di costa immediatamente a valle del molo di sottoflutto portuale.

In generale è possibile affermare che il tratto di costa che si estende per circa 1500 metri a sud del porto di Amantea, in ipotesi di evoluzione libera, senza realizzazione di alcun intervento, sarà nei prossimi 5 anni in condizioni di equilibrio.

*Evoluzione libera del litorale a 2 e 5 anni – spiaggia di sopraflutto portuale (nord)*

Il tratto oggetto di studio, che si estende per circa 1500 metri a nord del porto di Amantea non è caratterizzato da qualsivoglia opera rigida che possa alterare o modificare il trasporto solido

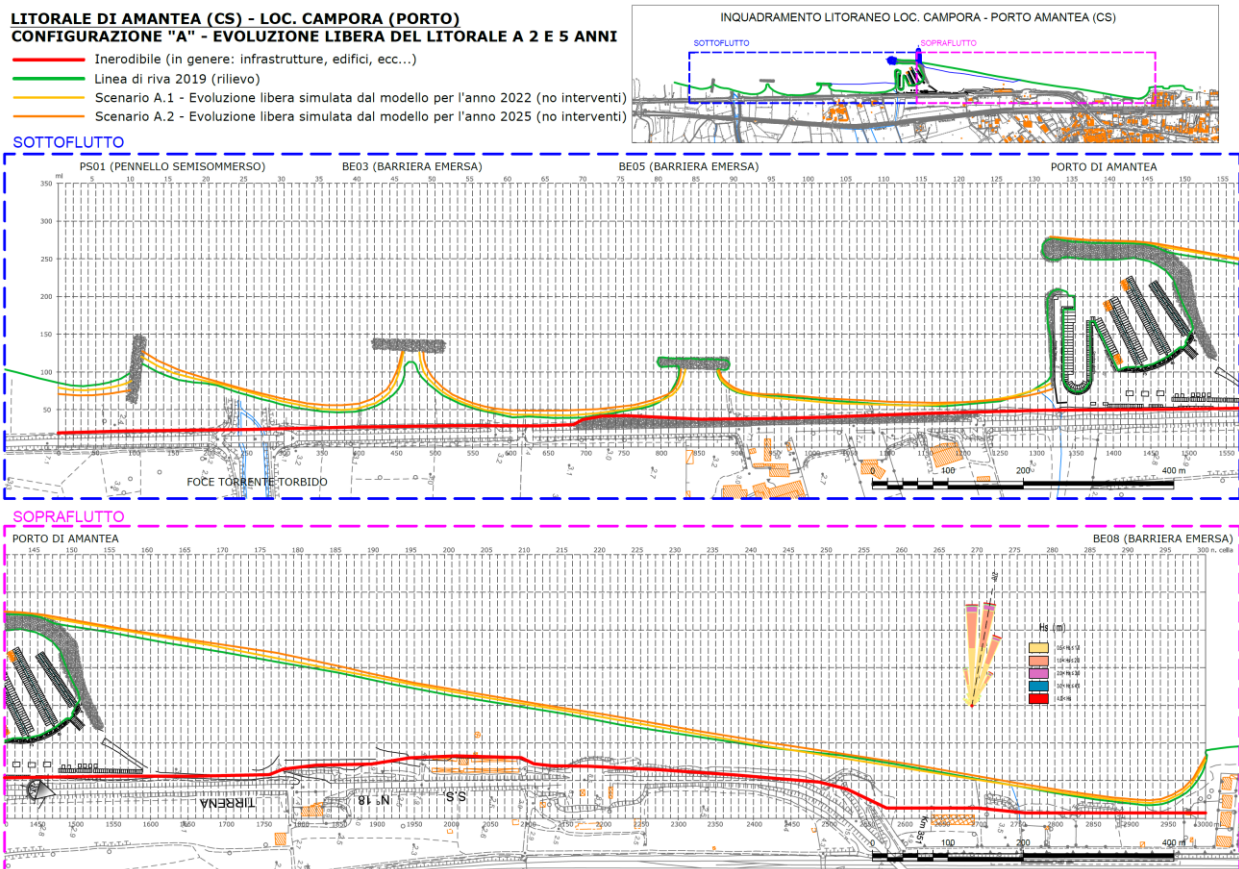
longitudinale. E' da segnalare l'avvenuto prelievo di materiale sabbioso per una quantità di circa 100.000 mc utilizzata nell'anno 2017 per il ripascimento della spiaggia di sottoflutto.

Il modello GENESIS registra un trasporto solido longitudinale da nord verso sud ed un andamento della linea di costa in avanzamento. In particolare la presenza del porto turistico di Amantea è punto di inderodibilità del litorale e dunque un "punto fisso" di accumulo di sedimenti.

La linea di costa prevista a due e cinque anni è descrittiva di un generale stato di salute del tratto di costa, in particolare si registra un avanzamento medio di circa 7-10 metri nel immediato sopraflutto portuale, per circa 500 metri, da esso. Si registrano condizioni di equilibrio e stabilità nei successivi 100 metri ove la linea di costa, al netto di alcune leggere variazioni, resta pressoché stabile.

Si evidenzia per altro che il tratto di costa oggetto di studio è stato circa 3 anni fa privato di circa 100.000 mc di sabbia che, a distanza di soli tre anni, sembra aver completamente recuperato a testimonianza di un rateo anno di trasporto solido litoraneo di almeno 30.000 mc.

In generale è possibile affermare che il tratto di costa che si estende per circa 1500 metri a nord del porto di Amantea, in ipotesi di evoluzione libera, senza realizzazione di alcun intervento, è in salute.





## 5.2. Configurazione "B": evoluzione del litorale in ipotesi di progetto a 2 e 5 anni

L'evoluzione futura della linea di riva è un'operazione che viene condotta sulla base dei risultati della taratura. L'evoluzione, quindi, permette di prevedere l'andamento futuro della linea di riva, in un orizzonte temporale comparabile con quello adottato per la taratura. Nel caso specifico sarà effettuata a 2 e 5 anni in ipotesi realizzazione dell'intervento di progetto che prevede:

- INTERVENTO A: Messa in sicurezza dell'imboccatura portuale attraverso il prolungamento della diga foranea (molo sopraflutto);
- INTERVENTO B: By-pass delle sabbie da Nord a Sud dell'area portuale;
- INTERVENTO C: Realizzazione di un pennello di raccolta dei sedimenti alla radice alla diga foranea per la gestione dei sedimenti accumulati a monte del Porto.

Le linee di riva simulate dal modello matematico per gli anni 2022 e 2025 descrivono, in generale, un'ottima risposta in termini di stabilità e resistenza del tratto di costa in sottoflutto ed un discreto recupero dei sedimenti prelevati nel sopraflutto a fronte del by-pass della sabbia.

L'analisi dettagliata del comportamento della linea di riva registrata dal modello può essere meglio descritta separando il contesto nord da quello sud rispetto all'infrastruttura portuale.

### Evoluzione del litorale in ipotesi di progetto a 2 e 5 anni – sottoflutto portuale (sud)

Il tratto oggetto di studio, che si estende per circa 1500 metri a sud del porto di Amantea è caratterizzato dalla presenza di tre importanti opere marittime di protezione della costa di recente realizzazione (2017), due scogliere emerse del tipo "headless breakwaters" ed un pennello semisommerso di chiusura a costituire una sorta di sistema diuso per il contenimento dei sedimenti.

L'intervento di costruzione delle suddette opere rigide è stato realizzato circa tre anni fa e con esso è stato effettuato un ripascimento di circa 100.000 mc con prelievo di sabbia sul sopraflutto portuale.

L'unico intervento di progetto che modifica la morfodinamica costiera della spiaggia di sottoflutto portuale è l'intervento "B" che prevede il by-pass con versamento di circa 110.000 mc di sabbia proveniente dal sopraflutto.

Il presente intervento replica quello già eseguito nel 2017 con buoni risultati di protezione della costa e di riequilibrio litoraneo tra sopraflutto e sottoflutto.

Il modello GENESIS registra un trasporto solido longitudinale da nord verso sud ed un andamento della linea di costa pressoché simile a due e cinque anni evidenziando una generale tendenza all'avanzamento del tratto di spiaggia. In particolare il modello evidenzia, già a due anni ma soprattutto a cinque anni dall'esecuzione dell'intervento di progetto che il materiale, circa 110.000 mc di sabbia, versato tra la barriera emersa BE05 ed il molo di sottoflutto portuale, venga progressivamente distribuito all'interno del sistema di opere rigide esistenti. Ciò determina un netto avanzamento del tratto di costa investigato con aumenti dell'ampiezza di spiaggia che di 15-18 metri a ridosso delle opere rigide, più in particolare:

- Si evidenzia un avanzamento della costa di circa 25-28 metri a ridosso del pennello semisommerso PS01 a conferma del fatto che il sistema chiuso di opere rigide di recente costruzione sia un'opera deputata al contenimento di sedimenti. In particolare il modello registra discrete perdite di sedimento verso Sud che avvengono attraverso l'opera PS01 con beneficio del tratto di spiaggia vallivo;
- Tra la barriera emersa BE03 e BE05 si registra un sensibile avanzamento della costa con ampiezze di spiaggia anche di 15 metri;
- Il tratto di costa tra la barriera emersa BE05 ed il radicamento di sottoflutto del porto di Amantea coincide con il sito di versamento del materiale sabbioso di by-pass per un volume di circa 110.000 mc. Assunta come ipotesi di partenza della simulazione con GENEIS l'avvenuta esecuzione del versamento di sabbia, il modello registra per questo tratto un evidente arretramento della costa. Tale aspetto non deve preoccupare e la motivazione è del tutto naturale, ossia il materiale versato, per effetto del trasporto solito longitudinale che va da nord verso sud, viene veicolato dalle correnti verso la zona valliva dove, come sopra evidenziato, resta intrappolato a beneficio delle spiagge di sottoflutto.

In generale è possibile affermare che il tratto di costa che si estende per circa 1500 metri a sud del porto di Amantea, in ipotesi di progetto, sarà nei prossimi 5 anni soggetto ad un netto miglioramento delle condizioni di sicurezza. Il litorale beneficerà di un sensibile avanzamento della costa rispetto alla condizione attuale.

#### *Evoluzione libera del litorale a 2 e 5 anni – spiaggia di sopraflutto portuale (nord)*

Il tratto oggetto di studio, che si estende per circa 1500 metri a nord del porto di Amantea non è caratterizzato da qualsivoglia opera rigida che possa alterare o modificare il trasporto solido longitudinale. E' da segnalare l'avvenuto prelievo di materiale sabbioso per una quantità di circa 100.000 mc utilizzata nell'anno 2017 per il ripascimento della spiaggia di sottoflutto.

L'obiettivo principale di progetto è quello di rallentare il processo di insabbiamento dell'imboccatura portuale intervenendo direttamente sulla causa. L'obiettivo indiretto è quello di evitare azioni puntuali di svuotamento stagionale dell'imboccatura, così come eseguiti negli ultimi 10 anni, la cui finalità non è idraulicamente funzionale al riassetto costiero ma è esclusivamente funzionale alla sola fruibilità della darsena.

Il presente intervento replica il by-pass delle sabbie da sopraflutto a sottoflutto, già eseguito nel 2017, e prevede la realizzazione di un pennello di raccolta dei sedimenti alla radice alla diga foranea per la gestione dei sedimenti accumulati a monte del Porto ed il prolungamento della diga foranea.

La problematica di insabbiamento dell'imboccatura portuale deriva dalle caratteristiche idrauliche del sopraflutto e della spiaggia di nord, è quindi intervenendo su di essa che si potrà raggiungere un riequilibrio costiero e risolvere quasi definitivamente il limite di fruibilità della darsena portuale.

In particolare la sabbia che stagionalmente chiude l'imboccatura portuale è quella proveniente dalla spiaggia di sopraflutto che, libera di scorrere lungo la diga foranea, ormai satura di sabbia, raggiunge l'imboccatura portuale ove trova una zona di calma che ne favorisce la sedimentazione ed il deposito.

L'intento di progetto è quello di intervenire sulla dinamica litoraneo al fine di rallentare e ritardare il processo di trasporto solido che avviene lungo la diga foranea rallentando, di conseguenza, l'insabbiamento dell'ingresso al porto.

Per far ciò ci vuole:

- svuotare la spiaggia di sopraflutto tornando ad una condizione teorica di circa 3 anni addietro. Considerato il rateo annuo del trasporto solido litoraneo di circa 30.000/35.000 mc svuotare il sopraflutto di una quantità pari a circa 110.000 mc di sabbia corrispondere a “riavvolgere il nastro” di circa tre anni in dietro nel tempo in termini di dinamica litoranea;
- costruire un pennello contenitore di sedimenti in corrispondenza del molo di sopraflutto del porto. L'obiettivo è quello di avanzare verso ovest il punto fisso di inerodibilità del litorale di circa 50/60 metri rispetto a quello attuale. Così facendo la capacità di contenimento della sabbia nel sopraflutto sarà maggiore e ciò corrisponde a ridurre il movimento di sedimenti lungo la diga foranea del porto.

Il pennello di progetto è dimensionato in modo tale da non arrestare completamente il trasporto solido. La berma di sommità è infatti a quota di +2,00 m.l.m.m. (durante i marosi il pennello sarà scavalcato dai sedimenti) – l'impronta della testata è posata all'inizio della barra

sommersa senza intralciare quindi quello che rappresenta il tappeto lungo il quale scorrono i sedimenti costieri. Questo è un limite rispetto agli obiettivi di progetto ma rappresenta, d’altro canto, un vantaggio per le spiagge vallive che ricevono alimentazione durante le mareggiate di tempesta.

Il risultato atteso dalla presenza del pennello di progetto è quindi quello di aumentare la capacità di raccolta dei sedimenti nella spiaggia di sopraflutto ed un rallentamento del processo di insabbiamento dell’imboccatura portuale;

- prolungare la diga foranea per una doppia ragione, allontanare dall’imboccatura portuale il più possibile i sedimenti di frazione più fina che provengono dalla spiaggia di sopraflutto durante i marosi e generare una area di calma che faciliti l’ingresso nel porto alle imbarcazioni in condizioni di emergenza.

Considerato come inizio delle simulazioni l’istante di tempo immediatamente successivo all’esecuzione dei lavori il modello GENESIS registra un ottimo comportamento del litorale di sopraflutto, soprattutto a seguito del prelievo di circa 110.000 mc di sabbia.

Preso come riferimento iniziale la linea di riva di progetto, il modello registra un avanzamento della stessa, nella zona immediatamente adiacente al pennello di nuova costruzione, di circa 20 metri in due anni e di circa 45 metri in cinque anni. Dopo cinque anni la linea di riva attesa ha ampiamente superato la linea di riva attuale.

Tale trend evolutivo si mantiene costante per 350/400 metri dal sopraflutto portuale oltre i quali l’andamento della costa tende ad allinearsi alla linea di riva dello stato attuale (rilievo 2019) a denotare che gli effetti morfodinamici indotti dalla presenza delle opere di progetto si estinguono in tale intervallo di spazio.

Il tratto di costa ancora a nord (dalla cella n°215 in poi fino alla cella n°260), a soli anni dalla realizzazione degli interventi, recupera il riequilibrio costiero ed assorbe gli effetti indotti dal prelievo di sedimenti. A cinque anni dall’intervento si ottiene un avanzamento medio, per il tratto, di circa 7/10 metri nel tratto investigato.

Il tratto di costa più estremo rispetto al dominio di calcolo è caratterizzato da un equilibrio costiero rimarcato da un leggero avanzamento della costa a denotare che gli effetti del by-pass di progetto non hanno effetti morfodinamici in tale zona. Il leggero avanzamento della costa è probabilmente legato alla realizzazione del pennello di sopraflutto che determina una traslazione generale della linea di riva verso ovest.

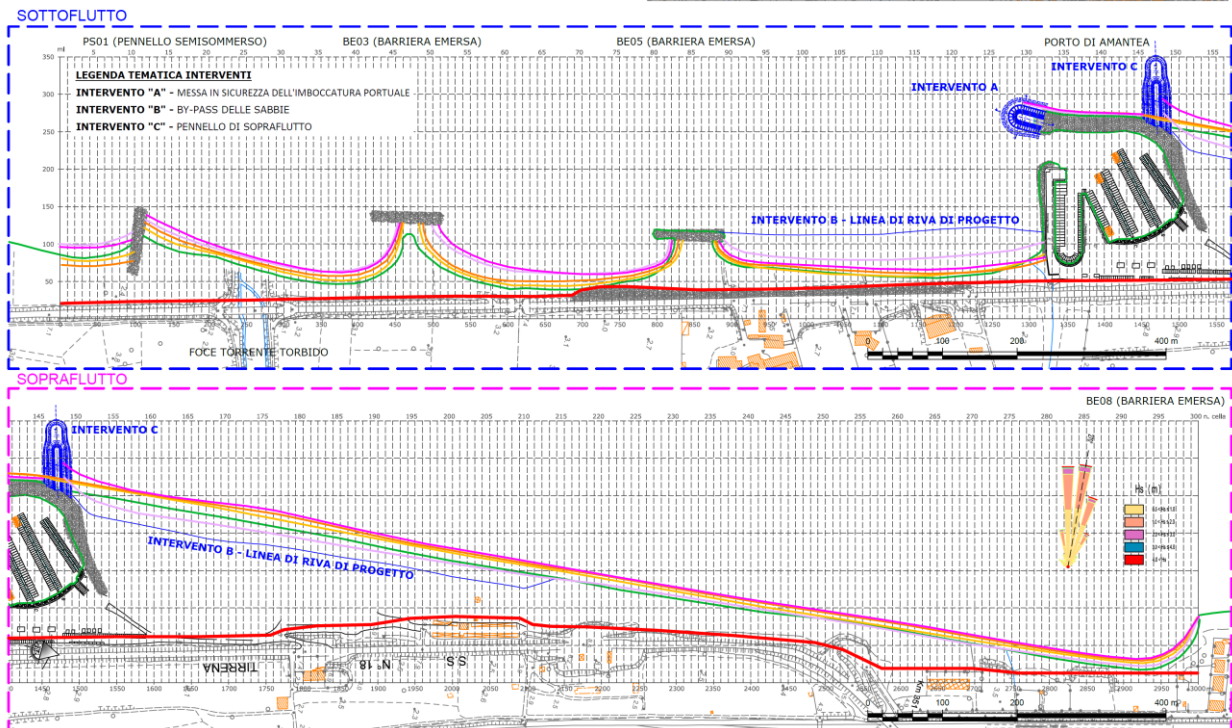
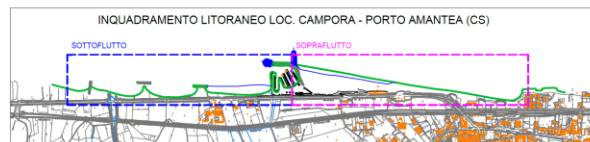
In generale è possibile affermare che il tratto di costa che si estende per circa 1500 metri a nord del porto di Amantea, in ipotesi di progetto, senza realizzazione di alcun intervento, è assolutamente compatibile con le ipotesi di progetto. Il risultato atteso è un rallentamento del processo di insabbiamento dell’imboccatura portuale. L’arretramento della spiaggia di sopraflutto, per effetto del prelievo di sedimenti, sarà riassorbibile nel termine di circa tre anni oltre i quali la linea di riva registrata dal modello supererà la linea di riva attuale (rilievo 2019) conferendo all’arenile una maggiore ampiezza di spiaggia.

Dall’interpretazione del modello si registra quindi una riduzione dell’insabbiamento della imboccatura portuale ma non la risoluzione definitiva al problema che non esiste. E’ importante specificare che il presente progetto è un miglioramento infrastrutturale del sistema portuale e che la nuova configurazione morfodinamica della costa non dovrà prescindere da periodici interventi di by-pass delle sabbie, secondo le presenti specifiche, finalizzati al mantenimento nel tempo dell’obiettivo di progetto.

**LITORALE DI AMANTEA (CS) - LOC. CAMPORA (PORTO)**

**CONFIGURAZIONE "B" - EVOLUZIONE LITORALE IN IPOTESI DI PROGETTO**

- Inerodibile (in genere: infrastrutture, edifici, ecc...)
- Linea di riva 2019 (rilievo)
- Scenario A.1 - Evoluzione libera simulata dal modello per l'anno 2022 (no interventi)
- Scenario A.2 - Evoluzione libera simulata dal modello per l'anno 2025 (no interventi)
- Scenario B.1 - Evoluzione libera simulata dal modello per l'anno 2022 (no interventi)
- Scenario B.2 - Evoluzione libera simulata dal modello per l'anno 2025 (no interventi)



## 6. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI

Il DM 173/2016 riporta le modalità ed i criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini. Dal punto di vista analitico il DM indica i parametri chimici e fisici da analizzare sul sedimento, e le possibili batterie di saggi ecotossicologici da eseguire sul sedimento tale quale e sull'elutriato.

Nella tabella seguente vengono riassunti i campioni analizzati, con indicate anche le coordinate del punto di campionamento.

**Tabella 1.1 – I campioni prelevati**

N° campione	Tipologia di campione	Localizzazione
13177/5451	P1 0,00-1,00 m	39° 03' 43,4" N 16° 05' 28,0" E
13178/5451	P1 1,00-2,00 m	39° 03' 43,4" N 16° 05' 28,0" E
13179/5451	P2 0,00-1,00 m	39° 03' 37,6" N 16° 05' 28,6" E
13180/5451	P2 1,00-2,00 m	39° 03' 37,6" N 16° 05' 28,6" E
13181/5451	P3 0,00-1,00 m	39° 03' 32,5" N 16° 05' 29,1" E
13182/5451	P3 1,00-2,00 m	39° 03' 32,5" N 16° 05' 29,1" E
13183/5451	P4 0,00-1,00 m	39° 03' 25,3" N 16° 05' 30,5" E
13184/5451	P4 1,00-2,00 m	39° 03' 25,3" N 16° 05' 30,5" E
13185/5451	P5 0,00-1,00 m	39° 03' 16,7" N 16° 05' 38,2" E
13186/5451	P6 0,00-1,00 m	39° 03' 04,5" N 16° 05' 43,3" E
13188/5452	P7 0,00-1,00 m	39° 03' 16,1" N 16° 05' 31,3" E
13189/5452	P8 0,00-1,00 m	39° 03' 17,0" N 16° 05' 30,1" E
13190/5452	P9 0,00-1,00 m	39° 03' 18,2" N 16° 05' 30,0" E
13191/5452	P10 0,00-1,00 m	39° 03' 18,0" N 16° 05' 32,2" E
13192/5452	P11 0,00-1,00 m	39° 03' 17,4" N 16° 05' 35,1" E

### 6.1. Risultati ottenuti: granulometria

La tabella seguente riporta i dati di granulometria:

**Tabella 2 1 – dati granulometrici.**

Codice campione	Ghiaia	Sabbia	Silt	Argilla	Pelite
13177/5451	1	99	0	0	0
13178/5451	20	80	0	0	0
13179/5451	10	90	0	0	0

13180/5451	30	70	0	0	0
13181/5451	14	86	0	0	0
13182/5451	22	78	0	0	0
13183/5451	10	90	0	0	0
13184/5451	78	22	0	0	0
13185/5451	29	71	0	0	0
13186/5451	23	77	0	0	0
13188/5452	28	72	0	0	0
13189/5452	5	93	1	0	1
13190/5452	7	91	2	0	2
13191/5452	41	52	0	0	0
13192/5452	0	41,8	29,6	16,4	46

La % di pelite è in genere inferiore al 10%, compatibile con l'uso per ripascimenti di spiagge emerse, salvo per l'ultimo campione che presenta invece un valore molto maggiore (46%).

## 6.2. Risultati ottenuti: analisi chimiche

Tutti i campioni non presentano contaminazioni da composti organici quali pesticidi, organostannici, IPA e PCB. Tra i contaminanti organici ci sono solo alcune tracce di idrocarburi C>10 ed anche i valori del TOC sono molto bassi.

I metalli pesanti invece hanno in alcuni casi valori non proprio trascurabile. In particolare il Cadmio si presenta in concentrazioni spesso al di sopra dei limiti L1 indicati dal Decreto ministeriale, ed in alcuni casi anche sopra il livello maggiore L2. Anche il Nichel in un caso risulta superiore al rispettivo valore di L1. Gli altri metalli risultano invece assenti o sempre inferiori a L1.

Sulla base dei dati analitici contornati con i livelli L1 e L2, il software SediquaSoft ha elaborato i valori dell'Hazard Quotient chimico (HQc) per la batteria di determinazioni chimiche, che sono riportati nella tabella seguente, e servono poi per la classificazione ponderata che determina la qualità del sedimento.

**Tabella 2 3 – Indici HQc riferiti a L1 e L2.**

Campione	HQc L1	HQc L2
13177/5451	3.996	1.524
13178/5451	2.04	0.055
13179/5451	2.04	0.055

13180/5451	2.038	0.055
13181/5451	2.261	0.061
13182/5451	2.083	0.056
13183/5451	2.254	0.057
13184/5451	0.01	0.006
13185/5451	0.06	0.034
13186/5451	1.904	0.05
13188/5452	2.081	0.055
13189/5452	2.701	0.072
13190/5452	2.66	0.073
13191/5452	1.373	0.037
13192/5452	6.607	2.003

### 6.3. Risultati ottenuti: analisi ecotossicologiche

Inserendo i dati ottenuti dall'esecuzione dei tre test (Ecotossicità con *D. tertiolecta* e *P.lividus* su elutriato e con *Vibrio Fischeri* Microtox SPT su sedimento tal quale) nel programma sopraccitato, sono stati ottenuti dei valori del parametro HQ (Hazard Quotient, ovvero un indicatore di rischio) per ogni campione, che vanno confrontati con la tabella A3 riportata nel DM 173/2016.

Le classi di pericolo, legate all'indice di rischio HQ, riportate in tabella A3 sono le seguenti:

$0 \leq HQ < 1$  Classe di pericolo assente

$1 \leq HQ < 1.5$  Classe di pericolo basso

$1.5 \leq HQ < 3.0$  Classe di pericolo medio

$3.0 \leq HQ < 6.0$  Classe di pericolo alto

$6.0 \leq HQ < 10$  Classe di pericolo molto alto

I risultati ottenuti per i sedimenti sono riportati nella tabella seguente:

**Tabella 2 4 - La classe di pericolo calcolata.**



Campione	HQ batteria	Classe di pericolo	Specie che contribuiscono alla tossicità
13177/5451	0.39	Assente	Nessuna
13178/5451	0.04	Assente	Nessuna
13179/5451	0.03	Assente	Nessuna
13180/5451	0.29	Assente	Nessuna
13181/5451	0.00	Assente	Nessuna
13182/5451	0.00	Assente	Nessuna
13183/5451	0.02	Assente	Nessuna
13184/5451	0.38	Assente	Nessuna
13185/5451	0.33	Assente	Nessuna
13186/5451	0.05	Assente	Nessuna
13188/5452	0.03	Assente	Nessuna
13189/5452	0.72	Assente	Nessuna
13190/5452	1.66	Medio	Dunaliella tertiolecta
13191/5452	0.73	Assente	Nessuna
13192/5452	1.09	Basso	Dunaliella tertiolecta

#### 6.4. Classificazione ponderata

Il Decreto Ministeriale prevede che la classificazione finale dei sedimenti, finalizzata alla individuazione della Classe di Qualità del materiale, venga eseguita mediante la integrazione ponderata dei dati chimici, fisici ed ecotossicologici.

Eseguendo tale integrazione mediante il software messo a disposizione da Ispra, si ottiene la classificazione dei materiali riportata nella tabella seguente:

**Tabella 3 1 – Classe di qualità dei materiali.**

Campione	Classe di qualità del materiale
13177/5451	B
13178/5451	A
13179/5451	A
13180/5451	A
13181/5451	A
13182/5451	A
13183/5451	A
13184/5451	A
13185/5451	A
13186/5451	A

13188/5452	A
13189/5452	A
13190/5452	C
13191/5452	A
13192/5452	B

I due campioni 13185/5451 e 13186/5451 sono descrittivi del sito di destinazione, mentre tutti gli altri sono dei siti di prelievo.

I campioni di destinazione appartengono entrambi alla classe A, quella più pulita.

La maggioranza dei campioni dei siti di prelievo appartiene anch'essa alla classe A, mentre due campioni sono di classe B ed uno è di classe C.

I sedimenti di classe B derivano la loro classificazione principalmente per la presenza di Cadmio, mentre il sedimento di classe C, che possiede anch'esso valori elevati di Cadmio, presenta in aggiunta un effetto eco- tossicologico importante con la *Dunaliella tertiolecta*.

La classe A è utilizzabile per ripascimenti di spiagge emerse (se la pelite <10%), spiagge sommerse con frazione prevalente sabbiosa, immersione deliberata in aree marine non costiere o immersione in ambiente conterminato marino costiero.

I sedimenti di classe B possono essere destinati ad immersione deliberata in aree marine non costiere (oltre le 3 mn) con monitoraggio ambientale o a immersione in ambiente conterminato in ambito portuale, incluso capping, anch'esso con monitoraggio ambientale

I sedimenti di classe C invece devono essere stoccati in ambiente conterminato (es: casse di colmata, discariche) con idonee misure di monitoraggio ambientale.