

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA







PROGETTO DEFINITIVO

Documentazione Integrativa ai sensi della Legge n. 58 del 26.05.2023

EUROLINK S.C.p.A.

WEBUILD ITALIA S.p.A. (MANDATARIA)
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)
SACYR S.A.U. (MANDANTE)
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

IL PROGETTISTA  Dott. Ing. M. Orlandini Ordine Ingegneri Roma n° 14340	PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Coordinamento progetto Collegamenti a terra - Progetto Ambientale  Opera di attraversamento  Opere in sotterraneo 	IL CONTRAENTE GENERALE Amministratore Delegato Dott. F. di Pietro	STRETTO DI MESSINA Direttore Tecnico Dott. Ing. Valerio Mele	STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato Dott. P. Ciucci
--	--	--	---	---

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI VERSANTE SICILIA	CZR1158
<i>Tipo di sistema</i>	CANTIERI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	RIPASCIMENTO	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>		
<i>Titolo del documento</i>	AMBIENTE MARINO COSTIERO: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA DEL LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	

CODICE	C	G	5	0	0	0	P	P	G	R	S	C	Z	C	3	G	0	0	0	0	0	0	1	C
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	30/09/2023	EMISSIONE FINALE	SUTERA	SANDRUCCI	ORLANDINI
B	30/11/2023	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA	SUTERA	SANDRUCCI	ORLANDINI
C	20/01/2024	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA	SUTERA	SANDRUCCI	ORLANDINI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

INDICE

INDICE	3
Sez. 1 - Ambiente Marino Costiero: Ripascimento Costiero	7
1 Disamina delle previsioni del Progetto Definitivo Integrato (2012) in ordine agli interventi di ripascimento costiero	7
1.1 Fonti di provenienza del materiale da ripascimento e relative quantità stimate in sede di progettazione definitiva	7
1.2 Caratterizzazione dei materiali da ripascimento effettuata in sede di progettazione definitiva	7
1.2.1 Analisi condotte sulle terre e rocce da scavo da utilizzare come sottoprodotto	8
1.2.2 Ulteriori analisi condotte ai fini del riutilizzo per ripascimento.....	9
1.3 Siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva.....	11
1.4 Descrizione di dettaglio degli interventi di ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione.....	14
1.4.1 Modalità di Versamento	16
2 Quadro attuale dei siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva	17
2.1 Descrizione dello stato di fatto attuale dei siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva	17
2.2 Quadro programmatico e progettuale aggiornato dei siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva	19
2.2.1 Analisi dei contenuti e delle previsioni del PAI Coste per i siti di interesse.....	19
2.2.2 Analisi delle previsioni del PRCEC (Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera – D.G.R. n. 290/2020) in merito ai litorali di progetto	25
2.2.3 Progettualità intervenute sui siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva	40
2.3 Considerazioni in merito al mantenimento delle previsioni del progetto definitivo in ordine ai siti di ripascimento.....	40
2.3.1 Ulteriori Considerazioni	53
3 Aggiornamento e adeguamento delle previsioni progettuali in ordine agli interventi di ripascimento costiero	54
3.1 Fonti di provenienza del materiale da ripascimento.....	54
3.1.1 Scavi per la realizzazione delle fondazioni delle torri.....	55
3.1.2 Scavi per la realizzazione dei blocchi di ancoraggio	55
3.1.3 Scavi per la realizzazione delle gallerie ferroviarie e stradali	56

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

3.1.4 Altre fonti	56
3.2 Programmazione progettuale in corso di attuazione	56
3.3 Rilievo Topo-Batimetrico integrato e Ambientale dei siti di oggetto di ripascimento	61
3.3.1 Rilievo topografico aree emerse	61
3.3.2 Rilievo batimetrico aree sommerse	67
3.3.3 Rilievo SBP (sub-bottom profiler) dei fondali di progetto	71
3.3.4 Rilievo SSS (side-scan sonar) dei fondali di progetto e implementazione della mappatura delle biocenosi costiere	72
3.3.5 Rilievo ROV (remote-operate veichle) dei fondali di progetto con esecuzione di video-transetti (per verifica visiva mappatura biocenosi)	72
3.3.6 Prelievi di campioni di benthos e relative analisi di laboratorio per la caratterizzazione ambientale delle biocenosi costiere	73
3.3.7 Caratterizzazione chimico-fisica della colonna d'acqua	82
3.4 Piano di Caratterizzazione Ambientale dei materiali da ripascimento da effettuarsi in sede di progettazione esecutiva	83
3.4.1 Aspetti normativi	83
3.4.2 Analisi comparativa dei siti di provenienza e dei siti di destinazione dei materiali da ripascimento	84
3.4.3 Approccio metodologico per l'elaborazione del Piano di Caratterizzazione Ambientale dei materiali da ripascimento	84
3.5 Metodologia di progettazione integrata degli interventi di ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione	88
3.5.1 Aspetti normativi	88
3.5.2 Quadro fisico e ambientale dei siti di progetto	90
3.5.3 Studio di dettaglio delle Unità Fisiografiche di ricadenza dei litorali oggetto di ripascimento	90
3.5.3.1 Definizione topo-batimetrica dell'Unità Fisiografica di appartenenza di ciascun litorale oggetto di ripascimento	90
3.5.3.2 Analisi dei contenuti e delle previsioni del PAI Coste per l'U.F. di appartenenza	92
3.5.3.3 Analisi delle previsioni del PRCEC (Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera, apprezzato con D.G.R. n. 290/2020) in merito ai litorali di progetto	93
3.5.3.4 Analisi storica delle linee di riva dell'U.F. e identificazione dei tratti in erosione e dei tratti in avanzamento su base cartografica	95
3.5.3.5 Caratterizzazione meteo-marina dell'Unità Fisiografica di appartenenza di ciascun litorale oggetto di ripascimento	106

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

3.5.3.6	Caratterizzazione idraulico-marittima dei litorali oggetto di ripascimento.	117
3.5.3.7	Modellazione numerica della dispersione e trasporto dei sedimenti anche a grandi distanze dai siti di conferimento	118
3.5.4	Progettazione concettuale degli interventi di ripascimento, delle relative opere di stabilizzazione e delle modalità realizzative.....	119
3.5.4.1	Definizione delle aree di intervento per la realizzazione dei ripascimenti	121
3.5.4.2	Possibili tipologie di intervento.....	122
3.5.4.3	Considerazioni generali sulla applicabilità delle diverse tipologie di intervento	133
3.5.5	Piano di Monitoraggio Ambientale degli interventi di ripascimento.....	134
3.5.6	Programmazione temporale dei lavori e individuazione degli interventi limitativi degli impatti a carico della popolazione.....	134
Sez. 2 - Ambiente Marino Costiero: Realizzazione pennelli e scogliere.....		135
1	Verifica e ottimizzazione delle soluzioni progettuali previste in sede di progettazione definitiva .	135
2	Modellazione numerica finalizzata alla quantificazione del ricambio idrico	135
Dinamica del Litorale: Studio evoluzione linea di costa		137
1	Premessa metodologica.....	137
2	Analisi descrittiva dello stato di fatto delle aree potenzialmente influenzate dalla realizzazione dei Pontili	137
3	Esecuzione rilievo topo-batimetrico di dettaglio delle aree di realizzazione dei Pontili.....	140
4	Esecuzione di prelievi di sedimenti lungo le aree rilevate per la caratterizzazione granulometrica dei litorali.....	140
5	Implementazione di specifico sistema modellistico integrato per la valutazione degli effetti della realizzazione dei pontili	141
5.1	Caratterizzazione meteo-marina dei litorali oggetto di studio.....	142
5.1.1	Caratterizzazione meteo-marina dei litorali potenzialmente influenzati dalla realizzazione del Pontile di Cannitello	143
5.1.2	Caratterizzazione meteo-marina dei litorali potenzialmente influenzati dalla realizzazione dei Pontili di Ganzirri	144
5.2	Implementazione di apposito modello bidimensionale di onda e corrente per la valutazione degli effetti della realizzazione dei pontili.....	145
Sez. 3 - Trasporto dei sedimenti: studio evoluzione linea di costa		149
1	Analisi degli interventi di "Sistemazione di tratti di corsi d'acqua"	149
2	Valutazione delle modifiche all'apporto solido in foce connesse agli interventi di "Sistemazione di tratti di corsi d'acqua"	150

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

3	Esecuzione rilievo topo-batimetrico di dettaglio dei litorali sottesi dalle foci dei corsi d'acqua di interesse	151
4	Esecuzione di prelievi di sedimenti lungo i litorali sottesi dalle foci dei corsi d'acqua di interesse	155
5	Caratterizzazione meteo-marina dei litorali oggetto di studio.....	156
6	Propagazione del moto ondoso dal largo verso costa	158
7	Studio della morfodinamica costiera in relazione al contributo sedimentario dei corsi d'acqua oggetto di intervento.....	161

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

Sez. 1 - Ambiente Marino Costiero: Ripascimento Costiero

Il presente capitolo, redatto nell'ambito dell'aggiornamento del **Progetto Definitivo dell'Opera di Attraversamento stabile dello Stretto di Messina e collegamenti stradali e ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia¹**, si è reso necessario al fine di ottemperare alla specifica richiesta di integrazioni pervenuta attraverso il Parere da parte della Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS n.1185 del 15-03-2013 (Delibera CIPE n. 66 del 01-08-2003). In particolare, in relazione alla prescrizione di cui a *pag 74* del suddetto parere (*cf. § 5.2.6 Quadro di Riferimento Progettuale*) – che analizza la tematica **Ambiente Marino Costiero: Ripascimento costiero** – si fornisce una prima sequenza di attività e azioni metodologiche da intraprendere, da approfondirsi nei successivi sviluppi in seno alla Progettazione Esecutiva.

1 Disamina delle previsioni del Progetto Definitivo Integrato (2012) in ordine agli interventi di ripascimento costiero

1.1 Fonti di provenienza del materiale da ripascimento e relative quantità stimate in sede di progettazione definitiva

Dall'aggiornamento 2023 operato in sede di Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da Scavo [doc. AMR0976 a cui si rimanda PIUT], i volumi di sedimento effettivamente disponibili e da potersi tenere in considerazione ai fini della realizzazione delle opere costiere (ripascimenti e relative opere di stabilizzazione) risultano pari a circa **1.800.000 mc**. Pertanto, in sede di Progettazione Esecutiva si provvederà a rendere cantierabile un sottoinsieme degli interventi più ampi di ripascimento (elaborati a suo tempo in sede di Progettazione Definitiva), compatibile con il riutilizzo dei volumi che saranno resi effettivamente disponibili a tale destinazione, pari circa 1,8 milioni di m³, la cui entità definitiva sarà comunque determinata in sede di PIUT e fungerà da input per la definizione delle aree costiere oggetto di ripascimento.

1.2 Caratterizzazione dei materiali da ripascimento effettuata in sede di progettazione definitiva

¹ DL 31 marzo 2023 n. 35 Disposizioni urgenti per la realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria, convertito in Legge del 26 maggio 2023 n. 58.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

1.2.1 Analisi condotte sulle terre e rocce da scavo da utilizzare come sottoprodotto

In sede di progettazione definitiva 2012, le aree oggetto di escavo per la realizzazione delle opere di collegamento erano state oggetto di indagini ambientali, sulla scorta di quanto previsto *allegato 5 al Titolo V del D.Lgs. 152/06*. Tali indagini, eseguite dalla società Eurolink SCPA, erano consistite nel prelievo di n. 32 campioni di terreno, successivamente sottoposti ad analisi chimiche per la determinazione dei parametri, riportati, a mero titolo informativo, nella tabella sottostante.

Residuo a 105 °C	
Scheletro	
Composti inorganici	METODO
1 Antimonio	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
2 Arsenico	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
3 Berillio	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
4 Cadmio	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
6 Cromo totale	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
7 Cromo VI	UV-VIS-Met. Uff. CNR IRSA 16 Q64 Vol.3 1986
8 Mercurio	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
9 Nichel	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
10 Piombo	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
11 Rame	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
12 Selenio	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
13 Stagno	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
16 Zinco	IPC-AES- Met. Uff. EPA 3050B 1996 + EPA 6010C 2000
Composti aromatici	METODO
19 Benzene	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
20 Etilbenzene	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
21 Stirene	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
22 Toluene	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
23 Clilene	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
24 Sommatoria organici aromatici	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
Composti aromatici policiclici	METODO
34 Sommatoria policiclici aromatici (IPA)	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
Alifatici clorurati cancerogeni	METODO
39 Clorometano	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
42 Cloruro di vinile	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
45 Tricloroetilene	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
46 Tetracloroetilene (PCE)	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
Fenoli non clorurati	METODO
71 Fenolo	HPLC – UV Met. Uff. APAT CNR IRSA Q64 16/1998
Idrocarburi	METODO
94 Idrocarburi leggeri C<12	GC-MS – Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
95 Idrocarburi pesanti C>12	GC-FID Met. Uff. EPA 3550B 1996 + EPA 8015B 1996

Figura 1.2 Determinazione parametri (metodi) per analisi chimiche dei composti inorganici e aromatici, ottenuti dal prelievo di n.32 campioni di terreno in sede di Progettazione Definitiva 2012.

Relativamente ai materiali per il ripascimento, saranno valutate ed effettuate le seguenti attività:

1 Integrazione delle indagini ambientali svolte sui materiali da scavo destinati al ripascimento ai sensi del Decreto Ministeriale n. 173 del 15 luglio 2016 secondo le indicazioni tecniche ed operative di cui all'Allegato tecnico dello stesso decreto. In particolare, la relazione di caratterizzazione ambientale deve contenere:

- Analisi delle comunità bentoniche;
- Classificazione di qualità dei materiali da scavo secondo quanto riportato nelle tabelle 2.7 e 2.8 (in corso d'opera);
- Opzioni di gestione, in funzione della classe di qualità dei materiali determinata secondo quanto riportato nelle tabelle 2.7 e 2.8 (in corso d'opera).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

2 Valutazioni tecnico-sperimentali riguardo la compatibilità ambientale del materiale in esame al fine dell'utilizzo quale ripascimento di un arenile e/o per l'immersione in mare sulla base delle indagini integrative di cui sopra.

1.2.2 Ulteriori analisi condotte ai fini del riutilizzo per ripascimento

In sede di PD2012, come già illustrato sopra, ai fini del riutilizzo di una quota parte delle terre e rocce da scavo per ripascimento, furono condotte ulteriori analisi in conformità a quanto previsto dalle allora vigenti **Linee Guida ICRAM-APAT (2007)**, su n. 8 campioni prelevati a diverse profondità in corrispondenza di un unico punto di sondaggio (S409), come indicato nelle figure a seguire (si omette di riportare i risultati in quanto non più di specifico interesse ai fini del PE2024 – vedi nel seguito).

In sede di PE2024, ai fini del riutilizzo di tali terre e rocce per attività di ripascimento, si provvederà a verificare la conformità secondo la sopravvenuta normativa DM 173/16, in analogia con quanto indicato da ARPAS in contesti simili di riutilizzo.

Sarà eseguita, a tale scopo, una campagna di caratterizzazione integrativa in corrispondenza di tutte le aree di scavo ove è previsto il riutilizzo delle terre e rocce per ripascimento, parallelamente alla caratterizzazione delle aree di destino, secondo le modalità previste dal **DM 173/16** e riportate nel successivo paragrafo *Piano di Caratterizzazione Ambientale dei materiali da ripascimento da effettuarsi in sede di progettazione esecutiva*.

SITO DI PRELIEVO S409BIS					
		Analisi eseguite			
ID	PROFONDITA' DI PRELIEVO(m.)	Granulometriche	Fisiche	Ambientali	Mineralogiche
1	0-0.5	X	X	X	X
2	0.5-1.00	X	X	X	X
3	1.00-1.50	X	X	X	X
4	1.50-2.00	X	X	X	X
5	8.50-9.00	X	X	X	X
6	15.50-16.00	X	X	X	X
7	22.50-23.00	X	X	X	X
8	29.50-30.00	X	X	X	X

Figura 1.3 Indagini condotte su n.8 campioni prelevati a diverse profondità in corrispondenza di un unico punto di sondaggio (S409) effettuate in sede di Progettazione Definitiva 2012.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

	PARAMETRO	SPECIFICHE
ANALISI FISICHE	Descrizione macroscopica	Colore, odore, presenza di concrezioni, residui di origine naturale o antropica
	Granulometria	Frazioni granulometriche al $1/2\phi$ dove $\phi = -\log_2$ (diametro in mm/diametro unitario in mm)
	Mineralogia (2)	Principali caratteristiche mineralogiche
ANALISI CHIMICHE	Composti organostannici (1)	Sommatoria: Monobutil, Dibutil e Tributilstagno (l'analisi si trascura se la presenza può essere esclusa sulla base di indagini pregresse)
	Metalli (1)	Al, As, Cd, Cr totale, Pb, Hg, Ni, Cu, V, Zn (3)
	Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) (1)	IPA totali: [Fluorantene, Naftalene, Antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, Indopirene, Acenaftene, Fluorene, Fenantrene, Pirene, Benzo(a)antracene, Crisene, Dibenzo(a,h)antracene, Indeno(1,2,3,c-d)pirene]
	Idrocarburi Totali (1)	Possibilmente distinti in C<12 e C>12
	Pesticidi Organoclorurati (1)	Aldrin, dieldrin, α -esaclorocicloesano, β -esaclorocicloesano, γ -esaclorocicloesano (Lindano), DDD, DDT, DDE (per ogni sostanza: somma degli isomeri 2,4 e 4,4), HCB, Eptacloro, Eptacloro epossido, Ossiclordano, cis-Clordano, trans-Clordano, trans-Nonacoloro, cis-Nonacoloro, Eldrin, Mirex, Metossicloro
	Policlorobifenili (1)	Congeneri: PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169, PCB 180 e loro sommatoria
	Clorobenzeni (1)	Esaclorobenzene
	Carbonio organico totale o sostanza organica totale (1)	
	Azoto totale (1)	
	Fosforo totale (1)	
ANALISI MICROBIOLOGICHE	Coliformi (1)	<i>Escherichia coli</i>
	Enterococchi (1)	Fecali
	Salmonelle (1)	
	Clostridi (1)	Spore di clostridi solfito-riduttori
	Stafilococchi (1)	
	Miceti (2) (1)	

Figura 1.4 Analisi fisiche, chimiche e microbiologiche condotte e relativi parametri e specifiche effettuate in sede di Progettazione Definitiva 2012.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024



1.3 Siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva

Nel Progetto Definitivo del 2012 erano stati individuati diversi litorali della costa Tirrenica appartenenti alla provincia di Messina compresi tra il Comune di Valdina e Capo Peloro (Comune di Messina), e, per quanto riguarda i litorali della costa Ionica, un tratto della località di Sant’Alessio Siculo (sempre provincia di Messina) per il quale è stato già predisposto dall’Amministrazione Comunale un progetto esecutivo di ripascimento protetto.

Nello specifico, come riportato nelle figure precedenti, i siti di ripascimento potenzialmente utilizzabili nel 2012 sono indicati all’interno della tabella a seguire.

Siti di ripascimento			
	Località di Ricadenza	Ambito costiero	Comune di appartenenza
1	Valdina	Tirrenico	Comune di Valdina
2	Spadafora		Comune di Spadafora
3	Rometta		Comune di Rometta
4	Villafranca Tirrena		Comune di Villafranca Tirrena
5	Ortoluzzo		Comune di Messina
6	Rodia-Giudeo		Comune di Messina
7	Calamona-Giudeo		Comune di Messina
8	Calamona - Rosocolmo		Comune di Messina
9	Spartà		Comune di Messina
10	Mezzana-Tono		Comune di Messina
11	Tono-Casabianca		Comune di Messina
12	Sant’Alessio Siculo	Ionico	Comune di Sant’Alessio Siculo

Tabella 1.1 Siti di ripascimento e relative località di ricadenza, ambito costiero e comune di appartenenza individuati in sede di Progettazione Definitiva 2012, elab. CZV0922 Studi propedeutici per impiego materiali di scavo per ripascimento coste PT. 1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

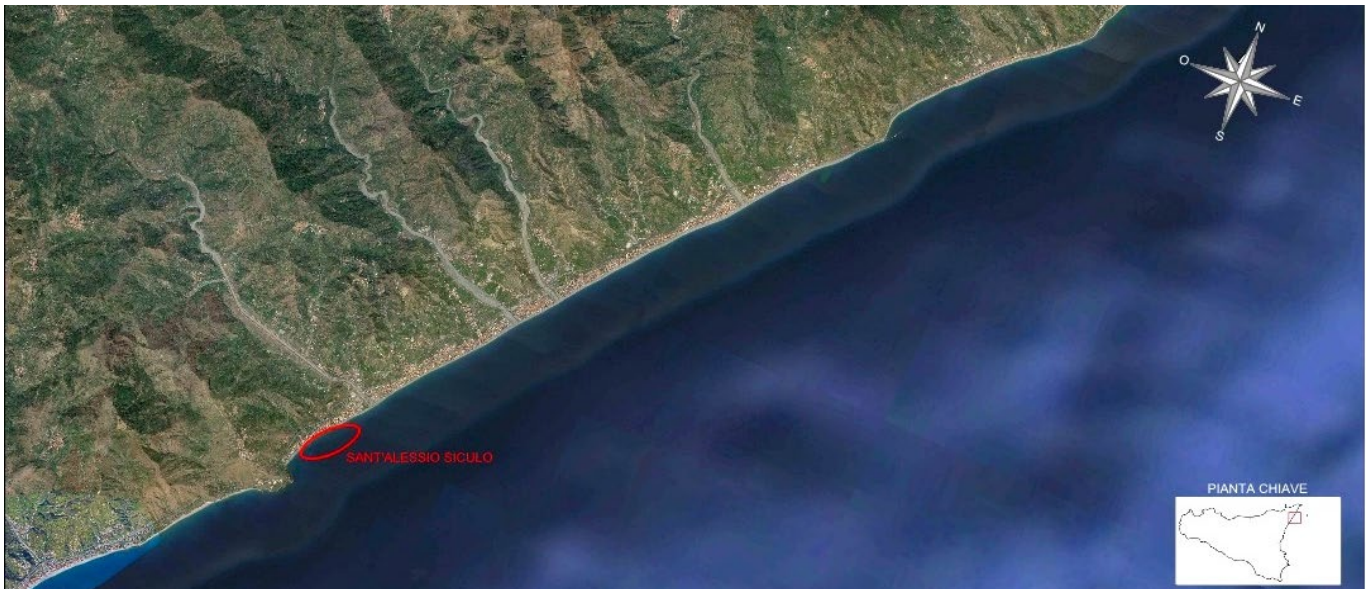


Figura 1.6 Località soggetta ad intervento di ripascimento, zona ionica prevista in sede di Progettazione Definitiva 2012.

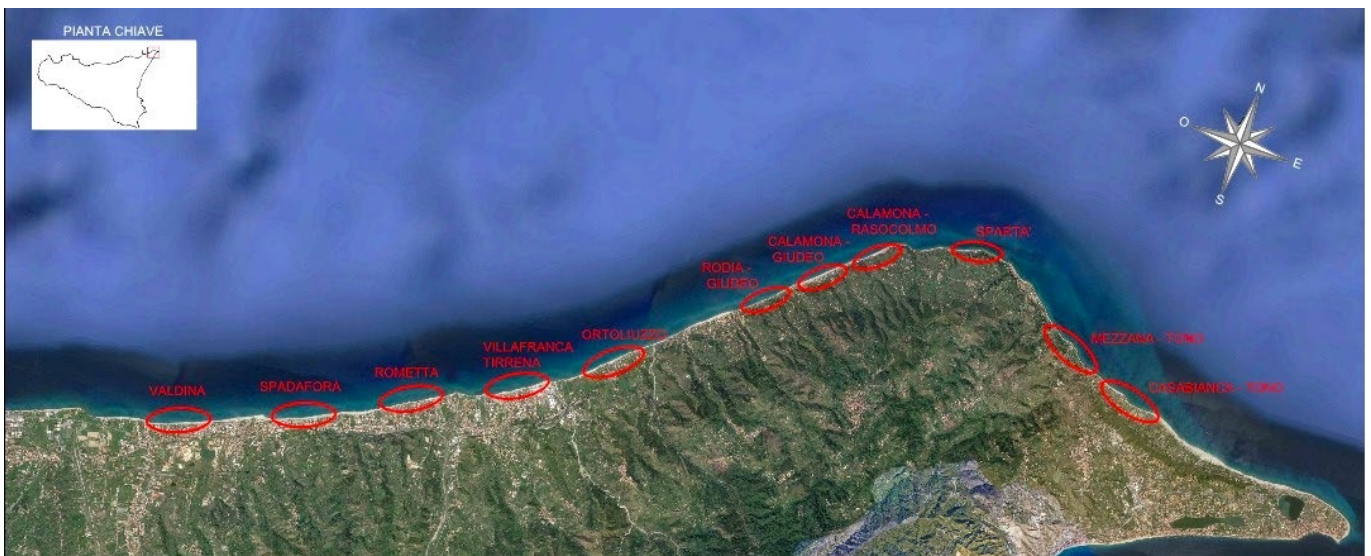


Figura 1.5 Località soggette ad intervento di ripascimento, zona tirrenica previste in sede di Progettazione Definitiva 2012.

In sede di PD2012 erano state calcolate le quantità di materiale sedimentario proveniente dagli scavi, da destinare eventualmente agli interventi di ripascimento; i volumi stimati all'interno della progettazione definitiva 2012 sono riportati all'interno della figura seguente. Si evidenzia, come già accennato in precedenza, che **in sede di PE2024 gli effettivi volumi da portare a ripascimento deriveranno dal Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da Scavo [doc. AMR0976 PIUT], nella misura di circa 1,8 milioni di m³, che verranno allocati in un sottoinsieme dei siti indicati in**

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

sede di PD2012; tale sottoinsieme sarà determinato in funzione degli studi di dettaglio elencati al §3.

Il progetto di ripascimento previsto dal progetto definitivo interessa i Comuni di Monforte San Giorgio, Torregrotta, Valdina, Venetico, Spadafora, Rometta e Saponara. Questo tratto di litorale è delimitato ad Ovest dalla foce della Fiumara Niceto e ad est dalla foce del Torrente Calvaruso.

All'interno della fascia di litorale sono altresì comprese le foci del Torrente Cocuzzaro, del Torrente Tonnarazza, del Torrente Concorda e del Torrente Saponara.

Una alta percentuale del perimetro di questa fascia costiera è soggetta ad erosione.

Lo sfruttamento del territorio a ridosso della fascia del litorale è principalmente industriale e urbano. L'unità costiera in esame è costituita prevalentemente da spiagge basse intervallate da segmenti rocciosi. Il tratto interessato dagli interventi di ripascimento è interamente sabbioso (con riferimento a quanto indicato all'elaborato CZV0007_F0).

Nelle successive fasi progettuali verranno inoltre valutati altri tratti di costa che potrebbero essere idonei per l'attività di ripascimento, come ad esempio le coste di Sant'Alessio Siculo, già oggetto di interventi in tal senso (in altre opere).

Il progetto definitivo prevede di utilizzare circa 1.500.000 mc ovvero quelli ritenuti idonei allo scopo e congruenti con l'intervento progettato che risulta avere caratteristiche ambientali tali da consentire una riqualificazione del territorio.

La barriera di presidio soffolta verrà realizzata in parte con scogliera costituite da massi lapidei da reperire sul mercato ed in parte con geocontenitori riempiti con sabbia di opportuna granulometria recuperata da materiali di seconda scelta proveniente dagli scavi. Il definitivo stima a tale scopo il riutilizzo di circa 300.000 mc di materiale (previa lavorazione nei siti previsti).

Il totale complessivo inviato a ripascimento/barriere di presidio considerato dal presente progetto è quindi pari a circa 1.800.000 m³ (1.475.000 m³ ripascimento e 300.000 m³ barriere soffolte).

L'intervento di ripascimento considerato nel progetto è sviluppato in 3 fasi e coinvolge invece 7 Comuni (il tratto di litorale compreso tra i comuni di Monforte San Giorgio e Saponara), come indicato dall'elaborato CZV1012_F0.

A questi è stato aggiunto come potenziale sito anche il comune di Sant'Alessio, ma si demanda al progetto esecutivo l'effettiva possibilità di riutilizzo per ripascimenti del materiale di scavo.

Come già evidenziato precedentemente in fase di progetto esecutivo verranno rivalutati i volumi che effettivamente potranno essere inviati a ripascimento, sulla base delle analisi chimiche, fisiche, biologiche ed ecotossicologiche da condurre secondo i disposti del DM 173/16 e sulla scorta delle effettive disponibilità dei siti da ripascere.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

1.4 Descrizione di dettaglio degli interventi di ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione

Al fine di approfondire la trattazione relativa agli interventi di ripascimento, all'interno della figura seguente si dettagliano più specificatamente:

- l'estensione del tratto del versamento interessato;
- l'avanzamento medio, dopo varie simulazioni, della linea di costa;
- la stima dei volumi necessari per l'esecuzione delle opere.



Località	Costa	Estensione	Avanzamento	Volumi unitari	Volume con overfill	Volume
		[m]			[m ³]	[m ³]
Valdina	Tirrenica	1625	50	174	338.830	2.867.640
Spadafora		1570	20	47	87.640	
Rometta		3200	50	189	727.600	
Villafranca Tirrena		1445	50	196	339.340	
Ortoluzzo		3161	50	149	563.410	
T. Rodia - T. Giudeo		1401	40	95	160.270	
T. Calamona - T. Giudeo		1151	30	66	91.090	
T. Calamona - C.o Rasocolmo		1429	40	105	179.330	
Spartà		1410	30	80	134.810	
Mezzana - T. Tono		1034	40	61	75.200	
Casa Bianca - T. Tono		2183	40	65	170.130	
S.Alessio Siculo		Ionica				
Totale						3.199.640

Figura 1.8 Estensione del versamento, avanzamento medio della linea di costa, stima di volumi di materiale sedimentario destinato agli interventi di ripascimento distinto per località e costa soggette ad interventi di ripascimento previsti in sede di Progettazione Definitiva 2012, elab. CZV0922 Studi propedeutici per impiego materiali di scavo per ripascimento coste PT. 1

Per quanto attiene al sito di Sant'Alessio Siculo, si rileva che per tale intervento **è allo stato dell'arte presente un progetto di ripascimento protetto già approvato e realizzato per la parte relativa alla protezione al piede**, prevedendo lo sversamento di circa 330.000 m³ di sedimenti.

Inoltre bisogna attenzionare alcuni interventi relativi alle opere di stabilizzazione. Infatti in sede di Progettazione Definitiva del 2012 è stato considerato il "Progetto Definitivo dell'intervento di riqualifica con ripascimento del litorale compreso tra i comuni di Monforte San Giorgio e Saponara (Prov. di Messina) comprendente anche il progetto definitivo di un pontile a giorno a Villafranca Tirrena" che permette di utilizzare una parte di materiale di risulta degli scavi al fine di realizzare un intervento di riqualificazione ambientale del tratto di litorale individuato, con interventi di ripascimento protetto.

A seguito delle indagini e degli studi propedeutici (PD2012) sono state identificate le seguenti opere ritenute necessarie ed indispensabili per la realizzazione dell'intervento nel suo complesso:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

- la realizzazione di un pontile (provvisorio) a giorno per il carico e scarico del materiale proveniente dai siti di produzione;
- la realizzazione di n°3 pennelli provvisori sulle spiagge per il carico dei materiali lapidei provenienti dalle cave di prestito necessari per la realizzazione di una parte della scogliera soffolta
- una barriera soffolta come linea di difesa dal moto ondoso, da realizzare sul litorale compreso tra il comune di Monforte San Giorgio e Saponara, costituita in parte da scogli lapidei ed in parte da geocontenitori riempiti con sedimenti provenienti dai siti di scavo, opportunamente selezionato e trattato;
- il salpamento delle opere di difesa costiera esistenti sulla spiaggia;
- il ripascimento delle spiagge emerse e di quelle sommerse nello stesso tratto di litorale con materiale proveniente dagli scavi classificato come sabbie e ghiaie.

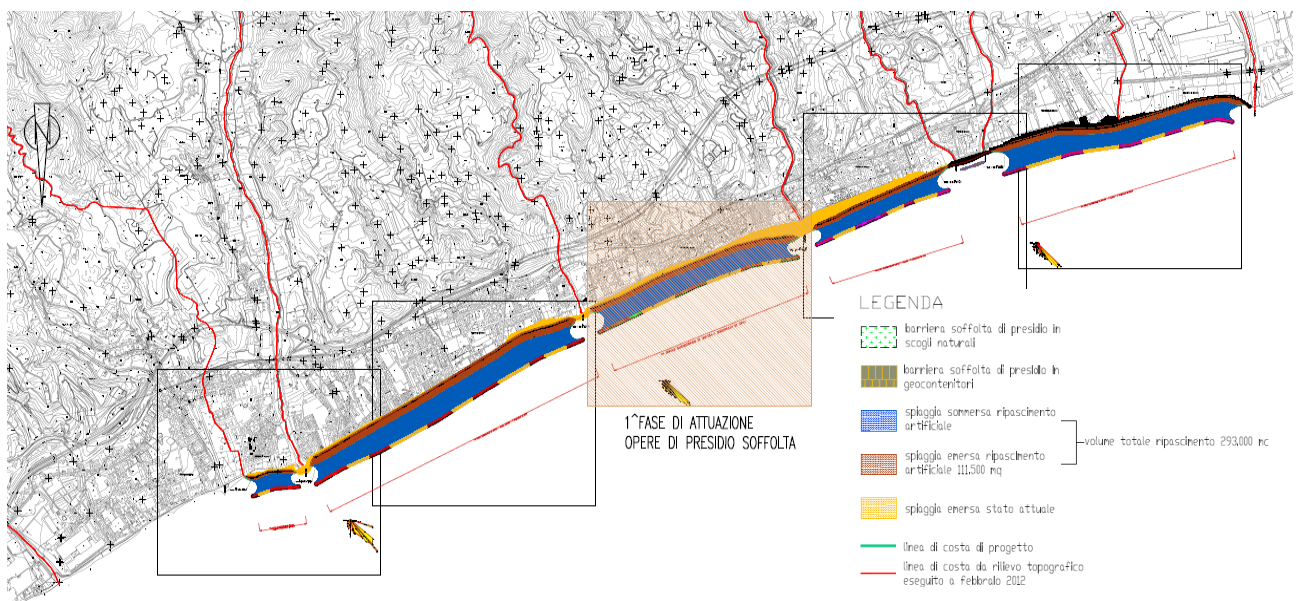


Figura 1.9 Stralcio planimetria ripascimento artificiale, Progetto Definitivo 2012, CZV1033_Planimetria ripascimento artificiale-fase attuazione 1

Il Progetto Definitivo del 2012 prevede al fine di minimizzare l’approvvigionamento dei materiali lapidei da cava, il riutilizzo del materiale da scavo opportunamente selezionato e trattato, per il riempimento di geocontenitori. Si prevede inoltre il riutilizzo degli scogli e dei massi artificiali salpati per la formazione del nucleo della barriera soffolta al fine di limitare lo smaltimento degli stessi. Il resto del materiale sarà prelevato da cave autorizzate.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

1.4.1 Modalità di Versamento

Il versamento del materiale sedimentario lungo la costa ai fini del ripascimento può in genere essere effettuato mediante diverse tecniche. L'intervento può essere condotto **via mare**, facendo ricorso ad apposite draghe aspiranti-refluenti, in grado di pompare elevati quantitativi di sabbia e posizionarli lungo il litorale.

Un'altra possibile alternativa è di intervenire **via terra**, con mezzi pesanti che trasportano e scaricano i sedimenti lungo la costa con continuità e ruspe distribuiscono i sedimenti omogeneamente lungo l'arenile. In tal caso è necessario studiare opportunamente il percorso terrestre che i mezzi meccanici devono compiere dal luogo di prelievo a quello di versamento, curando che ci siano punti di accesso al litorale per i mezzi meccanici coinvolti.

Si riconosce una maggiore incidenza dei potenziali impatti di natura ambientale in fase realizzativa della seconda opzione sopra riportata (trasporto via terra).

In relazione ai volumi da allocare e alla effettiva distanza dei siti di versamento definitivo rispetto a quelli di provenienza, si ritiene pertanto sede preferibile procedere alla realizzazione dei ripascimenti operando via mare, anche al fine di non appesantire ulteriormente la viabilità provinciale, che sarà già impegnata a sostenere l'incremento di traffico connesso con i cantieri di realizzazione del Ponte e delle infrastrutture connesse.

Si riscontra comunque il mancato sviluppo in merito al fenomeno del **Sea Level Rise** – ossia l'innalzamento progressivo del livello marino – la cui tematica trova sempre più spazio all'interno delle attività di progettazione e in special modo per infrastrutture di opere portuali e marittime e di difesa costiera, tra cui interventi di ripascimento e relative opere di stabilizzazione.

Seppur l'innalzamento del livello del mare non è uniforme in tutto il mondo, questo continuerà ad accelerare tra oggi e il 2050 esclusivamente in risposta al riscaldamento già in corso, determinando l'esposizione al rischio di inondazioni di decine di milioni di persone; il Mar Mediterraneo fa registrare mediamente un aumento medio di 3,6 mm ogni anno.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

2 Quadro attuale dei siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva

2.1 Descrizione dello stato di fatto attuale dei siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva

All'interno del presente paragrafo si dettaglia più specificatamente lo stato attuale dei siti previsti in sede di progettazione definitiva, i cui rapporti fotografici si rimandano al successivo paragrafo *Considerazioni in merito al mantenimento delle previsioni del progetto definitivo in ordine ai siti di ripascimento*.

Procedendo da Ovest verso Est, il primo tratto, per un'estensione di circa 1600 m, ricade in corrispondenza del **Comune di Valdina**. Il litorale ha una forma abbastanza omogenea di spiaggia emersa avente una larghezza media di 30 m, articolata con un minimo di 10 m e un massimo di 40 m. Inoltre, a difesa della costa, sono presenti un pennello, due barriere radenti e una scogliera sommersa.

Successivamente troviamo il tratto in ricadente all'interno **del Comune di Spadafora** (circa 1600 m), dove la presenza delle barriere/pennelli divide la zona in ulteriori due parti: nella prima parte, ossia i primi 300 m, si ha una maggiore porzione di spiaggia, mediamente di lunghezza pari a 45 m, rispetto al secondo tratto dove la spiaggia è mediamente di 30 m.

Proseguendo verso est, il tratto considerato in sede di progettazione definitiva 2012 è all'interno del **Comune di Rometta**; il litorale appartenente a tale zona si presenta abbastanza disomogeneo in quanto vi sono dei picchi di spiaggia di circa 80 m alternati da tratti di dimensioni modeste, ad esempio in corrispondenza della barriera radente. A difesa della costa, oltre la radente già menzionata, è collocato un numero importante di scogliere emerse.

Il quarto tratto, ricadente nel **Comune di Villafranca Tirrena**, è caratterizzato da una costa molto disomogenea; infatti a causa della presenza dei pennelli, si formano zone di sopraflutto dove la spiaggia arriva a circa 80 m di larghezza, mentre nella zona di sottoflutto non supera i 10 m. Inoltre a difesa del litorale sono presenti una barriera sommersa di oltre 1400 m, n.5 pennelli di dimensione variabile, e una radente cementificata a difesa di tutto il lungomare.

Il quinto tratto, litorale di **Ortoliuzzo**, è abbastanza omogeneo, con spiagge mediamente larghe 35 m; a difesa della costa troviamo dei pennelli, una radente e qualche barriera emersa e sommersa.

Nel tratto che va dal Torrente **Rodia** al Torrente **Giudeo** è evidente la sofferenza del litorale in quanto la larghezza media di spiaggia è approssimabile a circa 10 m, oltre alla presenza di qualche radente a protezione del centro abitato.

Nel settimo tratto, che va dal Torrente **Giudeo** al Torrente **Calamona**, la costa risulta omogenea

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

dove sono presenti ben 11 barriere emerse e la spiaggia ha una larghezza media di 45 m. Successivamente il tratto di progetto considerato va dal Torrente **Calamona** a Capo **Rasocolmo** può essere diviso in due parti, separato da una barriera radente dove la spiaggia è praticamente nulla; nella prima parte insistono dei pennelli di modeste dimensioni e la spiaggia arriva a circa 30 m, nella seconda parte invece è presente una barriera sommersa e la spiaggia ha una larghezza media di 60 m.

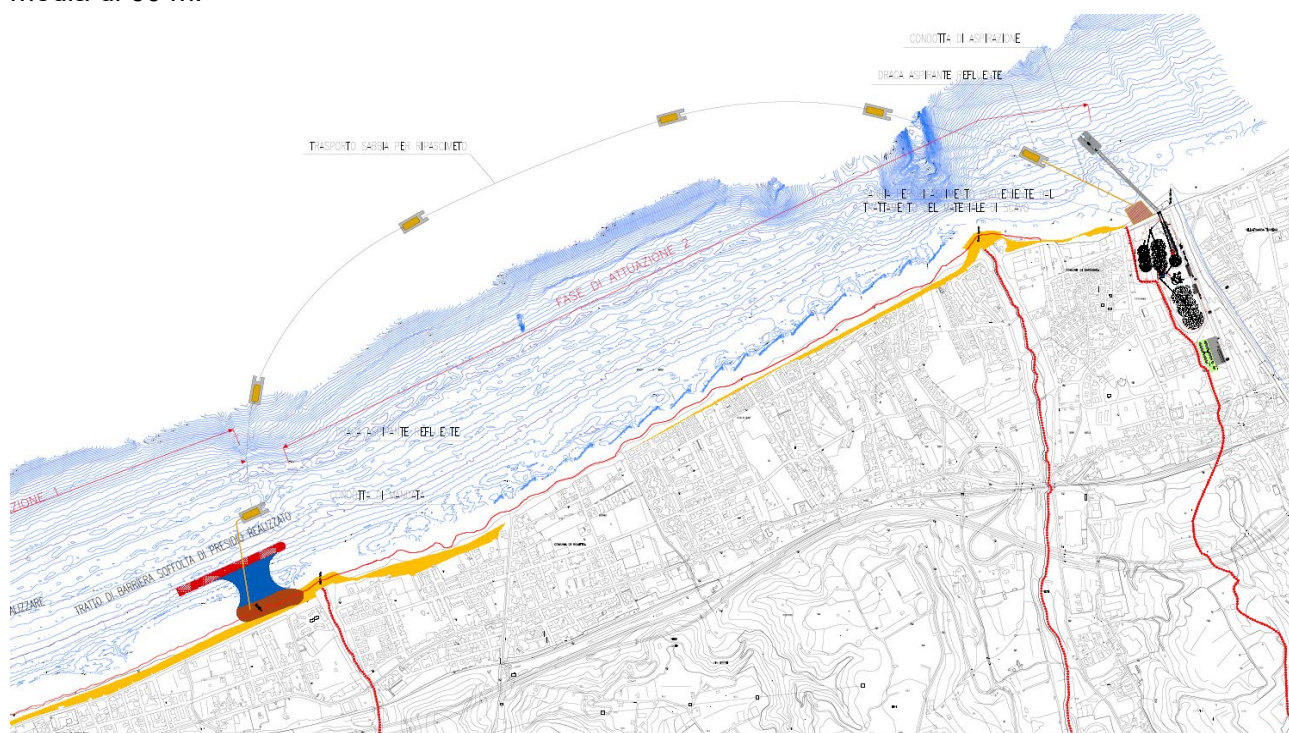


Figura 2.1 Stralcio planimetria modalità ripascimento artificiale via mare, Progetto Definitivo 2012, elab. CZV0989_Planimetria modalità ripascimento

Il tratto successivo ricade all'interno della frazione di **Spartà** dove la spiaggia risulta essere abbastanza omogenea, con una larghezza media di circa 15 m, inoltre sono presenti dei pennelli e delle barriere radenti a protezione del centro abitato.

Nel decimo tratto, che rientra all'interno delle frazioni di **Mezzana** e **Tono**, la spiaggia risulta abbastanza omogenea, la cui larghezza media è di circa 15 m.

Subito dopo troviamo il tratto che va dal Torrente **Tono** a alla fine della frazione di **Casa Bianca**, dove la larghezza della spiaggia è abbastanza omogenea (mediamente 15 m).

Nell'ultimo tratto, l'unico ricadente nella costa Ionica, all'interno del Comune di **Sant'Alessio Siculo**, è presente una barriera soffolta di circa 1700 m, la spiaggia ha una larghezza media di circa 15 m.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

2.2 Quadro programmatico e progettuale aggiornato dei siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva

2.2.1 Analisi dei contenuti e delle previsioni del PAI Coste per i siti di interesse

Le cartografie e le informazioni contenute nel presente paragrafo si riferiscono alla prima stesura dei Piani Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico datata 1998.

Nonostante il particolare idrodinamismo dei litorali coinvolti nell'intervento di ripascimento previsto durante la progettazione definitiva, i successivi aggiornamenti non hanno portato a modifiche dei contenuti grafici e testuali. Pertanto nel seguito si riportano i contenuti grafici e testuali disponibili.

I siti di interesse ricadenti nel progetto definitivo (cfr. § *Siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva*), tranne per il tratto di costa ricadente nel comune di Sant'Alessio Siculo, sono posizionati nella porzione nord-orientale della Sicilia. I litorali di interesse sono: Valdina; Spadafora; Rometta; Villafranca Tirrena; Ortoluzzo; Rodia – Giudeo; Calamona – Giudeo; Calamona – Rosocromo; Spartà; Mezzana – Tono; Tono – Casabianca.

Essi fanno parte dell'Unità Fisiografica 1 (U.F.), si estendono per una lunghezza di circa 20 km, e sono composti per la maggior parte da sabbia mista a ciottoli (73%).

In relazione alla configurazione costiera e all'esposizione del tratto di costa di tale unità fisiografica le mareggiate sono prevalentemente legate ai venti provenienti dal I e dal IV quadrante (grecale, tramontana, maestrale). Gli eventi estremi e i moti ondosi più intensi sono generalmente legati al vento di maestrale (NO), pertanto la deriva netta dei sedimenti dei tratti di costa esposti in tale unità fisiografica è verso levante (est). A seguire si riportano gli stralci cartografici presenti nel PAI (*Piano Assetto Idrogeologico*) con le analisi delle previsioni progettuali per ogni tratto di litorale oggetto di ripascimento previsto in sede di progettazione definitiva.



Figura 2.2 Stralcio cartografico PAI relativo alla località di Valdina.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev</th> <th>Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>20/01/2024</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	C	20/01/2024
Rev	Data						
C	20/01/2024						



Figura 2.3 Stralcio cartografico PAI relativo alla località di Spadafora.

Nella zona ricadente il comune di **Valdina**, individuabile nella cartografia con la denominazione Fondachello, si registrano arretramenti alla redazione del citato PAI pari a 15 metri nell'intervallo di anni che intercorre tra il 1985 e il 1988. Nel litorale i km di costa sono 551 con una percentuale di erosione lungo tale tratto pari al 47%, presentando quindi una situazione di forte erosione costiera esplicitata con l'indice di pericolosità 4.

Nel comune di **Spadafora** sono stati registrati arretramenti nello stesso intervallo di tempo pari a 10 metri, e le zone di arretramento sono costanti fino al comune di Villafranca Tirrena individuato dalla foce del torrente Gallo. L'estensione del litorale nel tratto di costa sopra menzionato è pari 1794 m con una percentuale di erosione pari al 12%.

Gli interventi previsti per entrambe le zone, individuabili nelle cartografie sopra riportate sono :

1. barriere soffolte,
2. pennelli parzialmente soffolti;
3. pennelli emersi;
4. Ripascimenti nei tratti con maggior arretramento (Valdina)

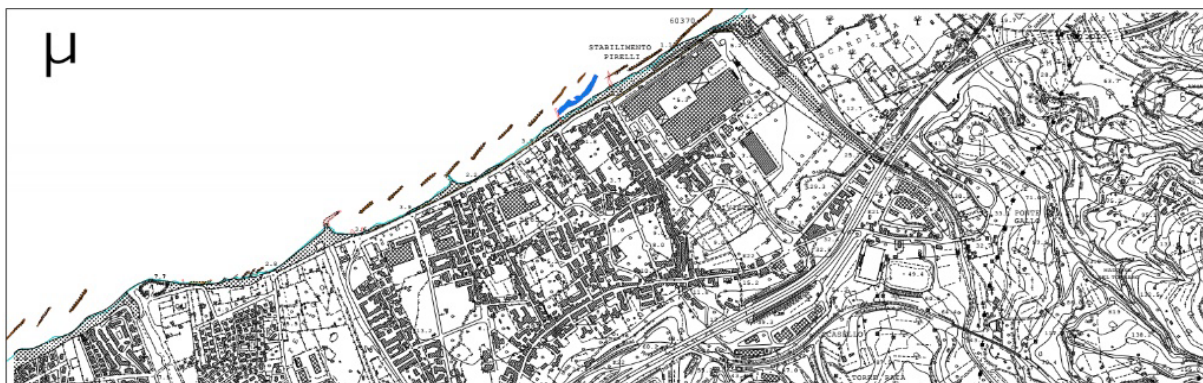


Figura 2.4 Stralcio cartografico PAI relativo alla località di Villafranca Tirrena.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

Nel tratto di litorale di cui fa parte il comune di **Rometta Marea**, sono stati registrati arretramenti nell'intervallo di tempo che intercorre tra il 1985 e il 1998, arretramenti della linea di riva pari a 12 m circa, più rimarcati, invece nel comune di Villafranca Tirrena dove si è raggiunto un arretramento pari a 15 m.

Nel comune di Rometta si registra un forte tratto in erosione infatti la situazione di disequilibrio che caratterizza il litorale denuncia un'insufficienza del trasporto solido fluviale, e questo è evidenziato dall'appiattimento delle foci della gran parte dei torrenti che insistono nella zona.

La spiaggia inizia dal torrente Boncorda ed è caratterizzata da 18 barriere emerse fino al torrente Saponara; le prime barriere presentano una tendenza al ripascimento del litorale retrostante, mentre per il resto della spiaggia si evidenzia un forte arretramento. Ciò è verificato facilmente anche dai dati di superficie erosa, infatti su 2957 m di spiaggia ben il 55% dimostra fenomeni erosivi.

La medesima situazione si registra nel litorale di **Villafranca Tirrena**, che si estende per 1628 m, dal torrente Calvaruso fino al Torrente Gallo, dove su 1628 m di litorale ben il 66% presenta fenomeni erosivi. Infatti la zona di arretramento, nonostante la presenza di numerose barriere, si estende fino al confine cittadino delimitato dal torrente Gallo, e in alcune zone, dove peraltro insiste il lungomare cittadino, la spiaggia risulta a tratti inesistente.

Gli interventi previsti per queste zone, individuabili nelle cartografie sopra riportate sono :

1. barriere soffolte
2. pennelli parzialmente soffolti
3. pennelli emersi
4. ripascimenti nei tratti con maggior arretramento (Villafranca Tirrena)



Figura 2.5 a sinistra e 2.6 a destra Stralcio cartografico PAI relativo alla località di Ortoluzzo (a sx) e Rodia (a dx)



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024



Figura 2.7 Stralcio cartografico PAI relativo alla località di Capo Rasocolmo

Oltre il Torrente Gallo procedendo verso levante si entra nella fascia costiera Tirrenica messinese. Dagli stralci cartografici soprastanti si possono inquadrare i tratti di litorale riguardanti le zone di Rodia, Ortoliuzzo e Capo Rasocolmo, dove sono stati registrati arretramenti significativi soprattutto nella zona di Ortoliuzzo dove in un intervallo di 13 anni si è registrato un arretramento pari a circa 27 m.

La spiaggia di **Ortoliuzzo** generalmente si riduce a ridosso degli edifici esistenti, se si esclude un primo breve tratto in cui presente una modesta larghezza con una copertura di vegetazione intatta o appena intaccata.

Oltre la foce della fiumara Tarantonio la profondità della spiaggia è variabile diventando sottile fino a poco prima della zona di San Saba. In corrispondenza del capo Rasocolmo il trend erosivo torna ad essere di nuovo accentuato, qui la spiaggia di lunga estensione longitudinale è costituita da sabbia finissima di origine eolica, alal montagnagenerando un'alta duna.

Gli interventi previsti per queste zone, individuabili nelle cartografie sopra riportate sono :

1. barriere soffolte
2. pennelli parzialmente soffolti
3. ripascimenti nei tratti con maggior arretramento (Capo Rasocolmo)



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024



Figura 2.8 Stralcio cartografico PAI relativo alla località di Spartà, Mezzana e Tono

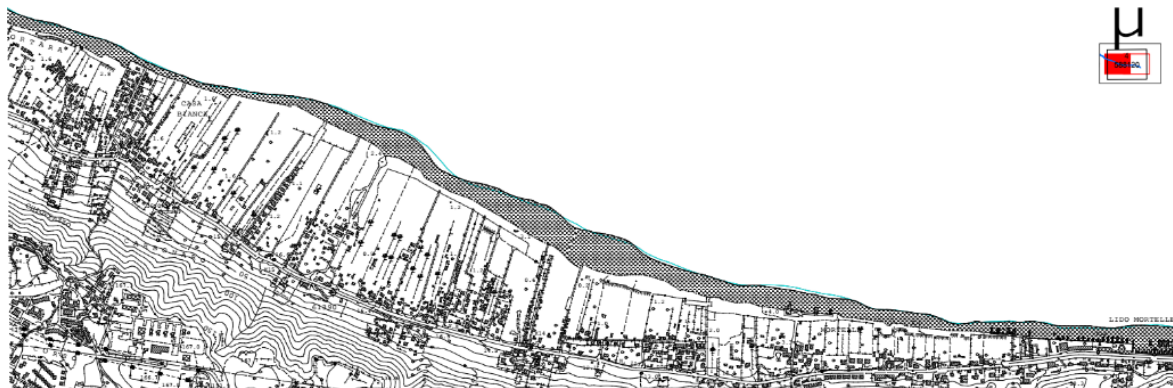


Figura 2.9 Stralcio cartografico PAI relativo alla località di Acqualadrone.

Procedendo sempre verso est, alla destra idraulica della fiumara Lavina, si estende l'abitato costiero di **Acqualadrone** che nonostante l'attuale trend di arretramento (circa 17 m nell'intervallo di tempo considerato) presenta una spiaggia di buona consistenza composta per lo più da materiale ghiaioso. Oltre il torrente Acqualadrone e fino al Torrente Mulinello, il trend evolutivo è di forte e pericoloso arretramento infatti in queste zone si sono registrati arretramenti fino a 200 metri circa, che hanno aggredito le case esistenti sulla zona, i cui ruderi sono tutt'ora visibili all'interno dello specchio acqueo.

Oltre il torrente Tono, la spiaggia fino alla frazione di Casabianca presenta una buona consistenza con la presenza di dune intatte.

Gli interventi previsti per queste zone, individuabili negli stralci cartografici sopra riportati sono :

1. barriere soffolte
2. ripascimenti nei tratti con maggior arretramento (Mezzana, Mulinello, Tono)

L'ultimo tratto di costa individuato in sede di progettazione definitiva, riguarda il litorale ricadente all'interno del territorio comunale di **Sant'Alessio Siculo**. Esso si estende per circa 2 km e presenta

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

un trend evolutivo per circa il 98% della sua estensione. La spiaggia già oggetto di numerosi interventi di ripascimento continua a mostrare un trend evolutivo in arretramento per cui in sede previsioni progettuali dettate dal PAI si prevede la realizzazione di:

1. barriere soffolte
2. pennelli intercettori
3. Ripascimenti



Figura 2.10 Stralcio cartografico PAI relativo alla località di Sant'Alessio Siculo.

Le varie alternative progettuali contenute nel PAI, che prevedono interventi misti di protezione quali pennelli e/o barriere parallele alla costa, non indicano la provenienza e la categoria dei massi naturali da utilizzare. In sede di PE, saranno realizzati adeguati studi e rilievi topo-batimetrici col fine di individuare sia la tipologia corretta di opera in base alle caratteristiche idrodinamiche del litorale coinvolto, sia la corretta dimensione dei materiali lapidei necessari alla realizzazione delle opere in oggetto.

Alla luce delle attuali conoscenze si può ragionevolmente prevedere l'utilizzo di massi di terza categoria (range da 3000 a 7000 kg) per le mantellate delle barriere emerse, delle barriere sommerse e delle testate dei pennelli essendo le parti più esposte all'azione energetica del moto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

ondoso. Al di sotto delle mantellate sarà interposto uno strato filtro in massi di seconda categoria (range da 1000 a 3000 kg) o prima categoria (range da 50 a 1000 kg) al fine di garantire sia la stabilità strutturale dell'opera sia la verifica dei criteri di ritenzione tra elementi lapidei proposti dal CERC SPM (1984) valide per mantellate di granulometria uniforme in condizioni di flusso non stazionario (esposte al moto ondoso). Questo criterio si basa sulla limitazione del rapporto tra il diametro degli elementi del filtro, o del materiale a granulometrica maggiore, e quello degli elementi del materiale di base, o del materiale a granulometrica più fine.

Tutte le opere saranno imbasate su del materiale lapideo di piccola pezzatura (tout venant o ciottolame) separate dal terreno di fondazione con del geocomposito al fine di evitare l'erosione al piede della struttura lapidea. Il Progetto definitivo del 2012 prevede il riutilizzo degli scogli e dei massi artificiali salpati, dove possibile, per la formazione degli strati costituenti le opere rigide. Il resto del materiale necessario al completamento delle opere sarà prelevato da cave autorizzate che saranno individuate durante la progettazione esecutiva.

2.2.2 Analisi delle previsioni del PRCEC (Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera – D.G.R. n. 290/2020) in merito ai litorali di progetto

Il Piano regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC) è stato redatto dall'Ufficio del Commissario di Governo contro il Dissesto Idrogeologico in attuazione alla Deliberazione del Presidente della Regione Siciliana n.74 del 27 febbraio 2020.

Il PRCEC è stato redatto sulla base delle "Linee guida nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici", elaborate dal Tavolo Nazionale Sull'Erosione Costiera (TNEC) (MATTM - Regioni, 2018).

Definisce le unità fisiografiche del I, II, e III ordine per tutto il litorale siciliano, tenendo conto di quanto riportato sia sul Geoportale Nazionale sia nel PAI (2005).

Lo scopo del Piano è quello di identificare le diverse tipologie costiere, attraverso la geomorfologia e la sedimentologia delle coste, fornendo informazioni riguardanti: profilo topo- batimetrico, campioni di sedimenti.

Determina un quadro sull' analisi diacronica dell'evoluzione della linea di riva rilevata dal volo IT2000 fornito dall'ISPRA (ottenuto da un mosaico di ortofoto del periodo 1998-1999) e dalle immagini satellitari ad alta risoluzione relative all'anno 2019.

Fornisce risultati relativi:

- alle indagini sedimentologiche subacquee;
- alle profondità di chiusura, al fine di fornire informazioni circa l'estensione di quella porzione di spiaggia attiva subacquea;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

- alla individuazione delle praterie di *Posidonia Oceanica* oceanica e di *Cymodocea nodosa*, in quanto specie protette da salvaguardare anche da eventuali interventi di difesa;
- alla segnalazione di itinerari culturali subacquei;
- al clima meteomarinario.

Sulla base delle informazioni meteomarine disponibili, si redigono una serie di linee guida per l'implementazione di possibili interventi di mitigazione e di adattamento.

Effettua un'analisi speditiva a scala regionale degli interventi di difesa costiera effettuati nei tratti di litorale classificati a rischio elevato (R3) e molto elevato (R4) nel PAI. Tale valutazione è proposta come primo strumento di supporto alle decisioni per l'individuazione di priorità di intervento lungo le coste siciliane.

Le coste siciliane hanno uno sviluppo complessivo di circa 1623 km, includendo le isole minori. Esse, oltre a una straordinaria geodiversità, hanno grande variabilità di caratteristiche ambientali, infrastrutturali e meteomarine.

Di seguito si riporta la caratterizzazione dei versanti all'interno della quale ricadono i paraggi oggetto di studio del progetto.

Sotto il profilo geomorfologico si osserva un'alternanza più o meno fitta di varietà tipologiche.

Lungo il **versante tirrenico**, lo smantellamento della catena peloritana ha favorito la formazione di pianure alluvionali che si raccordano al mare, passando per ampie spiagge, interrotte da promontori piuttosto prominenti (capi Rasocolmo, Milazzo, Tindari, Calavà e d'Orlando).

Il **versante orientale (ionico)** dei Monti Peloritani è caratterizzato da ampie spiagge interrotte da promontori aggettanti (Taormina, Sant'Andra, Sant'Alessio e Scaletta), ma con una piattaforma continentale, limitata da una scarpata tettonogenica.

In relazione alle tendenze evolutive, il morfotipo che caratterizza il Messinese, è costituito da spiagge ciottolose, formatesi a diretto o indiretto contatto con depositi alluvionali fluviali; attualmente sono sottoposte a processi di erosione accelerata a causa della diminuzione dell'originale fonte di approvvigionamento, del susseguirsi di strutture portuali e di opere di difesa e lungomare e ulteriormente favoriti da una limitata piattaforma continentale.

I primi segni di erosione costiera furono registrati agli inizi degli anni' 70, con la crescita degli agglomerati costieri che hanno portato all'irrigidimento della fascia costiera, e la distruzione di quella dunale. Iniziò, dunque l'attività protettiva delle coste nel decennio '80- '90, che fu eseguita in maniera sommaria e di urgenza, con costruzione di opere rigide senza una corretta caratterizzazione dei paraggi, e portò ad uno spostamento del processo erosivo nelle aree sottoflutto. In questo modo la costa ciottolosa messinese, sia tirrenica che ionica, furono interessate dalla realizzazione di opere

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

a protezione del litorale, progettate per contrastare l'emergenza, ma che hanno innescato un processo di erosione e di costruzione a catena.

Successivamente i Fondi POR 2000-2006 riattivano il sistema protettivo, e si comprende la necessità di agire sulle cause piuttosto che sugli effetti provocati dall'erosione costiera. Si prediligono da quel momento interventi di tipo "morbido" mediante ripascimenti artificiali.

A tal proposito con il "Programma di finanziamento nell'ambito della Misura 1.2.4 – tutela Integrata delle Aree Costiere", in Sicilia vennero introdotte delle linee guida che prevedevano progetti di difesa del litorale sabbioso, improntati al rispetto dell'ambiente costiero ed alla rimozione delle cause dell'erosione.

Nell'ambito di tale programma furono finanziati e realizzati i primi 17 interventi, basati sulla difesa morbida delle spiagge "sabbioso- ciottolose" mediante ripascimenti (Figure successive).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

Comune	Tipo di spiaggia	Nome del progetto	Tipo di Difesa	Finanziamento (in lire)	Note
Giardini Naxos	sabbiosa	Ricostruzione e difesa delle spiagge finalizzata al riequilibrio del litorale lungo la fascia costiera comunale	Barriera soffolta Ripascimento	6.100.000.000	vedi testo
Messina (S. Margherita)	sabbiosa	Opera di tutela integrata della fascia costiera e salvaguardia della s.s.114 e del prospiciente abitato del Villaggio di S. Margherita del comune di Messina	Barriera soffolta Ripascimento Massicciata	24.964.378.000	Buon risultato nonostante il mancato completamento e l'assenza di manutenzione
Sant'Alessio	sabbioso ciottolosa	Opere a salvaguardia della costa e dell'abitato	Barriera soffolta Ripascimento Massicciata	32.000.000.000	Susseguirsi di errori. Attualmente la spiaggia è presente per un effimero intervento di ripascimento (2018)
S.Agata di Militello	sabbiosa	Progetto dei lavori urgenti di difesa costiera del litorale ricadente in località lungomare del comune di S. Agata Militello	Barriera soffolta Ripascimento 3 pennelli	5.850.000.000	L'opera è letteralmente scomparsa
Brolo	sabbioso ciottolosa	Progetto per la ricostruzione delle spiagge da Testa di Monaco alla Torre delle Ciavole	Ripascimento 3 pennelli 2 secche sommerse 6-7 pennelli sommersi	33.270.000.000	Strutture rigide ancora presenti sebbene ammalorate
Gioiosa Marea (S.Giorgio)	ciottolosa	Prodotto esecutivo dei lavori urgenti di difesa costiera del litorale ricadente in località S.Giorgio-nel Comune di Gioiosa Marea	Ripascimento Pennelli	7.550.000.000	L'opera ha innescato un processo erosivo più a valle. Il materiale perso ha contribuito a creare la spiaggia di Patti Marina
Gioiosa M. Piraino	ciottolosa	Progetto per la ricostruzione delle spiagge di Gioiosa Marea e di Piraino, dal	Ripascimento Pennelli	11.700.000.000	Strutture rigide ancora presenti sebbene ammalorate

Figura 2.11 Interventi finanziati nell'ambito della Misura 1.2.4. - Tutela Integrata delle Aree Costiere" del P.O.R. Sicilia 2000- 2006. (Fonte: PRCEC)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

Comune	Tipo di spiaggia	Nome del progetto	Tipo di Difesa	Finanziamento (in lire)	Note
Vallone Carcara a Capo Schinò					
Capo d'Orlando	sabbioso ciottolosa	Progetto generale per la ricostruzione della spiaggia di Capo d'Orlando dalla Fiumara Zappulla al Faro	Ripascimento 4 pennelli 4 pennelli sommersi	11.341.000.000	vedi testo
Villafranca	ciottolosa	Lavori di ricostruzione della spiaggia di Villafranca Tirrena	Barriera soffolta Ripascimento Massicciata	4.840.000.000	Buon risultato nonostante il mancato completamento e l'assenza di manutenzione. Probabilmente è la maggiore concausa dell'erosione del litorale messinese.
Lipari (Vulcano)	sabbiosa	Progetto dei lavori urgenti di difesa costiera in località Vulcano Baia di Ponente del Comune di Lipari	Progetto non approvato	6.500.000.000	
Messina (Santo Saba)	sabbiosa	Intervento per la difesa degli abitati di Rodia, S. Saba ed Acqualadroni e delle relative infrastrutture mediante ripascimento e rinaturalizzazione del litorale	Ripascimento 64 (così nel progetto, n.d.r.) pennelli e barriere frangiflutti massicciata	4.900.000.000	Intervento parziale, eseguito con materiali non idonei: massi di piccole dimensioni e ripascimento terroso
Letojanni	ciottolosa	Recupero e riqualificazione ambientale del tratto di costa compreso tra i torrenti Mazzeo e Fondaco Prete	Barriera soffolta Ripascimento 2 pennelli sommersi	4.932.000.000	L'opera è scomparsa!!
Falcone	sabbiosa	Progetto per la difesa litorale marino lato Ovest	Barriera sommersa	1.400.000.000	tutt'ora visibile
Tusa	sabbioso ciottolosa	Opere per la difesa dell'abitato e protezione alaggi imbarcazioni pesca- tori	no info	2.987.000.000	più o meno ammalorati, ma tutt'ora visibili
Falcone	sabbiosa	Progetto per la difesa della costa con rifiorimento di scogliere antistanti il centro urbano	no info		tutt'ora visibile

Figura 2.12 Interventi finanziati nell'ambito della Misura 1.2.4. - Tutela Integrata delle Aree Costiere" del P.O.R. Sicilia 2000- 2006. (Fonte: PRCEC)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

Per la corretta analisi della tendenza evolutiva di un litorale è importante anche la scelta del fattore scala, da definire in funzione delle dimensioni e dei processi, naturali o antropici, che caratterizzano una specifica zona costiera.

Nel caso dei processi naturali, le fluttuazioni indotte sull'evoluzione di un litorale si sviluppano su ampie scale spaziali e temporali, viceversa, a seguito di interventi di natura antropica, gli impatti si sviluppano su scale spaziali e temporali ridotte (Stive et al., 2002).

Pertanto, ai fini di un'efficace tutela dei litorali si è sviluppata negli anni la necessità di individuare tratti di costa omogenei, o unità fisiografiche, sulla base della struttura fisica (Anselmi et al., 1978; Calda et al. 2003; Barsanti et. al., 2008) e dei principali parametri fisico-morfologici che guidano l'evoluzione delle spiagge, prescindendo quindi dai confini amministrativi (regionali, comunali e provinciali), (Corsini et al., 2008).

La metodologia utilizzata dal PRCEC, si basa sull'organizzazione degli ambiti delle Linee Guida TNEC del MATTM - Regioni per la suddivisione dei litorali siciliani, e si sviluppa in **Unità Fisiografiche (UF) principali** (I ordine), **secondarie** (II ordine) e **gestionali** (III ordine).

Sono previste ulteriori suddivisioni delle unità costiere gestionali o sub-unità gestionali che vengono definite e denominate dalle Regioni (ovvero ambiti costieri di IV ordine) in base alle proprie esigenze di studi, monitoraggi, manutenzioni e attività di gestione ordinaria della costa.

Unità fisiografica costiera	Gerarchia degli ambiti costieri	Definizioni equivalenti	Elementi di delimitazione	Tempi di ritorno per la profondità di chiusura	Ambito di riferimento
Principale	1° ordine	UF principale	Elementi naturali	TR 100 anni	Pianificazione stralcio di bacino
Secondaria	2° ordine	Macro-cella	Elementi naturali e grandi porti	TR 50 anni	Pianificazione stralcio di bacino, progettazione grandi porti
Unità Gestionale	3° ordine	Cella, Macrocella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singolari	TR 10 anni	Interventi di difesa della costa, progettazione di porti di medie e piccole dimensioni e di opere marittime, attività di gestione dei sedimenti
sub-unità gestionale	4° ordine	Micro-cella, Cella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singolari, limiti gestionali	TR 2-5 anni	Statistiche, manutenzioni ordinarie, gestione ordinaria e stagionale

Figura 2.13 Definizione di unità fisiografica costiera principale, secondaria, gestionale e sub- unità gestionale secondo le linee guida TNEC (MATTM- Regioni, 2018)

UNITA' FIOGRAFICA l ordine	Limiti PRCEC
1	Capo San Ranieri – Porto di Catania
2	Porto di Catania – Punta Castelluccio
3	Punta Castelluccio – Isola delle Correnti
4	Isola delle Correnti – Capo San Marco
5	Capo San Marco – Capo Feto
6	Capo Feto – Capo San Vito
7	Capo San Vito – Capo Mongerbino
8	Capo Mongerbino – Capo d'Orlando
9	Capo d'Orlando – Capo Milazzo
10	Capo Milazzo – Capo San Ranieri
11	Arcipelago delle Pelagie
12	Isola di Pantelleria
13	Arcipelago delle Egadi
14	Isola di Ustica
15	Arcipelago delle Eolie

Figura 2.14 Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell' UF 10

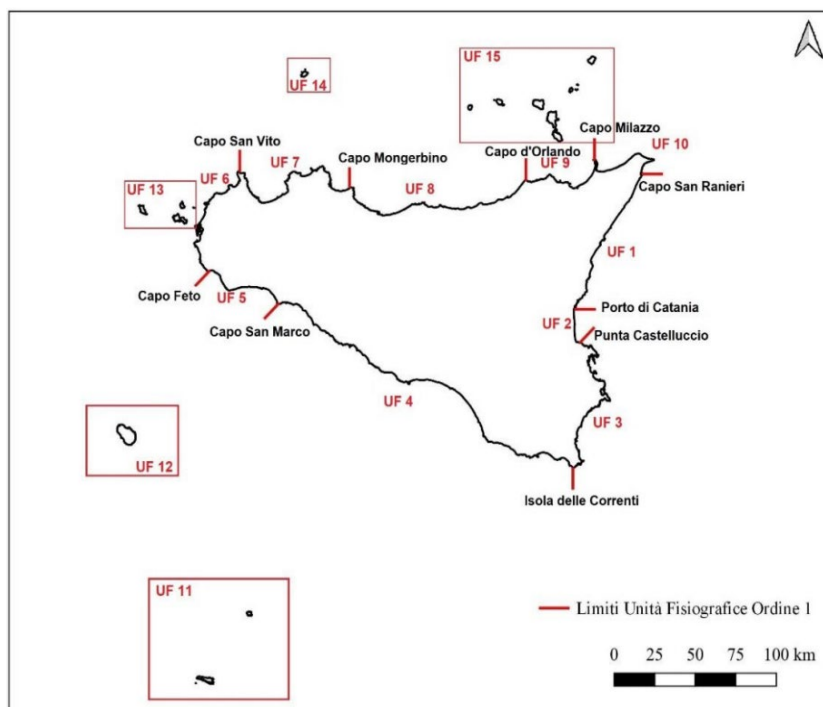


Figura 2.15 Unità Fisiografiche di I ordine proposte per il PRCEC

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Rev</td> <td style="text-align: center;">Data</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">20/01/2024</td> </tr> </table>	Rev	Data	C	20/01/2024
Rev	Data						
C	20/01/2024						

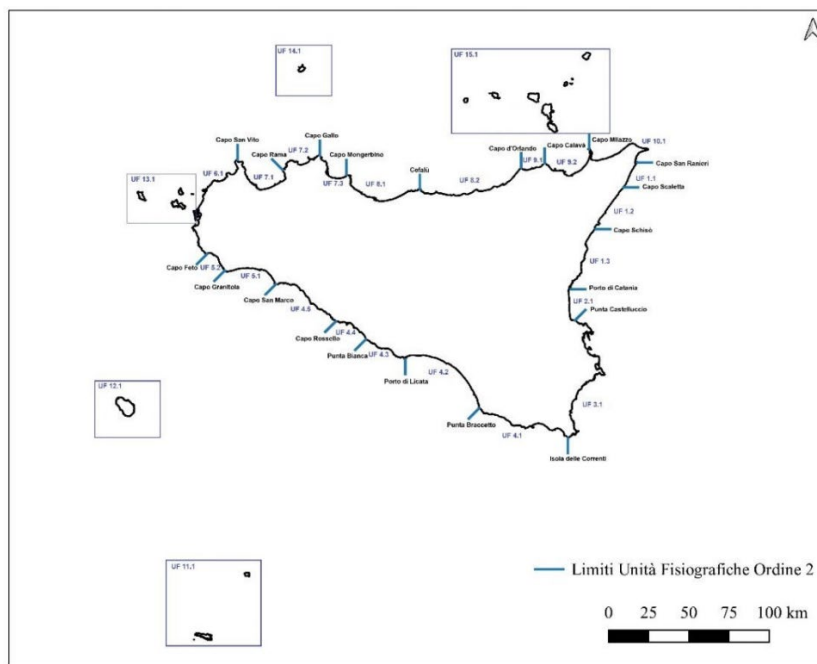


Figura 2.16 Unità Fisiografiche di II ordine proposte per il PRCEC

Per quanto concerne la suddivisione in sub-unità fisiografiche, si riportano di seguito soltanto le gli stralci tabellari all'interno dei quali ricadono i paraggi oggetto di studio, ovvero, UF1 e 10.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 1.1 Capo San Raineri – Capo Scaletta	1.1.1 Capo San Raineri – Capo Scaletta	Falce esterna (da Capo san Raineri al T. Taglialegne) Mare grosso – Contesse (da T. Taglialegne a Porto Tremestieri N) Galati (da Porto Tremestieri N a T. Briga) S. Margherita - Giampilieri (da T. Briga a Capo Scaletta)	Messina pp
UF 1.2 Capo Scaletta – Capo Schiso	1.2.1 Capo Scaletta – Capo Sant'Alessio	Spiaggia di Scaletta e di Itala "marine" Spiaggia di Ali Terme Spiaggia di Nizza di Sicilia e Roccalumera Spiaggia di Furci Spiaggia di Santa Tessa Riva Spiaggia di Sant'Alessio	Scaletta Zanclea, Itala, Ali Terme, Nizza di Sicilia, Roccalumera, Furci Siculo, Santa Teresa di Riva, Sant'Alessio Siculo pp
	1.2.2 Capo Sant'Alessio – Capo Sant'Andrea	Spiaggia di Forza d'Agrò, Letojanni e Mazzeo (Taormina)	Sant'Alessio Siculo pp, Forza d'Agrò, Letojanni e Taormina pp.
	1.2.3 Capo Sant'Andrea – Capo Schiso	Due pocket beaches dell'Isola Bella (Taormina) Spiagge di Villagonia (Taormina) e Giardini Naxos	Taormina pp. e Giardini Naxos pp
UF 1.3 Capo Schiso – Porto di Catania	1.3.1 Capo Schiso – Porto di Riposto	Spiaggia di Recanati (Giardini Naxos) Spiaggia di Fiumefreddo e Fondachello (Giarre)	Giardini Naxos pp., Calatabiano, Fiumefreddo di Sicilia, Mascali, Riposto pp.
	1.3.2 Porto di Riposto – Porto di Catania	Costa rocciosa con pocket beach	Riposto pp, Acireale, Aci Castello, Catania pp

Figura 2.17 Proposta di suddivisione in unità Fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 10.1 Capo Milazzo – Capo San Ranieri	10.1.1 Capo Milazzo – Capo Rasocolmo	pocket beach della Penisola di Milazzo Est	Milazzo, San Filippo del Mela, Pace del Mela, San Pier Niceto, Monforte San Giorgio, Torregrotta, Valdina, Venetico, Spadafora, Rometta, Saponara, Villafranca Tirrena, Messina
	10.1.2 Capo Rasocolmo – Capo San Ranieri		Messina

Figura 2.18 Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell' UF 10

Si forniscono inoltre i valori relativi all'altezza d'onda e al periodo dell'onda morfologica e alla profondità di chiusura nella tabella seguente per ogni unità fisiografica del I ordine.



Tabella 2.1 Altezza e periodo dell'onda morfologica e profondità di chiusura per ogni unità fisiografica del I ordine (Fonte: PRCEC)

Altezza e periodo dell'onda morfologica e profondità di chiusura per ogni unità fisiografica del I ordine					
UF I ordine	Limiti UF	Punto Identif.	$H_{s,12}$ [m]	$T_{s,12}$ [s]	h_c [m]
1	Capo San Ranieri - Porto di Catania	1.A	3.53	9.74	7.13
1	Capo San Ranieri - Porto di Catania	1.B	3.89	10.28	7.87
10	Capo Milazzo - Capo San Ranieri	10.A	4.21	9.48	8.22

SEDIMENTI DELLE SPIAGGE SICILIANE

Ad eccezione dei tratti di costa rocciosa (24% circa) e di quelli artificiali (7% circa), i depositi mobili (spiagge) della Sicilia (69% circa) dal punto di vista sedimentologico possono essere divisi in due grandi sottosettori:

1. quello messinese - catanese, da Tusa fino al Porto di Catania, prevalentemente formato da ghiaie e ciottoli o da sabbie molto grosse provenienti dallo smantellamento delle catene peloritana e nebroidea e dal materiale vulcanico legato all'Etna;
2. la restante costa siciliana caratterizzata prevalentemente da sabbie medio fini che si differenziano per colore e per provenienza, testimoniate dalla maggiore o minore percentuale di silice.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

I campioni di spiaggia sommersa presentano granulometrie ancora più grossolane, ciottoli medi e massi. Sono moderatamente classati e con asimmetria negativa.

Il tratto di litorale compreso tra Capo d'Orlando e Capo San Raineri è caratterizzato da sedimenti grossolani e non omogenei. I sedimenti di spiaggia emersa variano da ciottoli medio-fini a sabbia media, con una predominanza delle sabbie grosse, moderatamente classati.

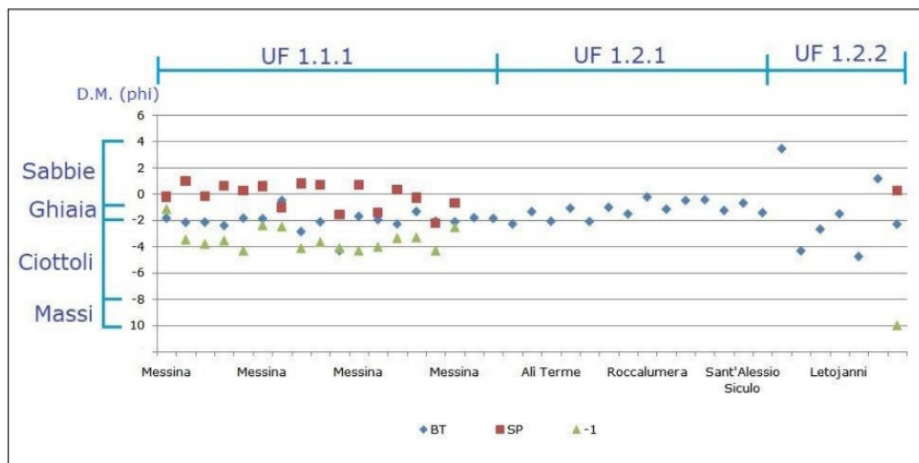


Figura 2.19 Diametro medio dei sedimenti di Battigia, Spieggia e -1m s.l.m.m. da Capo San Raineri a Capo Sant'Andrea

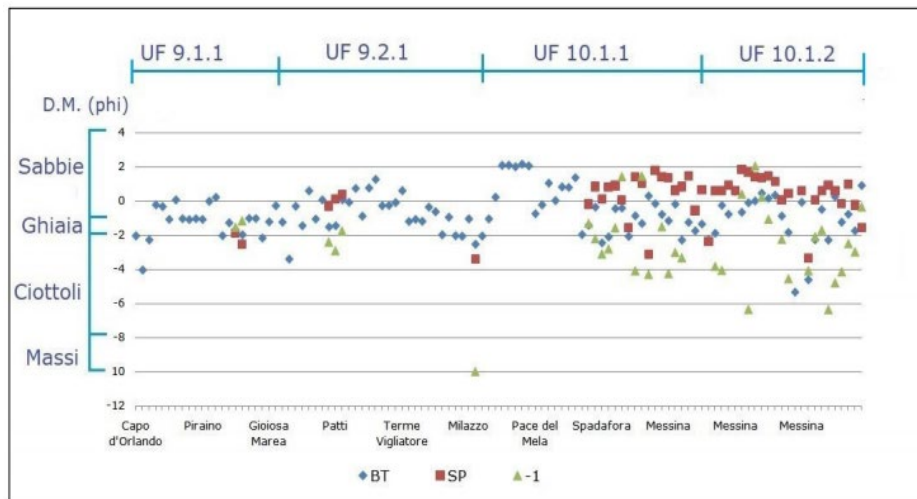


Figura 2.20 Diametro medio dei sedimenti di Battigia, Spieggia e -1m s.l.m.m. da Capo d'Orlando a Capo San Raineri

La composizione dei campioni risulta poco omogenea con predominanza di clasti quarzosi e di natura carbonatica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

CENSIMENTO OPERE A MARE

L'obiettivo è quello di censire e classificare le opere di difesa costiera rigide presenti sulle coste oggetto di studio (riquadro rosso nelle seguenti figure). Si riporta di seguito il censimento riferito agli anni 2000 e 2020, la tipologia delle opere è esplicitata attraverso un ID, e sono identificate per ogni Unità Fisiografica del I, II e III ordine. Le Unità Fisiografiche di interesse di codesto progetto sono: UF1 e UF10.

ID	OPERE DI DIFESA COSTIERA
1	Foci armate
2	Isolotti
3	Opere miste
4	Pennelli a T emersi
5	Pennelli obliqui emersi
6	Pennelli obliqui sommersi
7	Pennelli ortogonali emersi
8	Pennelli ortogonali sommersi
9	Opere radenti a gettata
10	Opere radenti a muro
11	Scogliere emerse con varchi
12	Scogliere emerse senza varchi
13	Scogliere sommerse con varchi
14	Scogliere sommerse senza varchi
15	Opere portuali

Figura 2.21 Tipologie di Opere di Difesa costiera censite da ISPRA al 2000 relative alle Unità Fisiografiche di I ordine

Unità Fisiografiche II Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-
1.2	-	-	-	1	-	1	3	-	3	-	-	-	-	3	1
1.3	-	-	-	-	-	-	1	-	4	1	12	-	-	-	9
2.1	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
3.1	-	1	1	-	-	-	1	-	26	14	3	3	5	-	23
4.1	-	-	1	-	1	-	3	-	3	1	24	1	-	-	6
4.2	2	-	-	-	-	-	2	-	6	-	33	-	-	-	6
4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1	-	-	4
4.4	-	-	2	-	3	-	1	-	10	-	19	1	4	1	5
4.5	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	26	-	-	1	4
5.1	-	-	2	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	3
5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	6
6.1	6	-	2	-	-	1	9	-	10	14	23	-	-	-	10
7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	9	1	-	-	7
7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
7.3	-	-	2	-	-	-	1	-	7	1	-	-	-	-	8
8.1	3	-	2	4	-	-	1	3	40	6	36	-	-	-	6
8.2	-	-	-	-	7	-	5	-	19	9	28	1	-	-	2
9.1	-	-	2	-	72	-	11	1	5	1	6	2	4	-	1
9.2	-	-	11	-	25	-	23	1	30	1	21	4	9	-	1
10.1	2	-	20	1	25	-	56	2	22	8	69	1	-	1	5
TOTALE	13	1	45	6	136	2	125	7	196	57	324	15	25	3	115

Figura 2.22 (sopra e a pag seguente) Tipologie di Opere di Difesa costiera al 2000 relative alle Unità Fisiografiche I, II, III - PRCEC

Unità Fisiografiche II Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-
1.2	-	-	-	1	-	1	3	-	3	-	-	-	3	-	1
1.3	-	-	-	-	-	-	1	-	4	1	12	-	-	-	9
2.1	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
3.1	-	1	1	-	-	-	1	-	26	14	3	3	5	-	23
4.1	-	-	1	-	1	-	3	-	3	1	24	1	-	-	6
4.2	2	-	-	-	-	-	2	-	6	-	33	-	-	-	6
4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1	-	-	4
4.4	-	-	2	-	3	-	1	-	10	-	19	1	4	1	5
4.5	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	26	-	-	1	4
5.1	-	-	2	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	3
5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	6
6.1	6	-	2	-	-	1	9	-	10	14	23	-	-	-	10
7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	9	1	-	-	7
7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
7.3	-	-	2	-	-	-	1	-	7	1	-	-	-	-	8
8.1	3	-	2	4	-	-	1	3	40	6	36	-	-	-	6
8.2	-	-	-	-	7	-	-	5	-	19	9	28	1	-	2
9.1	-	-	2	-	72	-	11	1	5	1	6	2	4	-	1
9.2	-	-	11	-	25	-	23	1	30	1	21	4	9	-	1
10.1	2	-	20	1	25	-	56	2	22	8	69	1	-	1	5

Unità Fisiografiche III Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1.1	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-
1.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
1.2.2	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
1.2.3	-	-	-	-	-	1	3	-	1	-	-	-	3	-	1
1.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	7	-	-	-	1
1.3.2	-	-	-	-	-	1	-	3	1	5	-	-	-	-	8
2.1.1	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
3.1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	14	2	-	1	-	-	9
3.1.2	-	-	1	-	-	-	-	-	7	12	3	2	5	-	6
3.1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.1.4	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	7
3.1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	1
4.1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	1	-	-	-	2
4.1.3	-	-	1	-	1	-	3	-	3	-	20	-	-	-	4
4.2.1	2	-	-	-	-	-	2	-	4	-	21	-	-	-	1
4.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	12	-	-	-	5
4.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1	-	-	4
4.4.1	-	-	2	-	3	-	1	-	7	-	19	-	4	1	1
4.4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	1	-	-	4
4.5.1	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	26	-	-	1	4
5.1.1	-	-	2	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	3
5.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2
5.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	4
6.1.1	2	-	-	-	-	-	3	-	7	2	16	-	-	-	4
6.1.2	4	-	2	-	-	1	6	-	1	8	-	-	-	-	4
6.1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	7	-	-	-	2
7.1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
7.1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
7.1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	9	1	-	-	7
7.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
7.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
7.3.2	-	-	2	-	-	-	1	-	7	1	-	-	-	-	4
8.1.1	1	-	1	-	-	-	-	-	17	2	15	-	-	-	5
8.1.2	2	-	1	4	-	-	1	3	23	4	21	-	-	-	1
8.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	13	7	6	-	-	-	1
8.2.2	-	-	-	-	6	-	1	-	2	1	5	1	-	-	-
8.2.3	-	-	-	-	1	-	4	-	4	1	17	-	-	-	1
9.1.1	-	-	2	-	72	-	11	1	5	1	-	2	4	-	1
9.2.1	-	-	11	-	25	-	23	1	30	1	-	4	9	-	1
10.1.1	2	-	2	1	14	-	43	2	13	8	-	1	-	1	2
10.1.2	-	-	18	-	11	-	13	-	9	-	-	-	-	-	3
TOTALE	13	1	45	6	136	2	125	7	196	57	228	15	25	3	115

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

Unità Fisiografiche I Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-	-	2	1	-	1	25	-	17	3	30	1	5	-	11
2	-	-	-	-	2	-	3	-	1	-	-	-	-	-	2
3	-	-	1	-	-	1	8	1	27	14	4	3	5	1	24
4	2	-	3	-	5	-	32	-	24	1	114	3	4	2	24
5	-	-	2	-	-	-	7	-	1	1	1	-	-	-	9
6	6	1	2	-	4	1	10	-	11	10	35	-	-	1	11
7	-	-	3	-	-	-	5	-	13	-	9	-	-	1	23
8	3	-	2	4	7	-	14	3	47	11	69	1	-	-	6
9	-	1	9	-	96	1	42	1	44	-	25	4	24	3	2
10	6	-	23	1	46	-	71	-	36	5	65	1	2	1	5
11	-	-	-	-	-	-	7	-	4	3	5	3	5	1	15
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
14	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2

Unità Fisiografiche II Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1	-	-	2	-	-	-	17	-	12	1	14	1	-	-	1
1.2	-	-	-	1	-	1	3	-	3	1	-	-	4	-	1
1.3	-	-	-	-	-	-	3	-	2	1	16	-	1	-	9
2.1	-	-	-	-	2	-	2	-	1	-	-	-	-	-	2
3.1	-	-	1	-	-	1	11	1	29	14	4	3	5	1	24
4.1	-	-	1	-	1	-	24	-	3	1	25	1	-	-	6
4.2	2	-	-	-	1	-	4	-	9	-	34	-	-	-	6
4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1	-	-	4
4.4	-	-	2	-	2	-	1	-	7	-	19	1	4	1	4
4.5	-	-	-	-	1	-	-	-	4	-	26	-	-	1	4
5.1	-	-	2	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	3
5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	6
6.1	2	1	-	-	4	-	10	-	10	2	30	-	-	1	11
7.1	4	-	2	-	-	1	3	-	7	8	10	-	-	1	7
7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
7.3	-	-	3	-	-	-	1	-	7	-	-	-	-	-	8
8.1	3	-	2	4	-	-	1	3	31	2	39	-	-	-	6
8.2	-	-	-	-	7	-	17	-	15	9	30	1	-	-	2
9.1	-	1	4	-	54	-	12	-	12	-	6	2	4	2	1
9.2	-	-	5	-	43	1	30	1	32	-	19	2	20	1	1
10.1	6	-	23	1	45	-	71	-	36	5	65	1	2	1	5
TOTALE	17	2	47	6	160	4	217	5	221	45	352	13	40	9	117

Figura 2.23 Tipologie di Opere di Difesa costiera al 2020 relative alle Unità Fisiografiche I, II, III - PRCEC

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	



AREE DI PARTICOLARE PREGIO AMBIENTALE

Il PRCEC è volto alla valorizzazione della fascia costiera siciliana, deve interagire e coordinare la sua azione con le areedi particolare pregio paesaggistico. Tra esse si ricordano, in particolare: le Aree Marine Protette (AMP); i Siti di Interesse Comunitario (SIC); le Zone di Speciale Conservazione (ZSC) e le Zone di Protezione Speciale (ZPS); i Parchi Archeologici regionali.

Il territorio nella quale ricade il progetto oggetto di studio, è lo Stretto di Messina che risulta essere compreso nella denominazione “Monti Peloritani, Dorsale Curcuraci, Antennamare e area marina dello Stretto di Messina”. Il sito è una Zona di Protezione Speciale (ZPS IT030042).

Codice	Denominazione	SIC	ZSC	ZPS
ITA030012	Laguna di Oliveri - Tindari	SI		
ITA030023	Isola di Alicudi	SI	SI	
ITA030024	Isola di Filicudi	SI	SI	
ITA030025	Isola di Panarea e Scogli Viciniori	SI	SI	
ITA030026	Isole di Stromboli e Strombolicchio	SI	SI	
ITA030027	Isola di Vulcano	SI	SI	
ITA030028	Isola di Salina (Monte Fossa delle Felci e dei Porri)	SI	SI	
ITA030029	Isola di Salina (Stagno di Lingua)	SI	SI	
ITA030030	Isola di Lipari	SI	SI	
ITA030032	Capo Milazzo	SI		
ITA030033	Capo Calavà	SI		
ITA030040	Fondali di Taormina – Isola Bella	SI		
ITA030041	Fondali dell'Isola di Salina	SI		
ITA030042	Monti Peloritani, Dorsale Curcuraci, Antennamare e area marina dello stretto di Messina			SI
ITA030043	Arcipelago delle Eolie – area marina e terrestre			SI
ITA040001	Isola di Linosa	SI	SI	
ITA040002	Isola di Lampedusa e Lampione	SI	SI	
ITA040003	Foce del Magazzolo, Foce del Platani, Capo Bianco, Torre Salsa	SI		
ITA040004	Foce del Fiume Verdura	SI	SI	
ITA040010	Litorale di Palma di Montechiaro	SI		
ITA040012	Fondali di Capo San Marco – Sciacca	SI		
ITA040013	Arcipelago delle Pelagie – area marina e terrestre			SI
ITA040014	Fondali delle Isole Pelagie	SI		
ITA040015	Scala dei Turchi	SI		
ITA050001	Biviere e Macconi di Gela	SI		
ITA050011	Torre Manfria	SI		
ITA050012	Torre Manfria, Biviere e Piana di Gela			SI
ITA070001	Foce del Fiume Simeto e Lago Gornalunga	SI	SI	
ITA070002	Riserva naturale Fiume Fiumefreddo	SI	SI	
ITA070003	La Gurna	SI	SI	SI
ITA070004	Timpa di Acireale	SI	SI	
ITA070006	Isole dei Ciclopi	SI		
ITA070028	Fondali di Acicastello (Isola Lachea – Ciclopi)	SI		
ITA080001	Foce del Fiume Irminio	SI		
ITA080004	Punta Braccetto, Contrada Cammarana	SI		
ITA080005	Isola dei Porri	SI		
ITA080006	Cava Randello, Passo Marinaro	SI		
ITA080007	Spiaggia Maganuco	SI		
ITA080008	Contrada Religione	SI		
ITA080010	Fondali Foce del Fiume Irminio	SI		
ITA090001	Isola di Capo Passero	SI		
ITA090002	Vendicari	SI		
ITA090003	Pantani della Sicilia sud orientale	SI		
ITA090004	Pantano Morghella	SI		
ITA090006	Saline di Siracusa e Fiume Ciane	SI		SI
ITA090008	Capo Murro di Porco, Penisola della Maddalena e Grotta Pellegrino	SI		
ITA090010	Isola Correnti, Pantani di Punta Pilieri, chiusa dell'Alqa e Parrino	SI		
ITA090013	Saline di Priolo	SI		SI
ITA090014	Saline di Augusta	SI		SI

Figura 2.24 SIC, ZSC, ZPS che interessano le coste siciliane, PRCEC

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICE E DI CYMODOCEA NODOSA

Per la classificazione di tali specie di piante acquatiche si rimanda a specifici studi a corredo del progetto. Di seguito si caratterizza graficamente la localizzazione e la distribuzione delle due specie, lungo i litorali in esame.

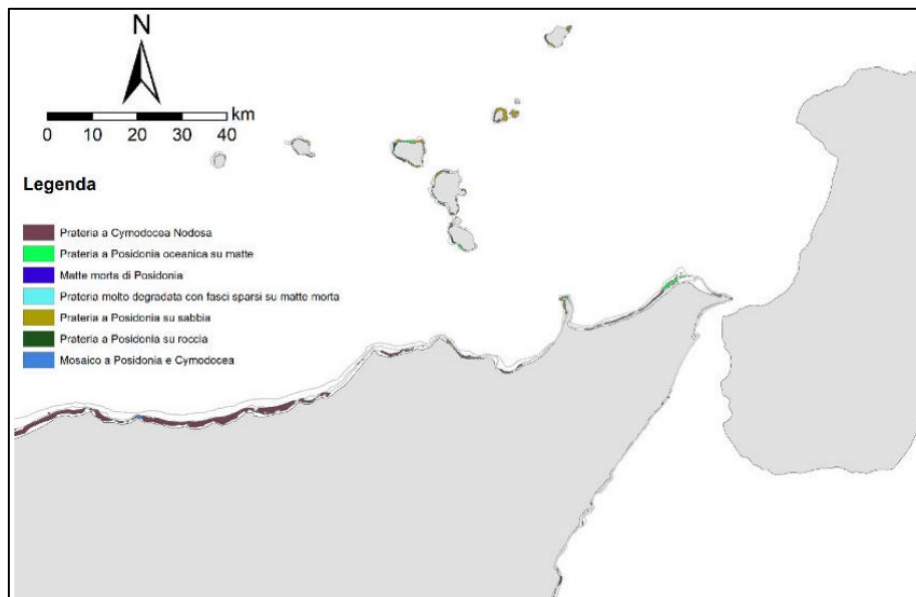


Figura 2.25 Distribuzione delle Praterie di *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa* lungo le coste siciliane Nord Orientali (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

PIANO DI BACINO STRALCIO EROSIONE COSTIERA REGIONE CALABRIA (PSEC)

Per avere un quadro completo di riferimento della collocazione del progetto si riporta di seguito un'analisi di assetto e gestione della fascia costiera ricadente nella Regione Calabria e limitrofa alle aree di progetto, che tenga altresì conto dei pericoli di erosione e inondazione mareggiata. La zona da considerare riguarda, la costa tirrenica che si interfaccia all'intervento. A questo livello di progettazione non è possibile identificare spiagge della Calabria da sottoporre a ripascimento, ma comunque si può tenere in considerazione l'idea di nuovi siti di allocazione del materiale di risulta in fase di PE.

Il PSEC individua le aree con pericolo di erosione costiera con la "Carta della pericolosità", e distingue le aree in:

- a) aree con alta pericolosità (P3);
- b) aree con media pericolosità (P2);
- c) aree con bassa pericolosità (P1).

Sul versante Tirrenico sono ubicate le grandi spiagge sabbiose della Piana di Gioia Tauro, di S. Eufemia, di Scalea che trovano sviluppo lungo le pianure costiere situate in corrispondenza della

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

parte terminale rispettivamente dei fiumi Mesima e Petrace, del fiume Amato, del fiume Lao. I litorali con costa alta sono concentrati per il versante Tirrenico, lungo il Promontorio di Capo Vaticano e nel tratto tra Palmi e Scilla.

Gran parte della costa tirrenica è caratterizzata da alta pericolosità (P3), le Carte che si hanno a disposizione sono state determinate in base a considerazioni analitiche, nel prosieguo si elencheranno le località da considerare per possibili effetti (par.3.2).

2.2.3 Progettualità intervenute sui siti di ripascimento previsti in sede di progettazione definitiva

Le progettualità intervenute sui siti di ripascimento previsti in sede di Progettazione Definitiva riguardano le località di:

1. Villafranca Tirrena;
2. Mezzana – Tono;
3. Tono – Casabianca;
4. Sant’Alessio Siculo.

Di seguito si esporranno in dettaglio le caratteristiche principali degli interventi previsti.

2.3 Considerazioni in merito al mantenimento delle previsioni del progetto definitivo in ordine ai siti di ripascimento

Per poter esprimere considerazioni in merito al mantenimento delle previsioni del progetto definitivo in ordine ai siti di ripascimento, bisogna confrontare i siti alle varie condizioni temporali, per poter individuare quali sono quelli in sofferenza e quelli già sottoposti ad interventi di progetti pregressi.

Di seguito si riporta l’evoluzione temporale della linea di riva tramite ortofoto risalenti a più lassi temporali, per ogni paraggio oggetto di studio.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

VALDINA



Figura 2.26 Ortofoto raffiguranti la località di Valdina riferiti rispettivamente al periodo 2011 – 2023

La spiaggia di Valdina nel 2011 si riscontra particolarmente erosa, si nota ad ovest la presenza di barriere emerse completamente tombolizzate, e disposte non perfettamente parallele alla linea di riva, per la protezione delle mareggiate create dal vento maestrale, che risulta essere la direzione principale di provenienza del moto ondoso del paraggio. Ad est si nota un'unica barriera sommersa a protezione delle due foci dei torrenti presenti. Al 2023 la situazione risulta essere stabile nel complesso, tranne nella zona centrale tra la barriera di est e quelle di ovest, dove si nota la realizzazione di massicciata radente a protezione della striscia retrodunale. Ma l'azione erosiva delle mareggiate ha provocato la dislocazione in parte di alcuni elementi della radente stessa.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

SPADAFORA

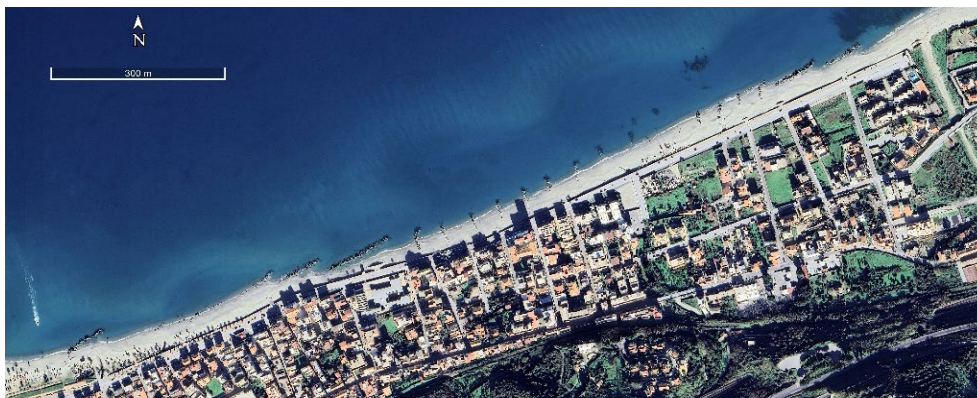
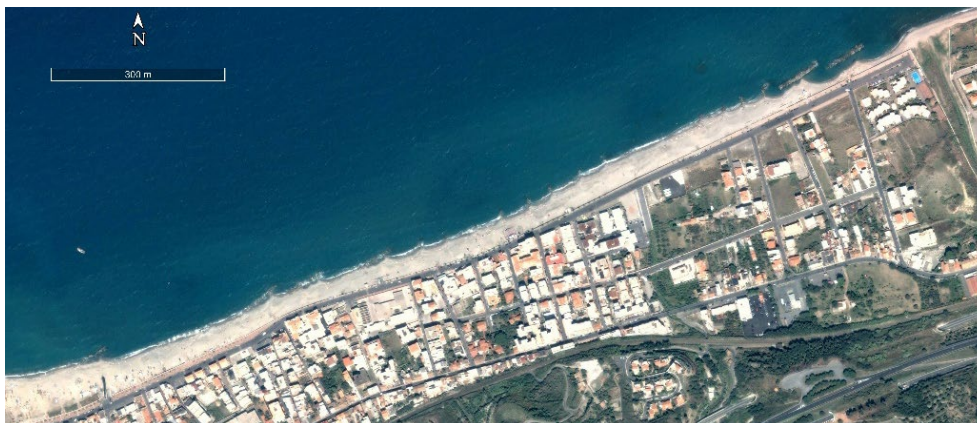




Figura 2.27 Ortofoto raffiguranti la località di Spadafora riferiti rispettivamente al periodo 2006 – 2022

La spiaggia di Spadafora nell'ortofoto risalente al 2006 si presenta sofferente, costituita da parecchie opere rigide a gettata. Da Ovest ad Est si ha: una barriera frangiflutto emersa ruotata di circa 30° rispetto alla linea di riva (trasformatosi in pennello intercettatore), che ha provocato una cuspid; batteria di pennelli alternati a barriere emerse quasi del tutto tombolizzate, che fissano la linea di riva. Al 2022 si assiste ad un radicale arretramento della linea di riva, addirittura i tomboli vengono erosi, provocando un allontanamento delle barriere stesse dalla linea di riva.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

ROMETTA

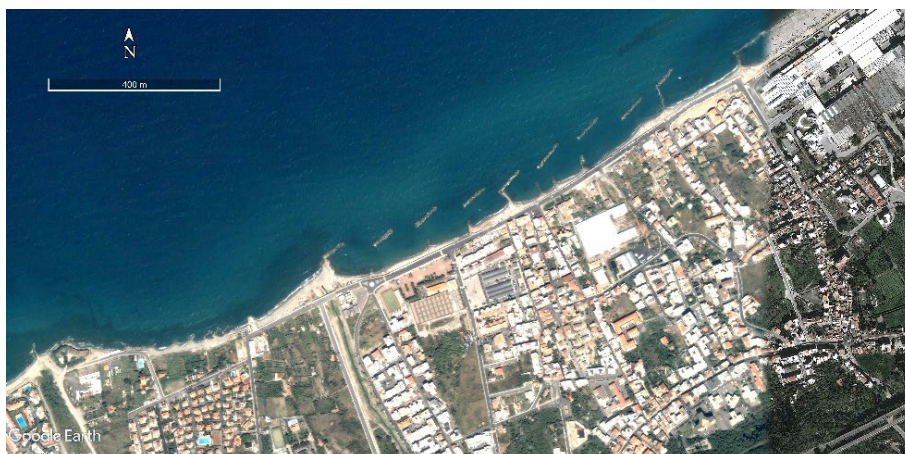


Figura 2.28 Ortofoto raffiguranti la località di Rometta riferiti rispettivamente al periodo 2006 – 2022

La spiaggia di Rometta riferita al periodo 2006, presenta barriere frangiflutto per tutta la sua lunghezza intervallate da varchi, che creano il tipico andamento irregolare di deposito “ondulato”. La loro presenza è quasi del tutto inutile come si evince dall’ortofoto del 2022, a parte il tratto più ad ovest dove le prime barriere hanno formato cuspidi, ad est l’andamento erosivo è in forte peggioramento, e lo si riscontra dai muri radenti messi a protezione dell’abitato.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1262 297 1326 331"><i>Rev</i></th> <th data-bbox="1326 297 1437 331"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1262 331 1326 378">C</td> <td data-bbox="1326 331 1437 378">20/01/2024</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	C	20/01/2024
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
C	20/01/2024						

VILLAFRANCA TIRRENA



*Figura 2.29 Ortofoto raffiguranti la località di Villafranca Tirrena riferiti
rispettivamente al periodo 2012 - 2022*

La configurazione attuale della spiaggia di Villafranca Tirrena è completamente stravolta rispetto alla configurazione risalente al 2012, in quanto è evidente che si siano susseguiti parecchi interventi, che purtroppo hanno portato a carenti risultati di avanzamento della spiaggia.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">20/01/2024</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	C	20/01/2024
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
C	20/01/2024						

ORTOLIUZZO

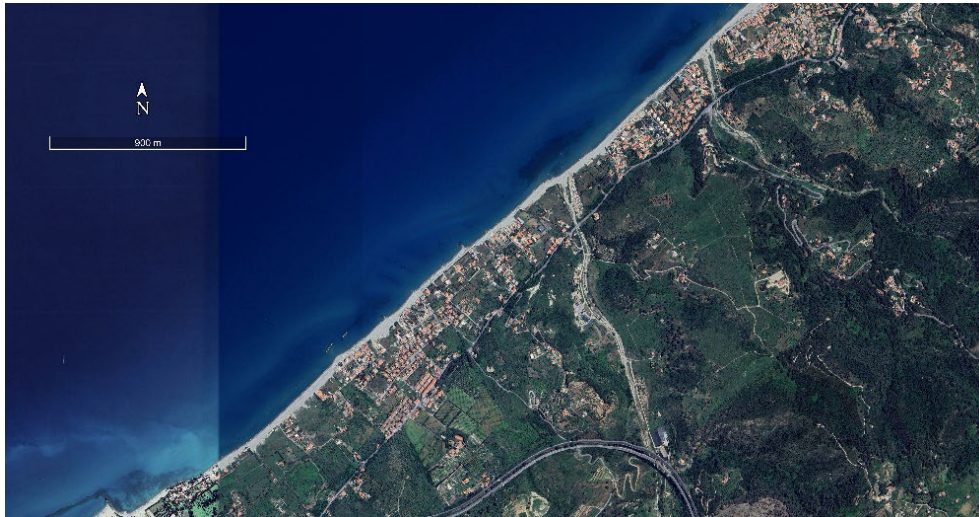
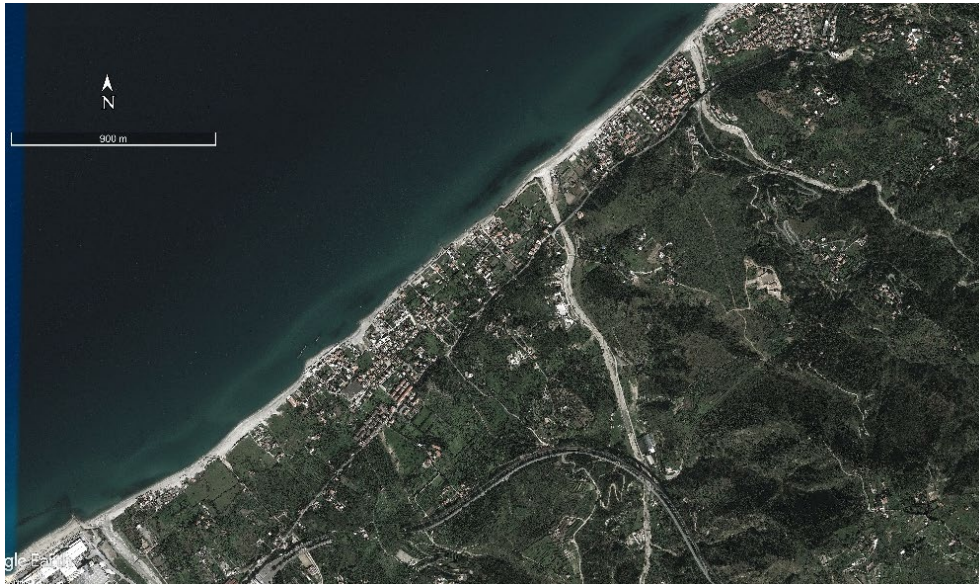


Figura 2.30 Ortofoto raffiguranti la località di Ortoliuzzo riferiti rispettivamente al periodo 2012 - 2023

Dal confronto dalle ortofoto temporalmente distanti di oltre 10 anni, si deduce che la spiaggia presenta sia dei tratti in arretramento, che dei tratti in accrescimento, le opere esistenti già nel 2012 sono una batteria di pennelli emersi legati da opera a gettata radente. I pennelli con la loro capacità di trattenere il sedimento e di fissare la spiaggia hanno portato nel tempo ad un leggero accrescimento nella zona in cui sono collocati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

RODIA-GIUDEO

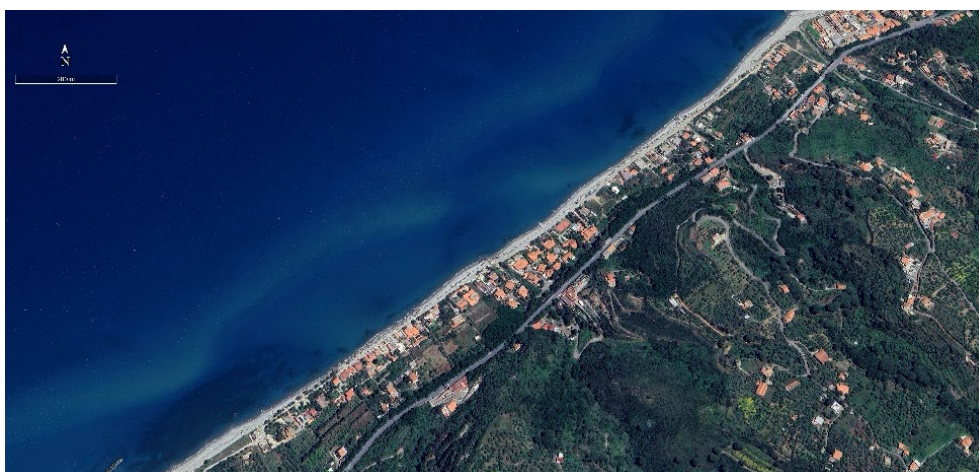
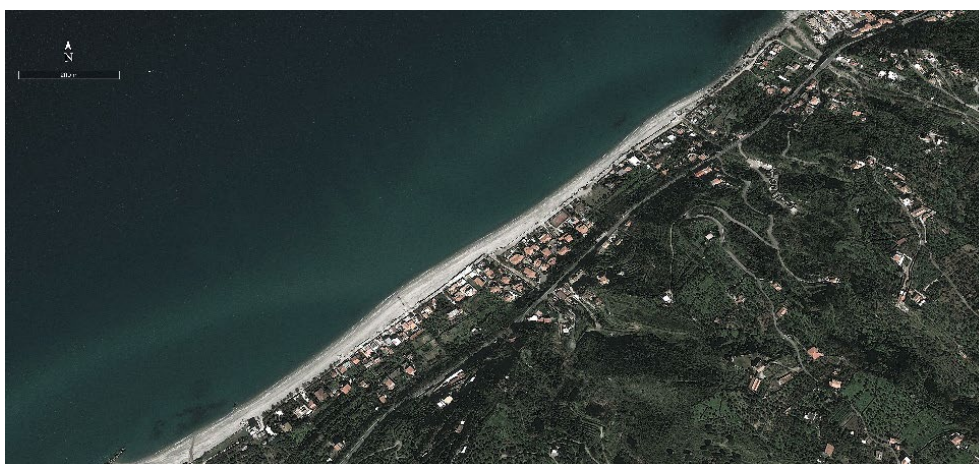
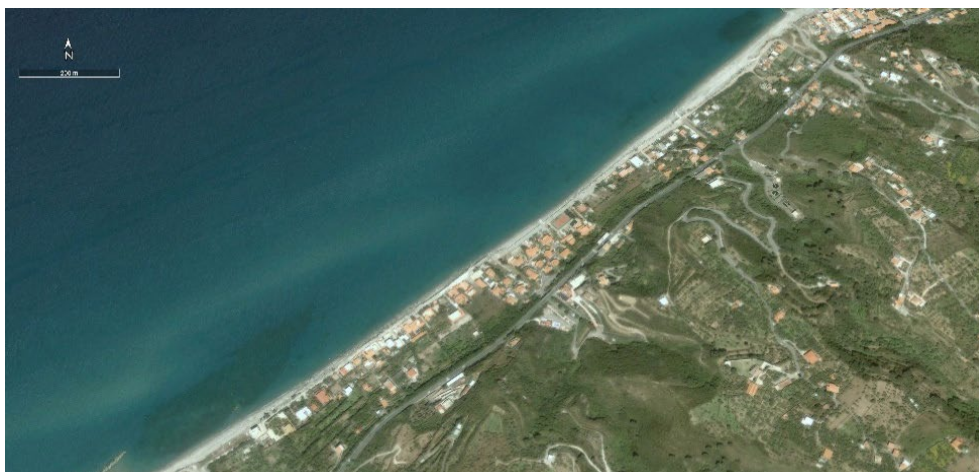




Figura 2.31 Ortofoto raffiguranti la località di Rodia – Giudeo riferiti rispettivamente al periodo 2002 - 2012 – 2023

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

La spiaggia di Rodia – Giudeo si trova precisamente tra le due località, dal confronto delle tre ortofoto distanti temporalmente circa 10 anni si nota come l’evoluzione del litorale è stata varia. Nel 2002 la spiaggia presentava forte erosione, e l’incolumità agli edifici retrostanti era garantita da muri radenti in massicciate. Nel corso del tempo sono stati effettuati degli interventi di protezione attraverso una batteria di pennelli per l’intercettazione del sedimento long- shore, che inizialmente come si nota dall’ortofoto del 2012 ha portato benefici al litorale stesso, con evidente avanzamento di decine di metri. Essendo però, il paraggio sottoposto alle mareggiate provenienti da nord- ovest, quindi provocate da vento maestrale, è da ritenersi prevalente la componente cross- shore. Motivazione per cui l’ultimo report fotografico del 2023 presenta un’ulteriore erosione incessante.

CALAMONA – GIUDEO



*Figura 2.32 Ortofoto raffiguranti la località di Calamona - Giudeo riferiti
rispettivamente al periodo 2012 – 2023*

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024


La spiaggia ricadente tra le località di Calamona e di Giudeo, risulta avere un trend positivo dal lasso di tempo che intercorre tra il 2012 al 2023. Infatti gli interventi di protezione utilizzati, quali: batteria di pennelli e barriere frangiflutto emerse; hanno creato le cosiddette “celle”, intercettano il sedimento long- shore fissandolo coi pennelli, proteggono dalle mareggiate più forti trattenendo il materiale cross-shore attraverso le barriere.

CALAMONA – RASOCOLMO



Figura 2.33 Ortofoto raffiguranti la località di Calamona - Rasocolmo riferiti rispettivamente al periodo 2012 – 2023

La spiaggia tra Calamona e Rasocolmo presenta una batteria di pennelli, che inizialmente bloccano il sedimento, ma che poi viene perso per movimentazione cross- shore (ortofoto 2023). Mentre più ad Est a ridosso del promontorio di Capo Rasocolmo, il litorale si è accresciuto per disgregazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

della duna retrostante (Montagne di Sabbia), che attaccate dalle forti mareggiate ha portato ad erosione e scorrimento della stessa.

SPARTÀ

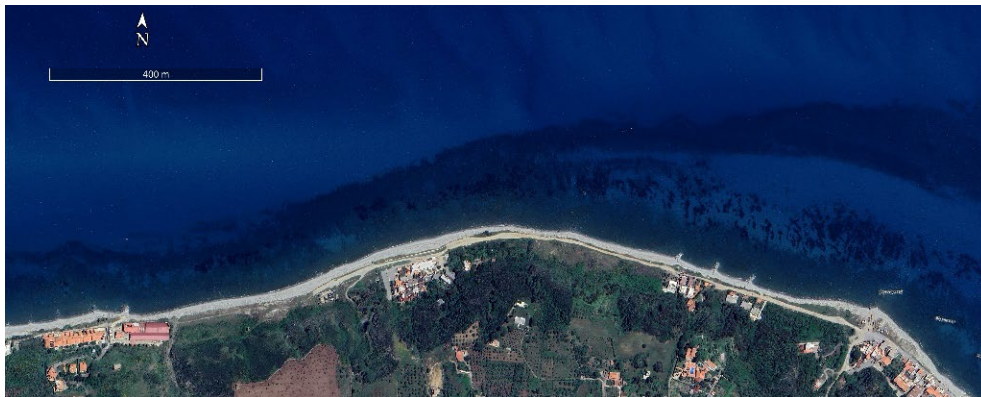


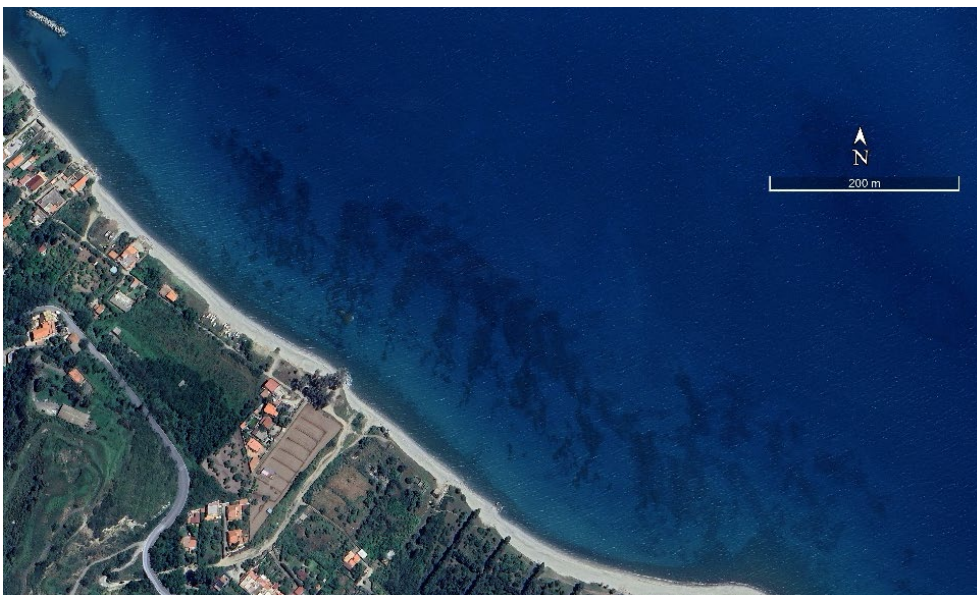
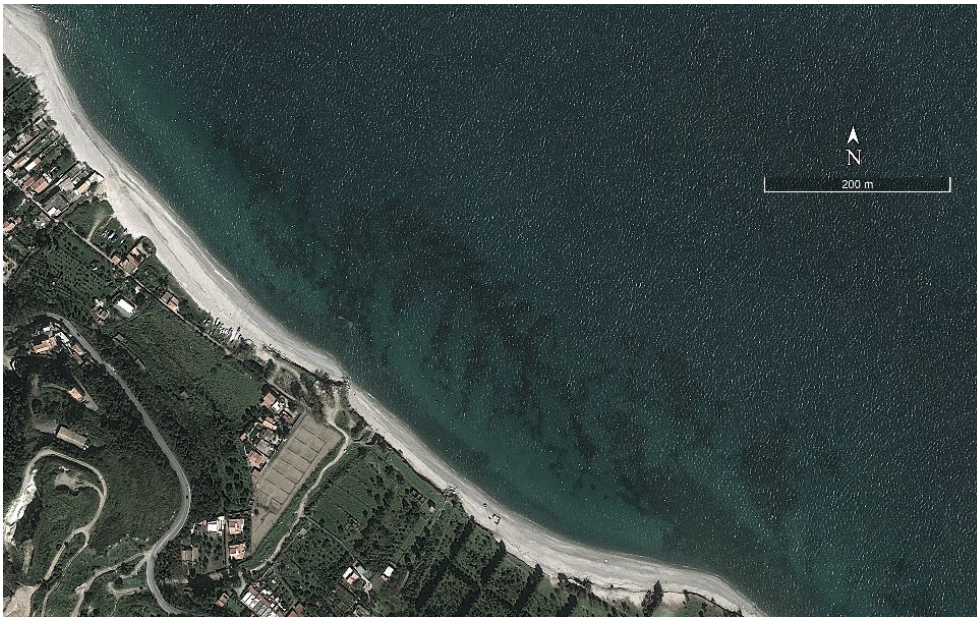


Figura 2.34 Ortofoto raffiguranti la località di Sparta riferiti rispettivamente al periodo 2012 – 2023

La località di Sparta presenta al 2012, nel tratto più largo di spiaggia un'estensione non superiore ai 40.00 m, il trend risulta negativo, nello stesso punto ad oggi l'ampiezza della spiaggia è di circa 25.00 m. Piccole strutture sono presenti già dal 2012, come i 3 pennelli corti nel tratto più ad Est della spiaggia. Nell'ortofoto 2023 i pennelli, ricaricati di ulteriori massi, presentano un profilo più definito, ma non è evidente il cosiddetto fenomeno di "dente di sega", per questo motivo l'intercettazione è minima dovuto alla carenza di trasporto solido.



		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI</p>		<p><i>Codice documento</i> CZR1158</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Rev</i></th> <th><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>20/01/2024</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	C	20/01/2024
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
C	20/01/2024						

MEZZANA - TONO



*Figura 2.35 Ortofoto raffiguranti la località di Mezzana - Tono riferiti
rispettivamente al periodo 2012 – 2023*

Ad Ovest del paraggio di Mezzana sono presenti 5 barriere frangiflutto emerse, nel 2012 risultano tombolizzate invece nel 2023 sono particolarmente distaccate dalla battigia. Ciò evidenzia la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

sofferenza del litorale alle mareggiate e la carenza di apporto detritico più fine da parte dei torrenti. La spiaggia presenta tratti con effetto “armouring” dovuto ad accumulo di materiale alluvionale trasportato dai torrenti in piena.

TONO - CASABIANCA

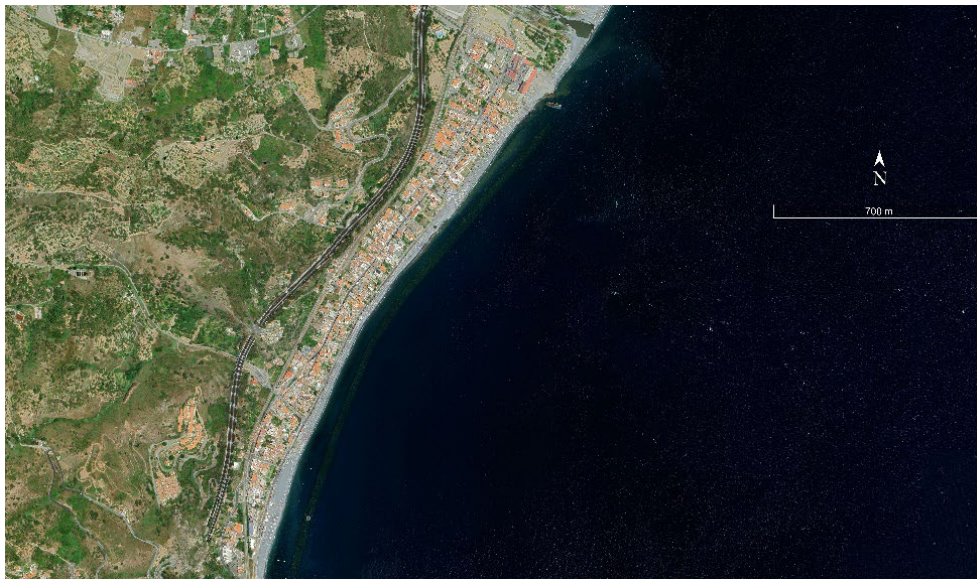
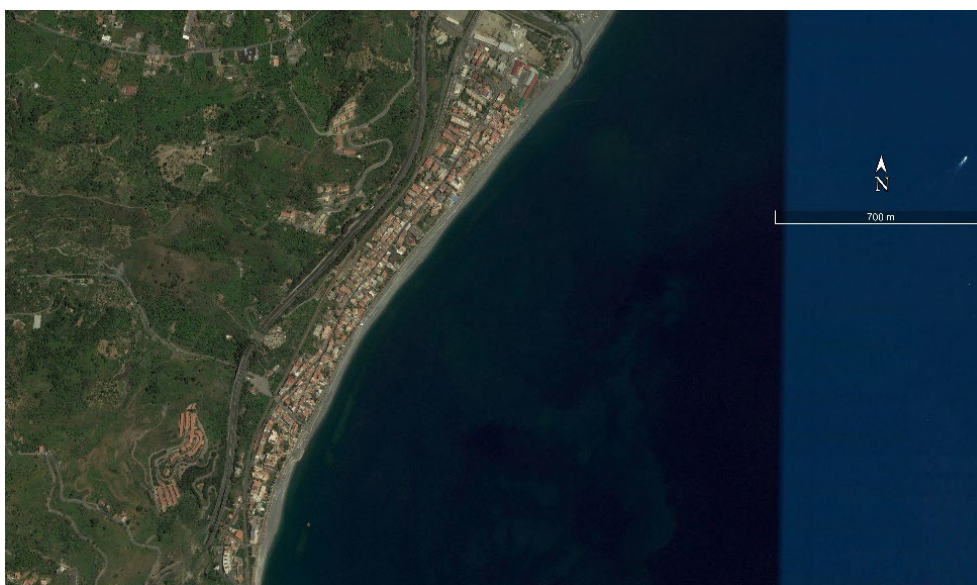


Figura 2.36 Ortofoto raffiguranti la località di Tono - Casabianca riferiti rispettivamente al periodo 2012 – 2023

L'intera zona risulta fortemente antropizzata inoltre è presente un degrado erosivo importante; questi due fattori permettono di identificare il sito come tratto litorale fortemente a rischio. In alcuni tratti solo le barriere radenti permettono la protezione delle case dalle mareggiate.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

SANT'ALESSIO SICULO



*Figura 2.37 Ortofoto raffiguranti la località di Sant'Alessio Siculo riferiti
rispettivamente al periodo 2012 – 2023*

Il paraggio di Sant'Alessio Siculo al 2012 presentava una barriera sommersa disorganica, e un arretramento notevole della linea di riva. In seguito agli interventi di rifioritura della barriera e i ripascimenti avvenuti si è registrato un avanzamento della linea di riva nella parte centrale del litorale, ma la parte iniziale adiacente al torrente d'Agro continua a denotare un incessante trend negativo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

2.3.1 Ulteriori Considerazioni

La Commissione Tecnica per la Verifica dell’Impatto Ambientale, si è espressa con parere n. 1185, in ordine all’impatto ambientale dell’opera, sul Ripascimento Costiero. Una delle principali problematiche e criticità da risolvere riguarda *“La Verifica della compatibilità dell’area di progetto con il confinante Sito di bonifica di Interesse Nazionale di Area industriale di Milazzo - MATTM”*.

In ottemperanza a tale prescrizione si fa notare che, in ogni caso, il regime medio di trasporto solido *longshore* sul tirreno orientale messinese è eminentemente diretto verso Capo Peloro, quindi possono già escludersi significative interferenze fra il materiale che sarebbe versato sottoflutto rispetto al SIN di Milazzo e lo stesso SIN.

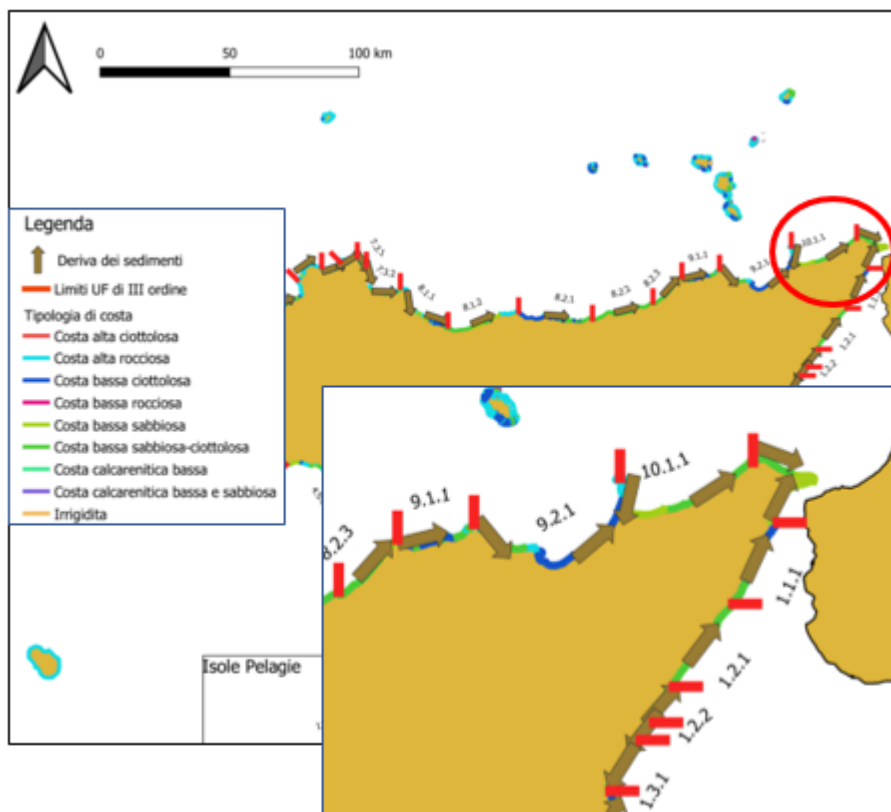


Figura 2.38 Tavola n.4 – Direzione media della deriva dei sedimenti – Piano Regionale Contro l’Erosione Costiera, Anno 2020. (Fonte: PRCEC)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

3 Aggiornamento e adeguamento delle previsioni progettuali in ordine agli interventi di ripascimento costiero

Gli studi ivi presenti evidenziano lo stato di degrado in cui versa l'intero litorale tirrenico messinese, in particolare il tratto compreso tra Valdina e Capo Rasocolmo che risulta fortemente urbanizzato ed interessato da numerose opere di protezione e difesa del litorale, alcune realizzate in modo disordinato e senza una visione di insieme dell'intero contesto.

Nei capitoli precedenti si riporta un'ampia descrizione dei fenomeni ed interventi insiti nei paraggi oggetto di studio, si riscontra che il tratto del litorale tirrenico presenta una deriva dei sedimenti da Ovest verso Est e che dai dati sedimentologici confrontati con quelli delle prove geotecniche nelle indagini pregresse (progetto definitivo 2012) la compatibilità è evidente, perlomeno dal punto di vista granulometrico.

3.1 Fonti di provenienza del materiale da ripascimento

Per la realizzazione dell'opera verranno utilizzate tecniche di scavo in funzione delle formazioni geologiche da attraversare e delle indicazioni progettuali.

Per quanto attiene agli scavi si distinguono le seguenti principali tipologie di opere:

- scavi all'aperto, blocchi di ancoraggio, fondazioni torri e fermate di metropolitane in stazione;
- gallerie naturali autostradali e ferroviarie con scavo tradizionale;
- gallerie naturali a singolo binario con scavo meccanizzato;
- gallerie artificiali.
- I materiali che si originano dagli scavi per la realizzazione delle suddette opere si possono pertanto raggruppare nelle seguenti tipologie:
 - terre e rocce provenienti dagli scavi all'aperto;
 - terre e rocce provenienti dagli scavi in sotterraneo eseguiti in tradizionale;
 - terre e rocce provenienti da scavi meccanizzati in sotterraneo eseguiti con TBM;
 - materiali fini derivanti dal processo di classificazione e lavaggio degli inerti per calcestruzzi e delle sabbie per il ripascimento;
 - materiali derivanti da scavi di opere di consolidamento (diaframmi, jet grouting);
 - reflui da trattamento delle acque di lavaggio e da filtropresse ovvero fanghi;
 - materiali provenienti da demolizioni di manufatti (macerie);
 - scotico superficiale ovvero strato vegetale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

Per quanto riguarda i volumi si rimanda al Piano di Indirizzo delle terre e rocce da scavo (doc. AMR0976). In generale il progetto definitivo prevede di utilizzare circa 1.500.000 mc ovvero quelli ritenuti idonei allo scopo e congruenti con l'intervento progettato che risulta avere caratteristiche ambientali tali da consentire una riqualificazione del territorio.

La barriera di presidio soffolta verrà realizzata in parte con scogliera costituite da massi lapidei da reperire sul mercato ed in parte con geocontenitori riempiti con sabbia di opportuna granulometria recuperata da materiali di seconda scelta proveniente dagli scavi. Il definitivo stima a tale scopo il riutilizzo di circa 300.000 mc di materiale (previa lavorazione nei siti previsti).

Il totale complessivo inviato a ripascimento/barriere di presidio considerato dal presente progetto è quindi pari a circa 1.800.000 mc (1.475.000 mc ripascimento e 300.000 mc barriere soffolte).

Il presente elaborato è uno studio complessivo che indica i volumi potenzialmente idonei al ripascimento e pari a circa 3.333.315 mc su un territorio che coinvolge 12 comuni.

L'intervento di ripascimento considerato nel progetto è sviluppato in 3 fasi e coinvolge invece 7 Comuni (il tratto di litorale compreso tra i comuni di Monforte San Giorgio e Saponara), come indicato dall'elaborato CZV1012_F0.

A questi è stato aggiunto come potenziale sito anche il comune di Sant'Alessio, ma si demanda al progetto esecutivo l'effettiva possibilità di riutilizzo per ripascimenti del materiale di scavo.

Come già evidenziato precedentemente in fase di progetto esecutivo verranno rivalutati i volumi che effettivamente potranno essere inviati a ripascimento, sulla base delle analisi chimiche, fisiche, biologiche ed ecotossicologiche da condurre secondo i disposti del DM 173/16 e sulla scorta delle effettive disponibilità dei siti da ripascere.

3.1.1 Scavi per la realizzazione delle fondazioni delle torri

Lo scavo delle fondazioni delle torri avviene con l'ausilio delle macchine operatrici, preventivamente allo scavo si eseguono:

- muri con diaframmi strutturali, profondi oltre i 40 m e con spessore di almeno 1 m;
- tappo di fondo nelle fondazioni;
- pre-consolidamento del terreno al contorno con *jet grouting*.

3.1.2 Scavi per la realizzazione dei blocchi di ancoraggio

Gli scavi per la realizzazione dei blocchi di ancoraggio seguono la stessa linea operativa delle fondazioni delle torri.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

3.1.3 Scavi per la realizzazione delle gallerie ferroviarie e stradali

Le gallerie saranno scavate con metodi di tipo tradizionale, con scavo meccanizzato e realizzate anche gallerie artificiali. Dopo aver effettuato, in via preliminare, le operazioni di consolidamento e stabilizzazione delle superfici al contorno del cavo.

Lo scavo tradizionale avviene con importanti consolidamenti e in alcuni casi con l'utilizzo di barre in vetroresina e iniezioni di boiaccia cementizia, oltre che con spritz-beton fibrorinforzato per stabilizzare il fronte e il contorno del cavo. Pertanto il materiale rappresentativo di un intero campo di scavo potrà contenere delle percentuali minimali di spritz-beton e boiaccia cementizia sul volume complessivo, oltre a frammenti di vetroresina, e contenere al proprio interno residui di sostanze additive per boiacche.

I materiali così prodotti vengono processati con una vagliatura che separa le terre di scavo dalla parte cementizia dei consolidamenti che sono classificabili come sottoprodotti ai sensi dell'art.184-bis introdotto dal D.Lgs.205/2010 e quindi reimpiegate per:

- produzione di inerti per calcestruzzo
- rilevati
- riempimento depositi

La restante parte separata, contenente residui cementizi e VTR, viene smaltita a impianto di recupero o discarica in base agli esiti della classificazione analitica.

Lo scavo meccanizzato avviene con fresa EPB che per la maggior parte dell'avanzamento utilizza schiume e/o polimeri. Si prediligono gli agenti non tossici e biodegradabili. Perciò giusto il tempo della biodegradazione e lo smarino può essere depositato nella sua collocazione di progetto.

Lo scavo all'aperto per le gallerie artificiali utilizza fanghi bentonitici.

3.1.4 Altre fonti

L'utilizzo di ulteriore materiale non previsto in tale fase di progettazione deve rispettare la normativa vigente riguardo le terre e rocce da scavo previa sottoposizione alla caratterizzazione dello stesso.

3.2 Programmazione progettuale in corso di attuazione

In sede di progettazione definitiva e in ordine alla possibilità di reimpiego dei materiali di scavo provenienti dalle opere di collegamento al Ponte per il ripascimento di tratti di costa, sono state definite delle località, già ampiamente discusse nei paragrafi precedenti, ovvero: Valdina; Spadafora; Rometta; Villafranca Tirrena; Ortoliuzzo; Rodia – Giudeo; Calamona – Giudeo; Calamona – Rosocromo; Spartà; Mezzana – Tono; Tono – Casabianca; Sant'Alessio Siculo.

Di seguito si illustrano gli interventi progettuali previsti e già in attuazione per alcuni siti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

precedentemente analizzati.

VILLAFRANCA TIRRENA

Il sito di Villafranca Tirrena è teatro di fasi progettuali ancora in corso, nello specifico è stato approvato il progetto definitivo dei “Lavori di Riqualificazione del Lungomare Cristoforo Colombo con annessa manutenzione delle opere di protezione dell’arenile”. L’intervento prevede: Riqualificazione della barriera soffolta, Ottimizzazione della sua giacitura, Costruzione di pennelli, e Ripascimento di circa 96'000 mc.



Figura 3.1 Fotorendering acquisito dalla relazione A.01 del Progetto definitivo - “Lavori di Riqualificazione del Lungomare Cristoforo Colombo con annessa manutenzione delle opere di protezione dell’arenile”

MEZZANA – TONO

Il Progetto Definitivo a base di gara “Lavori di mitigazione del rischio idrogeologico e di erosione costiera nei tratti di costa a maggior rischio compresi fra gli abitati di Acqualadrone, Mezzana, Tono, Mulinello e Casabianca e a Rodia Marmora e Rodia Puccino al fine di salvaguardare l’incolumità delle persone e di mettere in sicurezza gli immobili dal pericolo mareggiate. Sito intermedio di Mezzana- Mulinello- Tono”, prospetta la risoluzione dei problemi idrogeologici e di erosione costiera che compromettono irreparabilmente la fascia costiera tirrenica del Comune di Messina, in particolar modo i siti che saranno sottoposti a difesa costiera sono: Mezzana, Mulinello e Tono.

TONO – CASABIANCA

Nella località di Casabianca è validato il Progetto Definitivo “Progetto dei lavori di Mitigazione del rischio idrogeologico e di erosione costiera nei tratti di costa a maggior rischio compresi fra gli abitati

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024	

di Acqualadrone, Mezzana, Tono, Mulinello e Casabianca e a Rodia Marmora e Rodia Puccino al fine di salvaguardare l'incolumità delle persone e di mettere in sicurezza gli immobili dal pericolo mareggiate - 1° Stralcio funzionale Sito: Casabianca”.





Figura 3.2 Configurazione Shape files acquisita dal Progetto definitivo - “Progetto dei lavori di Mitigazione del rischio idrogeologico e di erosione costiera nei tratti di costa a maggior rischio compresi fra gli abitati di Acqualadrone, Mezzana, Tono, Mulinello e Casabianca e a Rodia Marmora e Rodia Puccino al fine di salvaguardare l'incolumità delle persone e di mettere in sicurezza gli immobili dal pericolo mareggiate - 1° Stralcio funzionale Sito: Casabianca”

Tale proposta concerne dei seguenti interventi: Realizzazione di barriere soffolte, realizzazione di pennelli semisoffolti e ripascimento in sabbia naturale.

SANT’ALESSIO SICULO

Il paraggio di Sant’Alessio Siculo ricade all’interno del Progetto Esecutivo “Linea Ferroviaria Catania – Messina, Raddoppio Ferroviario tratta Giampileri – Fiumefreddo. (Lotto 1: Fiumefreddo (i) - Taormina (i)/Letojanni (e))”. In questo progetto si prevede l’allocazione in maniera funzionale dei volumi di materiale litoide provenienti dallo scavo delle gallerie del raddoppio ferroviario della tratta Fiumefreddo - Taormina – Giampileri. Tali volumi di scavo combinati alla realizzazione di n. 5 pennelli consentiranno di mitigare il rischio idraulico che in atto interessa il litorale di Sant’Alessio Siculo.

A prescindere dai luoghi identificabili, il concetto cardine di riutilizzo di materiale da scavo risiede nella sua caratterizzazione. Il materiale nativo deve essere compatibile con quello di riporto. Le

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

probabilità che ciò avvenga aumentano se il luogo di scavo da cui si preleva il materiale è prossimo al luogo nella quale quest'ultimo verrà riutilizzato.

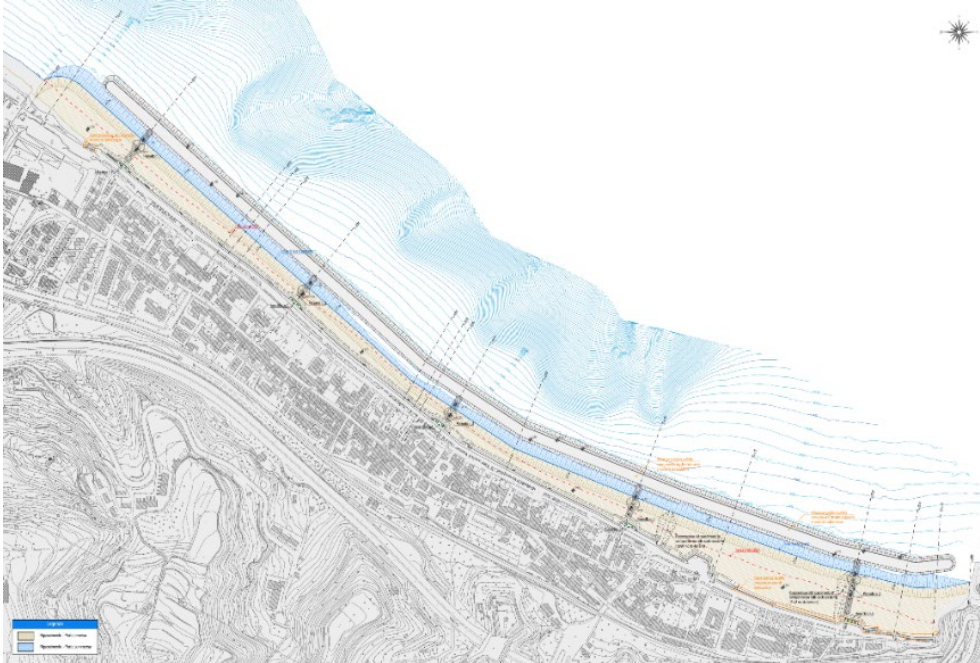


Figura 3.3 Stralcio planimetria generale di progetto acquisita dalla relazione Generale del progetto esecutivo - "Linea Ferroviaria Catania – Messina, Raddoppio Ferroviario tratta Giampileri – Fiumefreddo. (Lotto 1: Fiumefreddo (i) - Taormina (i)/Letojanni (e))"

DISAMINA DELLE UNITA' FIOGRAFICHE CALABRESI IN FORTE EROSIONE PROSPICIENTI ALL'INTERVENTO

A seguito del Rapporto di Verifica – *parere reg. uff. ingresso, prot. N. 2023 00799 del 09.10.2023, Allegato n°2* – si rende necessaria la disamina delle unità fisiografiche calabresi in forte erosione e prospicienti all'intervento.

L'Autorità di Bacino ha redatto il Piano di bacino - Stralcio Erosione Costiera (PSEC), adottato nel luglio 2104 che risulta essere un notevole aggiornamento del precedente PAI. Nelle valutazioni effettuate sono stati utilizzati i dati ed i risultati dell' "Indagine conoscitiva 2003". Nell'ambito di questa, l'intero litorale calabrese è stato suddiviso in 74 tratti omogenei (unità e/o sub unità fisiografiche). Al fine di dettagliare il Piano, il litorale è stato ulteriormente scomposto in transetti, in numero di circa 3900, di lunghezza compresa tra 150 e 250 m in modo da poter svolgere tutte le elaborazioni per ciascuno di essi. In un secondo momento i 74 tratti omogenei e, conseguentemente, i transetti, sono stati accorpati, secondo un criterio geografico e di omogeneità, in 21 aree di analisi. Nel caso in esame le località ricadono tra le Unità Fisiografiche 12 e 13.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024	

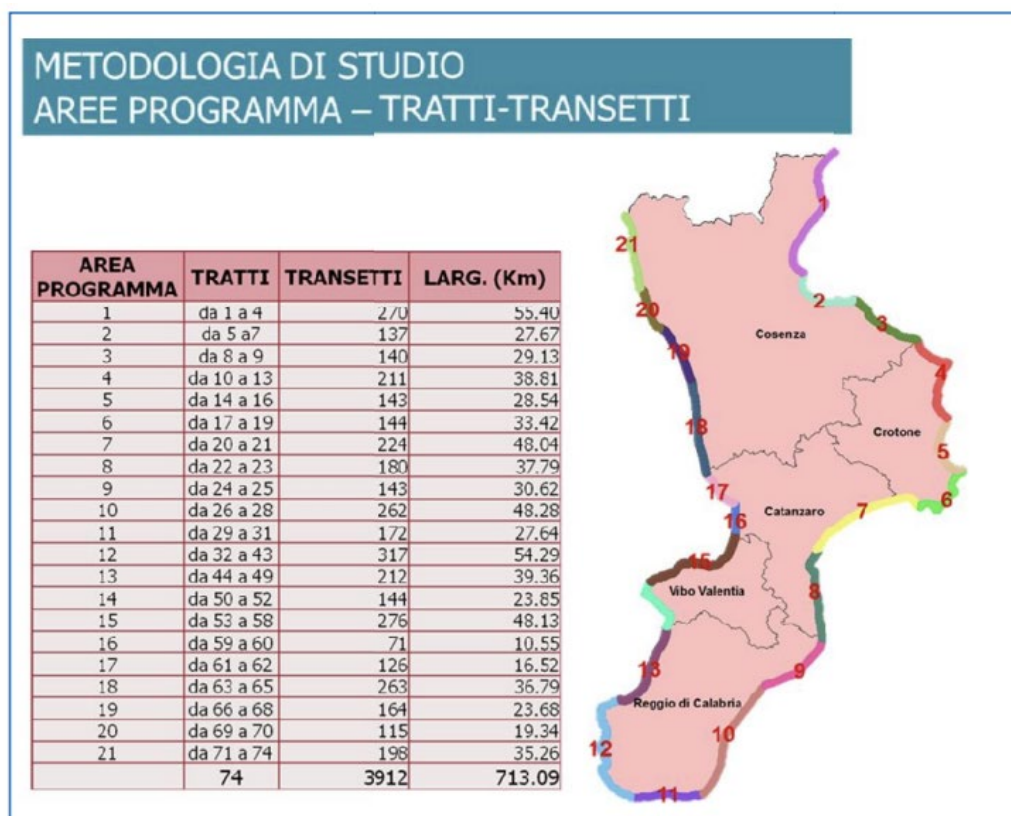


Figura 3.4 Suddivisione della costa in tratti. Fonte: Adb – Stima dei Costi e Stato di attuazione degli interventi di messa in sicurezza – Allegato n°1 (Aprile 2016).

Come già anticipato nel par.2.2.2, l'individuazione delle località calabresi, ha carattere solo di analisi conoscitiva che permette di avere completezza sul quadro generale del progetto.

La zona costiera limitrofa è quella che ricade tra la località di Punta Pezzo e Scilla. Il PSEC è costituito da un dataset cartografico in grado di identificare i vari livelli di pericolosità delle coste, e di caratterizzare in maniera sintetica lo studio meteo-marino.

Di seguito si riportano le "Carte di Pericolosità" delle località da Punta Pezzo a Villa San Giovanni e da Villa San Giovanni a Scilla.

Per avere contezza della reale situazione insita nello stato dei luoghi deve essere predisposta un'apposita caratterizzazione clima-meteo-marina.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

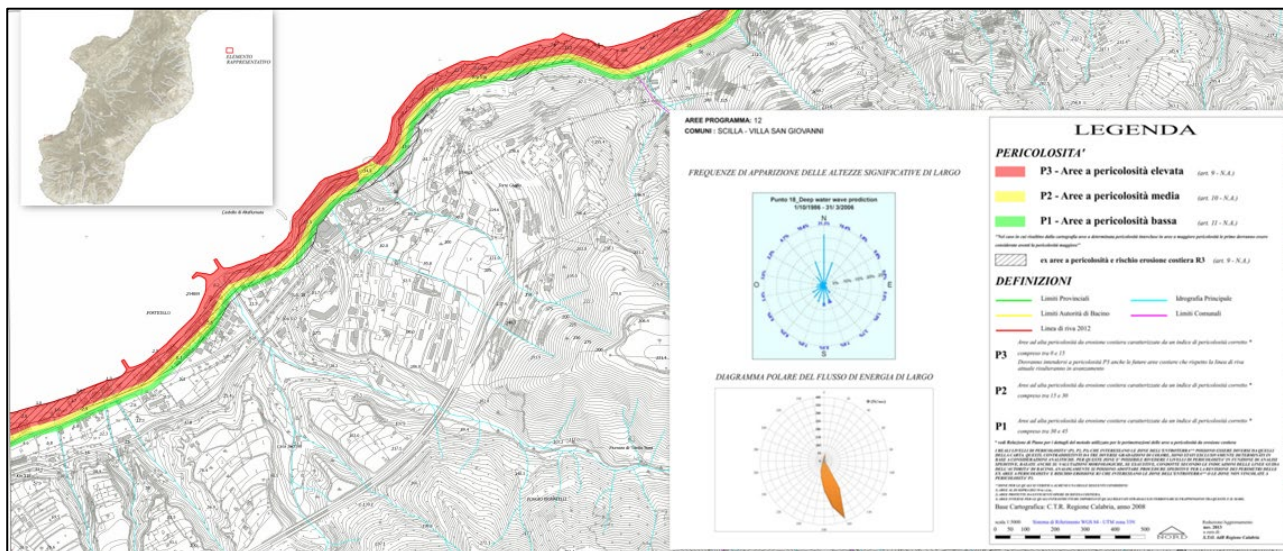


Figura 3.6 Stralcio Mappa della Pericolosità TAV 585161_P, tratto da Villa San Giovanni a Scilla. Fonte: PSEC

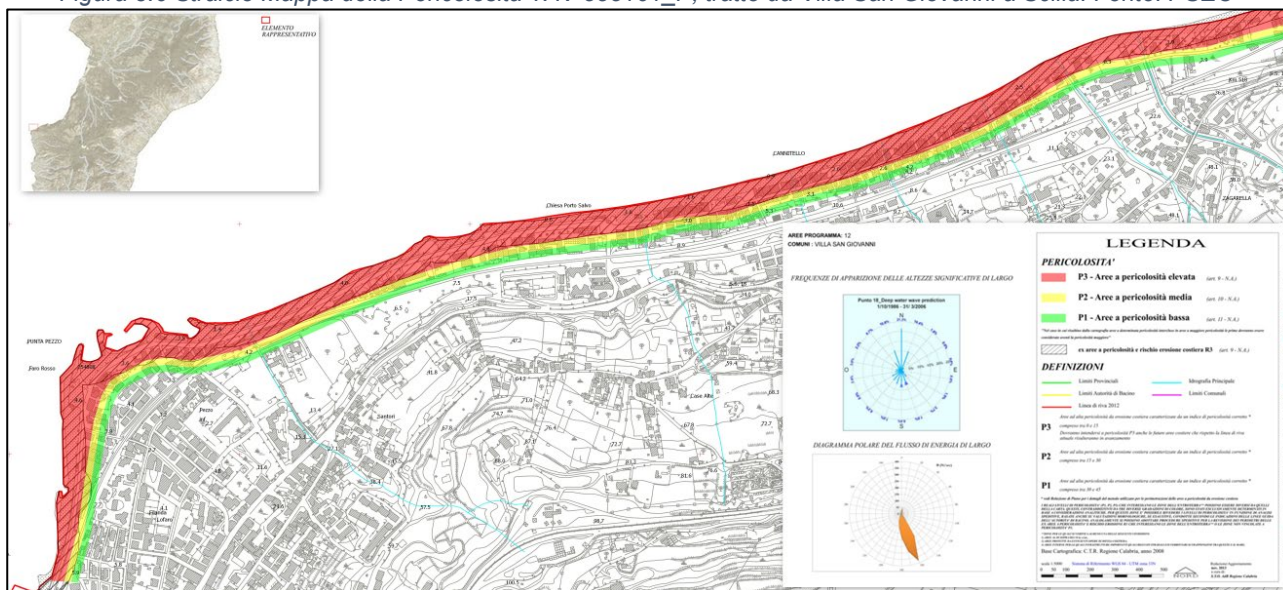


Figura 3.5 Stralcio Mappa della Pericolosità TAV 585161_P, tratto da Punta Pezzo a Villa San Giovanni. Fonte: PSEC

3.3 Rilievo Topo-Batimetrico integrato e Ambientale dei siti di oggetto di ripascimento

Il rilievo di dettaglio integrato terra-mare SAPR-MBES (*drone aereo + multi beam echo sounder*) sarà effettuato nell'ambito del RTB&CGS con le modalità descritte all'interno dei successivi paragrafi.

3.3.1 Rilievo topografico aree emerse

Per l'esecuzione del rilievo topografico tridimensionale sia della spiaggia emersa che delle strutture

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

retrostanti sarà impiegato un *drone multirotore* (*Sistema A Pilotaggio Remoto – SAPR*) pilotato da operatore accreditato ENAC. L'impiego dei droni in topografia consente di creare rappresentazioni di porzioni di territorio riprese dall'alto dalle quali, grazie all'impiego di algoritmi che si traducono nella metodologia STM (*Structure From Motion*), è possibile ottenere, con un grado di precisione molto elevato, una *ortofoto*, una *nuvola di punti* e un *DSM* (*Digital Surface Model*).

Il vantaggio principale dell'utilizzo del sistema APR si traduce, oltre che in un importante risparmio di tempo, nella possibilità di acquisire molti più particolari, con la conseguente capacità di ottenere misure, immagini e, nel complesso, dati topografici di enorme dettaglio e accuratezza di precisione. Il sistema proposto non sostituisce il metodo topografico tradizionale (*rilievo celerimetrico con sistema GPS RTK*), ma risulta ad esso complementare, al fine di eseguire una corretta georeferenziazione del dato e avere una corretta calibrazione delle quote rilevate.

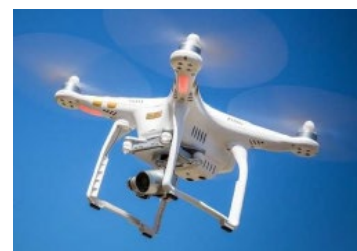




Figura 3.7 Drone multirotore

Il rilievo tridimensionale verrà integrato e verificato, in particolare per quanto riguarda la posizione delle infrastrutture retrostanti la spiaggia, con tecniche celerimetriche o DGPS.

Determinazione dei punti geodetici di inquadramento del rilievo. Il rilievo verrà inquadrato sui punti geodetici della rete trigonometrica italiana dell'*Istituto Geografico Militare (IGM)*. Saranno dunque individuati i punti IGM più idonei, in relazione sia alla disposizione che alla vicinanza con le aree da rilevare, da impiegare per la calibrazione strumentale del sistema GPS-RTK.

Pianificazione ed esecuzione del volo. Per eseguire rilievi fotogrammetrici (*un esempio in Figura*) con sistemi APR sono necessari vettori capaci di condurre piani di volo prestabiliti in totale autonomia, al fine di ottenere rilievi omogenei in termini di velocità e quota di volo.

Il piano di volo per l'acquisizione fotogrammetrica dell'area di indagine sarà programmato da una stazione a terra, considerando le caratteristiche focali della fotocamera installata sul drone, la quota di volo e la necessaria sovrapposizione, sia longitudinale che trasversale, dei fotogrammi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

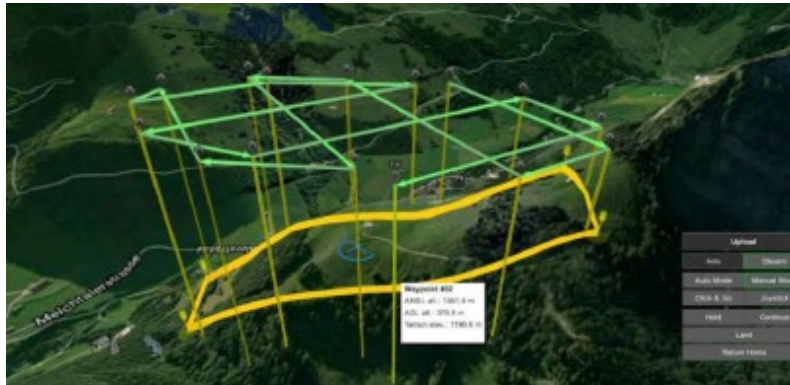


Figura 3.8 Rilievo fotogrammetrico con sistemi APR

La stazione a terra invierà, con apposita telemetria, il piano di volo all'APR che quindi lo eseguirà, con il supporto dei suoi sistemi avionici, senza alcun intervento diretto del pilota se non in caso di necessità. Il pilota manterrà comunque la possibilità di interrompere, ove necessario, il piano di volo programmato e riportare l'APR in posizione di sicurezza o al suolo. Il sistema di controllo a terra si compone di un tablet (sul quale è installato il software di navigazione) e *due sistemi di telemetria*, uno per i dati del Bios dell'APR in volo e l'altro per i fotogrammi acquisiti. In tal modo la stazione è dunque capace di controllare da remoto l'APR, visualizzarne la posizione e lo stato dei parametri nonché ricevere i dati acquisiti.

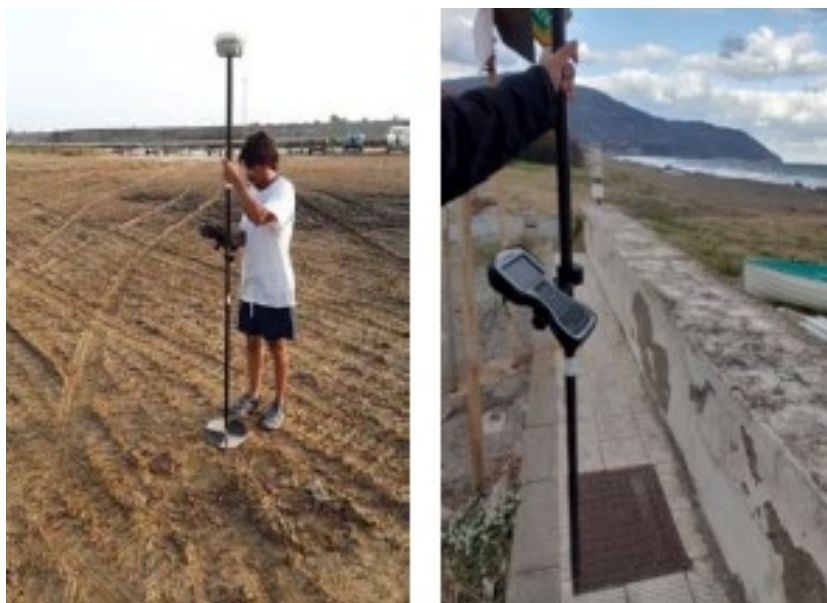




Figura 3.9 Posizionamento di GCP

La georeferenziazione del

rilievo nel rispetto delle

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024	

specifiche tecniche richieste sarà garantita dal posizionamento di un certo numero di *Ground Control Point* – *GCP* ovvero di target presenti al suolo e/o costruiti appositamente per essere visibili dall’altezza di volo del drone, ai quali mediante misurazione con GPS/GNSS in modalità RTK, si assoceranno posizione e quota corrispondenti.

Su tali punti inoltre sarà eseguito un processo di *Quality Check*, mediante l’impiego dei grigliati *GK2* acquistati presso l’Istituto Geografico Militare per la verifica della bontà delle misure eseguite in campo (in termini sia di posizione planimetrica che di quota).

Verificata l’esattezza dei punti, gli stessi saranno impiegati tramite il software di elaborazione dati per la *calibrazione*, la *georeferenziazione* e la *relativa restituzione finale di una nuvola di punti, di un DSM e di una ortofoto ad alta definizione* (circa 2 cm) e precisione spaziale centimetrica.

Il corretto funzionamento della strumentazione GPS sarà verificato sia preliminarmente che al termine dell’esecuzione dei rilievi, mediante la misurazione di un caposaldo di cantiere inserito nella rete geodetica nazionale che garantisca la precisione del sistema RTK usato per la materializzazione dei CGP (*in Figura inserimento del CGP*).

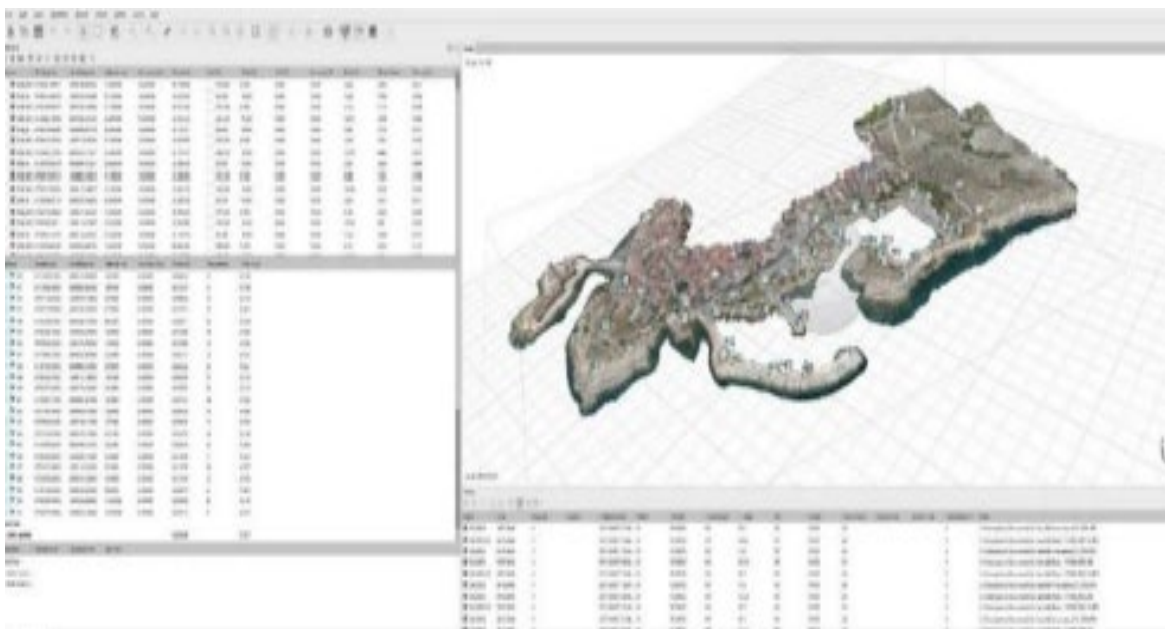


Figura 3.10 Inserimento del GCP in fase di post processing dei dati

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

Una volta terminata l'elaborazione dei dati, gli stessi saranno verificati mediante l'utilizzo di sistemi quali *Google Maps* o simili, che consentano di avere una idea del sito e delle complessità del rilievo, facilitando così la programmazione ottimale della missione.

Si procederà dunque con l'inserimento dei vertici che delimitano l'area da rilevare per poter preparare il *piano di volo*.

Durante il volo, l'APR esegue l'acquisizione di fotografie ad alta risoluzione del suolo che dovranno essere opportunamente elaborate e trasformate in punti quotati. La combinazione tra l'alta definizione della macchina fotografica impiegata, l'alta stabilità e la bassa quota di volo del drone (20 – 40 m) consentirà ricostruzione di piani altimetrici di altissima risoluzione (< 3cm al Pixel) e precisione spaziale.

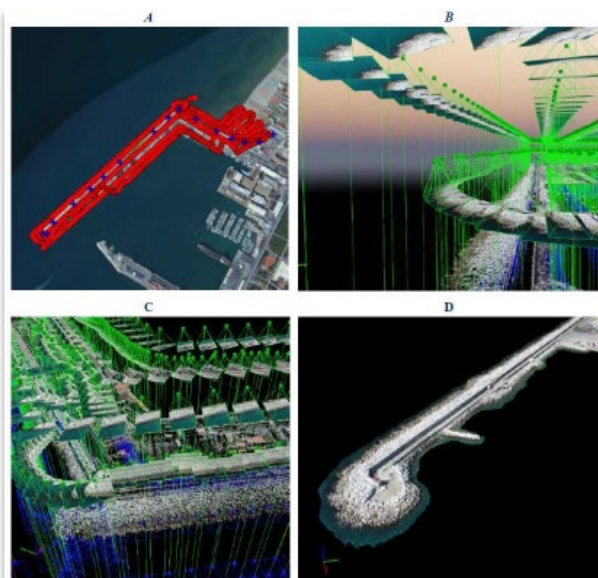


Figura 3.11 Rilievo con SAPR: a) piano di volo; b) c) elaborazione dati; d) nuvola di punti (DSM)

Elaborazione dati fotogrammetrici, creazione

modello digitale ed estrazione nuvola di punti. I fotogrammi acquisiti dal volo drone saranno importati e processati con apposito software (ad esempio PIX4D) che, attraverso una serie di passaggi di processing, consentirà di estrarre la nuvola di punti e il modello digitale del terreno, entrambi georeferenziati, sui quali generare curve di livello sovrainposte all'ortofoto.

L'impiego di un sistema RTK e la verifica dei punti con i grigliati GK2 consentirà di riferire tutte le misurazioni svolte al Livello Medio Mare (l.m.m.).

Analogamente la linea di costa, che potrebbe risultare frastagliata e interessata da numerosi artefatti in quanto naturalmente soggetta al moto ondoso, in fase di post-processing sarà sottoposta ad apposite operazioni di filtraggio e di rettifica cartografica per renderla quanto più possibile conforme allo stato reale.

Restituzione cartografica e risultati. I risultati del rilievo saranno processati ed interpretati al fine di produrre un'accurata cartografia rappresentativa dell'area investigata. I principali parametri geodetici utilizzati per la restituzione dei dati sono riportati in Figura. Nelle seguenti immagini si evidenzia il grado di dettaglio e di precisione garantito dalla strumentazione.

Datum	WGS84
Proiezione	UTM
Zona UTM	33 N
Falso Est	500000
Falso Nord	0
Meridiano centrale	15° EST
Fattore di scala	0.9996

Figura 3.12 Parametri geodetici

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024



Figura 3.13 Esempio di drid ricavato da dati MBES e SAPR, integrati in unica soluzione e con passo 0.25x0.25 cm (a lato) e generazione di un profilo

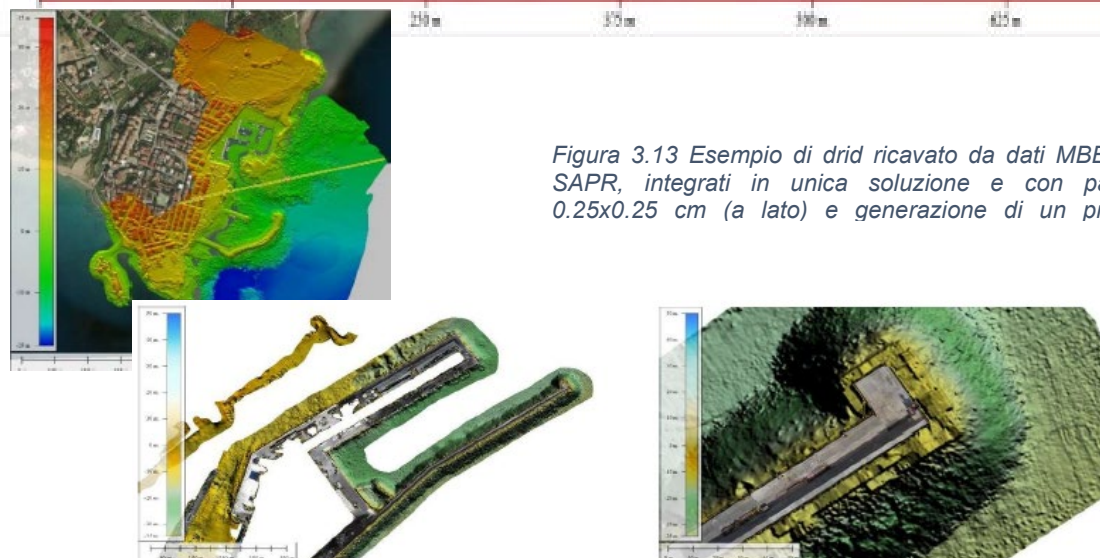


Figura 3.14 Rilievo combinato MBES e SAPR, con margine della ortofoto ricavata sempre da SAPR

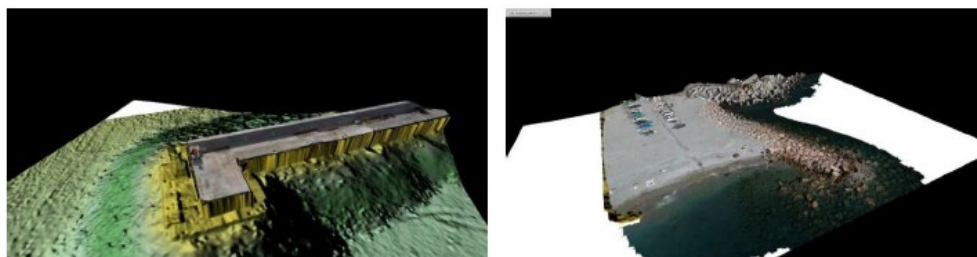


Figura 3.15 Dettaglio restituzioni

I risultati ottenuti dalla combinazione tra i dati restituiti dal rilievo MultiBeam e dal drone consentiranno di avere un unico grid di riferimento XYZ che potrà essere esportato in vari formati per l'impiego in ambiente sia CAD che BIM. I dati saranno inoltre perfettamente gestibili in ambiente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

GIS. La cartografia riporterà tutte le indicazioni di progetto, le informazioni geodetiche utilizzate, gli offset e tutte le informazioni necessarie per la corretta leggibilità dell'elaborato grafico.

3.3.2 Rilievo batimetrico aree sommerse

Per l'esecuzione di un corretto rilievo batimetrico, è di fondamentale importanza effettuare una iniziale verifica sul campo di tutto lo spread strumentale che sarà impiegato, da correlare ai test di verifica da svolgere in laboratorio. Solo dopo aver terminato tali test funzionali, si potrà procedere alle fasi di calibrazione propedeutiche all'inizio dei lavori. Tutti i rilievi si svolgeranno nel pieno rispetto della standardizzazione dei rilievi Idrografici, edito dall' Istituto Idrografico della Marina Italiana e saranno eseguiti da Idrografi di Classe A con mezzo nautico conforme alla vigente normativa di riferimento.

Sistema di posizionamento superficiale e piattaforma inerziale. Il posizionamento e la correzione dei movimenti dell'unità da impiegare per i rilievi marini, sarà garantita da una specifica piattaforma inerziale di ultima generazione che consenta di avere un *sistema di posizionamento GPS RTK* con precisione centimetrica, un *sistema di correzione di Pitch, Roll e Heave* e una *girobussola*, tutto integrato e con risoluzione angolare accuratissima (*nella figura a lato è rappresentato uno dei sistemi allo stato dell'arte, l'Applanix Pos Mv Wavemaster*).

Per le indagini in oggetto, vista la necessità di una risoluzione sia orizzontale che verticale di pochi centimetri, si potrà fare uso di un servizio di correzione centimetrico via copertura telefonica (ad esempio *l'ITALPOS* della Leica, azienda leader nella costruzione di strumentazione topografica). Il segnale RTK ricevuto in modalità MAX, permette l'esecuzione di rilievi RTK di precisione centimetrica tramite ricezione del segnale di correzione direttamente sul dispositivo. In tal modo, inviando la propria posizione alla stazione di correzione più vicina, il sistema riceve a sua volta le relative correzioni dal network. Il risultato finale è quello di avere in real time i dati di posizione corretti con precisione centimetrica, sia sul piano orizzontale che su quello verticale, consentendo così la correzione delle variazioni di marea direttamente in fase di acquisizione delle stesse.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

L'impiego di un software di acquisizione dei dati batimetrici come il QPS QINSy, il modulo di geodesia ivi presente consente l'inserimento della differenza fra la quota ellissoidica e la quota ortometrica di un caposaldo IGMI (*Istituto Geografico Militare Italiano*) prossimo alla zona da investigare, in modo da riportare e verificare tutte le quote al livello medio mare, conformemente agli standard dell'Istituto Idrografico della Marina Italiana. L'acquisizione, la gestione e la memorizzazione dei dati di posizione e navigazione verrà garantita dalla suite idrografica (QPS QINSy), a sua volta interfacciata via LAN con la piattaforma inerziale (*INS Applanix*). Al fine di ridurre al minimo gli errori di disallineamento dovuti all'installazione degli strumenti, in fase di montaggio verrà previsto un controllo metrologico tramite sistema *Total Station* o *Laser Scanner*, al fine di ottenere misure degli offset di installazione da inserire nella suite idrografica estremamente accurate.

Le componenti del sistema (Antenne e MRU) saranno inoltre installate in maniera tale da risultare solidali al sistema MBES, al fine di avere un ulteriore aumento nell'accuratezza delle misure di correzione (*Figura a lato*).



Figura 3.16 Misure di correzione

Accertato il corretto funzionamento del sistema, il passo successivo sarà quello di generare un *piano di navigazione* ottimale per coprire interamente l'area da rilevare.

Il piano di navigazione da seguire nell'area di indagine dovrà preventivamente essere inserito nel software di navigazione in modo da essere visualizzato durante le operazioni di acquisizione, facilitando così la guida in rotta dell'imbarcazione e garantendo una statistica in real time di quanto acquisito o ancora da acquisire.

Sistema MultiBeam e choSounders (MBES). Per l'esecuzione del rilievo batimetrico verrà impiegato un ecoscandaglio multifascio (MBES) con caratteristiche tecniche idonee per la tipologia di rilievi in oggetto (nella figura il ResonSeabat 8125). Il sistema MBES è costituito da un corpo esterno in titanio che va in acqua e rappresenta la parte acustica dello strumento (installato con l'impiego di una flangia in acciaio su un apposito palo), sul quale sono montati: a) il trasduttore; b) l'idrofono; c) una unità elettrica rappresentata dalla *powerunit* (PU) che converte il segnale acustico in impulso elettrico visualizzando sul monitor un sonogramma.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

La PU a sua volta è collegata via LAN con un PC sul quale è installato specifico software idrografico, con il compito di gestire i dati acquisiti e interfacciarli con i dati ricevuti dalle altre periferiche, oltre a effettuare la visualizzazione e il controllo dei dati in tempo reale. Così come per il sistema di posizionamento superficiale, anche per il Sistema MBES è previsto, propedeuticamente all'inizio delle operazioni di rilievo, un controllo metrologico a mezzo *Total Station* o *Laser Scanner* (in Figura). Il trasduttore del sistema sarà installato, mediante flangia e palo in acciaio inox, in corrispondenza della murata sinistra dell'imbarcazione, utilizzando un sostegno a T realizzato in acciaio inox in grado di garantirne la stabilità nella posizione.

Installato il trasduttore, verrà eseguito un classico *bar-check* a bordo (a mezzo di apposito peso collegato a rullina metrica al fine di verificare la corretta lettura dei valori di profondità) e un *setting* dei valori di gain, TVG e range, finalizzati a rendere quanto dettagliati e "puliti" possibile i dati acquisiti.

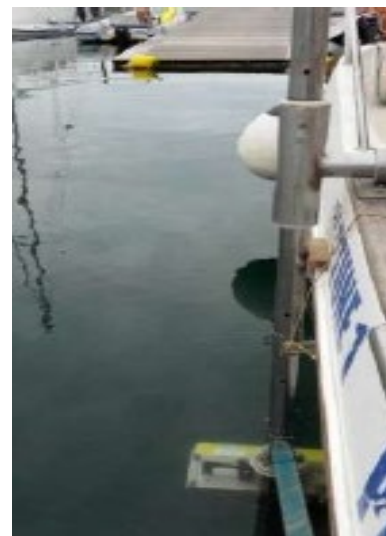


Figura 3.17 Sostegno a T

Il range laterale usato per le operazioni, variabile a seconda della profondità riscontrata, sarà impostato sempre in maniera tale da consentire un overlap di copertura tra linee adiacenti, al fine di garantire la *copertura completa di acquisizione dell'intera area di interesse*.

All'inizio delle operazioni di misura e a ripetizione con intervalli di almeno 6 ore, sarà misurato il *profilo della velocità del suono* per la correzione del fascio acustico del sistema MBES (*BeamForming*), attraverso un *profilatore (CTD-SVP)*, capace di effettuare la misura acustica diretta con intervallo di profondità pari a 0,50 m e fino alla massima profondità raggiungibile nell'area di interesse.



Figura 3.18 Sistema ASV in fase di mobilitazione e in fase operativa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

Inoltre, al fine di avere sempre una correzione in *real time* del *beamforming*, in prossimità del trasduttore del MBES verrà installata una sonda svcs che invierà in modo continuo il valore di velocità del suono.

Installati tutti i componenti strumentali ed eseguiti tutti i controlli pre-work a mezzo di apposite “*Activity Check List*”, si potrà procedere alla esecuzione delle operazioni di calibrazione del sistema MBES, necessarie per compensare il disallineamento tra il sensore di orientamento, il sensore di assetto e il trasduttore.

L’acquisizione dei dati batimetrici sarà effettuata a copertura completa nell’intera area di indagine con un *overlap mai inferiore al 30%*, ad eccezione di alcune porzioni in cui il basso fondale potrebbe rendere difficoltoso e non in linea con gli standard di sicurezza l’impiego dell’imbarcazione. In tal caso, per dare continuità al rilievo batimetrico, si farà uso di un *sistema ASV (Autonomus Surface Veichle)* su cui installare lo stesso spread strumentale (MBES-Applanix, ecc.) che consenta di eseguire il rilievo batimetrico anche nelle zone a ridotto pescaggio, come descritto nel successivo paragrafo.

Sistema Autonomo di Superficie (ASV). Per l’esecuzione del rilievo batimetrico in aree a ridotto pescaggio o di difficile navigabilità per una imbarcazione, sarà impiegato *un sistema di navigazione di superficie autonomo ASV (Figura)*, costituito da due galleggianti idrodinamici montati insieme tramite un telaio in alluminio su cui viene installata la strumentazione necessaria allo scopo; l’unità è dotata di due motori elettrici subacquei (*thruster*) a controllo elettronico, il che rende il sistema operabile anche all’interno di aree marine protette o soggette a vincoli naturalistici.

Il drone configurato per l’esecuzione del rilievo batimetrico MBES sarà varato in acqua impiegando un carrello in alluminio appositamente costruito e che, munito di un piccolo argano manuale, permetterà il facile recupero senza sforzo per l’operatore. Il sistema risulta costituito da due componenti principali: l’*unità Rover* ovvero la piattaforma mobile su cui si installano i sistemi di acquisizione e una *Ground Station* a terra da cui si ha il pieno controllo del veicolo e dei sistemi di acquisizione, sia in remoto che in tempo reale.

Il collegamento fra la stazione a terra e il veicolo è garantito sia da una connessione dedicata mediante radio modem Wi-Fi operante su doppia banda 2.8 – 5.4 Ghz (normalmente impiegata dove non si ha un’adeguata copertura internet) sia da una connessione telefonica. Entrambe le tipologie di collegamento offrono la possibilità di gestire le fasi di acquisizione in tempo reale, permettendo tutte quelle operazioni che normalmente l’operatore svolge direttamente a bordo dell’imbarcazione. Inoltre, sempre grazie al network dedicato, vi è la possibilità di prelevare i dati registrati e di poterne avere una copia di *back-up* ancora prima di aver completato la missione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024



Figura 3.19 Control Ground Station e creazione del piano di navigazione da usare per i rilievi

La fase conclusiva dei rilievi batimetrici a mezzo sistema MBES verrà svolta utilizzando un apposito modulo di *post-processing* del software di acquisizione dei dati che consenta di operare un'approfondita valutazione dei dati secondo tre passaggi fondamentali:

1. correzione della posizione, mediante un modulo che definisca i criteri base per la reiezione automatica dei dati anomali (Spikes) dovuti a salti del sistema di posizionamento e permetta di intervenire manualmente preliminarmente registrazioni non accurate;
2. correzione della profondità, mediante un modulo che applichi all'intero dataset la compensazione di marea;
3. controllo statistico dei dati, basato sulla definizione di una serie di parametri e regole empiriche utili per l'estrazione di un dataset di misure affidabili.

I dati batimetrici così controllati e filtrati saranno elaborati al fine di ottenere un modello digitale del fondo (*DTM*) consistente con la risoluzione del rilievo e adeguato alla scala di rappresentazione cartografica richiesta.

I due rilievi saranno integrati in un unico DTM (*Digital Terrain Model*) e connessi verso il largo (a partire dalla isobata -20,00 s.l.m.m. con la più aggiornata batimetria digitale disponibile derivata da carta nautica), sfruttando l'intero database di cartografia nautica digitale a corredo dei modelli DHI, costantemente aggiornato, i cui dati possono essere inseriti direttamente nell'ambiente di modellazione attraverso l'interfaccia appositamente sviluppata MIKE C-MAP.

3.3.3 Rilievo SBP (sub-bottom profiler) dei fondali di progetto

Per le indagini sismo-stratigrafiche ad alta risoluzione, finalizzate alla individuazione di condotte sottomarine interrate, alla caratterizzazione degli strati superficiali, ad indagini archeologiche ecc, ci si avvale di uno strumento costituito da un *topside* installato a bordo e interfacciato con il PC per la gestione e registrazione dei file e della navigazione e un sistema di trasduttori montati "a palo" su

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

un lato dell'imbarcazione.

Tale sistema, in base alla natura geologica del fondale, consente di ottenere profili fino a 40 m al di sotto del fondale marino.

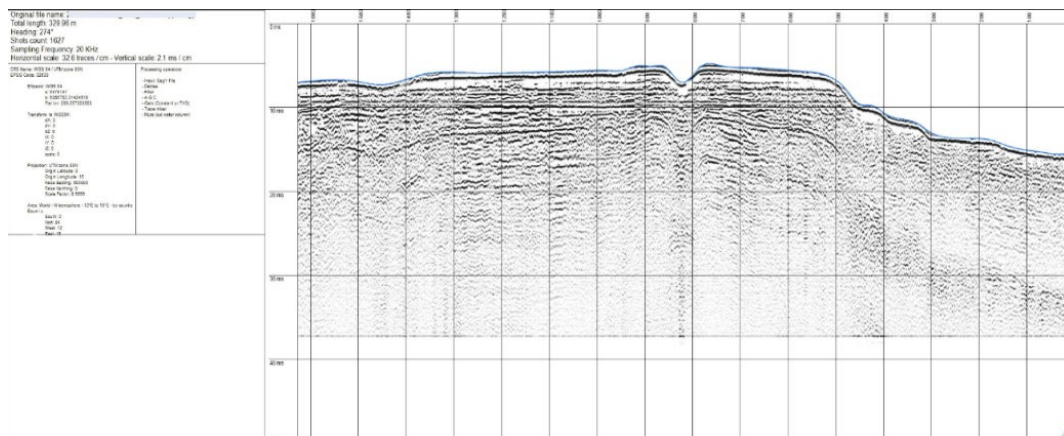


Figura 3.20 Profilo stratigrafico eseguito con rilievo SBPO

3.3.4 Rilievo SSS (side-scan sonar) dei fondali di progetto e implementazione della mappatura delle biocenosi costiere

Per l'esecuzione dei rilievi morfologici del fondale marino, il Side Scan Sonar, adatto a rilievi in basso fondale in cui sia richiesta un'elevata risoluzione, permette di riconoscere le differenti litologie e la biocenosi che costituiscono e che sono presenti sullo stesso fondale.

Inoltre, il SSS trova largo impiego tanto nelle ricerche archeologiche (relitti, manufatti antropici), ingegneristiche (localizzazione di condotte, monitoraggio costruzioni marine quali massicciate, riempimenti, ecc) e in quelle di ricerca e soccorso.

Per lo svolgimento del rilievo morfologico, il Side Scan Sonar è composto da una PU portatile, da un *towfish* e da un cavo di traino/alimentazione/trasmissione.

Questo sistema a sua volta può essere equipaggiato con un beacon per poter avere l'esatto posizionamento subacqueo, oppure eseguire di volta in volta durante l'acquisizione una correzione del layback legata alla quantità di cavo traino in acqua.

3.3.5 Rilievo ROV (remote-operate veichle) dei fondali di progetto con esecuzione di video-transetti (per verifica visiva mappatura biocenosi)

Per la corretta taratura ed interpretazione dei sonogrammi saranno eseguiti una serie di videotransetti (video ispezioni subacquee) che verranno condotti lungo alcuni dei transetti posizionati per il prelievo dei campioni in modo da poter avere una diretta correlazione tra le informazioni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

sedimentologiche e le immagini acquisite.

Le videoriprese saranno effettuate con un sistema R.O.V. e consentiranno di distinguere con estrema affidabilità il limite superiore della prateria di Posidonia Oceanica, definendone contorni e distribuzione, al fine di ottenere una mappatura quanto più precisa possibile. Al contempo, sarà possibile ottenere importanti informazioni sulla presenza e composizione della fauna ittica e di altre specie sensibili non altrimenti individuabili.



Figura 3.21 Sistema R.O.V.

Il ROV è un veicolo subacqueo dotato di telecamera, dispositivi di illuminazione, profundimetro, bussola e propulsori elettrici. Lo strumento verrà collegato, mediante un cavo ombelicale, all'unità di superficie comprendente i sistemi di alimentazione, il quadro di comando e di pilotaggio, il monitor (*sul quale sono riportati in sovraimpressione i dati di navigazione*) e il registratore digitale di immagini. La propulsione e la direzionalità dell'unità subacquea saranno garantite da motori elettrici con eliche opportunamente orientate (*thruster*).

Una *Video Overlay* permetterà inoltre di avere in sovraimpressione sulle immagini acquisite data, ora, posizione e profondità, in modo da avere anche nel dato registrato tutte le informazioni di importanza rilevante. Tale sistema sarà impiegato in sostituzione dell'immersione diretta con operatore subacqueo sia per l'ottimizzazione dei tempi operativi che per una migliore osservazione qualitativa delle caratteristiche dei fondali, consentendo le registrazioni delle immagini di poter eseguire un'analisi dettagliata di quanto osservato anche dopo il termine delle operazioni di rilevamento subacqueo.

Grazie al ROV, inoltre, sarà possibile investigare vaste aree con analisi non distruttive e operare a profondità non altrimenti accessibili agli operatori subacquei.

Le riprese saranno condotte esclusivamente in condizioni di torbidità minima, al fine di garantire condizioni ottimali di registrazione, con una conseguente elevata qualità dei dati in ingresso.

La survey sarà effettuata con una velocità di avanzamento tale per cui la ripresa video del fondale sarà sempre chiara, priva di "effetto scia" e con i colori correttamente bilanciati (evitando dunque la comparsa di predominanze di uno o più colori).

Il materiale video raccolto sarà fornito unitamente ad una dettagliata relazione di accompagnamento che descriva quanto rilevato, a firma di biologi marini di comprovata esperienza.

3.3.6 Prelievi di campioni di benthos e relative analisi di laboratorio per la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

caratterizzazione ambientale delle biocenosi costiere

La prima fase di studio ambientale e biologico del sistema marino costiero consisterà in una approfondita indagine finalizzata all'accurata definizione della mappatura delle biocenosi. Questa è fondamentale per la corretta costruzione dei modelli numerici, essendo direttamente correlata all'erosibilità e alla scabrezza dei fondali. La metodica cartografica impiegata per tale mappatura comprenderà la sovrapposizione di molteplici contributi:

1. informazioni derivanti dall'analisi delle immagini da satellite;
2. sonogrammi restituiti da rilievi con *side scan sonar*;
3. videoregistrazioni mediante telecamere filoguidate (*ROV*) o operatori con autorespiratori (*ARA*).

Per l'acquisizione dei dati necessari all'elaborazione di una mappatura dettagliata delle biocenosi presenti nei fondali dell'area di studio, si esegue un rilievo morfologico ad alta frequenza mediante un sonar a scansione laterale (*SSS*) (in figura sotto si riporta il modello 3900 della Klein) che consente l'acquisizione di dati in doppia frequenza 445/900 KHz ed un range laterale di acquisizione massimo rispettivamente di 150/50 metri.

Il sistema è costituito dal sonar vero e proprio trainato dall'imbarcazione (*towfish*) e da una unità di potenza collegata ad un pc per la gestione hardware e software dello strumento. Al fine di raggiungere agevolmente le profondità di lavoro ottimali per l'acquisizione dei dati nell'area richiesta, sarà inoltre previsto l'impiego di un verricello elettrico contenente almeno 150 m di cavo in *kevlar*.

I rilievi saranno eseguiti con idonea imbarcazione da almeno 4 unità di personale:

1. il pilota al comando dell'imbarcazione;
2. due operatori in coperta addetti alla fase di lancio e recupero del *towfish* e alla gestione del verricello;
3. un operatore in cabina per provvedere alla gestione del software di navigazione e all'acquisizione e registrazione dei dati.

Qualsiasi eventuale procedura di ammaino e recupero sarà eseguita esclusivamente da personale adeguatamente preparato e dotato di tutti i necessari dispositivi di sicurezza. Il numero di transetti eseguiti sarà tale da ottenere un *overlap* di acquisizione fino al 50% tra linee adiacenti, in modo da garantire la copertura dell'intera area di interesse.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

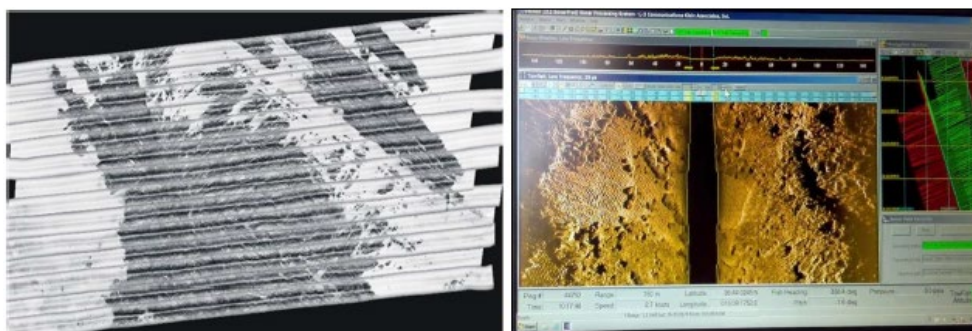


Figura 3.22 Registrazione dei sonogrammi (a sinistra);
 fotomosaico e unione dei singoli sonogrammi (a destra)

La georeferenziazione dei dati acquisiti verrà garantita in tempo reale impiegando insieme al side scan sonar uno specifico sistema di posizionamento subacqueo (USBL) per eliminare gli eventuali errori di posizione generati dall'impostazione manuale del layback.

Propedeuticamente all'inizio delle operazioni di rilievo sarà eseguito un rubber test a bordo e un setting dei valori di gain e TVG, finalizzati a rendere quanto più leggibile possibile i sonogrammi elaborati. La registrazione dei dati della navigazione sarà effettuata con un apposito software idrografico che consenta di seguire il piano di navigazione e visualizzare le rotte in tempo reale. I sonogrammi saranno acquisiti tramite workstation equipaggiata con software dedicato (nella figura precedente si riporta un esempio di schermata del software *Sonar Pro*), per essere successivamente processati con altro software (ad esempio il *Sonarwiz 5* della *Chesapeake Tech*).

La prima fase di elaborazione consiste nella riproduzione e georeferenziazione dei record mediante la correzione per la rimozione della colonna d'acqua (water column removal) e la compensazione geometrica per la distanza inclinata (slant range correction). Successivamente le registrazioni georeferenziate delle singole linee di rilievo saranno unite, con duplice finalità: ottenere una visione d'insieme della morfologia dell'area e facilitare il lavoro d'interpretazione e mappatura del fondale e l'individuazione di target significativi.

La taratura dei sonogrammi con le videoriprese in punti noti dell'area di indagine consentirà di "digitalizzare" in ambiente GIS le differenti tipologie di substrato individuate. Potranno pertanto identificarsi i substrati mobili sabbiosi, facilmente individuabili per la presenza di ripple marks rispetto al substrato roccioso.

Il prodotto finale sarà una *carta tematica di dettaglio riportante le tipologie di substrato e le biocenosi presenti*, fornita su supporto sia digitale (*sonogrammi in formato .tiff, .xtf, ecc. e fotomosaico georeferenziato*) che cartaceo (carta del fotomosaico).

In accordo della "Scheda metodologica per il campionamento e l'analisi del *macrozoobenthos* di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

fondi mobili” pubblicata da ISPRA, verranno condotti il campionamento e l’analisi delle comunità bentoniche.

Per il campionamento dei sedimenti sarà utilizzata una benna Van Veen di dimensioni tali da garantire il campionamento su una superficie di 0,10 m². Al fine di ottenere una migliore attendibilità statistica dei risultati, per ogni transetto saranno previsti 2 campioni. In aggiunta, verrà effettuata una ulteriore replica per il campionamento di sedimenti da destinare alle analisi di caratterizzazione granulometrica, necessaria a fornire un inquadramento più preciso delle biocenosi presenti.

Il contenuto di ogni bennata, verrà setacciato su un setaccio con maglia di 1 mm (a lato) e il materiale trattenuto sarà raccolto e conservato in contenitori di PED da 2 l etichettati con la data, il nome della stazione, la lettera della replica e il numero progressivo nel caso in cui ne fosse stato impiegato più di uno. I contenitori verranno riempiti prima della chiusura con una soluzione fissativa di etanolo al 70%.



Figura 3.23 Recupero della benna Van Veen e setacciatura sedimenti su maglie di 1 mm

Nel caso in cui dalle indagini strumentali venga rilevata la presenza di *Posidonia oceanica*, verrà effettuata una campagna di indagini in campo ed in laboratorio per la determinazione del perimetro contermini alle aree di intervento e dello stato di salute della prateria. A tal fine, saranno effettuate su almeno 3 stazioni di campionamento misure della densità, parametro direttamente correlato con le condizioni vitali della prateria. Per il campionamento dei dati biologici sulla prateria di *Posidonia oceanica* il monitoraggio standard per la densità fogliare delle praterie di *Posidonia* prevede rilievi su un quadrato 40cm x 40cm (Buia et al., 2003. I sistemi a fanerogame marine. Biol. Mar. Medit. (2003), 10 (Suppl.): 145-198; ISPRA Scheda monitoraggio *Posidonia* - Strategia Marina). Contemporaneamente a suddette misurazioni, gli operatori subacquei scientifici preleveranno dei campioni di rizoma ortotropo completo di apparato fogliare che, opportunamente conservati, etichettati e trasferiti in laboratorio, verranno utilizzati per la determinazione dei parametri fenologici e lepidocronologici dai quali si estrapoleranno ulteriori indici numerici utili per ottenere informazioni importanti circa lo stato di salute e di crescita della pianta.

Le informazioni così ottenute, peraltro, rappresentano un potenziale ottimo punto di controllo in sede di valutazione sia del monitoraggio ambientale durante i lavori che degli effetti futuri dell’opera, una volta completata.

I 12 campioni di *benthos* prelevati consentiranno lo studio delle comunità bentoniche di fondi mobili,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

che verrà condotto da personale qualificato attraverso l'identificazione delle specie appartenenti ai taxa ritenuti i migliori indicatori delle caratteristiche ambientali (Pérès e Picard, 1964).

La prima fase dello studio consiste nell'apertura dei campioni e nel lavaggio accurato del sedimento residuo, in modo da eliminare l'eccesso di soluzione fissativa.



Il lavaggio sarà effettuato con l'uso di appositi setacci, uno con fori di maglia di 3 mm, posizionato in alto, ed uno con fori di maglia di 1 mm posizionato sotto quest'ultimo; una volta lavato, il campione verrà osservato poco alla volta al binocolare in modo da separare gli organismi animali dalla frazione inorganica e da quella organica vegetale.

Gli organismi verranno così divisi nei fondamentali gruppi tassonomici: Molluschi, Crostacei, Policheti, Echinodermi e altro (quest'ultimo comprendente Nematodi, Cnidari, Sipunculidi, Cordati ed eventuali altri gruppi ritrovati). Questa fase di smistamento, detta *sorting*, è propedeutica per le successive determinazioni tassonomiche della fauna bentonica ritrovata.

Gli organismi raccolti durante il *sorting* verranno conservati in etanolo al 70% prima di procedere con l'identificazione tassonomica, che sarà svolta con l'ausilio delle chiavi dicotomiche di riferimento specifiche per i vari gruppi animali (*Fauvel, 1923; Priolo, 1968; Nordsieck, 1977; Ponder, 1983; Graham, 1988; Tebble, 1976; Poppe e Yoshino, 1991; Sabelli et al., 1992; Chevreux, 1925; Chiarelli, 1999; Clemam, 2003*) ed atlanti (*Giannuzzi-Savelli et al., 1997a; 1997b; 1997c*) e sarà finalizzata ad assegnarne, ove possibile, la specie di appartenenza. L'elenco delle specie individuate su ogni replica e stazione e il relativo numero di individui verrà riportato in formato elettronico su una matrice impiegata per l'elaborazione statistica dei risultati e il calcolo dei principali indici ecologici che forniscono informazioni sulla struttura della comunità.

In particolare, per ogni stazione saranno determinati: il numero medio di individui (N); il numero medio di specie (S); l'indice di diversità (Shannon e Weaver, 1963); l'indice di equiripartizione (Pielou, 1966); l'indice di dominanza (Simpson, 1949).

Saranno inoltre calcolati anche gli *indici AMBI e mAMBI (AZTI Marine Biotic Index)*, calcolati con l'utilizzo di apposito software (come ad esempio il software omonimo sviluppato da AZTI-Tecnalia Marine Research division), utili per determinare e assegnare lo stato ecologico di un sito sulla base della struttura delle comunità bentoniche che lo popolano.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

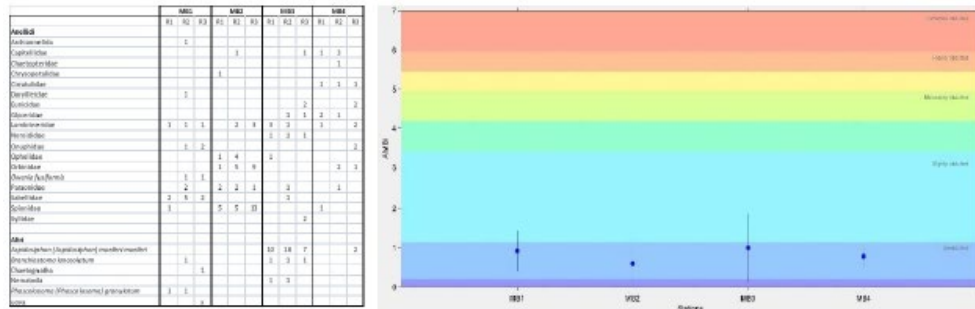


Figura 3.24 Restituzione delle liste faunistiche e valutazione dello stato di qualità ambientale

Ciò perché le comunità macrobentoniche rispondono agli stress ambientali con diverse strategie adattative, sulla base delle quali vengono distinte (Gray, 1979):

1. specie con un ciclo di vita corto (r);
2. specie con un ciclo vitale relativamente lungo (k);
3. specie tolleranti, non soggette ad alterazioni (T).

Mettendo quindi in relazione le strategie adattative degli organismi con i livelli di perturbazione ambientale (che vanno dall'assenza di perturbazione ad una condizione azoica) gli organismi macrobentonici dei fondi molli possono essere ordinati in cinque gruppi ecologici, in accordo alla loro sensibilità ad un gradiente crescente di stress:

- **Gruppo 1:** specie molto sensibili all'arricchimento organico e presenti in condizioni non inquinate. Include carnivori specialisti e alcuni policheti tubicoli.
- **Gruppo 2:** specie indifferenti all'arricchimento, sempre presenti in bassa densità con variazioni non significative nel tempo. Include organismi sospensivori, carnivori meno selettivi e scavatori.
- **Gruppo 3:** specie tolleranti ad arricchimenti eccessivi di materia organica; queste possono essere presenti in condizioni normali, ma le loro popolazioni sono stimolate dall'arricchimento organico. Sono specie "*surface deposit-feeders*", come Spionidi tubicoli;
- **Gruppo 4:** specie opportuniste di secondo ordine, principalmente policheti di piccola taglia: "*subsurface deposit-feeders*", come Capitellidi e Cirratulidi;
- **Gruppo 5:** specie opportuniste di primo ordine. "*Deposit-feeders*" che proliferano in sedimenti ridotti.

L'indice *M-AMBI* è stato introdotto in sostituzione dell'indice *AMBI* in quanto quest'ultimo non considera la diversità tra le specie bentoniche, ma utilizza esclusivamente una scala per valutare la qualità ecologica. Il nuovo indice, invece, include nel calcolo anche la ricchezza di specie e la diversità. Il software con cui viene calcolato è il medesimo e consiste in *un'analisi statistica*

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

multivariata in cui l'Analisi Fattoriale combina i valori di AMBI con quelli di diversità di *Shannon-Wiener* (H') e di numero di specie (S).

Il procedimento di classificazione valuta inizialmente l'indice AMBI, quindi si calcolano la diversità e la ricchezza specifica per ogni stazione; sulla base di queste tre variabili viene dunque assegnato un valore ecologico, variabile da *Bad* (cattivo) a *High* (elevato) (*Muxika et al., 2007*).

Le indagini in situ e il prelievo dei campioni necessari per la valutazione dello stato di salute e per il monitoraggio di *Posidonia Oceanica*, verranno eseguiti secondo le modalità indicate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) seguendo un piano di campionamento gerarchico con almeno 3 stazioni di campionamento suddivise ognuna in tre sottoaree di circa 400 m² ciascuna.

Per ogni sottoarea verranno effettuate 3 repliche per le misure di densità e 6 repliche per i prelievi di fasci ortotropi.

Le repliche in una stessa area verranno distanziate, tra di loro, di almeno 1 metro. L'ultima replica in un'area e la prima replica dell'area seguente, saranno invece distanziate di circa 10 metri. In totale quindi, saranno effettuate 9 misure di densità e 3 misure di ricoprimento e prelevati 18 fasci ortotropi. In aggiunta, attraverso la compilazione di apposite schede di campionamento durante l'immersione, verranno ricavate informazioni sul tipo di substrato, sulla eventuale presenza di altre fanerogame o specie algali competitive e sulle tipologie di limite di *Posidonia Oceanica*.

Le *analisi di laboratorio (fenologia e lepidocronologia)* sui campioni prelevati (fasci fogliari e rizomi), verranno effettuate utilizzando il materiale biologico campionato secondo il seguente schema operativo:

- analisi fenologiche: saranno analizzati 18 fasci per 3 stazioni per un totale di 54 fasci;
- analisi lepidocronologiche: saranno analizzati 18 rizomi per 3 stazioni per un totale di 54 rizomi;
- analisi degli epifiti: saranno effettuate sulla totalità dei lembi fogliari analizzati;
- analisi dei borers: saranno effettuate sulla totalità delle scaglie analizzate.

I fascicoli fogliari verranno aperti delicatamente con l'aiuto di una pinzetta, procedendo dalle foglie più esterne a quelle più interne, alternativamente a destra e a sinistra, e disponendo le foglie in successione di classe decrescente, ricavando così sia il numero di foglie per classe che il numero di foglie totali.

Le foglie saranno suddivise in adulte, intermedie e giovanili: le giovanili sono le più interne, per convenzione di lunghezza minore a 5 cm, le intermedie hanno lunghezza maggiore di 5 cm ma sono sprovviste di ligula, le adulte sono le foglie più esterne, fornite di una ligula che separa il lembo fogliare dalla base della foglia stessa.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

Le *misure biometriche* (lunghezza totale delle foglie, larghezza delle foglie, lunghezza delle basi delle foglie adulte) saranno rilevate manualmente con l'ausilio di un righello (Reyes et al., 1995) e registrate su apposite schede per la raccolta dei dati.

Per ogni fascio, i lembi fogliari saranno ripuliti dagli epifiti con una lametta raschiando delicatamente le facce interna ed esterna; successivamente le scaglie, i lembi fogliari e gli epifiti raccolti verranno essiccati in stufa a 105°C per un'ora per determinare la *biomassa delle foglie singole e del fascio intero e la biomassa epifita associata* (tutto espresso in mg di sostanza secca).

Lo *studio lepidocronologico* dei fasci fogliari prelevati verrà effettuato con la tecnica standardizzata proposta da Pergent (1990): i rizomi vengono accuratamente puliti con acqua corrente per eliminare il sedimento presente tra le scaglie e asportare gli epifiti e gli epibionti macroscopici che lo colonizzano.



Figura 3.25 Foglie di *Posidonia Oceanica* separate dal fascicolo e disposte sul bancone per il prelievo dei dati fenologici

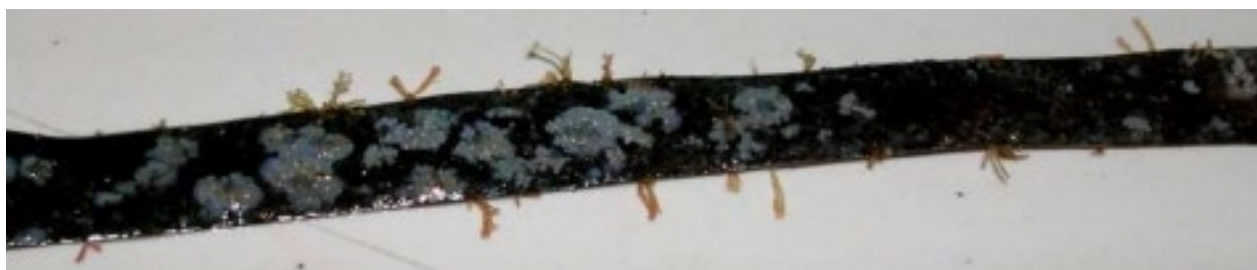


Figura 3.26 Particolare di organismi epifiti ed epibionti su foglia di *Posidonia Oceanica*

La dissezione delle scaglie viene eseguita a partire dal punto del rizoma più lontano dalle foglie, ossia dalle scaglie più vecchie verso quelle più recenti. Le scaglie vengono staccate una alla volta, con delicatezza, con riguardo all'ordine distico d'inserzione e appoggiandole in successione sul banco

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	



*Figura 3.27 Analisi lepidocronologica su rizomi di Posidonia Oceanica:
Cicli di variazione annuale nello spessore delle scaglie*

Misurando lo spessore delle singole scaglie è possibile identificare un ciclo di variazione tra lo spessore minimo e quello massimo rilevato. Eliminate tutte le scaglie, si possono contare gli anni lepidocronologici individuati e, partendo dall'anno di studio, risalire così all'età di ogni porzione di rizoma. Attraverso il numero di scaglie comprese negli anni individuati, è possibile inoltre calcolare il numero di foglie prodotte nei rispettivi anni. Al fine di valutare la biomassa prodotta, le porzioni datate di rizoma vengono avvolte tra fogli di alluminio e lasciate essiccare in stufa ad una temperatura di 60°C, sino al raggiungimento del peso costante.

Attualmente, non si dispone di prelievi per la caratterizzazione della tipologia di Posidonia oceanica presente, a tal proposito successivamente si potrebbe applicare un indice di qualità quale il PREI (Posidonia Rapid Easy Index) misura lo stato di salute e di equilibrio delle praterie di Posidonia e fornisce indicazioni indirette sulla probabilità della loro scomparsa nel tempo.

In base al DM 260/2010, tale indice è stato adottato a livello nazionale come descrittore sintetico per lo stato ambientale dell'EQB Posidonia (Elemento di Qualità Biologica) e concorre quindi alla classificazione dello stato ecologico delle acque marino-costiere.

Il PREI è un indice sintetico che si basa sull'analisi di 5 diversi descrittori delle praterie di Posidonia oceanica. Per ciascuna prateria indagata, i parametri misurati vengono confrontati con quelli ideali di riferimento, definiti in base a studi preesistenti effettuati su praterie indisturbate, presenti in un dato territorio.

L'Indice PREI include il calcolo di cinque descrittori: la densità della prateria (fasci/m²); la superficie fogliare fascio, (cm²/fascio); il rapporto tra la biomassa degli epifiti (mg/fascio) e la biomassa fogliare fascio (mg/fascio); la profondità del limite inferiore e la tipologia del limite inferiore. La densità della prateria, la superficie fogliare fascio ed il rapporto tra la biomassa degli epifiti e la biomassa fogliare

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

vengono valutati alla profondità standard di 15 m, su substrato sabbia o matte; nei casi in cui lo sviluppo batimetrico della prateria non consenta il campionamento alla profondità standard, può essere individuata, motivandone la scelta, una profondità idonea al caso specifico.

Calcolando di quanto i valori effettivi misurati si discostano da quelli ideali di riferimento, si ottiene un valore RQE (Rapporto di Qualità Ecologica), compreso fra 0 e 1 e suddiviso in 5 classi, che corrispondono ad altrettante classi di Stato Ecologico, secondo il D.M. 260/2010. Le praterie che risultano avere uno stato ecologico “Cattivo” sono probabilmente destinate a scomparire nell’arco dei 5 anni successivi al monitoraggio.

RQE	STATO ECOLOGICO
1 – 0,775	Elevato
0,774 – 0,550	Buono
0,549 – 0,325	Sufficiente
0,324 – 0,100	Scarso
< 0,100 – 0	Cattivo
CONDIZIONI DI RIFERIMENTO	
Densità	599 fasci m ⁻²
Superficie fogliare fascio	310 cm ² fascio ⁻¹
Biomassa epifiti/Biomassa fogliare	0
Profondità limite inferiore	38 m

Figura 3.27 Limiti di classe degli RQE per Elemento di Qualità Biologica “Posidonia oceanica”, e condizioni di riferimento riferiti ai valori dell’indice PREI. Fonte [D.M. 8 Novembre 2010, n. 260]

3.3.7 Caratterizzazione chimico-fisica della colonna d'acqua

Tale analisi verrà svolta direttamente in campo con l’ausilio di due sonde multiparametriche per la registrazione dei parametri chimico-fisici importanti per determinare le caratteristiche ambientali lungo la colonna d’acqua (in Figura sono rappresentate la sonda *Valeport MKIII* e la sonda *Horiba U52*).



Figura 3.28 Sonda multiparametrica Valeport MKIII (a sinistra), Sonda multiparametrica Horiba (a destra)

Per ogni stazione di campionamento verranno prelevati n. 3 campioni di acqua, su tre differenti livelli

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

di profondità, superficiale, intermedio e fondale, finalizzati alla determinazione in laboratorio dei solidi sospesi totali (SST) e della torbidità (NTU).



Figura 3.29 Bottiglia Niskin utilizzata per il campionamento di acqua

Tali parametri assumeranno una importanza fondamentale potendo essere assunti come dati di confronto in occasione del monitoraggio ambientale che dovrà essere eseguito durante l'esecuzione dei lavori.

Per la classificazione potranno essere sfruttate le stazioni di campionamento previste per lo studio delle biocenosi bentoniche, per ognuna delle quali saranno opportunamente riportati i riferimenti di posizione e profondità, sia sulle schede di campionamento che in planimetria.

Dal datalogger della sonda saranno registrati ed esportati i valori di temperatura (°C), conduttività (mS/cm), salinità (ppt), pH, ossigeno disciolto (mg/l), trasparenza (disco di Secchi), pressione (psi) e velocità del suono (m/s). Gli stessi saranno quindi elaborati per poter essere restituiti su specifiche tabelle riepilogative.

3.4 Piano di Caratterizzazione Ambientale dei materiali da ripascimento da effettuarsi in sede di progettazione esecutiva

3.4.1 Aspetti normativi

La natura dell'intervento è riconducibile al riutilizzo di terre e rocce da scavo, da qualificare come sottoprodotto, e pertanto il contesto normativo di riferimento è il seguente:

- **D.Lgs. 03/04/2006, n. 152** e s.m.i: "*Norme in materia ambientale*"; con particolare riferimento all'art. 184-bis;
- **D.P.R. 13/06/2017 n. 120**: "*Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164*";
- **Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), 2019** - "*Linee Guida (LG) sull'applicazione della disciplina per l'utilizzo di terre e rocce da scavo (TRS)*".

Inoltre, poiché tali terre e rocce dovranno essere riutilizzate ai fini di ripascimento, dovrà altresì essere verificata l'ulteriore normativa di settore:

- **D.M. 15/07/2016 n. 173** "*Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini*"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

- **ISPRA - Manuali e Linee Guida, 2017** - “Aspetti metodologici finalizzati all’applicazione dei saggi biologici previsti dall’allegato tecnico al D.M.173/16: Protocollo per la preparazione dell’elutriato. Quaderni di Ecotossicologia”;

3.4.2 Analisi comparativa dei siti di provenienza e dei siti di destinazione dei materiali da ripascimento

Nel progetto definitivo 2012 è stato redatto uno studio (cfr. elab. CZV0922 Studi propedeutici per impiego materiali di scavo per ripascimento coste PT. 1.) sui volumi potenzialmente destinati al ripascimento lungo le coste più prossime alle aree di scavo.

Dallo studio è emerso un volume complessivo pari a circa 3.000.000 m³, nei tratti costieri tra i Comuni di Monforte Sangiorgio e Saponara per uno sviluppo complessivo di circa 11 Km.

Nell’attuale fase di riavvio, è stato eseguito un analogo studio (la presente relazione).

Dall’analisi dei materiali di scavo è risultato reimpiegabile ai fini del ripascimento un volume di circa 1,8 milioni di m³.

Sia sui volumi provenienti dagli scavi che sui sedimenti già presenti lungo i litorali oggetto di intervento, nella successiva fase di progettazione esecutiva, si provvederà ad eseguire le indagini di caratterizzazione ambientale al fine di verificare i requisiti di qualità previsti dal Par. 3.1.2 dell’Allegato Tecnico al DM 173/16.



Figura 3.4.2.4.2.1 Siti di ripascimento studiati nel PD

3.4.3 Approccio metodologico per l’elaborazione del Piano di Caratterizzazione Ambientale dei materiali da ripascimento

Le terre e rocce da scavo da utilizzare ai fini di ripascimento, atteso che dovranno rispettare sia i **requisiti di sottoprodotto**, di cui all’**art. 184-bis del D.Lgs. 152/06** e al **DPR 120/17**, che la **qualità ambientale** necessaria al ripascimento di spiagge, come indicato dal **DM 173/16**, dovranno essere

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

caratterizzate diversamente da quelle destinate a riutilizzo a terra. Le indagini di caratterizzazione dovranno essere infatti conformi a tutte le citate normative, come peraltro indicato anche da ARPAS per situazioni analoghe.

Inoltre, in considerazione delle prescrizioni come da parere CTVA, è necessario condurre una: [...]

- *Caratterizzazione chimica, microbiologica e fisica dei materiali ai fini del ripascimento per la verifica di compatibilità tra i materiali da utilizzarsi e quelli già presenti sulla spiaggia, sede del progetto*
- *Verifica di esclusione di contaminazione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'art. 186 DLgs 152/2006 e ss.mm.ii., ovvero del Regolamento di cui al DM 161/2012*
- *Per la movimentazione dei sedimenti marini, verifica della compatibilità del materiale con le operazioni di ripascimento attraverso l'utilizzo del Manuale APAT-ICRAM*
- *Caratterizzazione dei materiali nel sito da ripascere e definizione delle modalità di campionamento con distanza non superiore a 200 m*
- *Verifica della compatibilità dei materiali anche dal punto di vista della granulometria, della tessitura e del colore*
- [...]

A tal fine, dovrà a tal fine essere condotta una **campagna di prelievo sia nell'area di scavo che in quella di ripascimento**, al fine di verificare la compatibilità al riutilizzo.

DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

Nelle aree di scavo il disegno di campionamento dovrà essere conforme a quanto indicato **nell'allegato 2 al DPR 120/17**, prevedendo un congruo numero di punti di indagine in funzione delle dimensioni di ciascuna area di scavo, come indicato nella figura.

Dimensione dell'area	Punti di prelievo
Inferiore a 2.500 metri quadri	3
Tra 2.500 e 10.000 metri quadri	3 + 1 ogni 2.500 metri quadri
Oltre i 10.000 metri quadri	7 + 1 ogni 5.000 metri quadri

Figura 4.2 Punti di indagine e dimensione area previsti nel Progetto Definitivo 2012.

La profondità d'indagine sarà pari alla profondità di scavo e in corrispondenza di ciascun punto di sondaggio dovranno essere prelevati i seguenti campioni:

- campione 1: da 0 a 1 m dal piano campagna;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

- campione 2: nella zona di fondo scavo;
- campione 3: nella zona intermedia tra i due.

Nelle aree di ripascimento dovrà essere prelevato un numero di campioni conforme a quanto previsto nel par. 3.1.2 dell'allegato del DM 173/16. In particolare dovrà essere prelevato almeno un campione ogni 500 m di spiaggia (minimo n. 2 campioni) più ulteriori n. 2 campioni di controllo, da prelevare a monte e a valle dell'area di ripascimento.

La planimetria dei punti di prelievo e la stima del numero dei campioni potranno essere elaborate a valle dell'esatta definizione delle aree e delle profondità di escavo, essendo da esse strettamente dipendenti.

ANALISI DI LABORATORIO

Su tutti i campioni prelevati dovranno essere condotte sia le analisi previste **dall'all. 4 del DPR 120/17**, sia quelle indicate nel cap. 2 dell'allegato del **DM 173/16**.

Le indagini saranno condotte da Enti e/o Istituti Pubblici di comprovata esperienza, oppure da laboratori privati accreditati per tutti i parametri utilizzati ai fini della classificazione.

Tutti i risultati delle indagini saranno riportati all'interno di specifici rapporti di prova.

Saranno condotte le seguenti tipologie di analisi:

1. Analisi chimiche;
2. Analisi fisiche;
3. Analisi eco-tossicologiche;
4. Analisi microbiologiche.

ANALISI CHIMICHE

Il set chimico-analitico, riportato nella tabella seguente, è stato definito sulla base di quanto riportato al par. 2.4.1 dell'allegato tecnico del DM 173/16, opportunamente integrato con quello dell'all. 4 del DPR 120/17. I parametri chimici aggiuntivi (i.e. *Sommatoria T.E., PCDD, PCDF (Diossine e Furani) e PCB - Diossina simili*) saranno determinati solamente nei campioni in cui sarà stato riscontrato per il parametro idrocarburi C>12 un valore superiore a 100 mg/kg.

Parametri chimici obbligatori	Specifiche	Limite di quantificazione
Metalli e metalloidi	As, Cd, Co, Cr _{tot} , Cr ^{VI} , Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	0,03 mg/kg (Cd e Hg); 1 mg/kg (altri)
Idrocarburi Policiclici Aromatici	Acenaftilene, Benzo(a)antracene, Fluorantene, naftalene, Antracene, Benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, Acenaftene, Fluorene, Fenantrene, Pirene, Dibenzo(a,h)antracene,	1 □g/kg

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

	crisene, Indeno(1,2,3,c-d)pirene e loro sommatoria	
Idrocarburi C>12		5 mg/kg
Pesticidi Organoclorurati	Clordano, Aldrin, Dieldrin, Endrin, α-HCH, β-HCH, γ-HCH (Lindano), DDD, DDT, DDE (per ogni sostanza la somma degli isomeri 2,4 e 4,4), HCB, eptacloro epossido	0,1 □g/kg
Policlorobifenili	Congeneri: PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169, PCB 180 e loro sommatoria	0,1 □g/kg
Composti organostannici	Monobutil, Dibutil, Tributilstagno e loro sommatoria	1 □g/kg
Carbonio organico totale		0,1 %
Altri parametri	BTEXS, amianto	
Parametri chimici aggiuntivi da eseguirsi solamente nei campioni in cui il valore del parametro idrocarburi C>12 risulti superiore a 100 mg/kg		
Sommatoria T.E., PCDD, PCDF (Diossine e Furani) e PCB (Diossina simili)	Elenco di cui alle note della tabella 3/A di cui al D.lgs 172/2015	D.lgs. 172/2015

Tabella 3.1 Set chimico-analitico

ANALISI FISICHE

Eventuale ghiaia e detrito conchigliare presenti nel campione saranno separati dalle frazioni sabbiosa e fangosa mediante setacciamento. Saranno quindi determinate le frazioni granulometriche e il sedimento sarà classificato esprimendo le percentuali di sabbia, silt e argilla. Qualora il campione, preliminarmente privato delle eventuali componenti antropiche e naturali (vedi sopra) di dimensioni superiori a 5 mm, risultasse costituito da oltre l'80% di ghiaia (diametro > 2 mm), le analisi chimiche potranno essere omesse, a meno di macroscopiche evidenze di inquinamento.

ANALISI ECOTOSSICOLOGICHE

Le indagini ecotossicologiche saranno effettuate utilizzando una batteria di saggi biologici acuti e cronici con 3 organismi appartenenti a gruppi tassonomici diversi, secondo le indicazioni riportate al par. 2.3.1 dell'allegato del DM 173/16.

I vari saggi avranno sempre il controllo del bianco per ogni campione ed un *reference test* per ogni lotto di campagna di monitoraggio o per lotto di organismi.

Per la metodologia e la determinazione dei giudizi di tossicità sui singoli saggi, verranno seguite le linee guida nazionali (Manuale ISPRA 67/2011, APAT-ICRAM 6770/2007, allegato tecnico del D.L. 173/2016 e varie relazioni di studi effettuati o coordinati da ISPRA).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

ANALISI MICROBIOLOGICHE

Le analisi microbiologiche saranno effettuate su tutti i campioni prelevati eseguendo la valutazione della contaminazione fecale recente e passata attraverso la quantificazione di microorganismi indicatori quali ad esempio Enterococchi fecali ed *Escherichia coli*.

Le analisi saranno condotte in accordo con le metodologie congiuntamente proposte da IRSA e CNR.

CLASSIFICAZIONE DEI SEDIMENTI

I risultati delle indagini di laboratorio saranno funzionali alla determinazione delle classi di qualità dei sedimenti, che sarà ottenuto mediante i criteri di integrazione ponderata previsti dal DM 173/2016, mediante utilizzo del software *SEDIQUALSOFT* fornito da ISPRA.

3.5 Metodologia di progettazione integrata degli interventi di ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione

3.5.1 Aspetti normativi

La normativa da considerare nella progettazione degli interventi di ripascimento può essere suddivisa in due tipologie: le norme di natura *cogente*, e in quanto tali di obbligata applicazione, e le norme di natura *non cogente*, quali linee-guida, *best practices* etc. che, seppur non di obbligata applicazione, si ritiene di dover tenere in debita considerazione al fine di elaborare una progettazione allo stato dell'arte.

NORMATIVA COGENTE

Di seguito la normativa cogente da applicarsi alla progettazione degli interventi di ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione (la normativa è di seguito riportata in ordine cronologico inverso):

- D.M. n. 152 del 27 settembre 2022 - "*Regolamento che disciplina la cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione e di altri rifiuti inerti di origine minerale, ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152*"
- C.S.LL.PP., Circolare n. 7 del 21-01-2019 - "*Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018*";
- D.M. Ministero Infrastrutture del 17-01-2018 - "*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*";
- L.R. 21 dicembre 2005, n. 17 della Regione Calabria. "Norme per l'esercizio della delega di funzioni amministrative sulle aree del demanio marittimo".D.P.R. 13/06/2017 n. 120. "*Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai*

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164"

- D.M. 15/07/2016 n. 173. "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini"
- D.Lgs. 03/04/2006, n. 152 e s.m.i. - "Norme in materia ambientale";
- UNI EN 1997-1:2005 - "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Regole generali";
- UNI EN 1998-5:2005 - "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Ministero dei LL.PP. - CSLLPP e Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1996 - "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime".

Va segnalato altresì che in base a quanto disposto dall'art. 48 del D.L. 13/23 del 24/02/23 e dalla relativa legge di conversione n. 41 del 21/04/23, entro ottobre 2023 deve essere emanato **un nuovo decreto avente ad oggetto la disciplina semplificata per la gestione delle terre e rocce da scavo** con l'obiettivo di revisionare la normativa vigente al fine di assicurare il rispetto delle tempistiche del PNRR per la realizzazione delle opere programmate.

NORMATIVA NON COGENTE

Di seguito la normativa non cogente, costituita da Linee Guida, Manuali e Best Practices che verrà comunque applicata alla progettazione degli interventi di ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione, al fine di elaborare una progettazione allo stato dell'arte (la normativa è di seguito riportata in ordine cronologico inverso)

- Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), 2019 - "Linee Guida (LG) sull'applicazione della disciplina per l'utilizzo di terre e rocce da scavo (TRS)"
- Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera (TNEC - MATTM-Regioni, con il coordinamento tecnico di ISPRA), 2018 - "Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018";
- ISPRA - Manuali e Linee Guida, 2017 - "La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere";
- ISPRA - Manuali e Linee Guida, 2017 - "Aspetti metodologici finalizzati all'applicazione dei saggi biologici previsti dall'allegato tecnico al D.M.173/16: Protocollo per la preparazione dell'elutriato. Quaderni di Ecotossicologia";
- Danish Hydraulic Institute (DHI), 2017 - "Shoreline Management Guidelines";
- CIRIA-CUR-CETMEF-C683, 2007 - "The Rock Manual. The use of Rock in hydraulic engineering (2nd edition)";

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

- Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT), 2007 - "*Atlante delle opere di sistemazione costiera*"
- Associazione Geotecnica Italiana (AGI), 2005 - "*Linee Guida agli aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche*"
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE), 2007 - "*Coastal Engineering Manual*".

Come precedentemente accennato, si precisa ulteriormente che costituisce fattore fondamentale per lo sviluppo progettuale la valutazione accurata del fenomeno del **Sea Level Rise** – ossia l'innalzamento progressivo del livello marino – la cui tematica trova sempre più spazio all'interno delle attività di progettazione e in special modo per infrastrutture di opere portuali e marittime e di difesa costiera, tra cui interventi di ripascimento e relative opere di stabilizzazione

3.5.2 Quadro fisico e ambientale dei siti di progetto



La base conoscitiva del Progetto Esecutivo sarà costituita dai report di dettaglio riportanti il quadro completo fisico e ambientale di ciascun sito di intervento, in cui saranno compiutamente descritte le attività di campo e di laboratorio svolte e i relativi risultati, con specifico riferimento a quanto già metodologicamente illustrato ai precedenti paragrafi e in particolare:

- Rilievo Topo-Batimetrico integrato e Ambientale dei siti di oggetto di ripascimento
 - Rilievo topografico aree emerse
 - Rilievo batimetrico aree sommerse
 - Rilievo SBP (sub-bottom profiler) dei fondali di progetto
 - Rilievo SSS (side-scan sonar) dei fondali di progetto e implementazione della mappatura delle biocenosi costiere
 - Rilievo ROV (remote-operate veichle) dei fondali di progetto con esecuzione di video-transetti (per verifica visiva mappatura biocenosi)
 - Prelievi di campioni di benthos e relative analisi di laboratorio per la caratterizzazione ambientale delle biocenosi costiere
 - Caratterizzazione chimico-fisica della colonna d'acqua
- Caratterizzazione Ambientale dei materiali da ripascimento

Si rinvia ai precedenti paragrafi per la descrizione dettagliata delle attività che saranno eseguite.

3.5.3 Studio di dettaglio delle Unità Fisiografiche di ricadenza dei litorali oggetto di ripascimento

3.5.3.1 Definizione topo-batimetrica dell'Unità Fisiografica di appartenenza di ciascun

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

litorale oggetto di ripascimento

Per la definizione topo batimetrica dei litorali oggetto di ripascimento individuati nel progetto definitivo si possono utilizzare le carte nautiche presenti in letteratura o in siti specializzati come quelle riportate nelle seguenti figure.

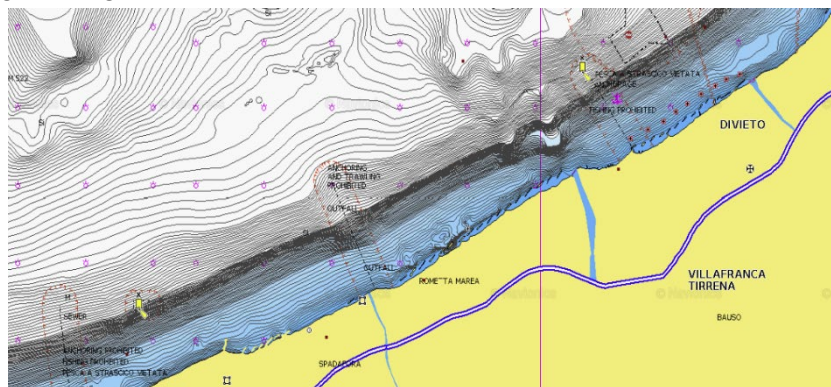


Figura 3.5.1 Carta nautica Unità fisiografica 1 in scala 1:100000

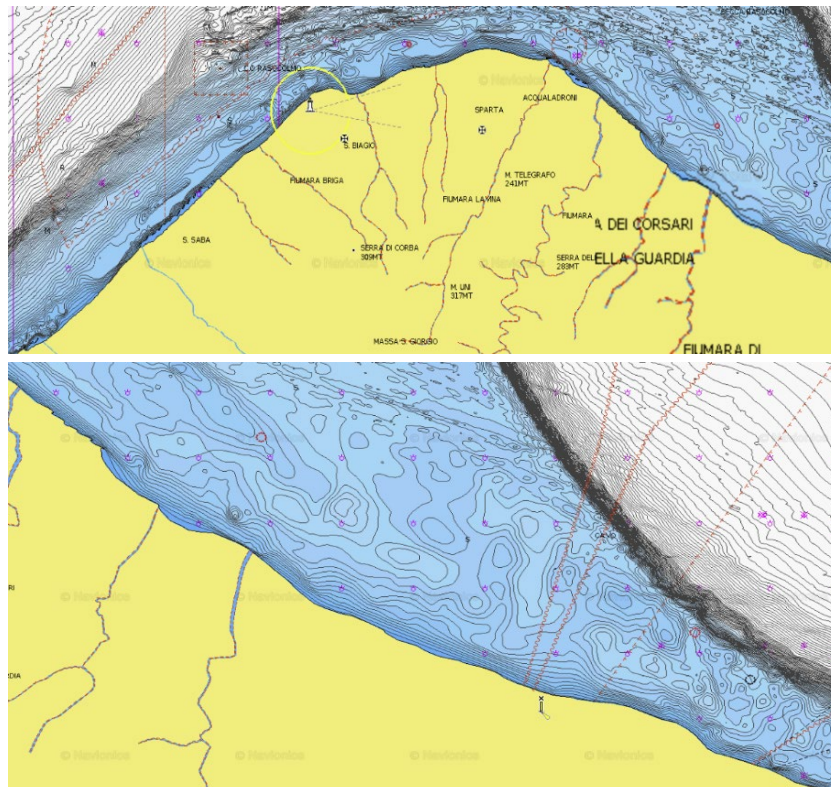


Figura 3.5.2 Carta nautica di dettaglio dei litorali di Ortoliuzzo, Rodia, Calamona, Sparta, Mezzana, Tono e Casabianca.

Più nel dettaglio andando a considerare i singoli paraggi interessati dal progetto definitivo a monte di un rilievo di dettaglio possono essere usate carte nautiche con un dettaglio maggiore al fine di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

determinare sia un modello di calcolo adeguato per il clima meteo marino e per la dinamica litorale sia per individuare la soluzione progettuale adeguata al paraggio perso in esame. Si illustrano in foto gli estratti dei paraggi interessati agli interventi di ripascimento (fonte navionics.it)

In relazione alla configurazione costiera rappresentata e all'esposizione del tratto di costa di tale unità fisiografica le mareggiate sono prevalentemente legate ai venti provenienti dal I e dal IV quadrante (grecale, tramontana, maestrale) e a causa di ciò la deriva netta dei sedimenti dei tratti di costa esposti è verso levante (est).

3.5.3.2 Analisi dei contenuti e delle previsioni del PAI Coste per l'U.F. di appartenenza

I siti di interesse ricadenti nel progetto definitivo sono posizionati nella porzione nord-orientale della Sicilia e come descritto nei precedenti paragrafi sono:

- Valdina;
- Spadafora;
- Rometta;
- Villafranca Tirrena;
- Ortoliuzzo;
- Rodia – Giudeo;
- Calamona – Giudeo;
- Calamona – Rosocloro;
- Spartà;
- Mezzana – Tono;
- Tono – Casabianca;

Essi fanno parte dell'unità fisiografica 1, e si estendono per una lunghezza di circa 20 km, sono composti per la maggior parte da sabbia mista a ciottoli (73%). In relazione alla configurazione costiera e all'esposizione del tratto di costa di tale unità fisiografica le mareggiate sono prevalentemente legate ai venti provenienti dal I e dal IV quadrante (grecale, tramontana, maestrale).

Gli eventi estremi e i moti ondosi più intensi sono generalmente legati al vento di maestrale (NO), e a causa di ciò la deriva netta dei sedimenti dei tratti di costa esposti in questa unità fisiografica è verso levante (est).

A causa di tale conformazione le spiagge ricadenti in questa unità fisiografica sono in continuo e costante arretramento che negli hanno a comportato la perdita di sedimenti anche per decine di metri. Le possibili soluzioni proposte nel PAI prevedono la realizzazione di ripascimenti protetti da

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

opere rigide che dovranno essere progettate, a valle di studi modellistici sul clima meteo-marino e sulla dinamica del litorale, al fine di ottenere un bilancio netto nullo nel trasporto di sedimenti.

Oltre ai ripascimenti sopra descritti le possibili soluzioni sono:

- Barriere sommerse, con sommergenza tale da ridurre l'energia del moto ondoso incidente sulla linea di riva;
- Pennelli trasversali al fine di trattenere il sedimento che si mobilita cross-shore alla costa;
- Barriere emerse.
- Soglie di contenimento.

3.5.3.3 **Analisi delle previsioni del PRCEC (Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera, apprezzato con D.G.R. n. 290/2020) in merito ai litorali di progetto**

Il PRCEC fornisce, inoltre, serie di indicazioni relative alle tipologie di interventi che possono essere realizzati lungo le coste siciliane per il contrasto all'erosione.

La formulazione di tali proposte avviene in conformità alle Linee Guida Nazionali per la Difesa della Costa dai Fenomeni di Erosione e dagli Effetti dei Cambiamenti Climatici del TNEC (MATTM-Regioni, 2018). Seguendo l'approccio del PRCEC, appare qui opportuno sottolineare come gli interventi di difesa della costa debbano essere programmati alla scala dell'unità fisiografica di III ordine.



Ciò che prevalentemente interessa sapere in questo specifico contesto è la difesa dall'erosione sulle coste basse, dunque spiagge.

La dinamica evolutiva delle coste basse è essenzialmente legata alle caratteristiche del trasporto solido, sia in termini di input dall'entroterra, sia in termini di movimenti interni al sistema litoraneo stesso. Pertanto, la ricostituzione della resilienza di tali sistemi costieri è legata alla possibilità di ripristinare l'equilibrio del bilancio sedimentario. Gli interventi di difesa vengono qui distinti in:

1. interventi per la riduzione delle perdite di sedimenti dal sistema litoraneo;
2. interventi per l'alimentazione del sistema litoraneo, da fonti interne e da fonti esterne.

Tra gli interventi per la gestione ottimale dei sedimenti di spiaggia, va sottolineata anche la possibilità di ricostruire i sistemi dunali, ove questi siano minacciati o siano andati perduti a causa della pressione antropica sulle coste.

Gli interventi per la riduzione delle perdite dei sedimenti e per il contrasto all'arretramento della linea di riva includono sia tutte quelle opere che possono consentire la riduzione dell'impatto del moto ondoso incidente sulla costa (per esempio, barriere frangiflutti emerse o sommerse), sia tutti quegli interventi che contribuiscono a ridurre il trasporto solido litoraneo (per esempio, pennelli,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

headlands). Infine, tra gli interventi per il contrasto all'erosione, vengono qui ricordate le cosiddette Nature-Based-Solutions (NBS), che, seguendo la filosofia del "Building with Nature" (i.e. Costruire con la Natura), prevedono una serie di misure in cui sono i processi fisici e biologici a contribuire a mitigare le perdite di sedimenti. Tra questi interventi, in ambito costiero, si ricordano la creazione di zone umide, il reimpianto di specie vegetali sub-aeree o sommerse, la realizzazione di barriere coralline, gli stessi interventi di ricostituzione dei sistemi dunali, etc.

In Sicilia, le misure per l'alimentazione del sistema litoraneo essenzialmente attraverso interventi di ripascimento degli arenili sono generalmente da preferire, avendo tuttavia bene in mente che tali interventi, pur offrendo un immediato ampliamento delle spiagge e avanzamento della linea di costa, non agiscono sulle cause dell'erosione e hanno bisogno di successive e pianificate operazioni di manutenzione e ricarica.

	Ambiti di azione	Possibili azioni/misure
Riduzione delle perdite di sedimenti dal sistema litoraneo	Gestione dei sedimenti di spiaggia	Operazioni corrette di pulizia dei sedimenti di spiaggia (inclusa gestione delle biomasse)
		Interventi a difesa e per la ricostruzione dei sistemi dunali
		Trappole eoliche
	Opere per la riduzione delle perdite di sedimenti e dell'arretramento	Interventi e opere per la riduzione del moto ondoso incidente (incluso adattamento di opere esistenti)
		Interventi e opere per la riduzione del trasporto solido litoraneo (incluso adattamento di opere esistenti)
		Nature-Based-Solutions
Alimentazione del sistema litoraneo	Apporti di sedimenti esterni al sistema litoraneo	Ripascimenti da depositi off-shore
		Azioni volte al ripristino del trasporto solido fluviale (inclusi i dragaggi dei serbatoi)
		Scavi nell'entroterra costiero
	Apporti di sedimenti interni al sistema litoraneo	Depositi litoranei emersi
		Depositi litoranei sommersi
		Azioni di dragaggio di porti

Figura 3.5.3 Matrice delle azioni/ misure per il contrasto all'erosione costiera dei litorali siciliani. (Fonte: PRCEC)

Gli interventi di ripascimento artificiale, protetti o meno, che per stabilizzare la spiaggia forniscono la proprietà intrinseca delle spiagge di dissipare l'energia delle onde incidenti possono essere annoverati tra gli interventi resilienti di contrasto all'erosione costiera. Così, lo sversamento di materiale di prestito sulla spiaggia può essere considerato un vero e proprio intervento di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

stabilizzazione. Si forma una nuova spiaggia e subito dopo va mantenuta in equilibrio affinché sia una spiaggia protettiva, dissipativa, resiliente. Per tale ragione possono essere considerate misure di protezione ausiliare, come le opere rigide.

La spiaggia tende comunque a perdere una percentuale del materiale introdotto in quanto il ripascimento non interviene affatto sulle cause di erosione, per questo deve essere ricaricata periodicamente a seguito di un adeguato programma di monitoraggio.

Nel caso in esame, dunque, la previsione progettuale di interventi di ripascimento costiero è conforme alle indicazioni relative alle azioni di contrasto dell'erosione costiera proposta dal PRCEC.

CARATTERISTICHE DEI SEDIMENTI DI SPIAGGIA

Il litorale settentrionale, oggetto del presente studio, è quello meno omogeneo infatti si alternano spiagge nelle quali si ha una predominanza di clasti quarzosi a spiagge nelle quali la predominanza è carbonatica. Mentre, il settore orientale presenta calcite con percentuali che variano dal 12,0 al 76,0%. L'unico campione che presenta una predominanza di quarzo è quello della Playa di Catania.

AREE DI STOCCAGGIO

Un aspetto connesso agli scavi definiti all'interno della proposta progettuale, connessi eventualmente (previa caratterizzazione ai sensi del D.M. 173/2016) agli interventi di ripascimento, è quello relativo all'esigenza di costituire delle aree di stoccaggio di sedimenti da sfruttare all'esigenza, senza andare ad inficiare il paesaggio costiero o ad incastrarsi nelle norme e nei vincoli connessi alle aree portuali. Una possibilità, dunque, potrebbe essere quella di stoccare i sedimenti o in mare aperto a profondità non raggiunte dalle onde e in aree con limitata corrente oppure direttamente sotto il pelo dell'acqua, in mare non molto profondo, in zone costiere riparate così da evitare l'impatto visivo.

3.5.3.4 Analisi storica delle linee di riva dell'U.F. e identificazione dei tratti in erosione e dei tratti in avanzamento su base cartografica

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha condotto diversi studi su gli arretramenti della linea di costa. In particolare, il bilancio delle variazioni è stato eseguito ponendo a confronto le linee di riva del 1960, del 1994 e quella del 2012. Le elaborazioni hanno consentito di definire un ordine di grandezza delle superfici e dei tratti costieri che hanno subito arretramento o avanzamento nei tre periodi di osservazione.

Le figure e le tabelle esposte nel seguito rappresentano le variazioni avvenute rispettivamente nei periodi 1960-1994, 1994-2012 e le variazioni del periodo più ampio 1960-2012.

Nel secondo periodo di osservazione sono registrate limitate controtendenze e risultano nuovi tratti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

coinvolti da fenomeni di variazioni della linea di riva, segno che il fenomeno è in evoluzione.

Nelle tabelle sono riportati i valori delle elaborazioni eseguite su base regionale e nazionale, nelle quali si possono cogliere nel dettaglio i fenomeni di variazione della linea di riva registrati.

I dati elaborati indicano che tra il 1960 e il 1994, la costa siciliana ha subito, lungo tratti per complessivi 334.9 km, un arretramento quantificabile in 12 km²; mentre, lungo tratti complessivi di costa di 184.5 km, ha registrato un avanzamento di 6 km².

Questi dati tengono conto della pesante perdita di sedimenti, dovuta soprattutto ai prelievi di inerti in alveo, avvenuti durante la crescita edilizia ed economica del Paese a partire dagli anni '60.

Il bilancio sedimentario costiero tra il 1994 e il 2012, invece, indica che la costa siciliana ha subito, lungo tratti per complessivi 196.3 km, un arretramento quantificabile in 3 km²; mentre, lungo tratti complessivi di costa di 99.7 km, si è riscontrato avanzamento con 1.6 km².

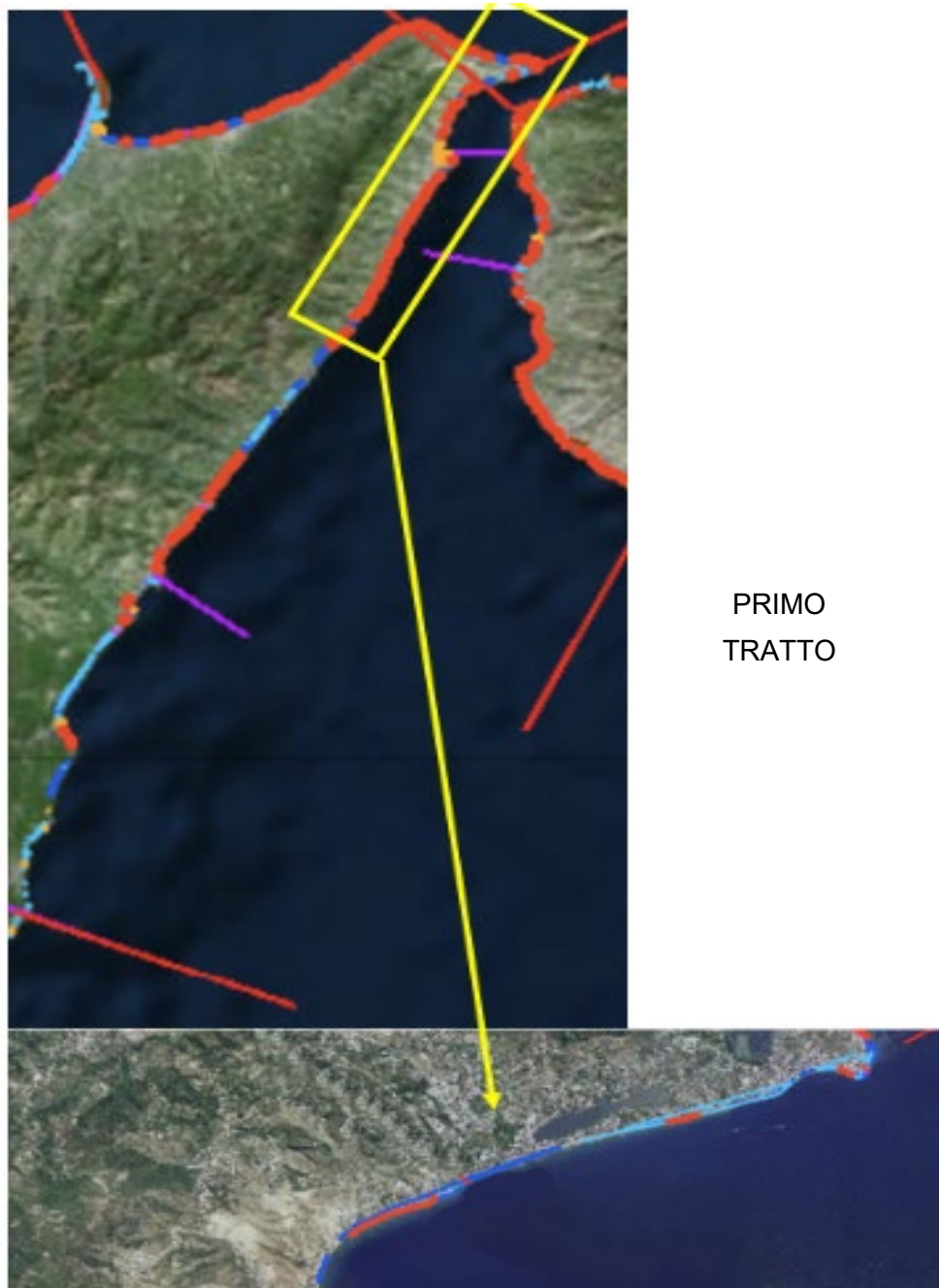
Facendo il bilancio tra il 1960 e il 2012, risulta che la costa siciliana ha subito, lungo tratti per complessivi 365.9 km, un arretramento quantificabile in 13.4 km²; mentre, lungo tratti complessivi di costa di 187.9 km, ha registrato un avanzamento di 5.9 km².

Un risultato significativo delle nuove elaborazioni è rappresentato dalla progressiva perdita di sedimenti in corrispondenza delle foci dei fiumi che, registrano importanti arretramenti dei corpi sedimentari di foce fluviale. Questo è il principale sintomo della continua riduzione degli apporti sedimentari dai corsi d'acqua, a cui consegue l'indebolimento dei corpi sedimentari che formano le spiagge sommerse.

Inoltre, i bilanci complessivi tra le superfici di arretramento e avanzamento risultano fortemente negativi per tutti i periodi considerati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

UNITÀ FISIOGRAFICA 1



PRIMO
TRATTO

Figura 3.5.4 Identificazione dell'UF 1, con particolare del primo tratto di costa)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

Risultati Ricerca

RISCHIO BENI ESPOSTI
 UNITA FISIOGRAFICHE
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994

Record trovati: 12

OBJECTID	REGIONE	TIPO	AREA	LUNGHEZZA
6984	SICILIA	avanzamento 94_12	1278	178
6985	SICILIA	avanzamento 94_12	310	75
6988	SICILIA	avanzamento 94_12	8332	372
6991	SICILIA	avanzamento 94_12	3855	716
6992	SICILIA	avanzamento 94_12	1749	326
6993	SICILIA	avanzamento 94_12	945	197
6994	SICILIA	avanzamento 94_12	20196	696
7342	SICILIA	arretramento 94_12	18168	1234
7343	SICILIA	arretramento 94_12	741	128
7345	SICILIA	arretramento 94_12	850	76
7346	SICILIA	arretramento 94_12	4118	218
7347	SICILIA	arretramento 94_12	1082	161

Risultati Ricerca

RISCHIO BENI ESPOSTI
 UNITA FISIOGRAFICHE
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994

Record trovati: 6

OBJECTID	REGIONE	AREA	LUNGHEZZA	TIPO
2908	SICILIA	24510	1552	arretramento 60_94
2909	SICILIA	5155	254	arretramento 60_94
3948	SICILIA	4538	258	avanzamento 60_94
3949	SICILIA	9974	798	avanzamento 60_94
3950	SICILIA	140926	2951	avanzamento 60_94
3951	SICILIA	5735	418	avanzamento 60_94

Risultati Ricerca

RISCHIO BENI ESPOSTI
 UNITA FISIOGRAFICHE
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994

Record trovati: 12

OBJECTID	REGIONE	TIPO	AREA	LUNGHEZZA
3623	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	1092	161
3624	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	1187	100
3628	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	22569	1492
5179	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	130539	2972
5180	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	5049	698
5181	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	4322	840
5182	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	2002	128
5183	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	1344	202
5184	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	957	197
5185	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	18226	400
5174	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	37882	1492
5176	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	6074	416

Figura 3.5.5 Valori delle elaborazioni eseguite su base regionale per i periodi di riferimento: 1960-1994, 1994- 2012, 1960- 2012. UF 1, con particolare del primo tratto di costa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

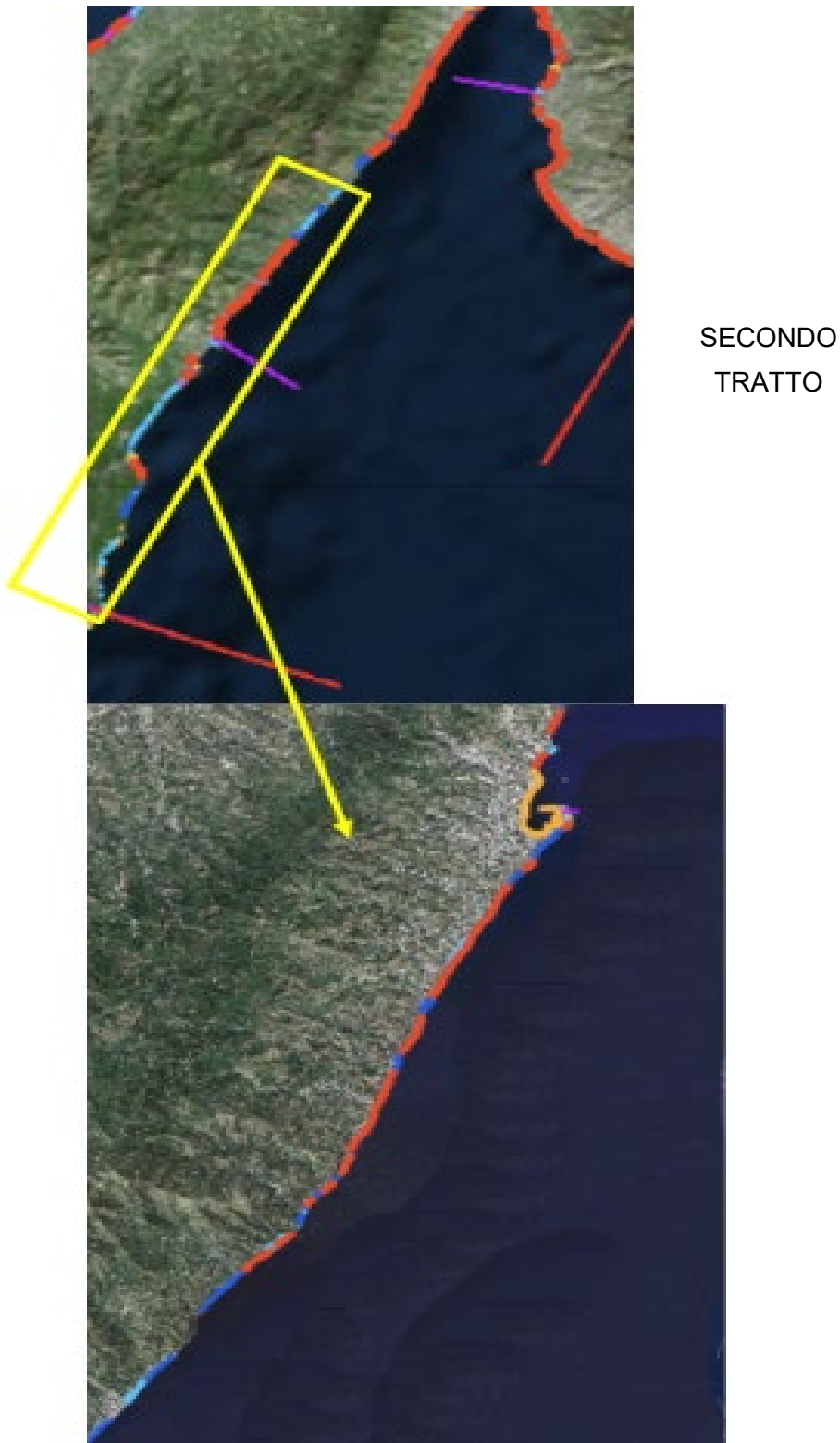


Figura 3.5.6 Identificazione dell'UF 1, con particolare del secondo tratto di costa)

Risultati Ricerca

RISCHIO BENI ESPOSTI | PORTI 2012 | UNITA FIOGRAFICHE | **VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012**
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012 | VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994

Record trovati: 16

OBJECTID	REGIONE	AREA	LUNGHEZZA	TIPO
2910	SICILIA	5753	301	arretramento 60_94
2911	SICILIA	13766	422	arretramento 60_94
2912	SICILIA	42772	1712	arretramento 60_94
2913	SICILIA	9162	458	arretramento 60_94
3952	SICILIA	26825	734	avanzamento 60_94
3953	SICILIA	117036	3390	avanzamento 60_94
3954	SICILIA	58013	2164	avanzamento 60_94
3955	SICILIA	34980	1452	avanzamento 60_94
3956	SICILIA	186231	5088	avanzamento 60_94
3957	SICILIA	22965	802	avanzamento 60_94
3958	SICILIA	42695	1402	avanzamento 60_94
3959	SICILIA	9012	670	avanzamento 60_94
3960	SICILIA	10659	914	avanzamento 60_94
3961	SICILIA	66332	3758	avanzamento 60_94
3962	SICILIA	35539	1980	avanzamento 60_94
3963	SICILIA	103937	7345	avanzamento 60_94

Risultati Ricerca

RISCHIO BENI ESPOSTI | PORTI 2012 | UNITA FIOGRAFICHE | **VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012**
 VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012 | VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994

Record trovati: 25

OBJECTID	REGIONE	TIPO	AREA	LUNGHEZZA
6944	SICILIA	avanzamento 94_12	4689	234
6949	SICILIA	avanzamento 94_12	28450	654
6950	SICILIA	avanzamento 94_12	629	139
6977	SICILIA	avanzamento 94_12	5790	461
7284	SICILIA	arretramento 94_12	13265	1258
7285	SICILIA	arretramento 94_12	7408	358
7309	SICILIA	arretramento 94_12	71555	3585
7314	SICILIA	arretramento 94_12	3800	286
7323	SICILIA	arretramento 94_12	4200	347
7328	SICILIA	arretramento 94_12	9115	399
7333	SICILIA	arretramento 94_12	5248	542
6904	SICILIA	avanzamento 94_12	3146	496
6923	SICILIA	avanzamento 94_12	4273	442
6929	SICILIA	avanzamento 94_12	5289	316
6934	SICILIA	avanzamento 94_12	3356	358
6936	SICILIA	avanzamento 94_12	19261	1048
6939	SICILIA	avanzamento 94_12	5048	274
7230	SICILIA	arretramento 94_12	4492	570
7232	SICILIA	arretramento 94_12	8559	824
7245	SICILIA	arretramento 94_12	6129	1020
7249	SICILIA	arretramento 94_12	4963	557
7255	SICILIA	arretramento 94_12	1307	238
7258	SICILIA	arretramento 94_12	2534	400
7260	SICILIA	arretramento 94_12	1298	286
7271	SICILIA	arretramento 94_12	45667	1916

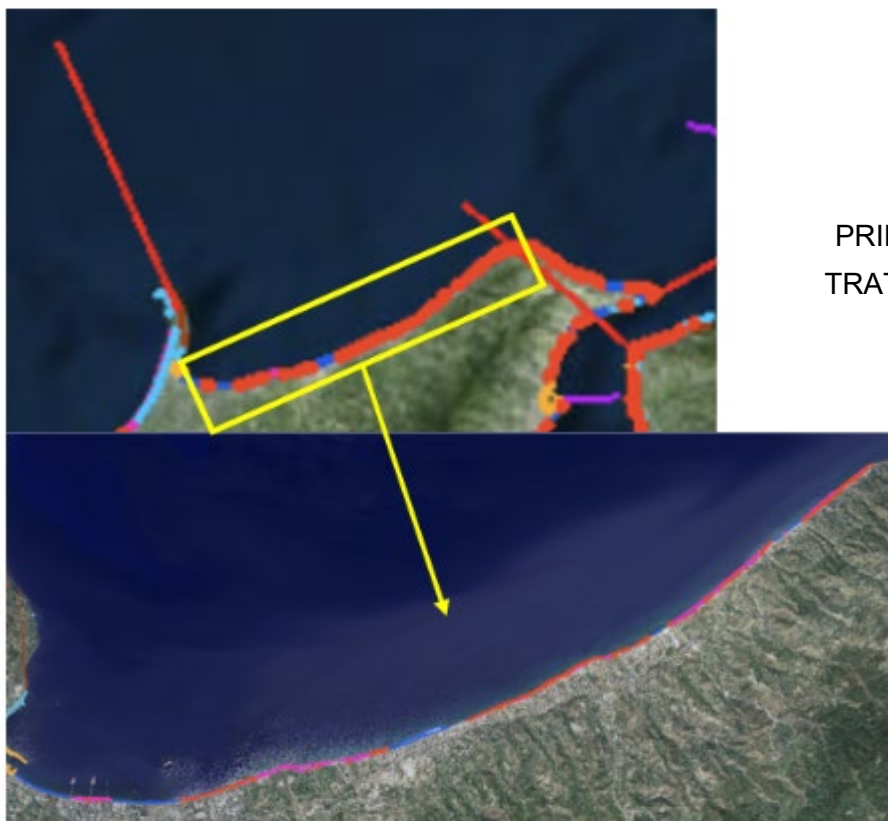
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

Risultati Ricerca					
RISCHIO BENI ESPOSTI		PORTI 2012	UNITA FIOGRAFICHE	VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012	
VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012			VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994		
Record trovati: 26					
OBJECTID	REGIONE	TIPO	AREA	LUNGHEZZA	
3552	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	6195	340	
3556	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	12538	1091	
3563	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	36952	1799	
3577	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	13596	766	
3581	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	4048	452	
3582	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	459	83	
3588	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	4556	326	
3603	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	9017	428	
3613	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	5774	301	
5099	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	90108	6210	
5104	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	35672	1981	
5109	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	2904	338	
5112	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	46467	2437	
5116	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	1433	333	
5120	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	5433	588	
5124	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	20239	874	
5129	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	59029	1831	
5130	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	372	99	
5132	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	428	104	
5148	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	182886	3676	
5150	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	4738	396	
5154	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	12423	604	
5159	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	25496	844	
5163	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	37272	1398	
5166	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	66823	1973	
5171	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	21627	734	

Figura 3.5.7 (da pag. precedente) Valori delle elaborazioni eseguite su base regionale per i periodi di riferimento: 1960- 1994, 1994- 2012, 1960- 2012. UF 1, con particolare del secondo tratto di costa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

UNITÀ FISIOGRAFICA 10



PRIMO
TRATTO

Figura 3.5.8 Identificazione dell'UF 10, con particolare del primo tratto di costa)

Risultati Ricerca					
RISCHIO BENI ESPOSTI	PORTI 2012	UNITA FISIOGRAFICHE	VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012		
		VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012	VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994		
Record trovati: 14					
OBJECTID	REGIONE	AREA	LUNGHEZZA	TIPO	
2897	SICILIA	40577	1074	arretramento 60_94	
2898	SICILIA	171383	4261	arretramento 60_94	
2899	SICILIA	54827	1381	arretramento 60_94	
2900	SICILIA	132189	3852	arretramento 60_94	
2901	SICILIA	11435	592	arretramento 60_94	
2902	SICILIA	24744	1016	arretramento 60_94	
2903	SICILIA	160309	3913	arretramento 60_94	
2904	SICILIA	90466	1666	arretramento 60_94	
2905	SICILIA	157791	5400	arretramento 60_94	
3075	SICILIA	640190	18293	arretramento 60_94	
3939	SICILIA	31788	1705	avanzamento 60_94	
3940	SICILIA	34070	1810	avanzamento 60_94	
3941	SICILIA	110822	1776	avanzamento 60_94	
3942	SICILIA	13120	732	avanzamento 60_94	

Risultati Ricerca

RISCHIO BENI ESPOSTI	PORTI 2012	UNITA FIOGRAFICHE	VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012
VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012		VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994	

Record trovati: 18

OBJECTID	REGIONE	TIPO	AREA	LUNGHEZZA
6983	SICILIA	avanzamento 94_12	11637	506
6986	SICILIA	avanzamento 94_12	14646	1089
6987	SICILIA	avanzamento 94_12	10274	439
6989	SICILIA	avanzamento 94_12	3620	274
6990	SICILIA	avanzamento 94_12	9547	648
6998	SICILIA	avanzamento 94_12	18484	1155
6999	SICILIA	avanzamento 94_12	1560	225
7337	SICILIA	arretramento 94_12	9973	824
7338	SICILIA	arretramento 94_12	2421	210
7339	SICILIA	arretramento 94_12	524	98
7340	SICILIA	arretramento 94_12	1302	238
7341	SICILIA	arretramento 94_12	4741	240
7344	SICILIA	arretramento 94_12	3644	250
7348	SICILIA	arretramento 94_12	58292	1498
7349	SICILIA	arretramento 94_12	6997	392
7353	SICILIA	arretramento 94_12	2269	368
6982	SICILIA	avanzamento 94_12	13077	1009
7332	SICILIA	arretramento 94_12	9286	693

Risultati Ricerca

RISCHIO BENI ESPOSTI	PORTI 2012	UNITA FIOGRAFICHE	VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012
VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012		VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994	

Record trovati: 19

OBJECTID	REGIONE	TIPO	AREA	LUNGHEZZA
3625	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	205551	3566
3626	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	782	118
3629	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	77902	1560
3633	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	158140	5400
5177	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	2230	415
5178	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	990	123
5186	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	4535	340
5189	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	7524	508
3615	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	40642	1074
3616	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	167853	4262
3618	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	54912	1381
3619	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	146322	4465
3620	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	5377	364
3621	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	7368	412
3622	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	681368	18290
5168	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	34180	1810
5170	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	31896	1705
5172	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	110933	1776
5175	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	1032	123

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

Risultati Ricerca					
RISCHIO BENI ESPOSTI		PORTI 2012	UNITA FISIOGRAFICHE	VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012	
VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012			VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994		
Record trovati: 19					
OBJECTID	REGIONE	TIPO	AREA	LUNGHEZZA	
3625	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	205551	3566	
3626	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	782	118	
3629	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	77902	1560	
3633	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	158140	5400	
5177	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	2230	415	
5178	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	990	123	
5186	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	4535	340	
5189	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	7524	508	
3615	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	40642	1074	
3616	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	167853	4262	
3618	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	54912	1381	
3619	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	146322	4465	
3620	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	5377	364	
3621	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	7368	412	
3622	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	681368	18290	
5168	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	34180	1810	
5170	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	31896	1705	
5172	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	110933	1776	
5175	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	1032	123	

Figura 3.5.9 (da pag. precedente) Valori delle elaborazioni eseguite su base regionale per i periodi di riferimento: 1960- 1994, 1994- 2012, 1960- 2012. UF 10, con particolare del primo tratto di costa

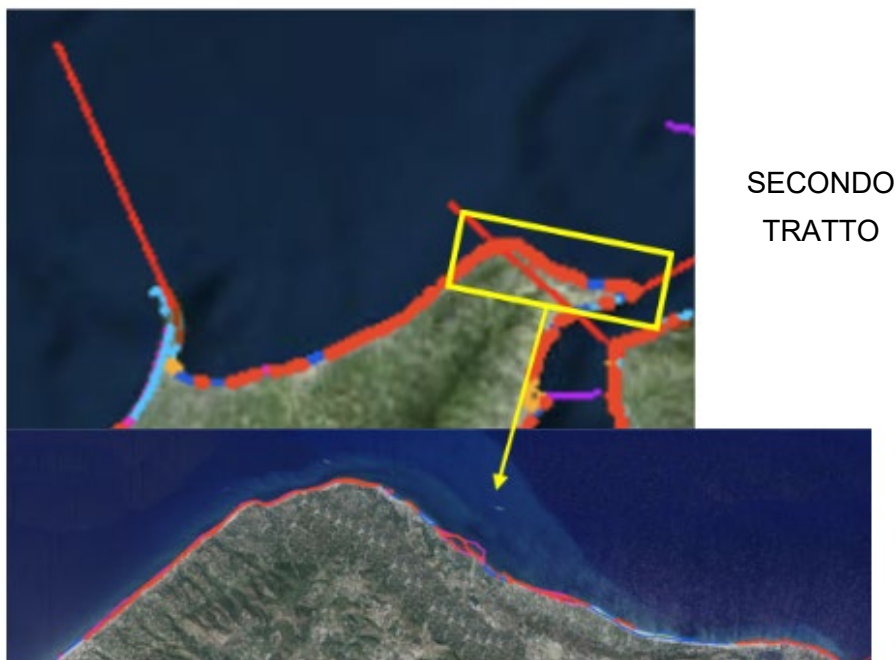


Figura 3.5.10 Identificazione dell'UF 10, con particolare del secondo tratto di costa

Risultati Ricerca

RISCHIO BENI ESPOSTI | UNITA FISIOGRAFICHE | **VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012**

VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012 | VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994

Record trovati: 13

OBJECTID	REGIONE	AREA	LUNGHEZZA	TIPO
2903	SICILIA	160309	3913	arretramento 60_94
2904	SICILIA	90466	1666	arretramento 60_94
2905	SICILIA	157791	5400	arretramento 60_94
2906	SICILIA	137181	1355	arretramento 60_94
2907	SICILIA	36670	870	arretramento 60_94
2908	SICILIA	24510	1552	arretramento 60_94
3942	SICILIA	13120	732	avanzamento 60_94
3943	SICILIA	5216	359	avanzamento 60_94
3944	SICILIA	27990	846	avanzamento 60_94
3945	SICILIA	73964	1290	avanzamento 60_94
3946	SICILIA	141633	2532	avanzamento 60_94
3947	SICILIA	11652	524	avanzamento 60_94
3948	SICILIA	4538	258	avanzamento 60_94

Risultati Ricerca

RISCHIO BENI ESPOSTI | UNITA FISIOGRAFICHE | **VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012**

VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012 | VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994

Record trovati: 20

OBJECTID	REGIONE	TIPO	AREA	LUNGHEZZA
6994	SICILIA	avanzamento 94_12	20196	696
6995	SICILIA	avanzamento 94_12	578	137
6996	SICILIA	avanzamento 94_12	1451	160
6997	SICILIA	avanzamento 94_12	46455	1581
6998	SICILIA	avanzamento 94_12	18484	1155
6999	SICILIA	avanzamento 94_12	1560	225
7000	SICILIA	avanzamento 94_12	17601	562
7001	SICILIA	avanzamento 94_12	1976	225
7002	SICILIA	avanzamento 94_12	545	154
7348	SICILIA	arretramento 94_12	58292	1498
7349	SICILIA	arretramento 94_12	6997	392
7350	SICILIA	arretramento 94_12	7408	542
7351	SICILIA	arretramento 94_12	6019	270
7352	SICILIA	arretramento 94_12	6954	314
7353	SICILIA	arretramento 94_12	2269	368
7354	SICILIA	arretramento 94_12	141345	2966
7355	SICILIA	arretramento 94_12	6696	321
7356	SICILIA	arretramento 94_12	1010	101
7357	SICILIA	arretramento 94_12	4082	260
7358	SICILIA	arretramento 94_12	6156	264

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

Risultati Ricerca					
RISCHIO BENI ESPOSTI		UNITA FIOGRAFICHE		VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 2012	
VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1994 2012			VARIAZIONI LINEA DI COSTA > VARIAZIONE 1960 1994		
Record trovati: 20					
OBJECTID	REGIONE	TIPO	AREA	LUNGHEZZA	
3625	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	205551	3566	
3626	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	782	118	
3627	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	216	68	
3628	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	22569	1492	
3629	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	77902	1560	
3630	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	80267	1163	
3631	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	177690	1291	
3632	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	1587	134	
3633	SICILIA	ARRETRAMENTO 60-12	158140	5400	
5185	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	18226	400	
5186	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	4535	340	
5187	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	586	138	
5188	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	4487	496	
5189	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	7524	508	
5190	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	187998	2860	
5191	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	16444	570	
5192	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	22918	648	
5193	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	620	152	
5194	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	542	108	
5195	SICILIA	AVANZAMENTO 60-12	404	76	

Figura 3.5.11 (da pag. precedente) Identificazione dell'UF 10, con particolare del secondo tratto di costa

3.5.3.5 Caratterizzazione meteo-marina dell'Unità Fisiografica di appartenenza di ciascun litorale oggetto di ripascimento



La caratterizzazione meteo-marina – ossia studio del clima ondoso al largo, statistica degli estremi, etc. – dell'U.F da effettuarsi in uno o più punti in funzione dell'estensione della stessa.

Per la caratterizzazione meteo-marina delle unità fisiografiche interessate direttamente dagli interventi di ripascimento o poste sottoflutto agli stessi, si prevede l'implementazione delle attività di seguito descritte, facendo estensivo ricorso ai modelli specialistici di DHI allo stato dell'arte del settore.

Ai fini della caratterizzazione meteo- marina presente nel PRCEC, per ciascuna unità fisiografica di I ordine è stato individuato almeno un punto al largo. Per ciascuno di detti punti è stata definita l'area di generazione del moto ondoso, individuata in funzione del *fetch* geografico.

La stessa procedura è stata anche applicata per diversi punti sotto costa ritenuti rappresentativi di ogni unità fisiografica di III ordine in corrispondenza di una profondità prossima a 20 m.

CARATTERIZZAZIONE METEOMARINA AL LARGO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

L'analisi del vento è stata condotta in maniera tale da risultare significativa per ogni Unità Fisiografica sia delle condizioni medie che degli eventi estremi. Le stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare coprono solo un numero limitato di Unità Fisiografiche. Inoltre, tali stazioni sono ubicate sulla costa e, dunque, non sempre sono rappresentative delle reali condizioni nell'area di generazione del moto ondoso al largo. Per tale ragione, le analisi effettuate sono state condotte considerando sia i dati rilevati dalle stazioni anemometriche dei punti del modello meteorologico ERA5 dell'European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF).

L'analisi del clima medio del vento è stata condotta per ognuna delle stazioni della rete dell'Aeronautica Militare al largo di ogni unità fisiografica di I ordine. Per ogni punto sopra descritto sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza del vento.

Al fine di valutare gli eventi estremi al largo delle unità fisiografiche di I ordine è stata effettuata un'analisi statistica sia dei dati rilevati dalle stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare sia dei dati disponibili sui punti griglia del ERA5. Nella fattispecie, dalla serie dei dati originali è stata ricavata la serie dei massimi annuali della velocità del vento. Per tali serie di dati è stato verificato l'adattamento di diverse distribuzioni di probabilità. In particolare, sono state utilizzate le distribuzioni per eventi estremi di Gumbel, Weibull, Lognormale, Pareto e GEV (Generalized Extreme Value Distribution). In sede di Progettazione Esecutiva, si intende eseguire una ricostruzione storica delle condizioni di vento e onda al largo a partire dal database **Mediterranean Wind Wave Model** (MWM) prodotto da DHI in collaborazione con **HyMOLab** (Università di Trieste), che garantisce la disponibilità di oltre 40 anni di dati orari (1979-2022) dei principali parametri del vento e del moto ondoso a frequenza oraria. Grazie all'elevata risoluzione spaziale (fino a 3 km) e all'estesa procedura di calibrazione-validazione (sia in riferimento alle boe del Mediterraneo, sia ai dati di svariate missioni satellitari), MWM si configura come altamente affidabile ed è oggi utilizzato in supporto alla progettazione da soggetti internazionali (tra cui, Eni e Saipem e Group Eiffage) e locali (tra gli altri, AdSP dello Stretto, AdSP del Mare di Sicilia Orientale, Università degli Studi Mediterranea, Comune di Messina).

PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO LARGO-COSTA

Allo stato attuale, al fine di determinare le caratteristiche del moto ondoso sottocosta e, precisamente in corrispondenza della batimetrica 20 m a partire dalle informazioni al largo, è stato implementato a scala regionale un modello numerico di propagazione che ha consentito la ricostruzione delle informazioni ondometriche per un periodo pari a circa 14 anni (dal 2006 al 2019).

La propagazione del moto ondoso è stata effettuata con il modello numerico SWAN (Booij et al., 1999), acronimo di Simulating WAve Nearshore, sviluppato presso la Delft University of Technology

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

fornendo come input i seguenti dati relativi all'area oggetto di studio: batimetrici; di vento; di moto ondoso al largo.

In conformità con l'approccio che oggi garantisce la maggiore accuratezza nella ricostruzione del moto ondoso sottocosta, l'intera serie di 44 anni di dati, estratta in più punti del database MWM, sarà trasferita dal largo fino in corrispondenza dei tratti di litorale compresi indicativamente tra Valdina e Capo Peloro. A tale scopo sarà impiegato il modello **MIKE 21 SW** (Spectral Waves) di DHI, modello spettrale di terza generazione in grado di simulare le principali trasformazioni dell'onda dal largo verso costa (rifrazione, shoaling, attrito col fondo, frangimento).

STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI SOTTOCOSTA

L'analisi del moto ondoso sottocosta è stata condotta per ogni unità fisiografica di III ordine. In particolare, per ognuna delle griglie di calcolo è stato selezionato almeno un nodo per unità fisiografica di III ordine caratterizzato da una profondità prossima a 20 m, ossia ad una profondità certamente maggiore della profondità di chiusura, e dunque tale che si possano ritenere trascurabili gli effetti del trasporto solido dovuti al moto ondoso e si possono conseguentemente assumere poco variabili le batimetriche adottate.

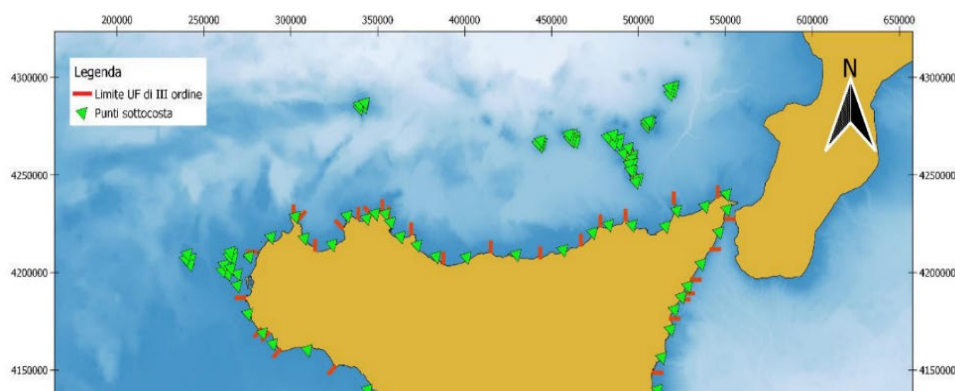




Figura 3.5.12 Localizzazione dei nodi delle diverse griglie di calcolo utilizzati per le analisi del moto ondoso sottocosta per ogni unità fisiografica del III ordine.

Per ogni nodo selezionato sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza del moto ondoso. Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°. In particolare, sono stati considerati i settori centrati nelle direzioni: 0°N, 22.5°N, 45°N, 67.5°N, 90.0°N, 112.5°N, 135.0°N, 157.5°N, 180.0°N, 202.5°N, 225.0°N, 247.50°N, 270.0°N, 292.5°N, 315.0°N e 337.5°N.

Al fine di valutare gli eventi estremi sottocosta in corrispondenza delle unità fisiografiche di III ordine è stata effettuata un'analisi statistica dei dati disponibili sui nodi. Nella fattispecie, dalla serie dei dati

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

originari disponibili nei nodi selezionati, è stata ricavata la serie delle altezze d'onda significative massime delle mareggiate; quest'ultima definita come una successione di stati di mare durante la quale l'altezza d'onda significativa supera una soglia critica e non scende al di sotto di tale soglia per durate di tempo superiori a un valore prefissato t_{crit} (Boccotti, 1997). Nel caso in esame è stato considerato un valore di soglia pari a 1.5 m e un valore di t_{crit} pari a 12 ore.

Per l'analisi degli eventi estremi, dalla serie delle altezze massime delle mareggiate sono stati selezionati i valori superiori a 2 m ed è stato quindi verificato l'adattamento di diverse distribuzioni di probabilità. In particolare, sono state utilizzate le distribuzioni per eventi estremi di Gumbel, Weibull, Lognormale, Pareto e GEV (Generalized Extreme Value Distribution).

CALCOLO DEI LIVELLI MARINI DI RIFERIMENTO PER LA PROGETTAZIONE

La definizione e la successiva ottimizzazione della soluzione progettuale non possono prescindere da un'attenta valutazione delle variazioni del livello marino, sia nel breve termine (a scala di mareggiata) sia su intervalli temporali più lunghi (anni o decenni).

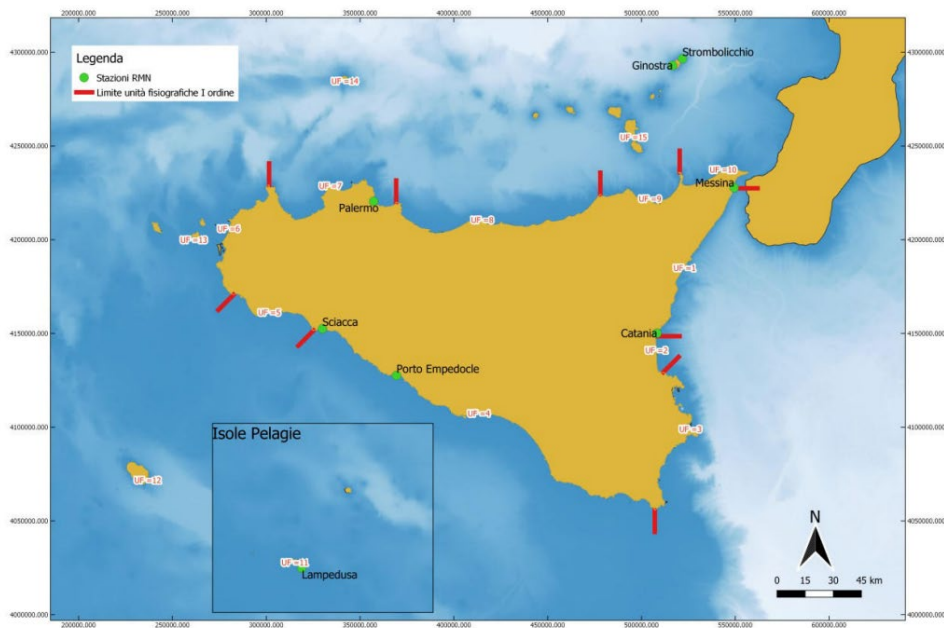


Figura 3.5.13 Stazioni della Rete Mareografica Nazionale gestita dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) (Fonte: PRCEC).

L'efficacia di una soluzione, infatti, può dipendere in misura più o meno estesa dal livello marino di riferimento, soprattutto in un contesto di innalzamento progressivo del livello associato ai cambiamenti climatici e di incremento dell'intensità delle mareggiate più gravose. Per la definizione dei livelli marini si farà riferimento ad una combinazione di dati misurati (ai mareografi più prossimi)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

e alle recenti previsioni dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) nei suoi report periodici in merito al *Sea Level Rise*.

L'analisi della variazione dei livelli del mare è stata condotta utilizzando i dati registrati nelle stazioni mareografiche della Rete Mareografica Nazionale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) site a: Catania, Porto Empedocle, Sciacca, Lampedusa, Palermo, Messina, Ginostra e Strombolicchio. In particolare, per tali stazioni sono disponibili diverse grandezze tra cui: il livello del mare, la velocità e la direzione del vento e la pressione atmosferica. Per l'analisi dei livelli marini causati dalla marea astronomica in corrispondenza delle suddette stazioni, si è fatto riferimento alle componenti fornite dall'ISPRA nell'ultimo studio pubblicato relativo all'anno 2014.

Prescindendo dai modesti dislivelli imputabili a variazioni stagionali della densità del mare e a fenomeni di eustatismo, le escursioni di livello della superficie marina possono essere principalmente imputate alla marea astronomica e alla marea meteorologica. Sebbene, in generale, la componente astronomica influenza esclusivamente l'ampiezza della marea, mentre la componente meteorologica agisce direttamente sul livello marino ed è originata dall'azione del vento e dalla pressione atmosferica sulla superficie del mare.

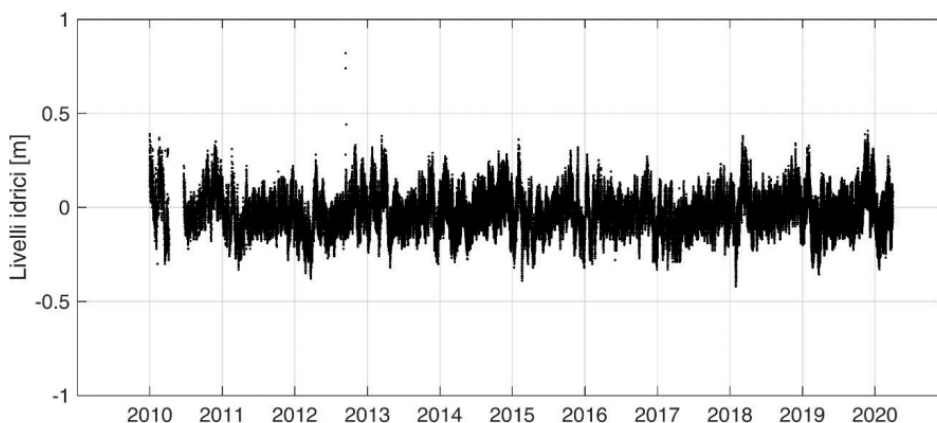


Figura 3.5.14 Livello del mare rilevato dalla stazione mareografica di Messina appartenente alla Rete Mareografica Nazionale. (Font : PRCEC)

Gli elementi che forniscono il maggior contributo alla formazione del sovrizzo sono, quindi, la pressione atmosferica ed il vento. La pressione atmosferica è data dalla forza che le masse d'aria esercitano sulla superficie terrestre. Tale forza agisce anche sui mari e sugli oceani e li comprime in relazione alla sua intensità: un nucleo di bassa pressione che insiste sopra un bacino esercita una forza ridotta sulla superficie sottostante, con un conseguente incremento del livello marino. Al contrario, un nucleo di alta pressione tende a schiacciare la superficie del mare e ad abbassare il

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

suo livello. Tale meccanismo è noto come “effetto barometrico inverso”.

Il vento, invece, agisce sulla superficie del mare e tende a far aumentare temporaneamente il livello in prossimità dei litorali. Questo fenomeno è noto in letteratura come set-up. Al contrario, se il vento soffia verso il mare tende a far defluire le acque verso il largo, con una diminuzione del livello in vicinanza della costa, ed una conseguente riduzione anche della marea registrata (“Manuale di mareografia e linee guida per i processi di validazione dei dati mareografici”, ISPRA, Manuali e Linee Guida 77/2012).

La marea astronomica, dovuta principalmente all’azione esercitata dal campo gravitazionale del sole e della luna sulle masse oceaniche, generalmente, presenta un andamento con due massimi e due minimi durante la giornata, di cui un massimo ed un minimo in genere più accentuati rispetto all’altro. Per la stima delle oscillazioni dovute alla marea astronomica in una determinata località, si utilizza lo sviluppo della marea in componenti armoniche in cui si assume che il livello ad un certo istante si ottenga come somma di più onde sinusoidali. Il numero delle costituenti armoniche da utilizzare dipende dalla località. Dai dati forniti dalle stazioni mareografiche dell’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) sono state ottenute dall’analisi effettuata sulle misure orarie per il periodo 01 Gennaio 2014 al 31 Dicembre 2014.

Componenti armoniche	Periodo [ore min sec]	Frequenza [cicli/ora]	Ampiezza [cm]	Fase [gradi]
O1	25 49' 9.64"	0.039	0.954	36.1
P1	24 03' 57.20"	0.041	0.092	331.53
K1	23 56' 4.08"	0.042	0.79	259.25
N2	12 39' 30.05"	0.079	0.81	259.25
M2	12 25' 14.16"	0.08	5.156	322.41
S2	11 59' 60.00"	0.083	2.747	349.07
K2	11 58' 2.05"	0.084	0.923	326.01
M4	06 12' 37.08"	0.161	1.48	166.61
MS4	06 06' 12.0"	0.163	1.165	92.12

Figura 3.5.15 Principali componenti armoniche della marea ricavate dall’analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Messina (fonte ISPRA, serie storica 2014).

Le variazioni del livello medio del mare indotte da cause meteorologiche vengono anche indicate con il termine di marea meteorologica.

Per valutare i valori di variazione del livello medio marino si sono ricercati i valori minimi e massimi barometrici registrati per ogni stazione meteorologica.

In sintesi si riporta nella seguente tabella l’escursione minima e massima dovuta alla marea astronomica e meteorologica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C

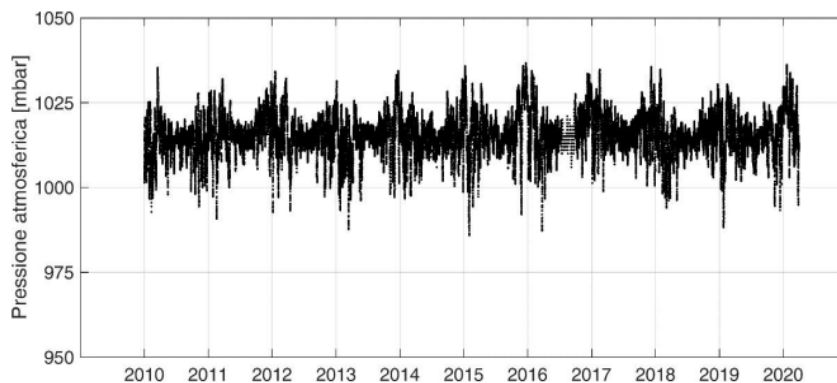


Figura 3.5.16 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Messina appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

Stazione	Numero anni di osservazioni	Pressione Min (mbar)	Pressione Max (mbar)	Pressione media (mbar)	Livello medio mare Min (m)	Livello medio mare Max (m)
Catania	11	987.20	1037.50	1015.21	-0.22	0.28
Porto Empedocle	11	987.60	1037.10	1015.65	-0.21	0.28
Sciacca	9	987.30	1037.20	1016.09	-0.21	0.29
Lampedusa	11	988.50	1038.90	1016.39	-0.23	0.28
Palermo	8	985.80	1036.80	1015.55	-0.21	0.30
Messina	11	985.90	1036.60	1015.74	-0.21	0.30
Ginostra	8	985.80	1035.80	1014.94	-0.21	0.29
Strombolicchio	6	986.10	1037.10	1016.23	-0.21	0.30

Figura 3.5.17 Valore minimo e massimo della pressione atmosferica registrati in ciascuna stazione mareografica e le corrispondenti variazioni del livello del mare. (Fonte: PRCEC)

Stazione	Variazioni di livello del mare per effetto della marea astronomica		Variazioni di livello del mare per effetto della pressione atmosferica		Variazioni di livello del mare per effetto del vento	Variazioni di livello del mare per effetto della marea astronomica e la marea meteorologica	
	Escursione minima [m]	Escursione massima [m]	Escursione minima [m]	Escursione massima [m]	Escursione massima [m]	Escursione minima [m]	Escursione massima [m]
Catania	-0.14	0.14	-0.22	0.28	0.02	-0.36	0.44
Porto Empedocle	-0.11	0.13	-0.21	0.28	0.05	-0.32	0.46
Sciacca	-0.10	0.13	-0.21	0.29	0.03	-0.31	0.45
Lampedusa	-0.16	0.16	-0.23	0.28	0.00	-0.39	0.44
Palermo	-0.22	0.24	-0.21	0.30	0.01	-0.43	0.55
Messina	-0.11	0.11	-0.21	0.30	0.00	-0.32	0.41
Ginostra	-0.20	0.22	-0.21	0.29	0.00	-0.41	0.51
Strombolicchio	-0.20	0.23	-0.21	0.30	0.00	-0.41	0.53

Figura 3.5.18 Variazioni di livello del mare per effetto della marea astronomica, della pressione atmosferica, del vento e della marea meteorologica. (Fonte: PRCEC)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	



Bisogna tenere in considerazione anche le variazioni di temperatura media del mare e livello medio del mare. Esistono tuttavia delle incertezze in merito al valore delle proiezioni di questi parametri, in funzione dei diversi scenari futuri che possono realizzarsi, sia in termini di emissioni di gas-serra, sia di effetti a lungo termine della variazione della temperatura media globale. Tuttavia, a scala regionale e locale la variazione di detti parametri non è affatto uniforme. L'indispensabile modellazione a scala globale e regionale di tale fenomeno richiede adeguati miglioramenti, con particolare riferimento al Mar Mediterraneo, in cui molti modelli globali considerano una errata modellazione degli scambi idrici in corrispondenza dello stretto di Gibilterra (Sanchez-Roman et al., 2018).

1. In riferimento alla situazione italiana, la SNAC indica che:
2. il livello relativo del mare negli ultimi 2000 anni nelle aree tettonicamente stabili del Mediterraneo centrale è risalito di circa 1,3/1,4 metri. Di questo sollevamento solo 12 cm sono dovuti allo scioglimento dei ghiacciai, mentre la restante parte è stata causata dal riaggiustamento glacio-idro-isostatico (Lambeck et al., 2004). Tuttavia l'innalzamento di 12 cm è avvenuto solo negli ultimi 100 anni come probabile conseguenza del progressivo riscaldamento globale;
3. il Mediterraneo, a causa della complessa fisiografia, della presenza di condizioni meteorologiche peculiari, del bilancio idrogeologico negativo (dal mare evapora più acqua di quanta ne arriva dai fiumi) e delle anomalie di salinità, si comporta diversamente rispetto agli oceani: i dati mareografici, comparati con quelli globali, indicano un sollevamento inferiore negli ultimi 100 anni 1,1 contro 1,8 mm/anno.

Più recentemente, per il bacino del Mediterraneo, nell'ambito dell'elaborazione del PNACC (CMMC, 2017) sono state calcolate le anomalie medie su base annuale per la temperatura superficiale dell'acqua (SSTA) ed il livello del mare (SSHA), usando i dati di MEDSEA e il modello NEMO (Madec, 2008) applicato al Mar Mediterraneo (7 km di risoluzione) forzato con i dati atmosferici e idrologici del modello climatico CMCC-CM a ~80 Km di risoluzione orizzontale (Scoccimarro et al. 2011).

Per il clima corrente (1981-2010) e lo scenario peggiore RCP 8.5, altrimenti detto "business as usual" ovvero senza nessuna modifica delle emissioni di gas serra, per il periodo 2021-2050 mediati all'interno delle aree costiere definite dalla entro le 12 miglia marine, sulla base di quanto indicato nella Marine Strategy Framework Directive (MSFD, Directive 2008/56/EC). La MSFD identifica nel Mediterraneo cinque macro regioni marine: il Mediterraneo Ovest, il Mar Adriatico, il Mar Ionio, il Mediterraneo Centrale e il Mare Egeo-Levantino.

Dai risultati sui mari italiani si osserva come intorno alle coste siciliane nel periodo 2021-2050, si

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

prevedono rispettivamente incrementi della temperatura media e del livello medio del mare pari a +1.31°C e +7 cm per il Mar Ionio (IONS), +1.26°C e +9 cm per il Mediterraneo centrale (CMED) e +1.28°C e +9 cm per il Mar Tirreno (TYRS). (Fonte PRCEC).

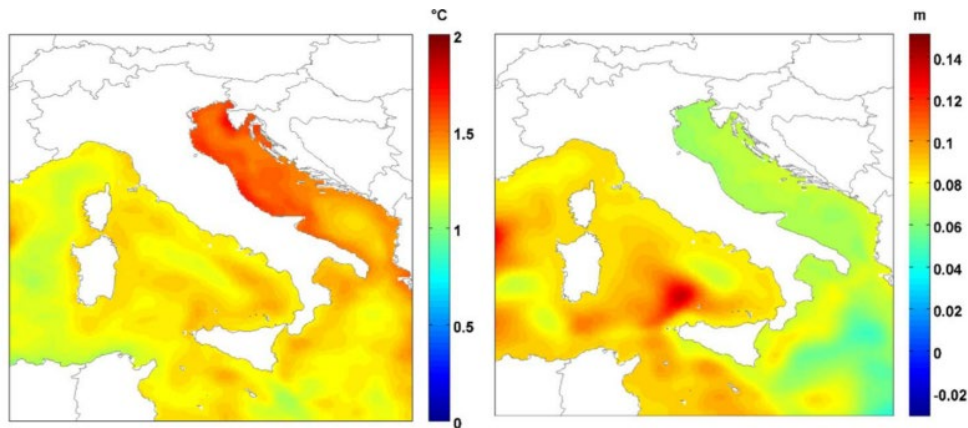


Figura 3.5.19 Climatologie degli indicatori SSTA (a sinistra) e SSHA (a destra) sul Mediterraneo centrale ottenute dal dataset MEDSEA RCP8.5 per il periodo 2021-2050 vs il periodo 1981-2010 (fonte: PNACC, 2017). (Fonte: PRCEC)

UNITÀ FISIOGRAFICA DI III LIVELLO 1.2.1

Latitudine: 37.987 °N

Longitudine: 15.411 °E

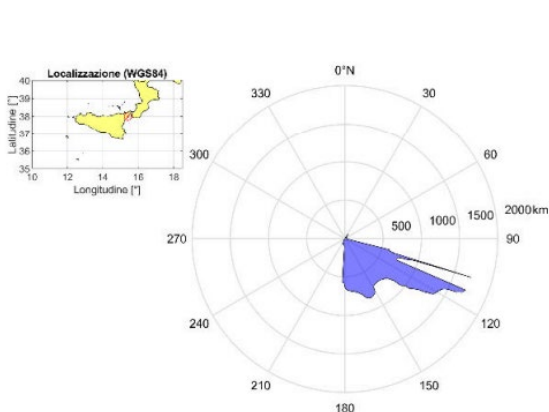


Figura 3.5.20 Fetch geografico

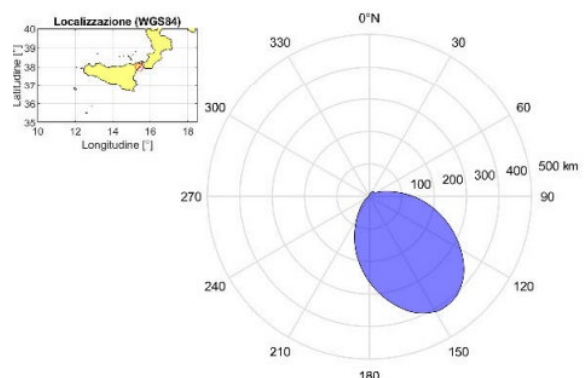


Figura 3.5.21 Fetch efficace

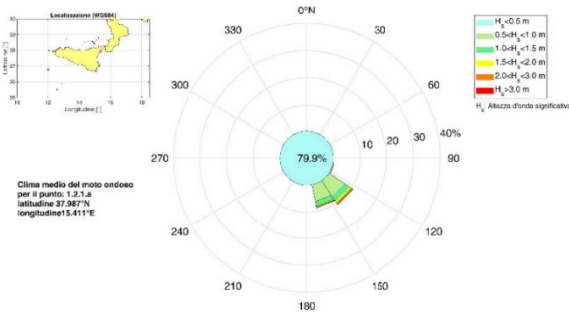


Figura 3.5.22 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5–1.0 m	1.0–1.5 m	1.5–2.0 m	2.0–3.0 m	>3.0 m
0.0	0.03	-	-	-	-	-
22.5	0.05	-	-	-	-	-
45.0	17.88	0.01	-	-	-	-
67.5	5.81	0.02	-	-	-	-
90.0	2.06	0.04	-	-	-	-
112.5	7.15	0.37	0.04	0.01	-	-
135.0	15.71	7.04	2.29	0.78	0.51	0.12
157.5	21.58	6.42	1.78	0.42	0.17	0.03
180.0	7.96	0.01	-	-	-	-
202.5	1.63	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	0.02	-	-	-	-	-
315.0	0.03	-	-	-	-	-
337.5	0.02	-	-	-	-	-

Figura 3.5.23 Percentuale degli eventi per classe di direzione di provenienza

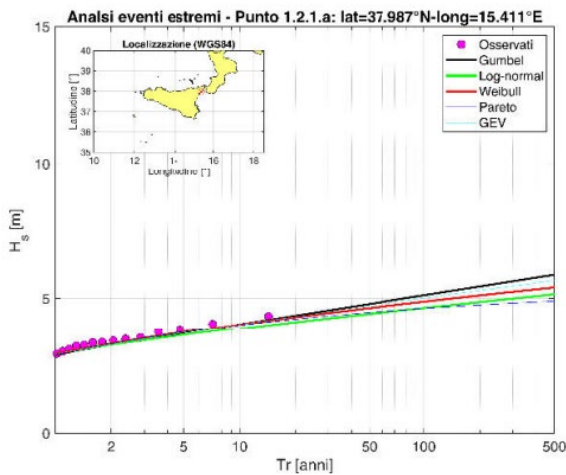


Figura 3.5.24 Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità teoriche

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.26	3.30	3.25	3.29	3.27
5	3.71	3.74	3.63	3.74	3.71
10	4.04	4.03	3.88	4.01	4.03
50	4.80	4.65	4.43	4.49	4.73
100	5.13	4.89	4.66	4.64	5.02
500	5.88	5.41	5.16	4.91	5.67

Figura 3.5.25 Altezza d'onda significativa (m)

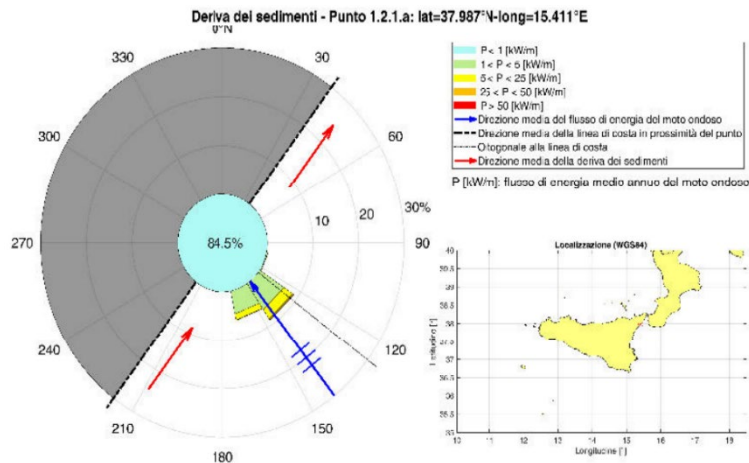


Figura 3.5.26 Deriva dei sedimenti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C

UNITÀ FISIOGRAFICA DI III LIVELLO 10.1.1

Latitudine: 38.254 °N

Longitudine: 15.437 °E

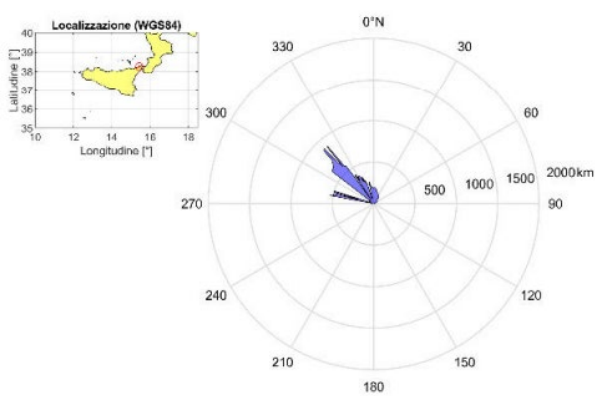


Figura 3.5.27 Fetch geografico

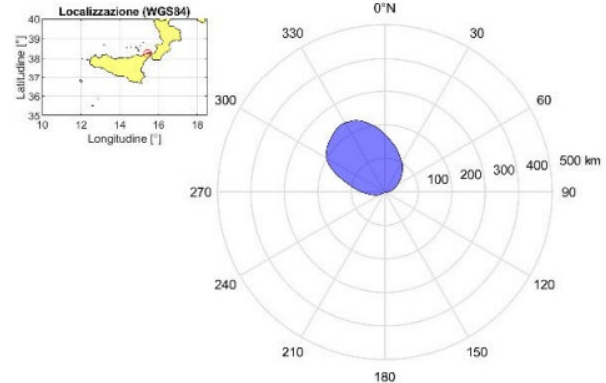


Figura 3.5.28 Fetch efficace

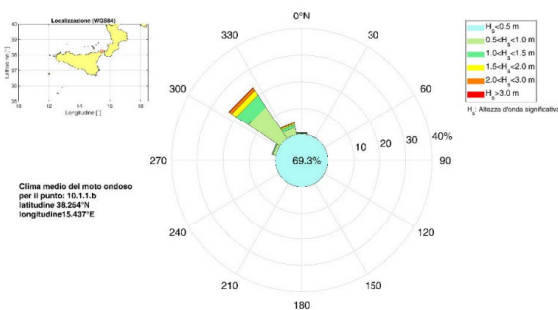


Figura 3.5.29 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5–1.0 m	1.0–1.5 m	1.5–2.0 m	2.0–3.0 m	>3.0 m
0.0	3.04	0.45	0.17	0.05	-	-
22.5	1.65	0.14	0.02	-	-	-
45.0	2.89	0.02	-	-	-	-
67.5	0.45	0.01	-	-	-	-
90.0	0.19	-	-	-	-	-
112.5	0.40	-	-	-	-	-
135.0	0.69	-	-	-	-	-
157.5	1.49	-	-	-	-	-
180.0	1.60	-	-	-	-	-
202.5	0.29	-	-	-	-	-
225.0	0.11	-	-	-	-	-
247.5	0.21	-	-	-	-	-
270.0	0.75	-	-	-	-	-
292.5	4.28	1.18	0.34	0.09	0.01	-
315.0	31.75	14.63	5.38	2.15	1.12	0.20
337.5	19.47	2.90	1.03	0.51	0.33	0.03

Figura 3.5.30 Percentuale degli eventi per classe di direzione di provenienza

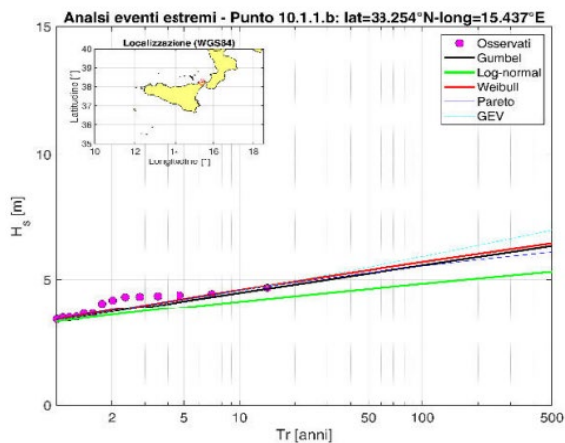


Figura 3.5.31 Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità teoriche

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.71	3.77	3.58	3.78	3.71
5	4.15	4.25	3.90	4.25	4.19
10	4.48	4.60	4.13	4.59	4.57
50	5.25	5.38	4.64	5.28	5.50
100	5.58	5.71	4.85	5.55	5.92
500	6.34	6.44	5.33	6.10	6.97

Figura 3.5.32 Altezza d'onda significativa (m)



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

Figura 3.5.33 Deriva dei sedimenti

3.5.3.6 Caratterizzazione idraulico-marittima dei litorali oggetto di ripascimento

Il progetto di ripascimento sarà corredato da una serie di approfondimenti specialistici che permettano di confermare ed eventualmente ottimizzare (sia nella tipologia, sia nel posizionamento) le opere di stabilizzazione dell'arenile. A tal fine sarà predisposto un **sistema modellistico integrato 1D2D** che permetterà in sintesi:

1. **il calcolo del trasporto litoraneo netto e lordo, della profondità di chiusura del sistema e dell'orientazione di equilibrio del litorale** per tutte le Unità Fisiografiche interessate (da Valdina a Capo Peloro), attraverso l'applicazione del modello monodimensionale LITDRIFT di DHI;
2. **simulazione della circolazione indotta dal moto ondoso in assenza e presenza delle opere** attraverso l'implementazione del modello bidimensionale MIKE 21 di DHI. La modellazione 2D è infatti l'unico strumento in grado di verificare la possibile insorgenza di correnti verso il largo (*rip currents*) che, per effetto della batimetria o dei varchi attualmente previsti dal progetto in corrispondenza delle foci dei principali torrenti, possono determinare la perdita del sedimento verso gli alti fondali, oltre a innescare condizioni potenzialmente critiche in riferimento alla sicurezza della balneazione;
3. **simulazione dell'evoluzione della linea di riva a breve, medio e lungo termine in assenza e presenza delle opere;**
 - attraverso l'implementazione del modello a una linea LITLINE di DHI e/o del nuovo modello DHI "ibrido" 1D-2D MIKE 21 SM (*Shoreline Morphology*) di DHI laddove le dinamiche di circolazione e trasporto si rivelassero non compatibili con l'approccio monodimensionale;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

4. **simulazione della risalita del moto ondoso (*runup*) in assenza e presenza delle opere** Per alcuni transetti di riferimento, distribuiti lungo le unità fisiografiche interessate, sarà applicato il modello MIKE 3 WAVE FM di DHI, modello 3D non lineare, “*phase resolving*” ed in grado di simulare accuratamente la risalita dell’onda sulla spiaggia (*wave runup*) e l’eventuale tracimazione a tergo di dune o opere di difesa. L’impiego di tale modello permetterà ulteriormente di verificare l’esigenza di opere rigide (i.e. scogliere soffolte) a protezione del ripascimento e ad ottimizzarne la forma e la quota della berma sommersa, parametro progettuale molto delicato specie in un contesto di incremento progressivo dei livelli marini.

La soluzione ottimizzata sarà infine verificata mediante **l’implementazione di un ulteriore modello numerico** (MIKE 21 AD di DHI) finalizzato alla quantificazione del ricambio idrico, aspetto particolarmente delicato in caso di opere trasversali a costa che possano ridurre l’idrodinamismo nella porzione di spiaggia compresa tra la battigia e l’opera stessa.

La combinazione di modelli 2D e 1D sopra descritta sarà applicata sia in configurazione attuale che in configurazione di progetto e permetterà un’**efficace ottimizzazione della soluzione complessiva e della gestione adattiva delle opere**, al fine di minimizzare gli arretramenti dell’arenile ricostruito: il mantenimento di una larghezza minima di spiaggia anche in condizioni di mareggiata è esso stesso un fattore fondamentale a garanzia della resilienza della spiaggia stessa, come chiaramente indicato nelle recenti Linee Guida Nazionali per la Difesa della Costa dai Fenomeni di Erosione e dagli Effetti dei Cambiamenti Climatici.

3.5.3.7 **Modellazione numerica della dispersione e trasporto dei sedimenti anche a grandi distanze dai siti di conferimento**

Valutazioni in ordine ad eventuali “*riflessi progettuali con rischio di messa in circolo di sedimenti e danneggiamento di eventuali biocenosi pregiate e più in generale di ecosistemi marini importanti anche a grandi distanze, quale ad esempio la “posidonia su matte” presente a nord est dell’area di progetto, nel tratto che va da Policara a Capo Rasocolmo*”: in riferimento a quanto evidenziato nel testo della prescrizione e vista l’entità del ripascimento previsto (ben oltre il milione di metri cubi), si ritiene indispensabile prevedere la modellazione numerica della dispersione e trasporto dei sedimenti anche a grandi distanze dai siti di conferimento. Tale fenomenologia, associata principalmente alla movimentazione delle frazioni granulometriche più fini che verranno utilizzate, sarà simulata attraverso la predisposizione di un modello tridimensionale di dettaglio (MIKE 3 HD di DHI) annidato nel modello di circolazione del Mar Mediterraneo disponibile nell’ambito del *Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)*. Il modello di circolazione (che, in pieno accordo con le indicazioni delle linee guida ISPRA di settore, verrà esteso ad un intero anno

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

rappresentativo delle condizioni di corrente, di temperatura e salinità del tratto di mare in corrispondenza del ripascimento e di quello al largo) sarà accoppiato ad un modello di dispersione e trasporto di sedimenti fini (MIKE 3 MT di DHI) al fine di simulare l'incremento di torbidità in colonna d'acqua e di deposizione al fondo in concomitanza con le operazioni di ripascimento e di verificare l'effettiva possibilità che il ripascimento sia in grado di determinare il *“danneggiamento di eventuali biocenosi pregiate e più in generale di ecosistemi marini importanti anche a grandi distanze”*.

3.5.4 Progettazione concettuale degli interventi di ripascimento, delle relative opere di stabilizzazione e delle modalità realizzative

La necessità di prevedere eventuali opere di stabilizzazione (scogliere, pennelli, etc..) sarà verificata in sede di pre-progettazione del PE. Le modalità di identificazione della topologia di tali opere scaturisce da una **progettazione concettuale** (layout e refluenze di tipo idraulico-marittimo tramite apposita modellistica morfologica) e **specificata** (stabilità globale, stabilità idraulica, stabilità geotecnica, sismica, etc.).

A supporto di tale metodologia di progettazione vi sono le attività di modellazione numerica a supporto della progettazione e verifica di dettaglio della scogliera soffolta e dei riflessi sull'idrodinamica costiera e specificamente del trasporto solido litoraneo a seguito della realizzazione dell'opera sono descritte al precedente paragrafo *Caratterizzazione idraulico-marittima dei litorali oggetto di ripascimento* sia allo stato di fatto che allo stato di progetto.

Il sistema modellistico integrato sarà impiegato anche per la quantificazione dell'eventuale impatto del pontile SP3.

In particolare, a partire dal modello bidimensionale di onda e corrente (**MIKE 21 SW+HD**) saranno predisposte simulazioni in riferimento ad una serie di condizioni d'onda rappresentative, in assenza e presenza del pontile. Qualora la distribuzione del moto ondoso e/o delle correnti dovesse risultare impattata in misura non trascurabile dalla presenza delle opere di fondazione della struttura, il modello di evoluzione della linea di riva precedentemente descritto sarà implementato localmente anche in riferimento alla configurazione in presenza del pontile SP3, al fine di quantificare gli effetti dell'opera sulle dinamiche di trasporto sedimentario sopraflutto e sottoflutto

Per ciascuno dei siti di intervento, sulla base dell'approfondita conoscenza delle caratteristiche locali e generali (i.e. a livello di *Unità Fisiografica*) desunta dalle indagini di campo e di laboratorio nonché dagli studi idraulico-marittimi descritti nei precedenti paragrafi, sarà possibile identificare la miglior soluzione per la realizzazione degli interventi di ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione, contemperando le esigenze costruttive e funzionali con quelle più specificatamente ambientali.

In tale ottica, tutte le soluzioni tipologiche individuate in sede di progettazione definitiva saranno

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

revisionate e verificate – anche a livello concettuale – al fine di riscontrare pienamente a quanto evidenziato nel parere CTVA, e in particolare:

- fermo restando che la necessità e la relativa tipologia ed entità di eventuali opere di stabilizzazione (scogliere, pennelli, etc.) sarà verificata in sede di progettazione concettuale, si procederà:
 - alla revisione della progettazione e alla verifica di dettaglio della scogliera soffolta, nonché dei riflessi sull'idrodinamica costiera e specificamente del trasporto solido litoraneo a seguito della realizzazione dell'opera, mediante l'implementazione di apposita modellistica numerica, dettagliatamente descritta al precedente punto "*Caratterizzazione idraulico-marittima dei litorali oggetto di ripascimento*", da implementarsi con riferimento sia allo stato di fatto che allo stato di progetto [prescrizione CTVA n. 1185 del 15 marzo 2013];
 - alla valutazione tecnica sull'idoneità, in termini di resistenza e stabilità, dei geocontenitori quale soluzione tipologica per la formazione di opere di difesa/stabilizzazione, anche alla luce dell'evoluzione tecnologica intervenuta negli anni intercorsi dal momento della progettazione di livello definitivo [prescrizione CTVA n. 1185 del 15 marzo 2013].
- ove ricorrente in termini di mantenimento a livello esecutivo delle relative previsioni progettuali di livello definitivo, si provvederà:
 - alla valutazione dei consumi idrici dei cantieri SI7, SI8, del campo base SB5 e verifica della fattibilità di approvvigionamento con pozzo [prescrizione CTVA n. 1185 del 15 marzo 2013]
 - alla valutazione di dettaglio dell'impatto connesso alla realizzazione del pontile SP3 e degli interventi di ripristino con dismissione del pontile e risanamento del fondale [prescrizione CTVA n. 1185 del 15 marzo 2013]. Il sistema modellistico integrato descritto ai precedenti punti "*Caratterizzazione meteo-marina dell'Unità Fisiografica di appartenenza di ciascun litorale oggetto di ripascimento*" e **§Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** "*Caratterizzazione idraulico-marittima dei litorali oggetto di ripascimento*" sarà impiegato anche per la quantificazione dell'eventuale impatto del pontile SP3 (nell'ipotesi di mantenimento di tale previsione progettuale). In particolare, a partire dal modello bidimensionale di onda e corrente – MIKE 21 SW+HD – saranno predisposte simulazioni in riferimento ad una serie di condizioni d'onda rappresentative, in assenza e presenza del pontile. Qualora la distribuzione del moto ondoso e/o delle correnti dovesse risultare impattata in misura non trascurabile dalla presenza delle opere di fondazione della struttura, il modello di evoluzione della linea di riva precedentemente descritto sarà implementato localmente anche in riferimento alla configurazione in presenza del pontile SP3, al fine di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

quantificare gli effetti dell'opera sulle dinamiche di trasporto sedimentario sopraflutto e sottoflutto.

Ferma restando l'ottemperanza specifica a quanto prescritto in sede di CTVA, la progettazione degli interventi di ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione (ove necessarie) procederà secondo l'approccio concettuale generale di seguito descritto.

3.5.4.1 Definizione delle aree di intervento per la realizzazione dei ripascimenti

Le aree di intervento per la realizzazione dei ripascimenti coincidono con le aree litoranee e in particolare con le aree di spiaggia, composte da spiaggia emersa e spiaggia sommersa, intese come porzioni di territorio potenzialmente interessate dall'interazione con il moto ondoso, nota anche come "fascia attiva", identificata come segue:

- la *spiaggia emersa* si estende dalla linea di riva al limite, verso terra, della possibile influenza delle mareggiate estreme, in termini di massima risalita dell'onda; la spiaggia emersa comprende anche gli elementi morfologici funzionalmente connessi alla spiaggia come le dune e le depressioni retrodunali;
- la *spiaggia sommersa* si estende dalla linea di riva alla massima profondità alla quale il fondale risulta influenzato dal moto ondoso e dalla dinamica litoranea; tale profondità è nota come "*profondità di chiusura*" h_c . Al largo di tale profondità non vi è nel breve e medio termine significativa movimentazione di sedimenti²

Gli interventi di ripascimento saranno quindi localizzati in aree litoranee caratterizzate da situazioni di dissesto ed erosione, che necessitano di un importante ed urgente intervento di ricostruzione della spiaggia, possibilmente con tutti gli elementi che la caratterizzano a livello "naturale" (*spiaggia sommersa, spiaggia emersa di adeguata ampiezza, cordone dunale per la resilienza rispetto agli eventi estremi, eventuale berma o argine di retroduna, altre riserve sedimentarie, ecc.*) nonché, ove necessario, di opere rigide di stabilizzazione della spiaggia ricostruita.

² La *profondità di chiusura* h_c viene generalmente definita come quella profondità oltre la quale si considerano trascurabili, per un dato tempo di ritorno, le variazioni di morfologia del fondale in quanto l'energia del moto ondoso non è più in grado di determinare spostamenti significativi di sedimento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

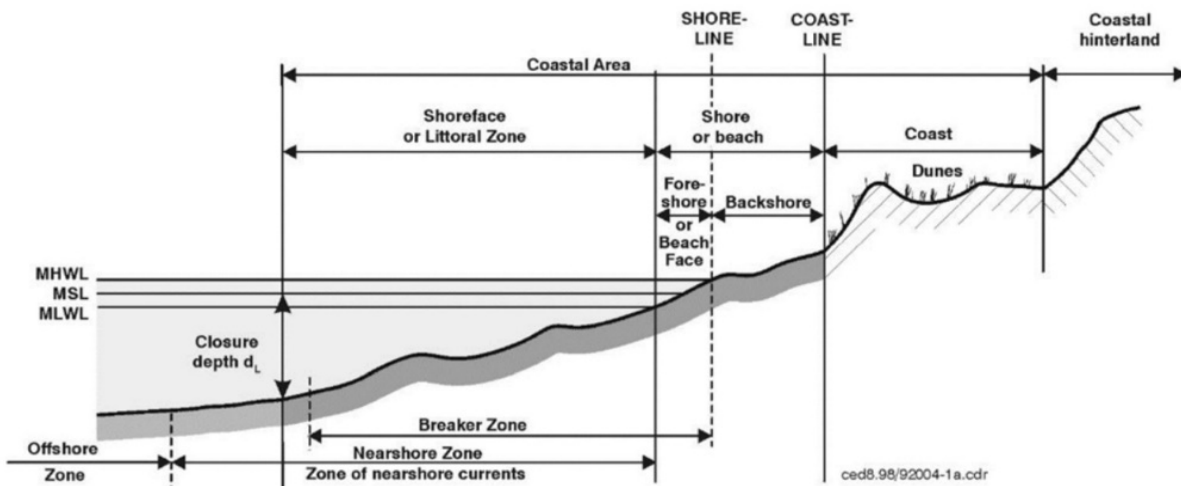


Figura 3.5.34 Fascia costiera o Fascia litoranea attiva (Shore Protection Manual, 1984)

Si procederà quindi alla progettazione di interventi di ricostruzione delle spiagge mediante ripascimento con funzione di riqualificazione ambientale e di riduzione del rischio, che preveda anche l'eliminazione, ove possibile, delle opere rigide ed impattanti esistenti (in particolare di tutti gli elementi in calcestruzzo) non coerenti con una più generale strategia di salvaguardia della costa.

Alla spiaggia ricostruita si intende affidare il naturale compito di protezione delle terre emerse retrostanti dalle mareggiate e dall'ingressione marina, ottenendo così il duplice risultato di proteggere il territorio e tutelare una risorsa fondamentale per l'economia balneare cui il territorio è naturalmente vocato.

3.5.4.2 Possibili tipologie di intervento

Nel presente paragrafo sono descritte le più diffuse tipologie di intervento per contrastare i fenomeni erosivi o governare l'evoluzione morfologica di litorali, foci o altri ambiti dinamici nella morfologia delle aree costiere.

Le tipologie di intervento possono essere classificate entro due macrocategorie: le **opere morbide** e le **opere rigide**.

Le opere cosiddette morbide sono tutte quelle che vengono realizzate tramite risagomatura dei depositi sedimentari o apporto di nuovi sedimenti, provenienti o meno dal medesimo ambito costiero. Tra le opere morbide si ricordano ripascimenti, dragaggi, costruzione o ricostruzione di dune, ecc.

Le opere cosiddette rigide sono quelle realizzate con elementi strutturali dimensionati per resistere nel tempo all'azione del mare e delle correnti, quindi ad avere un effetto duraturo nel tempo. In generale, la loro funzione è quella di produrre perturbazioni della dinamica litoranea tali da provocare

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

gli effetti desiderati sull'evoluzione morfologica dei fondali e della linea di riva, ovvero di garantire la sicurezza nei confronti degli eventi meteomarinari per ambiti puntuali o diversamente estesi.

Nell'ambito più ristretto dell'evoluzione dei litorali e del controllo dell'erosione, si può affermare che le opere rigide non creino di per sé un incremento della superficie di spiaggia, prevenendo così l'erosione in maniera generalizzata, quanto piuttosto consentano di controllare la distribuzione dei sedimenti, determinando locali accrescimenti della superficie emersa, a fronte di più o meno paralleli arretramenti in aree limitrofe. Ovviamente sfuggono a questo concetto i casi in cui l'opera rigida prevenga la perdita di sedimenti verso zone esterne alla dinamica litoranea.

Le opere rigide possono essere realizzate in combinazione con opere morbide, sia per esaltarne l'efficacia (ripascimenti protetti strutturali) che per ridurre l'impatto sui litorali adiacenti (saturazione delle celle in una batteria di pennelli per ripristinare la continuità del trasporto solido litoraneo, mantenendo la linea di riva in una posizione stabilmente avanzata).

In relazione alle più moderne tendenze progettuali ed al sempre maggiore rispetto dell'ambiente, può essere individuata una terza categoria, intermedia, costituita da **opere per così dire "flessibili"**, adoperate con la stessa funzione delle opere rigide, ma non dimensionate per essere incondizionatamente stabili e potenzialmente sacrificabili in caso di eventi estremi. Ciò ne garantisce in generale un più basso costo iniziale a fronte di un più elevato costo di manutenzione, ma garantisce anche la possibilità di modificare la strategia di intervento qualora quella inizialmente perseguita non si dimostri efficace o non sia più attuale in relazione alle modificate condizioni al contorno. Rientrano in questa categoria tutte le opere cosiddette di ingegneria naturalistica (pennelli in legno, fascinate, ecc.), nonché quelle realizzate con geosintetici (geocontainer, geotubi, sacchi, ecc.).

RIPASCIMENTO "LIBERO" E RIPASCIMENTO PROTETTO

Il ripascimento costituisce la forma più elementare di protezione del litorale: consiste in un apporto artificiale di sedimenti, che compensa il deficit di apporto naturale, prevenendo l'arretramento della linea di riva. In casi particolari, può essere utilizzato per aumentare la superficie di spiaggia emersa ai fini della sicurezza del territorio e per l'utilizzo turistico-balneare, oppure addirittura per creare nuove spiagge laddove non esistevano.

In termini geomorfologici, se realizzato con materiale sedimentologicamente affine a quello nativo, rappresenta la soluzione a impatto zero, in quanto non ha alcun effetto negativo sui litorali adiacenti e, anzi, garantisce il ripristino del trasporto solido litoraneo, prevenendo fenomeni erosivi anche nei litorali adiacenti.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	



Figura 3.5.35 Litorale di Tarquinia (Regione Lazio) prima (in alto) e dopo (in basso) l'intervento di ripascimento

Il ripascimento è una modalità di intervento estremamente attuale, soprattutto in relazione all'evoluzione delle tecnologie che permettono la movimentazione dei sedimenti sabbiosi con quantità, tempi e costi prima impossibili. Posto che non sempre sono disponibili cave di prestito in grado di fornire materiale dall'esterno dell'ambito di intervento, le tecnologie di ripascimento permettono anche di movimentare i sedimenti all'interno del medesimo ambito, utilizzando per

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

esempio i materiali dragati per il ripascimento delle spiagge adiacenti, ovvero di effettuare interventi di *bypass* per compensare gli squilibri introdotti nel trasporto solido litoraneo dalla realizzazione di un'armatura di foce o, più in generale, di un'opera aggettante rispetto alla linea di riva.

Le tecnologie impiegabili dipendono essenzialmente dalle caratteristiche dell'area (o cava) di prestito, dal sito da ripascere e dai volumi in gioco. Nel caso in cui i materiali non siano disponibili localmente si fa ricorso sempre più spesso alle cave sottomarine, che garantiscono materiale affine a quello nativo in quantità elevata.

DIFESE RADENTI

La difesa radente è un'opera largamente utilizzata in passato e oggi impiegata solo in situazioni nelle quali si temono rischi relativamente gravi a breve termine; gli interventi con difesa radente sono infatti generalmente irreversibili, nel senso che difficilmente si arriverà alla naturale ricostruzione di una spiaggia emersa al piede di una difesa radente.

Le difese radenti vengono in genere realizzate per risolvere criticità puntuali, ovvero dove si è persa ogni speranza di riuscire a ricostruire una spiaggia emersa stabile. Un uso improprio si traduce spesso in gravi fenomeni di erosione localizzata e ripercussioni negative sui litorali adiacenti, sia per i fenomeni di riflessione che la barriera determina sotto mareggiata, che per effetto delle concentrazioni di flusso che si realizzano a ridosso della stessa. Esistono diversi tipi di difese radenti, realizzate a mare, sulla linea di riva o a tergo di questa; la variabilità della posizione della linea di riva di fronte a una difesa radente è comunque piuttosto elevata e l'evoluzione tale da eliminare la spiaggia emersa di fronte all'opera stessa.

L'utilizzo più frequente è quello di sostituzione del cordone litoraneo laddove questo sia stato completamente demolito dall'azione del moto ondoso: in questo caso la difesa radente rappresenta la soluzione più rapida per prevenire il rischio dell'ingressione marina. Va detto infatti che la fascia di territorio immediatamente retrostante il cordone litoraneo presenta spesso quote altimetriche più depresse rispetto alla spiaggia emersa e risulta così assai vulnerabile.

Le difese radenti sono generalmente realizzate con materiale lapideo, disposto a formare una scarpata che si estende dalla quota di coronamento, oltre la massima altezza di risalita del moto ondoso, alla quota di imbasamento, sufficientemente al di sotto del livello del fondale da scongiurare il rischio di scalzamento. La pendenza della scarpata è variabile, ma in generale conviene mantenere pendenze molto basse, eventualmente intercalando la scarpata con berme orizzontali, per ridurre la riflessione ed il rischio di ottenere le conseguenze negative sopra descritte.

Le modeste profondità e pendenze della scarpata consentono quasi sempre di evitare il ricorso a massi artificiali e di impiegare quindi massi naturali di categorie facilmente reperibili sul mercato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

La lavorazione dei massi sulla scarpata può essere diversa: si passa dai massi alla rinfusa, ai massi lavorati a specchio, fino ad arrivare ai massi cementati, mutuando soluzioni tipiche delle sistemazioni fluviali, ma quanto mai inadatte dal punto di vista idraulico-marittimo.

La lavorazione a specchio e la cementazione esaltano infatti i fenomeni di riflessione e risalita del moto ondoso, peggiorando la funzionalità della struttura e costringendo a realizzare opere di dimensioni inutilmente elevate.

L'introduzione dei geosintetici nel mondo dell'ingegneria marittima ha portato allo sviluppo e all'impiego diffuso di difese radenti cosiddette flessibili, realizzate con sacchi, geotubi o semplici terre rinforzate. Queste sono realizzate a tergo della spiaggia emersa e successivamente ricoperte dalla spiaggia stessa; sono destinate ad entrare in funzione solo in occasione di eventi estremi, ponendo un limite all'erosione determinata dall'evento, per essere successivamente messe "fuori servizio" con la ricostruzione della spiaggia, naturale o artificiale, successiva all'evento estremo.



Figura 3.5.36 Difesa radente realizzata a Casalborsetti (Emilia Romagna)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024



Figura 3.5.37 Esempio di difesa radente realizzata con sacchi di geotessuto (soluzione flessibile) (H. Oumeraci, "Short Course on Shore Protection Strategies")

PENNELLI

Il pennello consiste in una struttura rigida, opportunamente radicata a terra nella spiaggia emersa, che si estende verso il largo in direzione generalmente ortogonale alla riva.

La funzione del pennello, realizzato su un litorale, è quella di parzializzare in una sezione specifica il trasporto solido litoraneo in direzione parallela alla riva, determinando un avanzamento della linea di riva sul lato di sopraflutto rispetto al verso del trasporto solido netto ed un corrispondente arretramento sottoflutto.

Nel caso il trasporto solido netto sia determinato dalla somma di trasporti non nulli nei due versi, l'avanzamento/arretramento nel breve termine potrebbe essere temporaneamente invertito.

Il pennello, se emerso e non trascinabile, parzializza il trasporto solido litoraneo, fino ad arrestarlo se si estende fino alla profondità di chiusura. Se parzialmente sommerso o trascinabile, parte del trasporto solido può attraversarlo e si parla di pennello "permeabile" ai sedimenti.

Di norma il pennello viene realizzato estendendo la radice a sufficienza nella spiaggia emersa in modo tale da evitare fenomeni di aggiramento, e la quota di coronamento elevata di conseguenza; l'aggiramento potrebbe avere conseguenze estremamente gravi per la spiaggia che si intende proteggere, determinando una rapida ed incontrollata erosione locale della spiaggia emersa.

I pennelli possono essere realizzati in materiale lapideo o cementizio, sacchi o geotubi riempiti di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

sabbia, pali o palancole in legni comuni o esotici, ecc.

Di norma si estendono nella fascia attiva fino a profondità dell'ordine dei 3 m; oltre queste profondità l'azione del moto ondoso diventa importante e la struttura richiede l'utilizzo di massi di categoria elevata o addirittura di elementi artificiali in calcestruzzo.

Generalmente strutture di tale importanza vengono impiegate solo per armature di foce o per veri e propri moli con funzioni diverse dal controllo dell'erosione.

L'utilizzo dei pennelli per la difesa e la ricostruzione dei litorali rappresenta una soluzione diffusamente adottata e abbastanza versatile, in particolare laddove sia necessario mantenere una certa continuità del trasporto solido litoraneo.

In questo caso, infatti, l'adozione di pennelli di lunghezza limitata e la contestuale esecuzione di ripascimenti consente di ripristinare una relativa continuità del trasporto solido, mantenendo stabilmente la linea di riva in posizione più avanzata rispetto a quella iniziale.



Figura 3.5.38 Litorale di Punta Marina – Pennello “Ruvido” (Regione Emilia Romagna)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

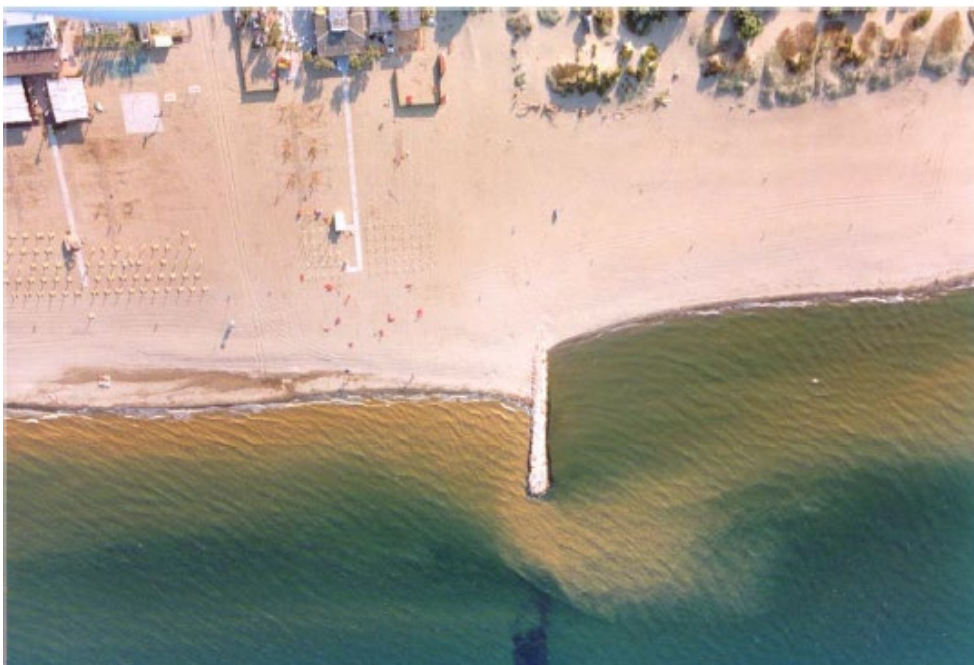




Figura 3.5.39 Pennello realizzato lungo il litorale di Casalborsetti (Regione Emilia Romagna)

BARRIERE FRANGIFLUTTI

Le barriere frangiflutti, emerse o sommerse, rappresentano una tipologia di opera largamente utilizzata in passato e oggi più spesso impiegata nell’ambito dei ripascimenti protetti. La soluzione tipologica ha evidentemente come obiettivo la salvaguardia dell’ambito limitato a tergo delle barriere, rappresentando queste un netto elemento di discontinuità nel regime del trasporto solido litoraneo. La funzione della barriera, emersa o sommersa, è quella di determinare una locale riduzione dell’energia del moto ondoso incidente (che si dissipa in tutto o in parte sulla barriera), determinando un accumulo dei sedimenti mobili tra la barriera e la riva. Se esiste un trasporto solido parallelo alla riva non nullo in entrambi i versi, l’effetto di “cattura” dei sedimenti può essere esercitato sia nei confronti della spiaggia di sopraflutto che di quella di sottoflutto.

Nel contesto di un intervento parziale su un litorale sabbioso molto esteso, l’impiego ottimale della barriera frangiflutti prevedrebbe che la geometria del sistema di difesa (dimensione dei varchi, lunghezza delle barriere, distanza da riva, larghezza, quota di coronamento) in relazione al regime del trasporto solido litoraneo fosse tale da modificare limitatamente l’andamento della linea di riva, generando un saliente a tergo della barriera stessa, ma garantendo una parziale continuità del trasporto solido litoraneo.

Raramente, tuttavia, si arriva a definire una geometria ottimale e spesso si realizza la formazione di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

un “tombolo” che porta la linea di riva a toccare la barriera e la barriera stessa a funzionare di fatto come una difesa radente.

In casi opposti, più spesso con barriere sommerse, l’azione del frangiflutti risulta inefficace e la riduzione del moto ondoso sulla spiaggia emersa non riesce a compensare gli effetti negativi legati alla perdita di sedimenti per azione delle correnti di ritorno che si generano nei varchi e nelle discontinuità tra le barriere.

L’importante tracimazione del moto ondoso che spesso si verifica oltre la barriera determina il fenomeno noto come “*piling-up*”, consistente in un incremento del livello medio tra le barriere e la riva. Il fenomeno è responsabile della formazione delle correnti di ritorno e, talvolta, di fenomeni erosivi della spiaggia emersa; vale la pena di osservare infatti che, su spiagge a debolissima pendenza, i fenomeni erosivi più gravi si manifestano in corrispondenza di livelli di marea eccezionali.



Figura 3.5.40 Formazione del “tombolo” a tergo delle barriere - Ladispoli (Regione Lazio)

In contesti dove la continuità del trasporto solido litoraneo non rappresenta un tema fondamentale (pocket beach o tratti di litorale alle cui estremità il trasporto solido si annulla), un sistema di difesa continuo basato su barriere frangiflutti può rappresentare comunque una soluzione efficace e non determina impatti negativi legati all’interruzione del trasporto solido litoraneo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024



Figura 3.5.41 Barriere emerse realizzate a Lido Adriano (Regione Emilia Romagna)

DIFESE A CELLE

La difesa a celle risulta dalla combinazione di pennelli e barriere frangiflutti, sommerse o emerse, e viene in genere realizzata in abbinamento ad un ripascimento strutturale per proteggere tratti di litorale entro i quali non vi siano apporti di sedimenti naturali, né necessità di mantenere o ripristinare il trasporto solido in direzione parallela alla riva.

La difesa a celle si spinge quasi sempre a profondità e distanze da riva abbastanza elevate, in modo da permettere la realizzazione al suo interno di una spiaggia emersa e sommersa realmente efficace per la dissipazione dell'energia del moto ondoso incidente. Di conseguenza, il suo impatto su un eventuale trasporto solido litoraneo ancora attivo è notevole (di fatto, ne blocca la continuità).

La spiaggia ricostruita che completa la difesa a celle può essere realizzata in continuità con il profilo trasversale al largo della barriera sommersa, ma più spesso presenta le caratteristiche di spiaggia sospesa, con un profilo trasversale che si interrompe in corrispondenza della barriera, che a sua volta funziona quindi anche da sostegno del piede del ripascimento (*"perched beach"*).

La spiaggia così formata risulta efficacemente protetta dall'azione del moto ondoso e delle correnti litoranee, anche se risente inevitabilmente di una progressiva ed irreversibile perdita verso il largo dei sedimenti che la costituiscono, alla quale si dovrà far fronte con periodici interventi di ripascimento. È quanto mai improbabile, infatti, che sedimenti provenienti dai fondali adiacenti possano andare ad alimentare la spiaggia sospesa, se non nel caso in cui i fondali adiacenti raggiungessero la quota di coronamento della barriera sommersa. In tal caso, presumibilmente, la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

soluzione con difesa a celle si rivelerebbe una scelta inadatta al contesto locale.

DUNE ARMATE

Le dune armate sono costituite da rilevati dunali artificiali che prevedono al loro interno la presenza di un nucleo rigido, generalmente costituito da una struttura in geosintetici (geotubi, sacchi, terra rinforzata) o composita (burghe, gabbioni, fascinate, ecc.).

La duna armata ha la medesima funzione della duna naturale e va collocata a tergo della spiaggia emersa, al limite della fascia attiva. Come nel caso della duna naturale, la funzione della duna armata rimane quella di cedere volume alla spiaggia emersa in caso di eventi estremi, dotando quindi il cordone litoraneo di maggiore capacità di resilienza. Nel caso della duna armata, la resilienza viene incrementata dalla presenza di un elemento rigido che, una volta esposto, impedisce un'ulteriore erosione della spiaggia emersa, prevenendo così la distruzione di eventuali dune retrostanti, ovvero l'overwash e l'ingressione marina.

Si tratta ovviamente di una struttura che è destinata a svolgere pienamente la sua funzione solo in caso di eventi eccezionali, a seguito dei quali deve essere ripristinata, se necessario anche artificialmente con il riporto di nuovo materiale e la rinaturalizzazione del corpo dunale ricostruito.

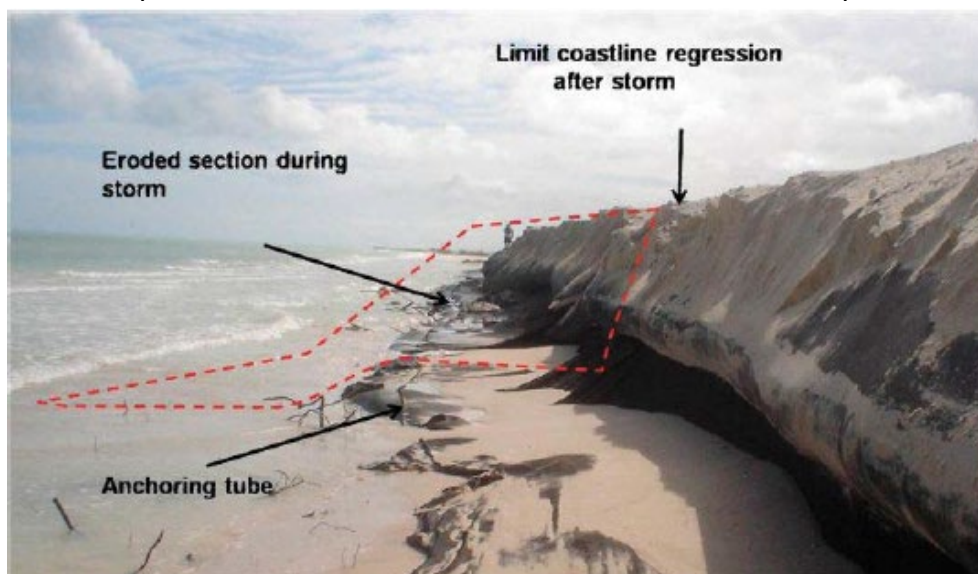


Figura 3.5.42 Duna armata (Alvarez E., Rubio R., Ricalde H., "Shoreline restored with geotextile tubes as submerged breakwaters in Yucatán México" *Geosynthetics magazine* - Vol. 24, No.3, 2006)

SECCHIE SOMMERSE

Si tratta di una particolare tipologia di barriera sommersa, caratterizzata generalmente da elevata sommersenza e sviluppo trasversale; la struttura ha lo scopo di attenuare l'altezza dell'onda incidente attraverso la dissipazione progressiva per attrito di fondo e frangimento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

L'effetto dovrebbe essere analogo a quello di una prateria di Posidonia o di un affioramento roccioso; la secca determina una riduzione di agitazione ondosa, del *radiation stress* sotto costa (cioè indirettamente delle correnti forzate dal frangimento) e del trasporto solido. La presenza di aree densamente popolate da Posidonia, come pure di affioramenti rocciosi (che modificano localmente scabrezza e profondità del fondale), è in grado di determinare una modificazione del campo di moto ondoso e delle correnti litoranee, come dimostrato da numerosi studi riguardanti l'interazione tra Posidonia e idrodinamica litoranea; tali modificazioni sono particolarmente evidenti in presenza dell'attrito di fondo determinato dalle foglie delle piante, che sono in grado di raggiungere anche i 100-140 cm di lunghezza (Progetto NAUSICAA, Final Report, 2008).

Risulta comunque evidente che le "prestazioni" della secca in termini di riduzione locale della dinamica litoranea sono inversamente proporzionali alla profondità (sulla secca) e direttamente proporzionali allo sviluppo (nella direzione di propagazione del moto ondoso). Le dimensioni caratteristiche di queste strutture in natura sono dell'ordine di qualche lunghezza d'onda, mentre i fondali tipicamente interessati variano tra i 5 e i 15 m.

3.5.4.3 Considerazioni generali sulla applicabilità delle diverse tipologie di intervento

Il ripascimento rappresenta sicuramente la soluzione ottimale alle problematiche di erosione costiera, ripristinando di fatto il bilancio sedimentario con apporto artificiale di materiale.

Qualsiasi intervento con opere rigide che interessano la fascia attiva in un litorale sabbioso (con l'eccezione della difesa radente e della duna armata) raggiunge il proprio scopo – la difesa o l'accrescimento della linea di riva – attraverso l'interazione con la dinamica litoranea, e più specificatamente modificandola per attenuare localmente il moto ondoso e il trasporto solido, favorendo la deposizione dei sedimenti.

L'impiego di difese a celle o di strutture massive non associate a ripascimenti, quali pennelli o barriere, comporta riduzioni del trasporto solido e impatti morfologici all'esterno dell'area di intervento.

Più favorevole è ovviamente il giudizio preliminare su tutti gli interventi con opere rigide che permettono una limitata modulazione del trasporto solido litoraneo, tale da favorire la formazione e la permanenza della spiaggia emersa. In linea di principio la logica di funzionamento è corretta e sostenibile, ma subordinata alla predisposizione di un efficace (e flessibile) piano di manutenzione. Positivo è senza dubbio il giudizio preliminare su interventi in grado di replicare fenomenologie tipiche dell'assetto litoraneo precedente alla pesante antropizzazione subita dalle coste, realizzando artificialmente strutture che replicano i tipici affioramenti rocciosi o cercano di replicare gli effetti delle

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

praterie di fanerogame marine, tuttora presenti in alcuni fondali antistanti le spiagge.

TIPOLOGIA	CONSIDERAZIONI SINTETICHE	IMPATTO SOTTOFLUTTO	COSTI DI REALIZZAZIONE	COSTI DI MANUTENZIONE
RIPASCIMENTO	idoneo, con lo scopo di compensare il deficit sedimentario	positivo	medio	medio
DIFESA RADENTE	idoneità condizionata alla locale perdita definitiva della spiaggia emersa	negativo	alto	basso
PENNELLI	idoneità condizionata alla garanzia di parziale bypass e ad interventi compensativi con ripascimento sottoflutto	negativo, compensabile	alto	medio
BARRIERE	idoneità condizionata alla garanzia di parziale bypass e ad interventi compensativi con ripascimento sottoflutto	negativo, compensabile	alto	medio
DIFESA A CELLE	non idoneo	pesantemente negativo	molto alto	medio
DUNA ARMATA	idoneo, con il solo scopo di aumentare la resilienza della spiaggia	positivo	medio	basso
SECCHIE SOMMERSE	idoneità condizionata all'esecuzione di modesti interventi compensativi con ripascimento sottoflutto	negativo, compensabile	molto alto	basso

Figura 3.5.43 Considerazioni generali sull'applicabilità delle diverse tipologie di difesa all'area di studio

3.5.5 Piano di Monitoraggio Ambientale degli interventi di ripascimento

Si prevede l'aggiornamento del Piano di Monitoraggio Ambientale – in ottemperanza alla prescrizione del CTVA *Estensione del periodo di monitoraggio post operam ad una durata di 5 anni – ante, durante, post operam* degli interventi di ripascimento in funzione della normativa vigente e delle Componenti Ambientali coinvolte, la durata del monitoraggio *post operam* sarà ridefinita ed estesa a 5 anni (come richiesto) per le CA significative. Inoltre, il PMA potrà o meno essere integrato nel PMA generale in sede di Progettazione Esecutiva.

3.5.6 Programmazione temporale dei lavori e individuazione degli interventi limitativi degli impatti a carico della popolazione

Il Progetto Esecutivo dei Ripascimenti – in ottemperanza alla prescrizione del CTVA *Programmazione temporale dei lavori e individuazione degli interventi limitativi degli impatti a carico della popolazione* - sarà corredato da apposito specifico Cronoprogramma dei Lavori (ovviamente connesso al Cronoprogramma Generale dei Lavori del Ponte). Il P.E.R. prevederà adeguati accorgimenti operativi tesi a minimizzare gli impatti a carico della popolazione connessi con la realizzazione dei ripascimenti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

Sez. 2 - Ambiente Marino Costiero: Realizzazione pennelli e scogliere

Il presente capitolo, redatto nell'ambito dell'aggiornamento del **Progetto Definitivo dell'Opera di Attraversamento stabile dello Stretto di Messina e collegamenti stradali e ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia**³, si è reso necessario al fine di ottemperare alla specifica richiesta di integrazioni pervenuta attraverso il Parere da parte della Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS n.1185 del 15-03-2013 (Delibera CIPE n. 66 del 01-08-2003). In particolare, in relazione alla prescrizione **VIAS020** del suddetto parere (*cf.* § 5.2.6 *Quadro di Riferimento Progettuale*) – che analizza la tematica **Ambiente Marino Costiero: Realizzazione pennelli e scogliere** – si fornisce una prima sequenza di attività e azioni metodologiche da intraprendere, da approfondirsi nei successivi sviluppi in seno alla Progettazione Esecutiva.

1 Verifica e ottimizzazione delle soluzioni progettuali previste in sede di progettazione definitiva

Le attività di studio e modellazione numerica descritte in dettaglio all'interno del capitolo precedente *Ambiente marino costiero - Ripascimento costiero* si pongono l'obiettivo, tra gli altri, proprio di verificare l'efficacia della soluzione progettuale prevista nell'ambito del Progetto Definitivo (ripascimento strutturale protetto da una scogliera sommersa lunga circa 8 km con numerosi varchi in corrispondenza delle foci dei torrenti) prevedendone un'eventuale ottimizzazione. In particolare, l'opportunità dell'inserimento di pennelli trasversali (ad oggi previsti esclusivamente come opere temporanee per la cantierizzazione dell'opera longitudinale) potrà essere valutata in aggiunta o in alternativa alla soluzione prevista, qualora le verifiche sopra illustrate dovessero evidenziare particolari criticità nella stabilizzazione dell'arenile.

Per una trattazione più dettagliata, si rimanda al paragrafo *Progettazione concettuale degli interventi di ripascimento, delle relative opere di stabilizzazione e delle modalità realizzative*.

2 Modellazione numerica finalizzata alla quantificazione del ricambio idrico

La soluzione ottimizzata sarà infine verificata mediante l'implementazione di un ulteriore modello numerico (MIKE 21 AD di DHI) finalizzato alla quantificazione del ricambio idrico, aspetto particolarmente delicato in caso di opere trasversali a costa che possano ridurre l'idrodinamismo

³ DL 31 marzo 2023 n. 35 Disposizioni urgenti per la realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria, convertito in Legge del 26 maggio 2023 n. 58.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

nella porzione di spiaggia compresa tra la battigia e l'opera stessa.

Per una trattazione più dettagliata, si rimanda al paragrafo *Modellazione numerica della dispersione e trasporto dei sedimenti anche a grandi distanze dai siti di conferimento*, al capitolo successivo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

Dinamica del Litorale: Studio evoluzione linea di costa

Il presente capitolo, redatto nell'ambito dell'aggiornamento del **Progetto Definitivo dell'Opera di Attraversamento stabile dello Stretto di Messina e collegamenti stradali e ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia**⁴, si è reso necessario al fine di ottemperare alla specifica richiesta di integrazioni pervenuta attraverso il Parere da parte della Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS n.1185 del 15-03-2013 (Delibera CIPE n. 66 del 01-08-2003). In particolare, in relazione alla prescrizione **VIAC027** del suddetto parere (*cf.* § 5.2.6 *Quadro di Riferimento Progettuale*) – che analizza la tematica **Dinamica del litorale – Studio evoluzione linea di costa** – si fornisce una prima sequenza di attività e azioni metodologiche da intraprendere, da approfondirsi nei successivi sviluppi in seno alla Progettazione Esecutiva.

1 Premessa metodologica

Di seguito si caratterizzano i siti di Ganzirri e Cannitello, sede dei futuri pontili che permetteranno la movimentazione via mare dei conci prefabbricati che costituiranno le torri.



L'obiettivo è quello di delineare la metodologia di intervento della fase di Progetto Esecutivo, in quanto le analisi ed i rilievi corrispondono alla fase di progetto definitivo del 2012.

2 Analisi descrittiva dello stato di fatto delle aree potenzialmente influenzate dalla realizzazione dei Pontili

La fascia costiera, nella quale ricade Ganzirri, è delimitata nell'immediato retroterra dai versanti spesso molto ripidi interrotti da spazi collinari ridotti che, nelle zone più acclivi, possono anche non essere presenti.

In generale, in questo settore le fasce pedemontane e collinari si sviluppano, a varie quote, secondo superfici variamente estese sub-pianeggianti degradanti che conferiscono ai versanti una struttura a gradinate.

⁴ DL 31 marzo 2023 n. 35 Disposizioni urgenti per la realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria, convertito in Legge del 26 maggio 2023 n. 58.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024	

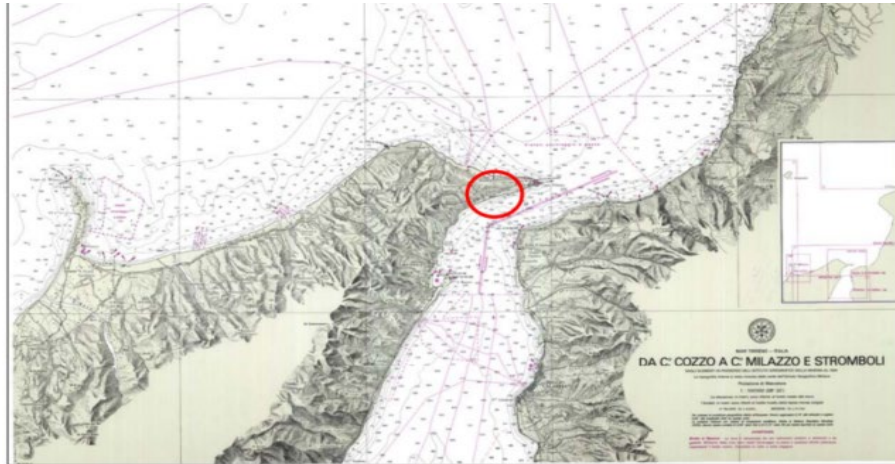


Figura 2.1 Inquadramento territoriale di Ganzirri con Carta n.12 I.I.M.M. in scala 1: 100.000

Ganzirri ricade nell’area della “Rete Natura 2000”, come area ZPS ITA030042 “Monti Peloritani, Dorsale Curcuraci, Antennamare e Area Marina dello Stretto di Messina”.

Il paraggio di Cannitello ricade all’interno dell’area denominata “Costa Viola”, appartenente al territorio della Città Metropolitana di Reggio Calabria, che si estende dal territorio comunale di Villa San Giovanni fino a quello di Palmi.



L’intera “Costa Viola” è caratterizzata da una percentuale elevata di costa alta e rocciosa, con fondali di pendenza molto elevata, arricchita dalla presenza di spiagge sabbiose o ghiaiose che si insinuano all’interno dei costoni rocciosi anzidetti, caratterizzando fortemente il tratto costiero.



Figura 2.2 Vincolo Rete Natura 2000 sito di Ganzirri



Figura 2.3 Inquadramento territoriale di Cannitello

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

Si sottolinea che il territorio comunale ha una forte valenza paesaggistica ed ambientale, in quanto è caratterizzato dalla presenza di siti naturalistici facenti parte della Rete Natura 2000: SIC IT9350172 “Fondali da Punta Pezzo a Capo dell’Armi” e ZPS IT9350300 “Costa Viola”.

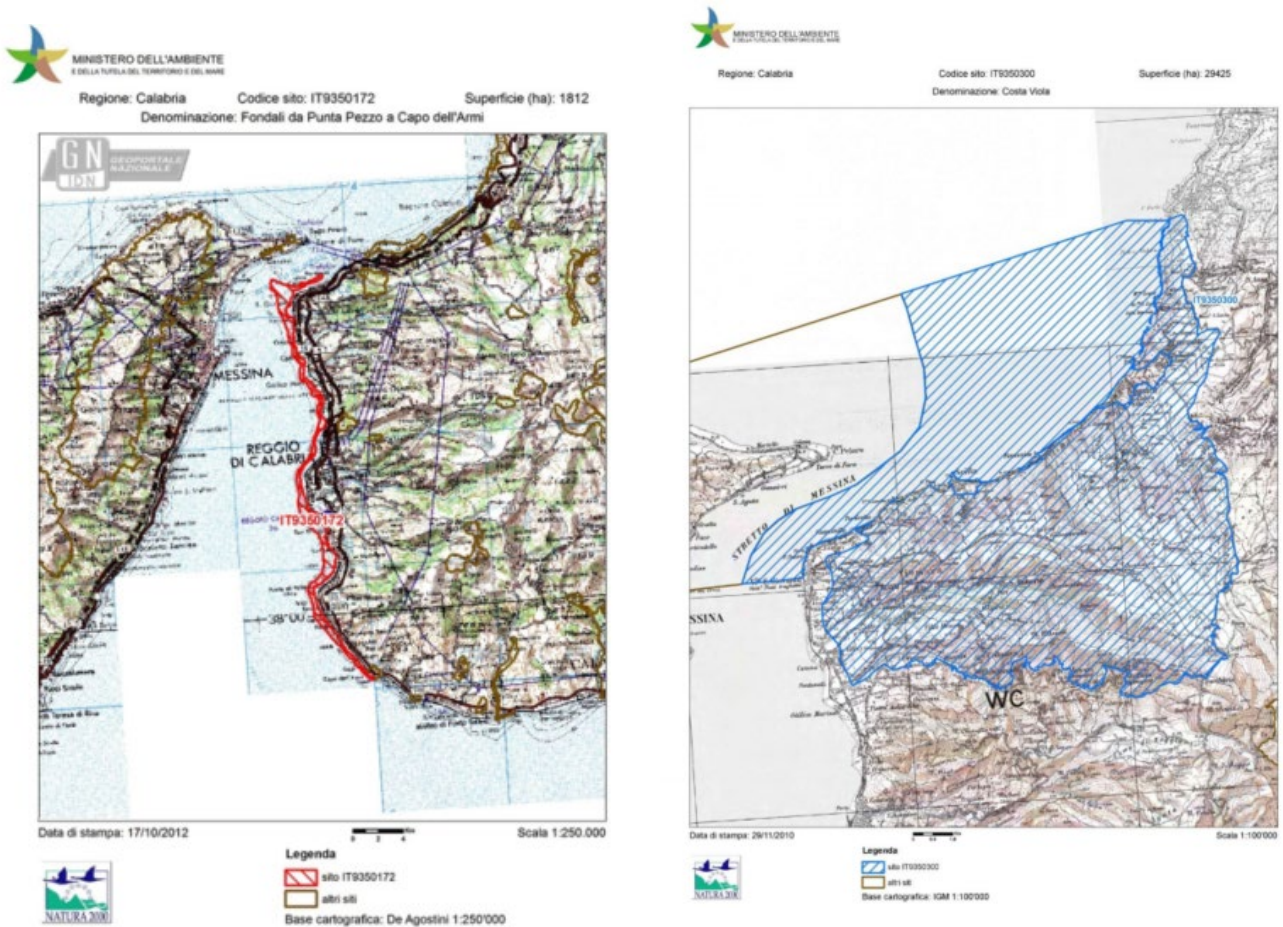


Figura 2.4 Vincoli Rete Natura 2000 – sito di Cannitello

Lo stato di fatto dell’area ricadente nei due paraggi può essere dedotto da studi pregressi riferiti al progetto definitivo (2012).

Essi mostrano che il terreno è costituito da depositi della piana costiera e ghiaie di Messina. Dal lato siciliano il fondale marino è meno ripido rispetto al lato calabrese e la coltre di depositi superficiali appare di potenza inferiore.

Non risultano indagini a mare in corrispondenza delle future aree di costruzione dei pontili, a tal proposito non è possibile dedurre la profondità di transizione tra i vari strati e soprattutto quella del substrato roccioso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

Ne consegue che, per entrambi i siti dovrà essere predisposta una campagna di indagini geognostiche e geofisiche ad hoc, che preveda prove specifiche per la caratterizzazione dei terreni in sito. Viste le conoscenze pregresse si stima che le prove possano consistere in: Prove SPT e di laboratorio sui terreni di fondale e ad altre prove necessarie per caratterizzare l'ammasso roccioso costituente il substrato (compressione semplice uniassiale, prove di trazione indiretta, Point Load Test, ecc.), nonché qualora possibile, l'esecuzione di prove sismiche al fine di indagare la potenziale liquefacibilità dei terreni superficiali e l'esatta profondità del bedrock lungo l'intero sviluppo delle nuove opere.

3 Esecuzione rilievo topo-batimetrico di dettaglio delle aree di realizzazione dei Pontili

Al 2012 risultano indagini morfobatimetriche eseguite con ecoscandaglio Multibeam fino alla batimetrica -10 m.

Si predisporrà l'esecuzione dei rilievi topo - batimetrici dell'area di ricadenza sia del Pontile di Cannitello che dei Pontili di Ganzirri e delle relative aree limitrofe significative per la valutazione degli effetti litoralistici dei pontili stessi.

4 Esecuzione di prelievi di sedimenti lungo le aree rilevate per la caratterizzazione granulometrica dei litorali

L'esecuzione di prelievi di sedimenti è utile al fine di caratterizzare il litorale dal punto di vista granulometrico (la granulometria è uno dei dati di input del modello di evoluzione della linea di riva). Per tale scopo viene impiegato il modulo MIKE 21 ST (Sand Transport). Il modello, una volta introdotte le caratteristiche dei sedimenti in termini di granulometria media (d50) e di variabilità del fuso (sediment grading) è in grado di fornire la distribuzione della capacità di trasporto nel dominio di calcolo in termini di trasporto combinato della componente longitudinale (long-shore) e trasversale (cross-shore). Il modello viene forzato dai campi di altezza e periodo d'onda, ottenuti attraverso l'applicazione del modello MIKE 21 SW e dai campi di corrente litoranea, ottenuti attraverso l'applicazione del modello idrodinamico MIKE 21 HD.

Le attività permetteranno, anche attraverso opportune analisi di sensitività, di quantificare la dipendenza attesa del sistema costiero dagli apporti solidi fluviali, di identificare i tratti di costa potenzialmente critici ed, eventualmente, di proporre le necessarie mitigazioni.

La società DHI, permette l'utilizzo di modelli più semplificati come LITPACK, modello ad una linea la cui versatilità permette, tra l'altro l'individuazione delle onde che maggiormente contribuiscono al

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

bilancio del trasporto sedimentario annuo (utile ai fini della determinazione degli scenari da simulare con i modelli 2D di dettaglio) ed una valutazione rapida della cosiddetta orientazione di equilibrio locale della linea di costa, di grande utilità a supporto degli interventi di ripascimento, in modo da orientare quanto più possibile la nuova spiaggia verso una configurazione stabile già in partenza.

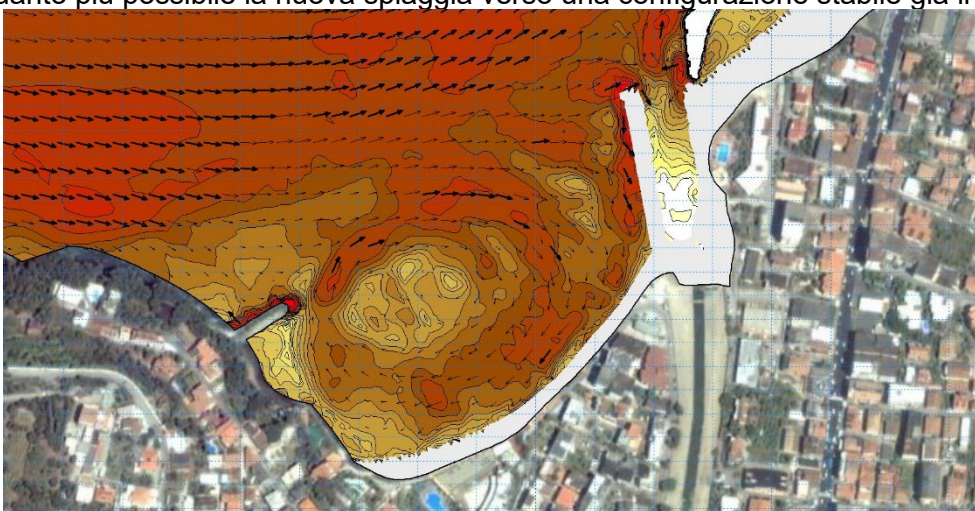


Figura 4.1 Esempio di risultati del modello di trasporto MIKE 21 ST. Distribuzione delle capacità di trasporto con indicazione vettoriale delle direzioni del flusso.

5 Implementazione di specifico sistema modellistico integrato per la valutazione degli effetti della realizzazione dei pontili

Gli eventuali effetti della realizzazione del pontile di supporto ai mezzi navali lato Calabria – zona Cannitello verranno opportunamente testati mediante la predisposizione di uno specifico sistema modellistico integrato. In particolare, verrà implementato un modello bidimensionale di onda e corrente (MIKE 21 SW+HD) e saranno predisposte simulazioni in riferimento ad una serie di condizioni d’onda rappresentative, in assenza e presenza del pontile. Qualora la distribuzione del moto ondoso e/o delle correnti dovesse risultare impattata in misura non trascurabile dalla presenza delle opere di fondazione della struttura, il modello di evoluzione della linea di riva sarà implementato localmente anche in riferimento alla configurazione di presenza del pontile, al fine di quantificare gli effetti dell’opera sulle dinamiche di trasporto sedimentario sopraflutto e sottoflutto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

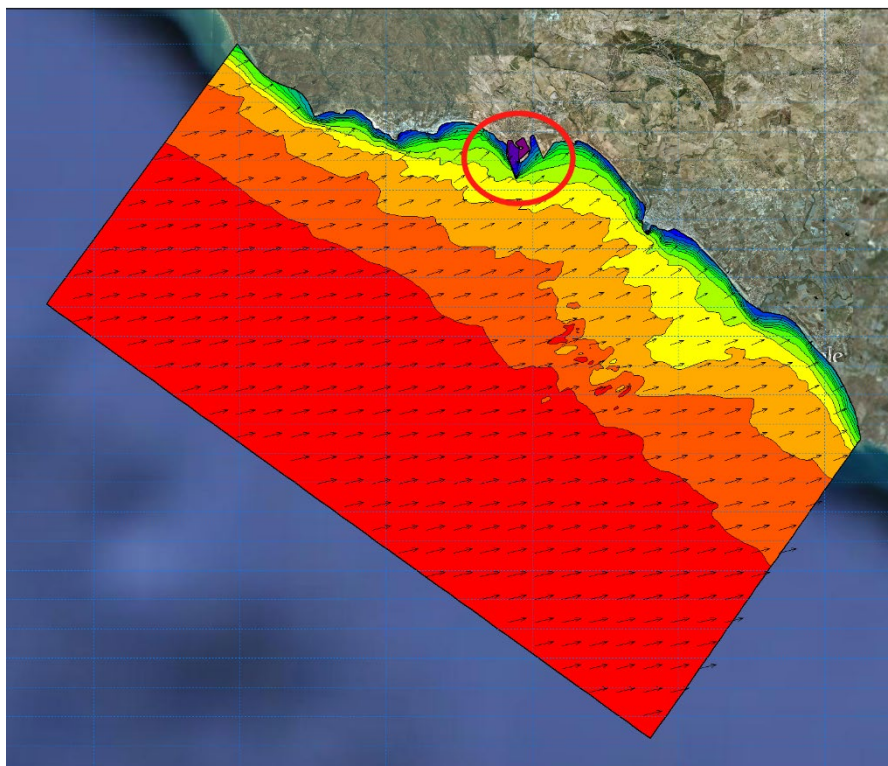


Figura 5.1 Esempio applicazione del modello SW di propagazione del moto ondoso sottocosta

5.1 Caratterizzazione meteo-marina dei litorali oggetto di studio

I dati batimetrici sono disponibili nella cartografia nautica digitale a livello globale, che ricomprende tutte le carte alle differenti scale spaziali oggi disponibili. Il database (CMAP) è continuamente aggiornato e integra nuove carte non appena queste vengono rese disponibili dagli uffici idrografici dei vari paesi. L'applicativo che permette di accedere al database è tuttavia vincolato ad un utilizzo dei dati in ambito modellistico numerico (i dati sono criptati) e le mappe non possono essere esportate per un utilizzo diverso.

Il regime di corrente nello Stretto di Messina è ampiamente studiato ma non sono presenti, a conoscenza degli scriventi, reti di monitoraggio fisse (ADCP o simile) in grado di fornire lunghe serie storiche di dati osservati.

Tra le pubblicazioni più recenti e complete sulla circolazione nello Stretto di Messina vi è senz'altro il paper "*Hydrodynamic modeling of coastal seas: the role of tidal dynamics in the Messina Strait, Western Mediterranean Sea*" (Cucco et al., 2016), che oltre a contenere un'analisi dettagliata della genesi della circolazione dello Stretto, riporta i risultati di un'applicazione modellistica 3D in riferimento all'intensità e direzione della corrente nelle varie zone dello Stretto, sia per effetto della marea astronomica, sia per effetto della residua circolazione termalina (funzione delle variazioni di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

temperatura e salinità). I database del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) contiene oltre 30 anni di dati modellati (3D) della circolazione dei mari europei, ivi compreso il Mar Mediterraneo tuttavia la sua risoluzione spaziale (circa 4 km) non lo rende adeguato per quantificare le correnti alle diverse profondità in corrispondenza dello Stretto di Messina.

Tra i modelli idrodinamici ad alta risoluzione dello Stretto di Messina, si ha quello bidimensionale (fonte DHI) che, è particolarmente utile per la quantificazione delle correnti di marea. La proprietà del sistema modellistico contiene anche un database delle condizioni d'onda nello Stretto in quanto già predisposto per il Comune di Messina nella risoluzione di altri progetti.

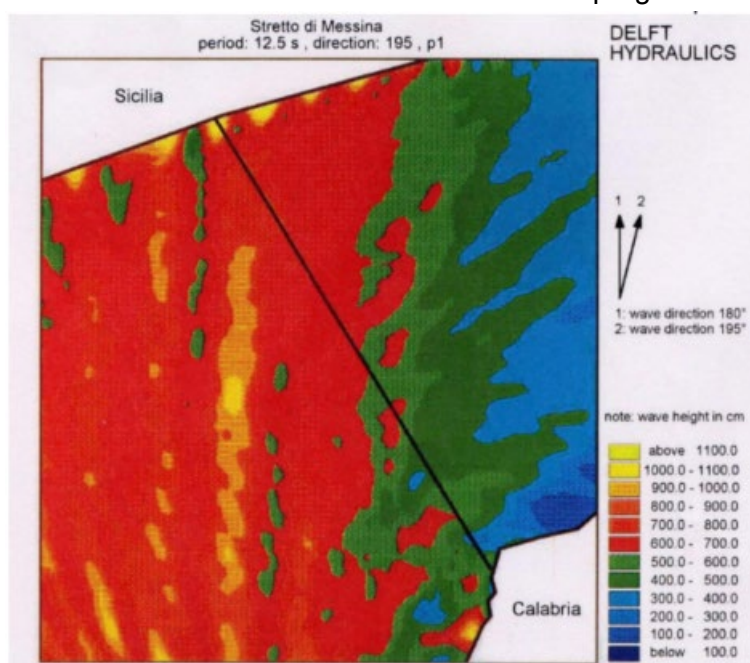


Figura 5.2 Distribuzione delle altezze d'onda nello Stretto di Messina

5.1.1 Caratterizzazione meteo-marina dei litorali potenzialmente influenzati dalla realizzazione del Pontile di Cannitello

La caratterizzazione meteo - marina del paraggio di Cannitello risulta essere già effettuata al 2012 (sede di progetto definitivo). Di seguito si riportano i risultati.

Per la costa antistante la torre Cannitello è stato individuato un settore di traversia complessivo compreso tra le visuali 255°N (Punta Pezzo) e 65°N (costa calabrese limitrofa) suddivisibile in due settori di traversia. Un settore di traversia, secondario, è compreso tra le visuali 255°N (Punta Pezzo) e 10°N (Punta Sottile) con fetches geografici variabili da 3 a 6 km. Il secondo settore di traversia, principale, è compreso tra le visuali 10°N (Punta Sottile) e 65°N (costa calabrese limitrofa) con fetches geografici variabili da 15 a 140 km.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

Utilizzando i dati ondametrici osservati da navi in transito nel Tirreno sudorientale nel periodo compreso tra il 1949 ed il 1988 raccolti ed elaborati dal MET-OFFICE di Bracknell (U.K.) si ha che per la direzione di provenienza 20°N, per Tr = 50 anni, Hs = 4,19 m (Ts = 8,46 s) e, per Tr = 200 anni, Hs = 5,40 m (Ts = 9,64 s). Tale onda arriva sull'opera subendo effetti solo rifrattivi e deve essere confrontata con quella, ben più intensa al largo, proveniente da Maestrale (290°N) per la quale è individuabile per Tr = 50 anni Hs = 7,32 m (Ts = 11,27 s), e per Tr = 200 anni, un Hs = 9,19 m (Ts = 12,67 s), che però poi subisce cospicui effetti diffrattivi su Capo Peloro - Punta Sottile prima di giungere sull'area di Cannitello (Kd' circa = 0,11). Sarà solo nelle successive fasi progettuali e di studio che, scaturirà l'altezza d'onda di progetto delle opere marittime previste.

5.1.2 Caratterizzazione meteo-marina dei litorali potenzialmente influenzati dalla realizzazione dei Pontili di Ganzirri

La caratterizzazione meteo - marina del paraggio di Ganzirri risulta essere già effettuata al 2012 (sede di progetto definitivo). Di seguito si riportano i risultati.

Per la costa antistante la torre Ganzirri è stato individuato un settore di traversia complessivo compreso tra le visuali 75°N (Punta Sottile-Bagnara Calabria) e 205°N (costa siciliana vicino Messina) suddivisibile in due settori di traversia secondari che comprendono un settore principale. Il primo settore di traversia secondario è compreso tra le visuali 75°N (Punta Sottile-Bagnara Calabria) e 180°N (Punta Pezzo) con fetches geografici variabili da 3 a 15 km. Il settore di traversia principale è compreso tra le visuali 180°N (Punta Pezzo-Golfo della Sirte) e 190°N (Penisola Ortigia-Siracusa-costa africana) con fetches geografici variabili da 620 a 720 km. Il secondo settore di traversia secondario è compreso tra le visuali 190°N (Penisola Ortigia-Siracusa) e 205°N (costa siciliana vicino Messina) con fetches geografici variabili da 9 a 130 km.

Utilizzando i dati ondametrici rilevati presso l'ondametro direzionale di Catania nel periodo compreso tra il Luglio 1989 ed il Novembre 2002 e sottoponendo la serie tronca di altezze d'onda superiori a 2,5 m di soglia comprese in un settore di provenienza di "Ostro" allargato (direzioni comprese tra 150°N e 205°N) all'elaborazione statistica mediante la funzione di distribuzione di Fuller-Coutagne si è ottenuto che, per Tr = 50 anni, Hs = 4,80 m (Ts = 8,42 s, Tp = 10,70 s) e, per Tr = 200 anni, Hs = 5,47 m (Ts = 8,76 s, Tp = 11,14 s). Tale fonda arriva sulle opere a Ganzirri, subendo poche o nulle riduzioni.



Sarà solo nelle successive fasi progettuali e di studio che, scaturirà l'altezza d'onda di progetto delle opere marittime previste.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

5.2 Implementazione di apposito modello bidimensionale di onda e corrente per la valutazione degli effetti della realizzazione dei pontili

Le fasi di studio mediante modello numerico sono sempre precedute da un'attività di raccolta e processamento di tutti i dati disponibili. I dati di input comunemente necessari per la predisposizione di uno studio delle dinamiche del litorale finalizzato alla difesa della costa dall'erosione ed all'individuazione delle soluzioni ottimali di intervento si possono raggruppare nelle seguenti categorie:

- dati relativi all'evoluzione storica della linea di riva:** le immagini satellitari risultano un utilissimo strumento per la ricostruzione dell'andamento storico della linea di riva. La loro interpretazione, unita alla conoscenza della storia delle opere costiere eventualmente già presenti a difesa del litorale, permette indirettamente di sopperire all'eventuale assenza di campagne di misure relative alla correntometria ed al trasporto di sedimenti lungo la costa.
- dati relativi al moto ondoso:** generalmente i dati relativi al clima ondoso al largo del sito in esame; sono ottenibili in forma di registrazioni dei principali parametri che caratterizzano l'onda (altezza significativa, periodo medio o di picco e direzione di provenienza), effettuate dagli ondometri. Tali informazioni non sono sempre reperibili con facilità. In caso di impossibilità di utilizzo dei dati di boa ondometrica, si procede generalmente acquisendo ed elaborando i dati provenienti da modelli d'onda globali (quello di Met-Office, per esempio), che forniscono fino a 20 anni di risultati dei loro modelli nel Mar Mediterraneo, a risoluzione spaziale di alcune decine di Km, in termini di altezza d'onda significativa, direzione media di provenienza e periodo associato.
- dati relativi alla batimetria del sito:** si riferiscono sia ai rilievi di dettaglio del fondo marino sottocosta (approssimativamente fino all'isobata -15), per cui necessario prevedere campagne di rilievo specifiche, preferibilmente con tecnologia Multibeam, sia ai rilievi relativi a profondità maggiori, di minor dettaglio ed ottenibili da carte nautiche o da database con informazioni digitalizzate delle stesse. A tal fine risulta molto utile fare riferimento al database CM-93 di C-MAP. CM-93 è un database globale di cartografia nautica digitale realizzato e costantemente aggiornato dalla società norvegese C-MAP.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

- dati relativi alle caratteristiche dei sedimenti:** fanno riferimento alle informazioni sulla granulometria media e sulla varianza dei sedimenti costituenti sia le spiagge sia il fondale sottocosta del sito in esame e sono necessari indicativamente fino ad una profondità non inferiore ai 7-8 metri. Può risultare utile una caratterizzazione geomorfologica del fondale, resa possibile mediante comparazione tra il rilievo batimetrico, attraverso il quale è possibile individuare le caratteristiche forme di fondo, e le risultanze di una campagna di indagini geofisiche (sub-bottom profiler), attraverso le quali è possibile individuare la profondità del substrato roccioso e stimare la successione stratigrafica dei materiali costituenti il fondale. In particolare, i risultati di tali indagini risultano significativi qualora il substrato roccioso risulti poco profondo e quindi rilevante ai fini degli studi della dinamica di trasporto costiero.



Figura 5.3 Esempio di evoluzione storica della linea di riva (con linee colorate riferite alla posizione delle linee di riva ai diversi anni)

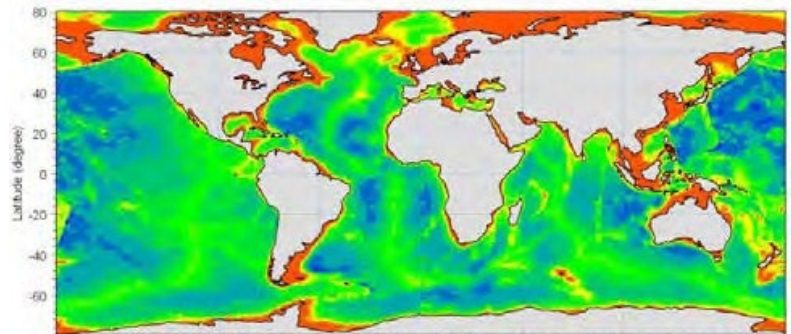


Figura 5.4 Esempio di evoluzione storica della linea di riva (con linee colorate riferite alla posizione delle linee di riva ai diversi anni)

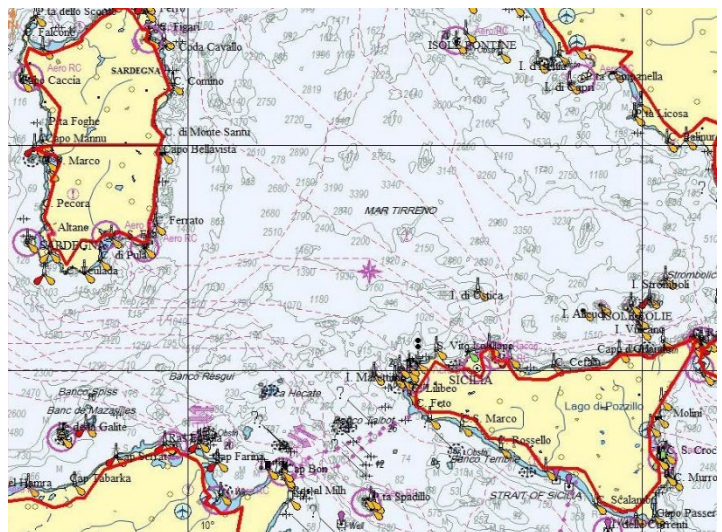




Figura 5.5 a destra Esempio di carta nautica digitale da C-MAP

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

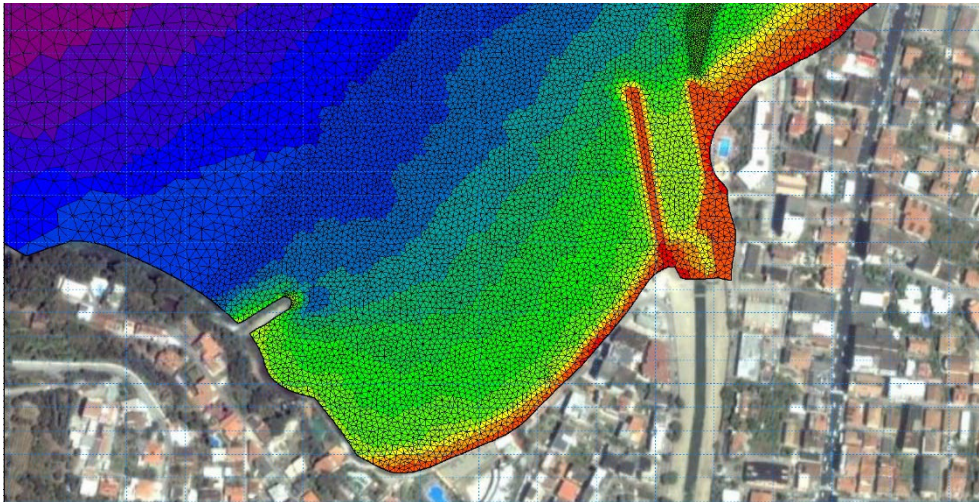


Figura 5.6 Esempio di rappresentazione della batimetria a maglia triangolare utilizzata in MIKE 21 SW

Partendo dai dati di clima ondoso al largo del sito in esame, MIKE 21 SW (Spectral Waves) permette la trasposizione del clima ondoso sottocosta, comprendendo le trasformazioni dell'onda per effetto di shoaling, rifrazione, attrito sul fondo ed eventualmente vento locale che spira sul dominio di calcolo contribuendo ad incrementare l'altezza d'onda in funzione dell'aumento del fetch.

La possibilità offerta dalla maglia flessibile triangolare di aumentare la risoluzione della "mesh di calcolo" in corrispondenza della costa e/o di strutture, permette l'utilizzo del modulo MIKE 21 SW anche per studi di elevato dettaglio, in cui sia necessario ad esempio tenere conto dei fenomeni di diffrazione e riflessione semplice esercitati da strutture costiere.

Durante la propagazione verso la costa l'onda subisce diverse trasformazioni; una delle trasformazioni più rilevanti ai fini della dinamica costiera è il processo di rifrazione: la rotazione del fronte d'onda che tende a disporsi parallelo alle isobate ed alla linea di costa è in grado di determinare l'insorgenza di sforzi di taglio al fondo (radiation stress). I gradienti dei radiation stress, massimi in corrispondenza del frangimento, sono i responsabili della generazione delle correnti litoranee. A parità di direzione di incidenza dell'onda, i gradienti di radiation stress, e quindi le correnti litoranee, sono tanto più elevati quanto maggiore è l'altezza d'onda al frangimento. A parità di altezza d'onda al frangimento, i gradienti di radiation stress, e quindi le correnti litoranee, sono tanto più elevati quanto maggiore è l'angolo di incidenza tra il fronte d'onda e le isobate.

Per studiare in dettaglio i campi di corrente generati dall'azione del moto ondoso è possibile utilizzare il modulo idrodinamico MIKE 21 HD (Hydrodynamics). Il modulo simula la distribuzione dei livelli

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

idrici e dei flussi determinati dai gradienti di radiation stress, (od in alternativa dal vento e/o marea e/o portate fluviali). I risultati forniti sono rappresentati dalle variazioni spazio-temporali dei livelli idrici e dei campi di velocità.

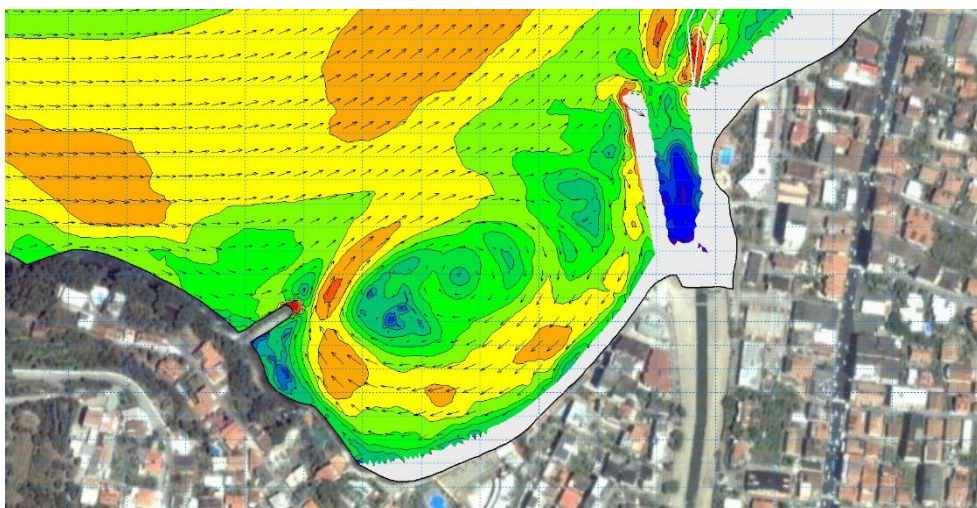


Figura 5.7 Esempio di risultati del modello idrodinamico MIKE 21 HD. Distribuzione delle velocità di corrente con indicazione vettoriale delle direzioni del flusso.

L'ultimo passo nelle applicazioni dei modelli bidimensionali di dettaglio è quello di determinare la capacità di trasporto di sedimenti nell'area in esame, in modo da verificare le possibili criticità (erosione od eccessiva sedimentazione) su tratti di costa liberi da strutture o caratterizzati dalla presenza di opere costiere (porti, pennelli, barriere).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

Sez. 3 - Trasporto dei sedimenti: studio evoluzione linea di costa

Il presente capitolo, redatto nell'ambito dell'aggiornamento del **Progetto Definitivo dell'Opera di Attraversamento stabile dello Stretto di Messina e collegamenti stradali e ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia**⁵, si è reso necessario al fine di ottemperare alla specifica richiesta di integrazioni pervenuta attraverso il Parere da parte della Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS n.1185 del 15-03-2013 (Delibera CIPE n. 66 del 01-08-2003). In particolare, in relazione alla prescrizione **VIAC029** del suddetto parere (*cf.* § 5.2.6 *Quadro di Riferimento Progettuale*) – che analizza la tematica **Trasporto sedimenti – Studio evoluzione linea di Costa** – si fornisce una prima sequenza di attività e azioni metodologiche da intraprendere, da approfondirsi nei successivi sviluppi in seno alla Progettazione Esecutiva.

1 Analisi degli interventi di "Sistemazione di tratti di corsi d'acqua"

Negli elaborati specialistici si riporteranno gli studi idrologici e gli studi di verifica idraulica avvalendosi degli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolar modo rispetto al P.A.I., Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana e Calabria (dicembre 2004 e successivi aggiornamenti).

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) costituisce un importante strumento conoscitivo, normativo e tecnico mediante il quale sono programmate e pianificate azioni, norme d'uso ed interventi riguardanti l'assetto idrogeologico.

Il P.A.I. rappresenta, nel territorio della Regione Siciliana e della Regione Calabria, i livelli di pericolosità e rischio derivanti dal dissesto idrogeologico relativamente alla dinamica dei versanti, alla pericolosità geomorfologica, alla dinamica dei corsi d'acqua, alla pericolosità idraulica e d'inondazione.

Essi avranno il fine di determinare le caratteristiche idrauliche dei Torrenti che insistono nei litorali che saranno selezionati ai fini progettuali, e di verificarne le condizioni di deflusso a seguito delle previsioni progettuali che ne contemplan la pulizia e risagomatura dello stesso.

In generale, lo studio idrologico dovrà essere volto alla determinazione della portata al colmo di piena che transita in corrispondenza della sezione di chiusura per un assegnato tempo di ritorno.

Esso riporterà le ipotesi statistiche, i dati e le procedure di calcolo utilizzate, la determinazione dei

⁵ DL 31 marzo 2023 n. 35 Disposizioni urgenti per la realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria, convertito in Legge del 26 maggio 2023 n. 58.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

pluviogrammi di progetto e l'indicazione dei parametri scelti nell'equazione di possibilità pluviometrica adottata.

La stima della portata di piena per un assegnato tempo di ritorno può essere effettuata attraverso metodi diretti, elaborando cioè le misure di portata disponibili per il bacino in esame o per bacini idrologicamente simili, o metodi indiretti, facendo ricorso ad equazioni che permettono di ottenere la sola portata al colmo (formule empiriche, formula razionale) o a modelli di trasformazione afflussi-deflussi che individuano l'idrogramma di piena corrispondente ad un evento meteorico di assegnata durata e tempo di ritorno.

I tempi di ritorno considerati nel presente studio idrologico sono di 5, 50, 100, 200 e 300 anni e la trattazione che segue può essere sinteticamente riassunta nelle seguenti fasi:

- 1) costruzione della curva di probabilità pluviometrica;
- 2) modellazione delle perdite idrologiche e determinazione della pioggia netta;
- 3) modellazione del trasferimento della pioggia netta alla sezione di chiusura del bacino e determinazione della portata al colmo di piena per assegnata frequenza.

Lo studio idraulico, partendo dai risultati ottenuti nell'ambito dello studio idrologico dei bacini imbriferi e da un rilievo di dettaglio effettuato in loco, dovrà avere lo scopo di verificare che nelle zone limitrofe all'intervento previsto in progetto non vi siano eventuali problematiche idrauliche.

Tale studio comprende dunque l'analisi degli elementi naturali e artificiali del reticolo idrografico (fiumi, torrenti) a scala di bacino idrografico ed ha il fine di verificare le condizioni di deflusso dopo la sistemazione e la pulizia dei tratti di alveo interessati.

Gli interventi possibili a valle degli studi sopra descritti possono essere:

- riprofilatura e risagomatura del letto dell'alveo.
- ripristino della pendenza di equilibrio al fine di garantire un apporto solido costante alla foce.
- ripristino funzionamento idraulico degli elementi rigidi presenti lungo gli alvei (fossi, canali, traverse, briglie, casse d'espansione, vasche, invasi, dighe, attraversamenti, ponti, ecc.)

2 Valutazione delle modifiche all'apporto solido in foce connesse agli interventi di "Sistemazione di tratti di corsi d'acqua"

Le opere che dovranno essere progettate, o gli interventi di sistemazione delle opere idrauliche esistenti dovranno garantire un bilancio neutro nel trasporto dei sedimenti. Dovrà essere necessario adoperarsi affinché non si verifichino riduzioni dell'apporto solido fluviale alle foci, cioè prevedere opere di regimentazione che garantiscono un costante apporto solido in foce. Tutto ciò è necessario in quanto se NON vi è riduzione del trasporto solido in foce ne consegue che NON vi è impatto sulla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

morfodinamica costiera. Tali interventi possono essere:

- riprofilatura del letto degli alvei dopo eventi estremi di piena del bacino;
- trasformazione delle numerose briglie presenti lungo tutte le aste fluviali, in briglie selettive in grado di captare solo determinati sedimenti di grossa granulometria e rilasciare sedimenti con diametri caratteristici più fini. La sistemazione di tratti di corsi d'acqua prevista nell'ambito dell'opera di compensazione A1 è potenzialmente in grado di determinare un impatto sulla morfodinamica costiera, stante le possibili modifiche all'apporto sedimentario a mare ed il conseguente effetto sul bilancio di trasporto solido dell'Unità Fisiografica di riferimento. Al fine di quantificare tale impatto verrà predisposto un sistema modellistico integrato che comprenda sia lo studio della morfodinamica del litorale sia lo studio del trasporto solido in alveo.

3 Esecuzione rilievo topo-batimetrico di dettaglio dei litorali sottesi dalle foci dei corsi d'acqua di interesse

Per l'esecuzione del rilievo topografico aerofotogrammetrico della spiaggia emersa potrà essere impiegato un drone multirottore (Sistema A Pilotaggio Remoto – SAPR) pilotato da operatore accreditato ENAC.



L'impiego dei droni nell'ambito dei rilievi topografici consente di creare rappresentazioni di porzioni di territorio riprese dall'alto dalle quali, grazie all'impiego di algoritmi che si traducono nella metodologia Structure From Motion. In dettaglio, durante il volo del drone vengono acquisite immagini da diverse prospettive, dalle quali ne riusciamo a ricostruire la tridimensionalità della struttura. La rielaborazione dei dati ottenuti permette di ottenere una nuvola di punti (cloud points) che costituisce l'esatta riproduzione dello stato di fatto dell'area rilevata.

Dalla nuvola è possibile ricavare diverse informazioni dei luoghi, che si traducono nelle ortofoto, nel modello digitale del terreno (DTM), etc..

Per l'esecuzione del rilievo batimetrico potrà essere impiegato un **ecoscandaglio multifascio (MBES)** con caratteristiche tecniche idonee per la tipologia di rilievi in oggetto.

Il sistema MBES è costituito da un corpo esterno in titanio che va in acqua e rappresenta la parte acustica dello strumento (installato con l'impiego di una flangia in acciaio su un apposito palo), sul quale sono montati:

- il trasduttore
- l'idrofono
- una unità elettrica rappresentata dalla *power unit (PU)* che converte il segnale acustico in impulso elettrico visualizzando sul monitor un sonogramma.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

La PU a sua volta è collegata via LAN con un PC sul quale è installato specifico software idrografico, con il compito di gestire i dati acquisiti e interfacciarli con i dati ricevuti dalle altre periferiche, oltre a effettuare la visualizzazione e il controllo dei dati in tempo reale.

Così come per il sistema di posizionamento superficiale, anche per il Sistema MBES è previsto, propedeuticamente all'inizio delle operazioni di rilievo, un controllo metrologico a mezzo Total Station o Laser Scanner.

Il *trasduttore* del sistema sarà installato, mediante flangia e palo in acciaio inox, in corrispondenza della murata sinistra dell'imbarcazione, utilizzando un sostegno a T realizzato in acciaio inox in grado di garantirne la stabilità nella.

Installato il trasduttore, verrà eseguito un classico *bar-check* a bordo (a mezzo di apposito peso collegato a rullina metrica al fine di verificare la corretta lettura dei valori di profondità) e un *setting* dei valori di gain, TVG e range, finalizzati a rendere quanto dettagliati e "puliti" possibile i dati acquisiti.

Il range laterale usato per le operazioni, variabile a seconda della profondità riscontrata, sarà impostato sempre in maniera tale da consentire un *overlap* di copertura tra linee adiacenti, al fine di garantire la **copertura completa di acquisizione dell'intera area di interesse**.

All'inizio delle operazioni di misura e a ripetizione con intervalli di almeno 6 ore, sarà misurato il **profilo della velocità del suono** per la correzione del fascio acustico del sistema MBES (*Beam Forming*), attraverso un *profilatore (CTD-SVP)*, capace di effettuare la misura acustica diretta con intervallo di profondità pari a 0,50 m e fino alla massima profondità raggiungibile nell'area di interesse.

Inoltre, al fine di avere sempre una correzione in real time del beam forming, in prossimità del trasduttore del MBES verrà installata una sonda svx che invierà in modo continuo il valore di velocità del suono.

Installati tutti i componenti strumentali ed eseguiti tutti i controlli pre-work a mezzo di apposite "*Activity Check List*", si potrà procedere alla esecuzione delle operazioni di calibrazione del sistema MBES, necessarie per compensare il disallineamento tra il sensore di orientamento, il sensore di assetto e il trasduttore.

Seguendo le specifiche del costruttore del sistema, le calibrazioni dovranno essere eseguite su una zona con fondale parzialmente piatto e parzialmente inclinato, secondo la seguente fassistica:

- percorrendo la stessa linea di navigazione in direzione opposta su un fondale piatto e calcolando l'offset come inclinazione relativa tra due profili del fondo in una sezione perpendicolare alla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

linea si effettuerà la **compensazione dell'inclinazione del trasduttore MBES rispetto al piano di rollio;**

- percorrendo la stessa linea di navigazione in direzione opposta su un fondale inclinato e calcolando l'offset come inclinazione relativa tra due profili del fondo in una sezione parallela alla linea si effettuerà la **compensazione dell'inclinazione del trasduttore rispetto al piano di beccheggio;**
- localizzato un oggetto ben definito sul fondo (*outcrop*) e percorrendo due linee adiacenti in direzione opposta, il valore di calibrazione risultante rappresenterà la correzione angolare necessaria per ottenere la corrispondenza dell'oggetto nella visione in pianta, ottenendo così la **compensazione della deviazione in azimuth tra la girobussola ed il trasduttore)**
- la **correzione di marea** avverrà in tempo reale, già in fase di acquisizione; a tal fine si registreranno sia i valori di altezza ellissoidica (*come richiesto dal disciplinare tecnico dell'Istituto Idrografico della Marina Italiana – I.I. 3176, ed.2016*) che i valori stessi di marea, grazie al corretto setting applicato nel software di acquisizione dati impiegato e di cui è riportata una schematizzazione semplificata in *figura*.

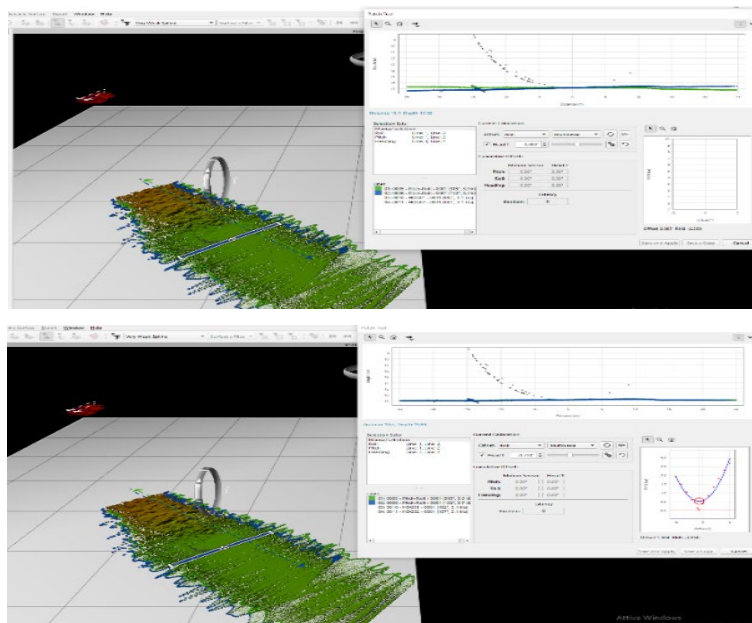


Figura 3.1 Calibrazione rispetto al piano di rollio: a sinistra "roll" non corretto, a destra valori calibrati

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

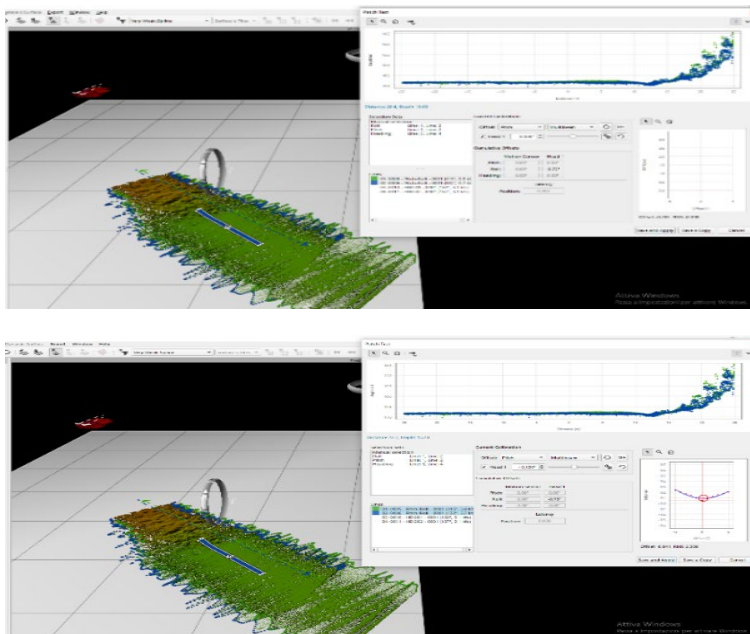


Figura 3.2 Calibrazione rispetto al piano di beccheggio: a sinistra "pitch" non corretto, a destra valori calibrati

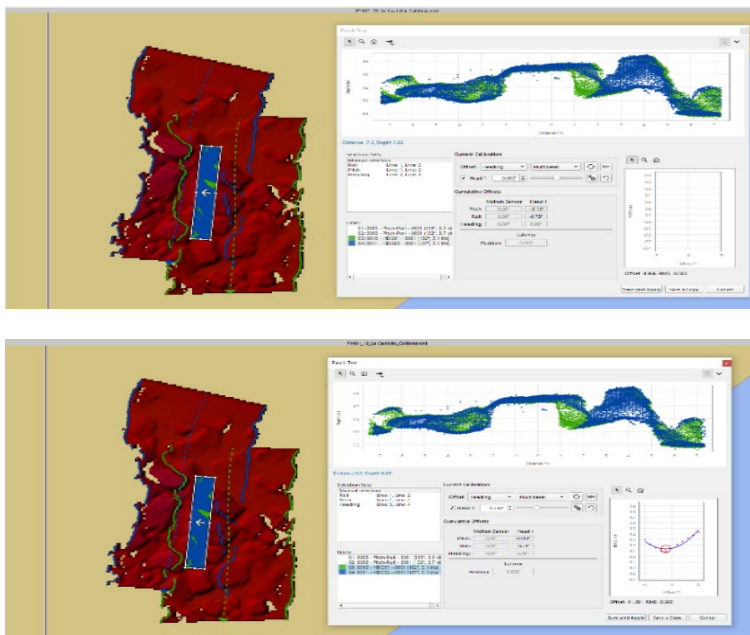




Figura 3.3 Schema della verifica degli offsets con misurazioni degli offset per l'applicazione della correzione di marea in Rtk

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

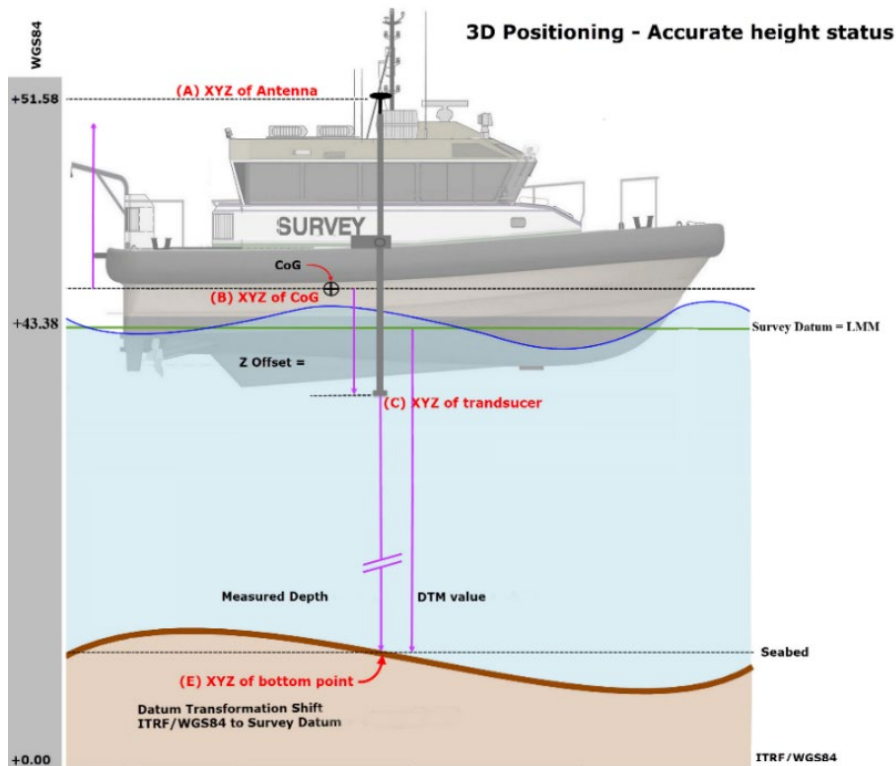


Figura 3.4 Schema della verifica degli offsets con misurazioni degli offset per l'applicazione della correzione di marea in Rtk

L'acquisizione dei dati batimetrici sarà effettuata a copertura completa nell'intera area di indagine con un **overlap mai inferiore al 30%**, ad eccezione di alcune porzioni in cui il basso fondale potrebbe rendere difficoltoso e non in linea con gli standard di sicurezza l'impiego dell'imbarcazione.

4 Esecuzione di prelievi di sedimenti lungo i litorali sottesi dalle foci dei corsi d'acqua di interesse

Il prelievo dei sedimenti superficiali può essere effettuato tramite benna di tipo Van Veen. Tale strumentazione sarà calata nella stazione di campionamento mediante un verricello montato su una imbarcazione. Nel momento in cui lo strumento arriva sul fondo l'operatore deve segnare le coordinate geografiche o chilometriche visualizzate sul monitor del DGPS.

La procedura operativa che verrà seguita durante le attività di prelievo saranno le seguenti:

- una volta armato il sistema di campionamento sarà messo in mare ad una velocità adeguata;
- arrivato al fondo, la benna viene chiusa per raccogliere il campione;
- la risalita avverrà avendo l'accortezza di non impartire una velocità troppo elevata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

- una volta risalito in superficie, le ganasce saranno aperte e il contenuto del campione sarà posto su di un piano precedentemente preparato e pulito;
- sarà effettuata un'omogeneizzazione del campione mescolando ripetutamente tramite una spatola e successivamente sarà travasato in appropriato contenitore, identificato con apposita etichetta e sigla in maniera leggibile, indelebile e che sia saldamente fissata al contenitore.
- Completate tutte le trascrizioni di dati sui registri dei campioni e delle attività in campo, verrà effettuata la decontaminazione dell'attrezzatura di prelievo secondo la procedura prescritta per la specifica attività, in funzione dei parametri da analizzare.

Per ogni stazione di campionamento sarà compilata una scheda dove riportare i dati inerenti il punto (nome della stazione, data e ora, coordinate effettive del punto di prelievo, strumentazione utilizzata, profondità del fondale, ecc.), il numero e la sigla dei campioni prelevati ed infine la descrizione macroscopica del campione (caratteristiche fisiche, colore, ecc.).

La finalità delle indagini è la verifica della compatibilità sedimentologica tra i sedimenti della spiaggia, sia emersa che sommersa, oggetto di intervento e i materiali provenienti dai siti di prestito che dovranno essere impiegati per la realizzazione dell'intervento di progetto.

A valle di tale indagine dovranno essere effettuate delle analisi con specifico riferimento ai seguenti parametri principali:



- composizione granulometrica;
- caratteristiche minero-petrografiche;
- densità dei sedimenti;
- colore caratteristico.

La giacitura dei transetti e la profondità di campionamento scelte permetteranno di avere un quadro esaustivo delle caratteristiche sedimentologiche dell'intera area di intervento. Tali informazioni saranno di fondamentale importanza sia nell'esecuzione degli studi su modello matematico in fase progettuale che sulle future attività di monitoraggio che verranno eseguite nelle fasi ante operam e post operam dei lavori.

5 Caratterizzazione meteo-marina dei litorali oggetto di studio

Tra le prime attività necessarie negli studi di dinamica costiera, vi è la caratterizzazione delle condizioni meteomarine di riferimento al largo del tratto di costa interessato, con particolare riferimento al vento e al moto ondoso.

Per quanto riguarda la disponibilità di registrazioni di moto ondoso, la principale fonte di riferimento nel nostro paese è la Rete Ondametrica Nazionale (RON) gestita dall'ISPRA (Istituto Superiore per

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

la Protezione e la Ricerca Ambientale).

I dati di boa possono essere utilizzati come riferimento anche ad una certa distanza dal sito di interesse, qualora l'esposizione alle mareggiate per i diversi settori direzionali possa essere considerata simile tra il sito in esame ed il sito che ospita la boa ondometrica.

Frequentemente, tuttavia, per la caratterizzazione meteomarina di un sito non è possibile fare affidamento alle misure.



Questo avviene o perché i dati sono troppo frammentati a causa di malfunzionamenti dello strumento o periodi di manutenzione dello stesso, o perché le serie temporali disponibili coprono solo pochi anni (5÷10) oppure ancora perché per il paraggio in esame la boa o l'anemometro non sono disponibili o non sono sufficientemente rappresentativi.

Sempre più spesso, pertanto, si fa ricorso ad una ricostruzione storica delle condizioni meteomarine attraverso modellistica numerica. Tale approccio, comunemente definito come "wind/wave hindcast" permette di disporre di serie temporali, tra l'altro, di intensità e direzione del vento, altezza d'onda, periodo e direzione, nel punto desiderato.

Se da un lato la possibilità di disporre di ricostruzioni di condizioni meteomarine pregresse attraverso un approccio modellistico rappresenta oggi un formidabile supporto nell'ingegneria costiera ed offshore, dall'altro va sottolineata l'importanza di disporre di ricostruzioni modellistiche robuste, accurate e validate.

Tra i database disponibili, un esempio di ricostruzione storica di vento e moto ondoso per l'intero bacino del Mediterraneo è costituito dal database Mediterranean Wind Wave Model (MWM), prodotto da DHI. Questo database MWM deriva dall'implementazione di una catena modellistica che beneficia di due modelli che rappresentano lo stato dell'arte rispettivamente nell'ambito della modellazione atmosferica (WRF-ARW) e della modellazione del moto ondoso (MIKE 21 SW di DHI). Per la caratterizzazione meteomarina al largo del sito oggetto di studio si farà riferimento al sopra citato database Mediterranean Wind Wave Model (MWM).

La selezione della cella del database MWM più adeguata a rappresentare il clima meteomarina nella zona di studio deve essere effettuata tenendo in considerazione che il punto di estrazione deve essere ben rappresentativo dell'esposizione del sito a vento e onda;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

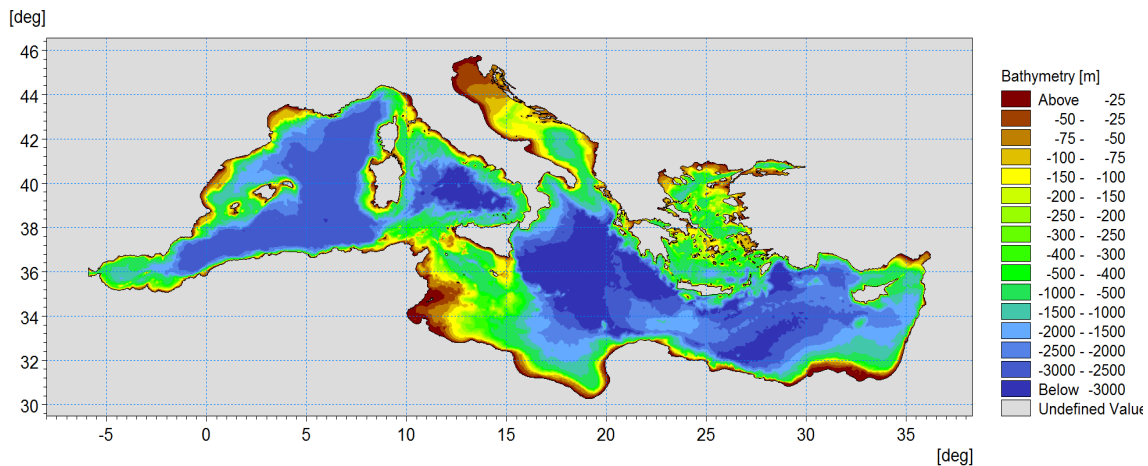


Figura 5.1 Batimetria di riferimento per la componente “onda” deel dabase MWM

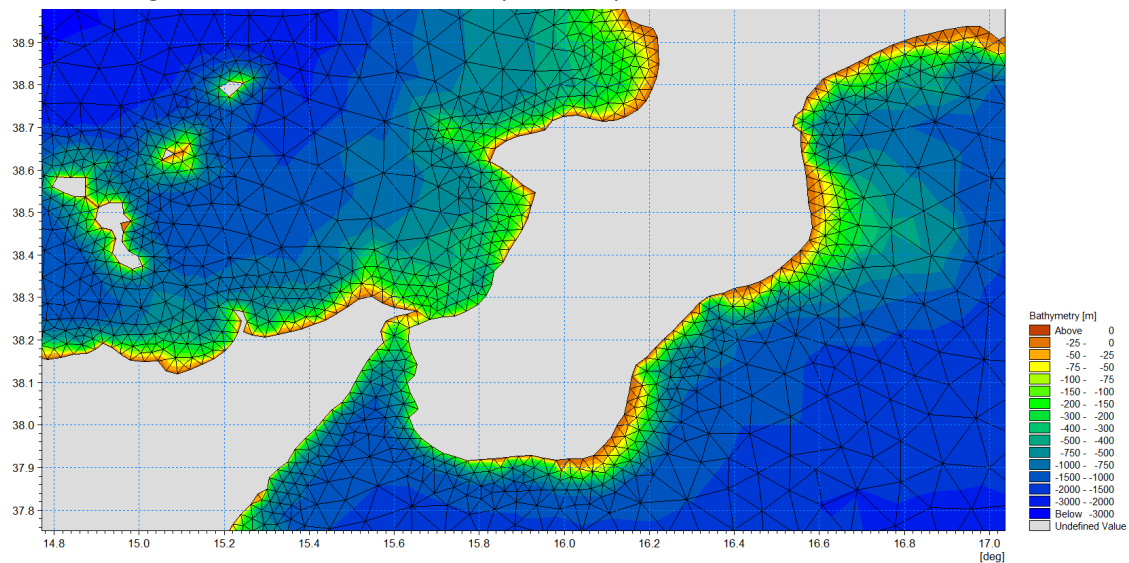


Figura 5.2 Batimetria di riferimento per la componente “onda” deel dabase MWM – dettaglio sulla zona di studio

6 Propagazione del moto ondoso dal largo verso costa

Definito il clima ondoso a largo, il passo successivo è quello di trasporlo sottocosta tramite un modello matematico.

Propagandosi su fondali via via decrescenti, le onde subiscono una serie di trasformazioni geometriche e perdite di energia che ne modificano le caratteristiche (in termini di altezza, lunghezza d’onda e direzione del fronte), indotte essenzialmente dai fenomeni di rifrazione e shoaling.

Il fenomeno della rifrazione consiste essenzialmente in una trasformazione tridimensionale del campo d’onda dovuta alle variazioni del fondale, che comportano contestualmente la rotazione dei fronti d’onda per rallentamento differenziale e la variazione delle altezze, per effetto della

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024

conservazione del flusso di energia fra le “ortogonali” vicine.

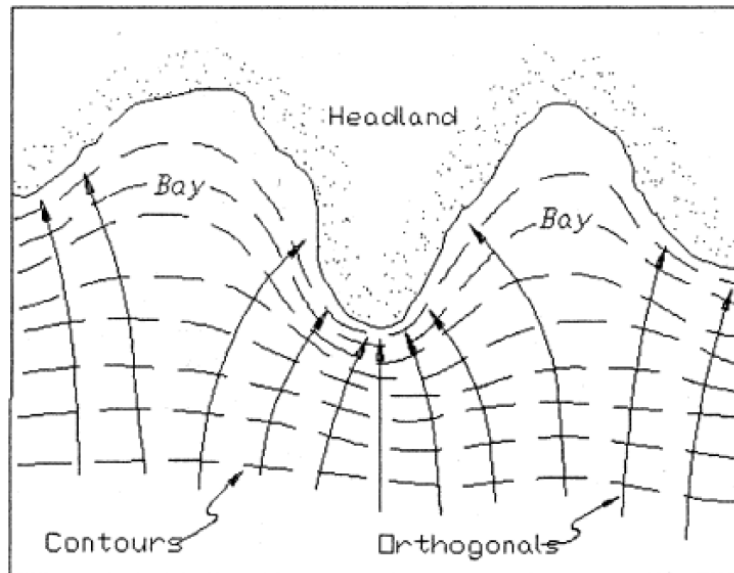


Figura 6.1 Rifrazione delle onde (CEM, USACE 2002)

Il fenomeno dello shoaling, invece, è una trasformazione bidimensionale delle onde che ne provoca il progressivo accorciamento ed incremento in altezza durante l'avanzamento su profondità decrescenti, causata dalla variazione della celerità di gruppo indotta dal fondale.

Di seguito si riporta nel dettaglio lo studio meteomarinico che si ha a disposizione, redatto dalla società DHI a supporto della progettazione del prolungamento del molo di sopraflutto del porto di Scilla (RC), previsto nell'ambito degli interventi per l'ammodernamento del porto.

Il processo di trasposizione consta delle seguenti fasi:

- Propagazione del clima ondoso dal largo verso un punto di calcolo sottocosta, posto di fronte al paraggio oggetto di studio;
- Propagazione delle mareggiate estreme (caratterizzate da tempi di ritorno di 25 e 50 anni) dal largo verso il punto di calcolo sottocosta;
- Propagazione locale, dal punto di calcolo al paraggio di interesse, delle mareggiate estreme caratterizzate da tempi di ritorno di 25 e 50 anni.

Nella Fase 1 la propagazione del moto ondoso si basa sulla batimetria del paraggio di riferimento, ricavata sulla base delle carte nautiche disponibili. Il dominio di calcolo dovrà essere discretizzato attraverso una griglia con maglia strutturata o non strutturata in relazione al livello di dettaglio da perseguire.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI		Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

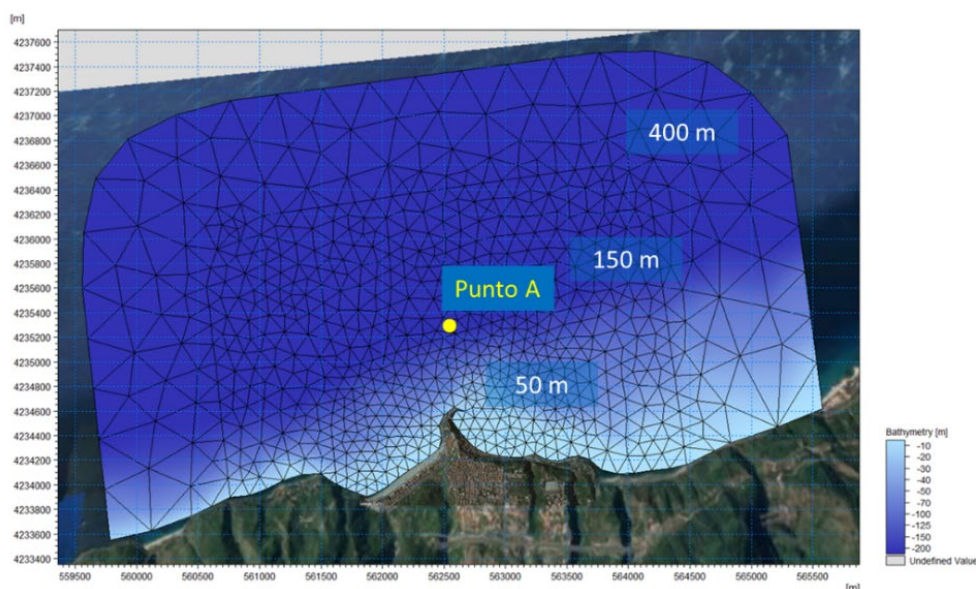


Figura 6.2 Esempio di modello MIKE 21 SW per la propagazione del moto ondoso dal largo a costa.

Il clima locale è ricostruito ordinando i risultati delle propagazioni per classi di altezza significativa e di direzione locale dell'onda. Utilizzando le corrispondenze tra i risultati delle simulazioni (clima locale) e quelli relativi al clima nel punto al largo, è possibile associare a ciascun evento nel punto una percentuale di apparizione e, quindi, ricostruire le rose delle registrazioni e delle energie sottocosta.

La Fase 2, ovvero la propagazione delle mareggiate estreme nel punto di calcolo sottocosta, è fondamentale ai fini di una corretta progettazione degli interventi per la difesa del litorale dal moto ondoso incidente. Nello specifico la propagazione di tali mareggiate può essere articolata in due sottofasi distinte:

inizialmente si esegue una propagazione su larga scala, dal punto al largo fino al punto di calcolo sottocosta;

successivamente si procede alla propagazione locale fino al litorale di interesse.

Le direzioni di provenienza delle mareggiate estreme per i settori considerati sono scelte con riferimento alla rosa delle altezze massime relativa al punto a largo.

Lo studio della propagazione locale del moto ondoso a partire dal punto sottocosta al paraggio di interesse (Fase 3) è finalizzato alla valutazione dell'impatto delle mareggiate che rappresentano condizioni di mare estreme, mediante propagazione degli eventi corrispondenti ad un tempo di ritorno di 25 e 50 anni.

In questa fase la propagazione si basa su una batimetria di dettaglio dell'area di studio ed inoltre la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	<i>Codice documento</i> CZR1158	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 20/01/2024	

maglia di calcolo viene infittita riducendo la dimensione della singola cella.

I risultati ottenuti dalle simulazioni della propagazione delle mareggiate estreme sottocosta rappresentano, in termini di contour colorati, le altezze d'onda significativa, mentre le direzioni locali dell'onda vengono indicate mediante vettori il cui modulo è proporzionale all'altezza d'onda significativa.

Le simulazioni effettuate con il modello di propagazione del moto ondoso permettono, pertanto, di ottenere la distribuzione delle principali grandezze associate all'onda (altezza significativa, periodo di picco e direzione media di propagazione) in tutti i punti del dominio di calcolo.

Risulta importante evidenziare che lo studio idraulico-marittimo dovrà simulare la propagazione, oltre che degli eventi estremi, anche delle condizioni ordinarie. Tale aspetto risulta fondamentale soprattutto ai fini della valutazione del trasporto solido.

7 Studio della morfodinamica costiera in relazione al contributo sedimentario dei corsi d'acqua oggetto di intervento

Per lo studio dell'evoluzione della linea di riva a medio termine è frequente l'utilizzo del codice di calcolo LITLINE del pacchetto LITPACK, al fine di simulare le tendenze evolutive pregresse e, a seguito della calibrazione del modello, poter quantificare la futura evoluzione della costa.

Il modello si basa sulla teoria ad una linea, in cui si assume che il profilo trasversale possa traslare rigidamente in avanti (accrescimento) o indietro (erosione) sulla base del bilancio sedimentario lungo costa, risolvendo l'equazione di continuità della portata dei sedimenti tramite uno schema di soluzione alle differenze finite. LITLINE permette inoltre di introdurre nel calcolo sia l'effetto di strutture (come, ad esempio, pennelli, rivestimenti in massi e scogliere distaccate) sia l'effetto di eventuali apporti di materiale puntuali o distribuiti. Il modello fornisce come risultato la posizione della linea di riva nel corso degli anni ed i tassi di trasporto solido longshore.

Tale modello di calcolo può essere implementato a monte tenendo in considerazione l'apporto solido proveniente dai torrenti infatti attraverso un modello monodimensionale svolto dal codice di calcolo HEC-RAS (River Analysis System), sviluppato dall'Hydrology Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers.

Tale modello risolve, attraverso il metodo delle differenze finite, l'equazione differenziale del moto permanente unidimensionale gradualmente vario, ed è in grado di mettere in conto fenomeni localizzati come variazioni di pendenza, di forma della sezione e delle caratteristiche di scabrezza dell'alveo e delle aree golenali, la presenza di ostacoli, etc.

 Stretto di Messina		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
AMB. MAR. COST.: RIPASCIMENTI, SCOGLIERE, PENNELLI, DINAMICA LITORALE E TRASPORTO SEDIMENTI	Codice documento CZR1158	Rev C	Data 20/01/2024

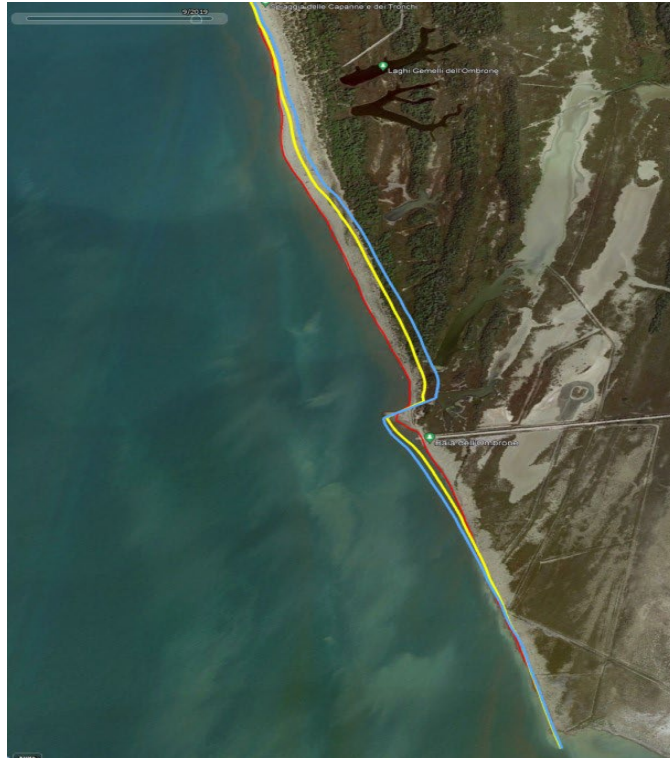
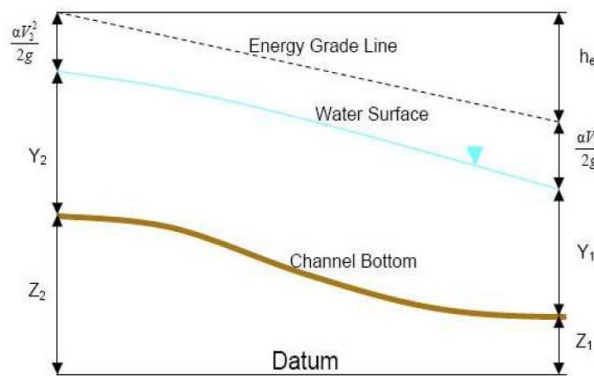


Figura 7.1 Evoluzione della linea di riva modellata con Litline in corrispondenza della costa maremmana alla foce del fiume Ombrone (GR)



Equazione di conservazione dell'energia:

$$y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot U_1^2}{2g} = y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot U_2^2}{2g} + h_e, \text{ con: } h_e = S_f \cdot L + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot U_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot U_1^2}{2g} \right|$$

Equazione di conservazione della quantità di moto:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = \rho \cdot Q \cdot (\beta_1 \cdot U_1 - \beta_2 \cdot U_2)$$

Figura 7.2 Modello impiegato dal codice di calcolo HEC-RAS