

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO ALTERNATIVE AI SITI DI DEPOSITO

(Richieste CTVA del 22/12/2011 Prot. CTVA/2011/4534 e del 16/03/2012 Prot. CTVA/2012/1012)

EUROLINK S.C.p.A.

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

IL PROGETTISTA

 SIGMA INGEGNERIA s.r.l.
Via della Libertà 201/A
00143 PALERMO
Tel. 091/625112 - Fax 091/337009
e-mail: sgman@sigmail.com
Ing. Faco Giordano Direttore Tecnico

(Dott. Ing. F. Giordano)



Ing. E. Pagani
Ordine Ing. Milano n°15408

IL CONTRAENTE GENERALE
PROJECT MANAGER
(Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA
Direttore Generale
Ing. G. Fiammenghi

STRETTO DI MESSINA
Amministratore Delegato
Dott. P. Ciucci

Firmato digitalmente ai sensi dell' "Art.21 del D.Lgs. 82/2005"

CZV0922_F0

Unità Funzionale COLLEGAMENTI VERSANTE SICILIA
Tipo di sistema CANTIERI
Raggruppamento di opere/attività RIPASCIMENTO
Opera - tratto d'opera - parte d'opera ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE
Titolo del documento STUDI PROPEDEUTICI ALLA VALUTAZIONE DELLE POSSIBILITA' DI IMPIEGO
DEI MATERIALI DI SCAVO PER IL RIPASCIMENTO DELLE COSTE – PARTE 1/2

CODICE

C G 0 0 0 0 P S D V S C Z C 3 G O 0 0 0 0 0 0 0 1 F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	31/05/2012	EMISSIONE FINALE	DICA CATANIA	E. FOTI	F. GIORDANO

NOME DEL FILE: CZV0922_F0

revisione interna: __



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE (DICA)

CONVENZIONE TRA LA SOCIETÀ' EUROLINK S.C.p.A. E IL DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA



*Studi propedeutici relativi alla possibilità di impiego dei materiali di scavo
per il ripascimento delle coste e analisi rischio idraulico dei bacini
interessati dalle opere previste nel Progetto Definitivo del Collegamento
Stabile dello Stretto di Messina sul versante Sicilia*

**POSSIBILITÀ DI REIMPIEGO DI SEDIMENTI PROVENIENTI DAGLI SCAVI
AI FINI DEL RIPASCIMENTO DI LITORALI DELLA PROVINCIA DI
MESSINA**

Il Responsabile Scientifico
(Prof. Ing. Enrico FOTI)

Il Direttore del DICA
(Prof. Ing. Enrico FOTI)

Catania, Febbraio 2012

Indice

Indice.....	3
Elenco delle Figure	5
Elenco delle Tabelle.....	13
Elenco delle Tavole.....	15
1 Premessa.....	16
2 Introduzione.....	17
3 Riferimenti progettuali	19
4 Dati utilizzati per le elaborazioni	21
5 Limiti.....	23
6 Stato dei luoghi.....	24
7 Note tecniche sui ripascimenti	26
7.1 Generalità.....	26
7.2 Il ripascimento artificiale	26
7.2.1 Calcolo del coefficiente di overfill	27
7.2.2 Calcolo del coefficiente di ripascimento	28
8 Inquadramento normativo sui ripascimenti.....	29
8.1 Generalità.....	29
8.2 Documenti programmatici e linee guida.....	29
8.3 Normativa regionale.....	30
9 Analisi dei sedimenti provenienti dagli scavi.....	34
10 Caratterizzazione del clima ondoso al largo del paraggio in esame.....	36
10.1 Generalità	36
10.2 Analisi del clima ondoso al largo della costa tirrenica determinato dal modello ondametrico ECMWF	36
10.3 Analisi sul contenuto energetico del moto ondoso al largo della costa tirrenica	39
10.4 Analisi del clima ondoso al largo del comune di Sant’Alessio Siculo.....	41
10.5 Analisi sul contenuto energetico del moto ondoso al largo del comune di Sant’Alessio Siculo	45
11 Caratterizzazione della spiaggia emersa lungo il litorale tirrenico della provincia di Messina da Valdina a Capo Peloro	50
11.1 Generalità	50
11.2 Analisi diacronica.....	50
11.3 Indicazioni sulle possibili cause di erosione	53
11.4 Analisi dei sedimenti	53
12 Stima dei volumi di ripascimento.....	58
12.1 Generalità	58
12.2 Stima dei volumi	58
12.3 Tecniche di versamento dei sedimenti ai fini del ripascimento	61
12.4 Valutazioni sulla fattibilità dei ripascimenti	62
13 Stima del trasporto solido e verifica della stabilità dei ripascimenti.....	64
13.1 Generalità	64
13.2 Individuazione delle caratteristiche dei profili	64
13.3 Stima del trasporto solido annuo	77
14 Interferenze tra i ripascimenti ed aree ad elevato valore ambientale lungo il litorale tirrenico della provincia di Messina da Valdina a Capo Peloro.....	99
14.1 Generalità	99

14.2	Individuazione preliminare delle praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea	
Nodosa	99	
14.3	Individuazione aree SIC e ZPS	100
15	Studi necessari per la realizzazione di progetti di ripascimento	102
16	Conclusioni.....	106
Bibliografia		109
Appendice A		111

Elenco delle Figure

Figura 7.1	Coefficiente di overfill in funzione dei parametri dei sedimenti provenienti dalla cava di prestito e dalla spiaggia nativa.	28
Figura 7.2	Coefficiente di ripascimento in funzione dei parametri dei sedimenti provenienti dalla cava di prestito e dalla spiaggia nativa.	28
Figura 9.1	Fusi granulometrici dei sedimenti prelevati a diverse quote del sondaggio S409.	35
Figura 10.1	Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza determinate al largo della costa tirrenica della provincia di Messina.	38
Figura 10.2	Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso al largo della costa tirrenica della provincia di Messina espressa in GJ/m.	39
Figura 10.3	Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 1 m, al largo della costa tirrenica della provincia di Messina espressa in GJ/m.	40
Figura 10.4	Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 2m, al largo della costa tirrenica della provincia di Messina espressa in GJ/m.	41
Figura 10.5	Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 3m, al largo della costa tirrenica della provincia di Messina espressa in GJ/m.	41
Figura 10.6	Diagrammi di riferimento per la trasposizione geografica delle misure di moto ondoso tra la boa ondometrica di Catania e Sant'Alessio .	42

Figura 10.7	Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti al largo della costa di Sant'Alessio Siculo.	45
Figura 10.8	Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso al largo della costa di Sant'Alessio Siculo, espressa in GJ/m.	46
Figura 10.9	Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 1 m, al largo della costa di Sant'Alessio Siculo, espressa in GJ/m.	47
Figura 10.10	Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 2m, al largo della costa di Sant'Alessio Siculo, espressa in GJ/m.	48
Figura 10.11	Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 3m, al largo della costa di Sant'Alessio Siculo, espressa in GJ/m.	49
Figura 11.1	Localizzazioni delle sezioni di prelievo dei sedimenti dello studio "Analisi delle criticità idrauliche marittime e geomorfologiche, monitoraggi, studi idraulici e geologici delle coste del tratto ionico e tirrenico del comune di Messina" redatto dal Dipartimento di scienza della terra dell'Università di Messina.	54
Figura 11.2	Andamento del parametro A del profilo di equilibrio in funzione della granulometria (d_{50}) e della velocità di sedimentazione (Dean, 1987).	57
Figura 12.1	Schema utilizzato per il calcolo dei volumi dei ripascimenti.	59
Figura 12.2	Valutazione del coefficiente di overfill.	61
Figura 12.3	Versamento di sedimenti dragati durante un intervento di ripascimento (fonte ICRAM).	62

Figura 13.1	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Valdina.	65
Figura 13.2	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Spadafora.	65
Figura 13.3	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Rometta.	66
Figura 13.4	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Villafranca Tirrena.	66
Figura 13.5	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Ortoliuzzo.	67
Figura 13.6	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Rodia-Giudeo.	67
Figura 13.7	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Calamona - Giudeo.	68
Figura 13.8	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Calamona - Rosocloro.	68
Figura 13.9	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Spartà.	69
Figura 13.10	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Mezzana - Tono.	69
Figura 13.11	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Casabianca - Tono.	70
Figura 13.12	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località S. Alessio.	70
Figura 13.13	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Valdina.	71

- Figura 13.14 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Spadafora. 72
- Figura 13.15 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Rometta. 72
- Figura 13.16 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Villafranca Tirrena. 73
- Figura 13.17 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Ortoliuzzo. 73
- Figura 13.18 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Rodia-Giudeo. 74
- Figura 13.19 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Calamona - Giudeo. 74
- Figura 13.20 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Calamona - Rosocloro. 75
- Figura 13.21 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Spartà. 75
- Figura 13.22 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Mezzana - Tono. 76

Figura 13.23	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Casabianca - Tono.	76
Figura 13.24	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località S. Alessio.	77
Figura 13.25	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Valdina.	78
Figura 13.26	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Spadafora.	78
Figura 13.27	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Rometta.	79
Figura 13.28	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Villafranca Tirrena.	79
Figura 13.29	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Ortoliuzzo.	80
Figura 13.30	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Rodia-Giudeo.	80
Figura 13.31	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Calamona - Giudeo.	81
Figura 13.32	Profilo Rosa del trasporto di sedimenti per la località Calamona - Rosocloro.	81
Figura 13.33	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Spartà.	82
Figura 13.34	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Mezzana - Tono.	82
Figura 13.35	Rosa del trasporto di sedimenti per la località Casabianca - Tono.	83
Figura 13.36	Rosa del trasporto di sedimenti per la località S. Alessio.	83
Figura 13.37	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Valdina. Stato attuale.	86

Figura 13.38	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Spadafora. Stato attuale.	86
Figura 13.39	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Rometta. Stato attuale.	87
Figura 13.40	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Villafranca Tirrena. Stato attuale.	87
Figura 13.41	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Ortoliuzzo. Stato attuale.	88
Figura 13.42	Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Rodia-Giudeo. Stato attuale.	88
Figura 13.43	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Calamona - Giudeo. Stato attuale.	89
Figura 13.44	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Calamona - Rosocloro. Stato attuale.	89
Figura 13.45	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Spartà. Stato attuale.	90
Figura 13.46	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Mezzana - Tono. Stato attuale.	90
Figura 13.47	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Casabianca - Tono. Stato attuale.	91
Figura 13.48	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Valdina. Stato modificato dal ripascimento.	91
Figura 13.49	Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Spadafora. Stato modificato dal ripascimento.	92

- Figura 13.50 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Rometta. Stato modificato dal ripascimento. 92
- Figura 13.51 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Villafranca Tirrena. Stato modificato dal ripascimento. 93
- Figura 13.52 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Ortoliuzzo. Stato modificato dal ripascimento. 93
- Figura 13.53 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Rodia-Giudeo. Stato modificato dal ripascimento. 94
- Figura 13.54 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Calamona - Giudeo. Stato modificato dal ripascimento. 94
- Figura 13.55 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Calamona - Rosocloro. Stato modificato dal ripascimento. 95
- Figura 13.56 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Spartà. Stato modificato dal ripascimento. 95
- Figura 13.57 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Mezzana - Tono. Stato modificato dal ripascimento. 96
- Figura 13.58 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Casabianca - Tono. Stato modificato dal ripascimento. 96

- Figura 13.59 Valutazione del coefficiente di ripascimento per i siti del litorale tirrenico. 97
- Figura 13.60 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località S. Alessio. 98
- Figura 13.61 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località S. Alessio. Stato modificato dal ripascimento. 98
- Figura 14.1 Individuazione delle praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa (Dati "Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sicilia e delle isole minori circostanti" condotta dal Ministero dell'Ambiente – Servizio Difesa del Mare). 100

Elenco delle Tabelle

Tabella 3.1	Volumi di scavo previsti dal progetto definitivo.	20
Tabella 10.1	Percentuale eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza determinate al largo della costa tirrenica della provincia di Messina.	37
Tabella 10.2	Percentuale eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di periodo medio determinate al largo della costa tirrenica della provincia di Messina.	38
Tabella 10.3	Percentuale eventi degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti al largo della costa di Sant'Alessio Siculo con il metodo della trasposizione geografica.	43
Tabella 10.4	Percentuale eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di periodo medio ricostruiti al largo della costa di Sant'Alessio Siculo con il metodo della trasposizione geografica.	44
Tabella 10.5	Percentuale eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di periodo di picco ricostruiti al largo della costa di Sant'Alessio Siculo con il metodo della trasposizione geografica.	44
Tabella 11.1	Percentili delle analisi granulometriche dei sedimenti prelevati sulla spiaggia emersa del litorale tirrenico del comune di Messina espressi in scala ϕ e valori del diametro medio dei sedimenti espresso in mm.	55
Tabella 11.2	Media geometrica e deviazione standard dei sedimenti prelevati nella spiaggia emersa delle sezioni di interesse.	56

Tabella 11.3	Confronto tra i diametri medi dei sedimenti valutati dall'analisi granulometrica dei campioni prelevati nella spiaggia emersa e i diametri valutati a partire dal profilo di equilibrio.	57
Tabella 12.1	Diametri medi dei sedimenti e parametri di forma utilizzati per la determinazione dei profili di equilibrio delle spiagge pre-operam.	59
Tabella 12.2	Calcolo dei volumi di ripascimento.	60
Tabella 13.1	Trasporto potenziale annuo di sedimenti per tutti i profili rappresentativi dei tratti di spiaggia analizzati. Condizioni di stato attuale e di stato modificato dal ripascimento.	85
Tabella 15.1	Parametri da ricercare per la caratterizzazione e la classificazione dei sedimenti di aree marine fluviali o litoranee (da Manuale per la Movimentazione di sedimenti marini – ICRAM APAT).	103
Tabella 15.2	Limiti di concentrazione ammessi per i materiali da utilizzare per ripascimento (da Manuale per la Movimentazione di sedimenti marini – ICRAM APAT).	104
Tabella 15.3	Limiti eco tossicologici dei sedimenti da utilizzare per ripascimento – Livello Chimico di Base (da Manuale per la Movimentazione di sedimenti marini – ICRAM APAT).	105
Tabella A.0.1	Variazioni della posizione della linea di costa nel tratto Valdina-Capo Peloro tra il 1976 e il 2008.	111

Elenco delle Tavole

Tavola R.1.a	Corografia
Tavola R.1.b	Corografia
Tavola R.2	Inquadramento dei siti di ripascimento
Tavola R.3	Componenti di trasporto solido nei tratti costa considerati
Tavola R.4	Analisi diacronica: inquadramento generale e sistema di riferimento utilizzato per l'analisi diacronica
Tavola R.5	Analisi diacronica
Tavola R.6	Variazione della linea di costa a seguito dei ripascimenti a
Tavola R.7	Aree SIC-ZPS
Tavola R.8	Prateria di Posidonia Oceanica e Cymodocea nodosa
TAV. RF.1 -	Localizzazione fotografie tratto di costa: Valdina
TAV. RF.2 -	Localizzazione fotografie tratto di costa: Spadafora e Rometta
TAV. RF.3 -	Localizzazione fotografie tratto di costa: Villafranca Tirrena
TAV. RF.4 -	Localizzazione fotografie tratto di costa: Ortoliuzzo
TAV. RF.5 -	Localizzazione fotografie tratto di costa: Rodia-Giudeo e Calamona-Giudeo
TAV. RF.6 -	Localizzazione fotografie tratto di costa: Calamona-Rasocolmo
TAV. RF.7 -	Localizzazione fotografie tratto di costa: Mezzana-Tono e Casabianca-Tono

Premessa

Il territorio della Provincia di Messina è particolarmente vulnerabile dal punto di vista idraulico, come purtroppo testimoniato dall'alluvione del 1° ottobre 2009, che ha prodotto 37 vittime, oltre che ingentissimi danni, nonché dalle più recenti alluvioni del 1° marzo 2010 e, da ultimo, dall'alluvione del 22 novembre 2011, che ha causato 3 vittime.

Pertanto, in un territorio così fragile ogni nuova opera civile che si intende realizzare deve essere guardata non solo nell'ottica delle funzioni cui essa dovrà assolvere, ma anche come occasione ed opportunità per migliorare le condizioni di criticità esistenti.

In tale contesto, la EUROLINK SCpA ha chiesto la collaborazione del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) dell'Università degli Studi di Catania, al fine di ottenere contributi metodologici nell'ambito del progetto definitivo delle opere di collegamento al Ponte sullo Stretto di Messina che insistono sul versante siciliano.

In particolare, nell'ambito dell'iter approvativo del progetto definitivo del Ponte sullo Stretto di Messina e, più precisamente, nell'ambito della conferenza di servizi, sono state rappresentate notevoli perplessità, con particolare riguardo alle sopra citate opere di collegamento, da parte dell'Ufficio del Genio Civile di Messina, dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e del Ministero dell'Ambiente, sia in ordine alla scelta di realizzare i cosiddetti Siti di Recupero Ambientale (SRA) sia in ordine agli studi idrologici-idraulici già condotti, soprattutto con riferimento al rischio di colate detritiche per tutti i bacini interferenti con le opere di collegamento. Entrando un po' più nel dettaglio, nel progetto definitivo sono stati previsti alcuni Siti di Recupero Ambientale che dovrebbero accogliere ingenti volumi di sedimenti al fine di smaltire il materiale proveniente dagli scavi delle gallerie da realizzare ai fini della viabilità funzionale al ponte, delle trincee, della fondazione e del blocco di ancoraggio dello stesso ponte. Proprio con riguardo ai Siti di Recupero Ambientale denominati SRA1, SRA2, SRA3 e SRAS sono emerse perplessità in ordine: agli ingentissimi volumi abbancati; alle soluzioni tecniche adottate per stabilizzare detti sedimenti; agli aspetti idraulici e alla vulnerabilità idrologico-idraulica delle aste torrentizie; alla durabilità nel tempo delle soluzioni medesime.

E' stata inoltre evidenziata l'opportunità di una preliminare valutazione ovvero verifica circa la possibilità di un effettivo recupero ambientale del materiale di scavo prevedendone, ove possibile, un riutilizzo, ad esempio ai fini del ripascimento di litorali che patiscono problemi di erosione costiera.

Al fine di limitare le sopra citate criticità, la società Eurolink S.C.p.A. ha chiesto al DICA di individuare e proporre delle soluzioni volte a mitigare gli impatti idraulici sopra brevemente richiamati e insiti nella realizzazione delle opere di collegamento al Ponte sul versante siciliano. Più in particolare, il DICA dovrà fornire supporto metodologico in ordine alla possibilità di reimpiego dei materiali di scavo per il ripascimento di tratti di costa in prossimità delle aree di lavoro; verificando, in particolare, la compatibilità del suddetto materiale con tale destinazione funzionale. La presente relazione descrive le possibilità di recupero del sedimento proveniente dagli scavi delle opere di collegamento al ponte ai fini del ripascimento dei litorali del Comune e della Provincia di Messina che patiscono condizioni di erosione.

Introduzione

La presente relazione ha ad oggetto la verifica in ordine alla possibilità di reimpiego dei materiali di scavo provenienti dalle opere di collegamento al Ponte per il ripascimento di tratti di costa ricadenti nella Provincia di Messina, con specifico riferimento al comune di Messina, in particolare, attraverso la valutazione della compatibilità del suddetto materiale con tale destinazione funzionale. E' opportuno preliminarmente ricordare che il ripascimento costiero è una pratica che ha assunto una grande importanza in tutti quei casi in cui è necessario il ripristino artificiale di tratti sabbiosi marini attraverso lo sversamento di ingenti volumi di materiale aventi le stesse caratteristiche peculiari del sito interessato. In particolare, si richiede che i sedimenti utilizzati per il ripascimento risultino dello stesso colore, granulometria e tipologia di quelli già presente nel sito. Il ripascimento artificiale è quindi una azione molto delicata e complessa e deve rispettare severe norme di attuazione sia amministrative che tecnico-scientifiche.

E' importante, altresì, ricordare come gli arenili non abbiano solo funzioni ambientali o turistico-ricreative; essi infatti rappresentano la prima linea di difesa della fascia costiera dalle mareggiate, essendo in grado di assorbire l'energia del moto ondoso incidente. Pertanto la pratica del ripascimento è particolarmente efficace e consigliabile laddove si rilevino significativi processi di erosione, anche per i minori impatti ambientali rispetto ad altre tecniche di difesa costiera dall'erosione.

In quest'ottica, gli studi effettuati nell'ambito della presente convenzione sono stati orientati a valutare la possibilità di utilizzare i sedimenti provenienti dagli scavi al fine di ripristinare l'equilibrio ambientale di tratti di litorale, quali quelli tirrenici e ionici del Comune e della Provincia di Messina, che oggi patiscono seri problemi di erosione. In altre parole, si è cercato di considerare i sedimenti più come una risorsa da impiegare piuttosto che come un rifiuto da stoccare.

Pertanto, per rispondere all'esigenza specifica di riutilizzo degli ingenti volumi di scavo, è stato seguito il seguente procedimento:

1. ricerca e analisi dei siti potenzialmente suscettibili di ripascimento costiero, considerando soprattutto quei siti che presentano progetti già approvati o in corso di approvazione, nonché eventuali piani regionali o locali di ripascimento, in aree limitrofe a quella dei lavori;
2. definizione delle caratteristiche dei sedimenti dei siti di destinazione, anche attraverso prove e analisi di laboratorio sul materiale che costituisce il tratto di costa in esame;
3. definizione dei volumi di materiale proveniente dagli scavi effettivamente impiegabili per il ripascimento, sulla base delle caratteristiche granulometriche e chimico fisiche desumibili dalle prove di laboratorio eseguite da Eurolink SCpA nel corso della campagna di indagini geognostiche condotta;
4. descrizione accurata delle procedure, dei riferimenti normativi, sia a carattere locale che nazionale, nonché individuazione degli enti coinvolti nell'iter approvativo.

La presente relazione è così articolata: il Capitolo 0 riporta i riferimenti del progetto redatto da Eurolink S.C.p.A. che sono stati utilizzati nella presente relazione; il Capitolo 0 individua e descrive i dati impiegati nelle elaborazioni effettuate; il Capitolo 0 indica alcuni dei limiti del presente studio; nel Capitolo 0 è riportata una descrizione sommaria dei luoghi interessati dai possibili interventi di ripascimento; nel Capitolo 0 sono espresse alcune note tecniche inerenti alla pratica del ripascimento artificiale; il Capitolo 0 riassume i principali aspetti normativi, sia a livello nazionale che regionale, relativi ai versamenti di materiale sabbioso lungo gli arenili; il capitolo 0 descrive i sedimenti campionati nei siti di prelievo con particolare riferimento a quelli non contaminati durante le lavorazioni e dunque compatibili con le operazioni di ripascimento; nel Capitolo 0 è riportato lo studio idraulico marittimo al largo del paraggio in esame con particolare riguardo alla valutazione del contenuto energetico delle onde al largo; il Capitolo 0 descrive la spiaggia emersa sul versante tirrenico della provincia di Messina da Valdina a Capo Peloro, evidenziando sia le tendenze evolutive del litorale negli ultimi 35 anni, sia le tipologie di sedimenti che caratterizzano la spiaggia; nel Capitolo 0 è effettuata la stima dei volumi di sedimento utilizzabili ai fini del ripascimento unitamente ad alcune considerazioni sulla fattibilità dei ripascimenti stessi; il Capitolo 0 esplora quindi il trasporto solido pre- e post- intervento; nel Capitolo 0 sono individuate le eventuali interferenze delle aree di ripascimento con aree ad elevato valore ambientale; nel Capitolo 0 viene riportato un elenco degli studi che devono corredare un progetto di ripascimento e gli iter amministrativi conseguenti.

Infine il Capitolo 0 riporta alcune considerazioni conclusive.

Riferimenti progettuali

Nel presente documento, per semplificare la comparazione con i riferimenti progettuali, verrà utilizzata la stessa nomenclatura e le stesse denominazioni del progetto definitivo.

Sono stati utilizzati i dati relativi alle indagini geotecniche condotte dalla società Eurolink SCpA, ed in particolare alle prove granulometriche effettuate per i siti di scavo, quale ad esempio il sondaggio S409 realizzato nell'area dove si realizzerà la trincea in corrispondenza dell'area dei caselli di accesso al ponte, ossia l'area dalla quale si estrarranno i maggiori volumi di scavo di materiale, peraltro non soggetto ad alcun trattamento preliminare che possa determinare presenza di materiali non naturali a seguito delle lavorazioni.

Come riportato in Tabella 0.1, si è, inoltre, fatto riferimento all'elaborato CZ0007_F0 che riporta il dettaglio dei volumi di scavo previsti dal progetto definitivo, distinguendo il materiale proveniente da scavi all'aperto (trincee, blocco di ancoraggio, fondazione del pilone) e, dunque, impiegabile tal quale ai fini del ripascimento, a meno di semplici operazioni di vagliatura e selezione granulometrica, dallo smarino delle gallerie, che, come è noto, risulta mescolata con i materiali usati per la stabilizzazione dei fronti di scavo.

Tabella 0.1 Volumi di scavo previsti dal progetto definitivo.

PROVENIENZA	Volume di scavo [m ³]		DESTINAZIONE	
	All'aperto [A]	Tradizionale/ meccanizzato [B]	RIFIUTO SRAS [N]	Materiale potenzialmente utile per ripascimento [m ³] [A]-[N]
Torre	119900		6000	113900
Torre (esterno)	148100		4315	143785
Struttura terminale	72500		2111	70389
Viadotto Pantano	23300		680	22620
Blocco ancoraggio	381000		19000	362000
Blocco ancoraggio (esterno)	13000		400	12600
Tratto all'aperto 0+500 - 2+250	1709600			1709600
Faro Sup. Nord		641300	64000	
Faro Sup. Sud		680900	68000	
Tratto all'aperto 5+500 - 5+900	410200			410200
Galleria artificiale: (Faro imb. N+S)	177000			177000
Balena Nord		244000	24000	
Balena Sud		260300	26000	
Galleria artificiale: (Balena imb. N+S)	36000			36000
Tratto all'aperto 7+200 - 7+300	11600			11600
Le Fosse Nord		566400	56600	
Le Fosse Sud		561500	56000	
Tratto all'aperto 10+150 - 10+300	33900			33900
Galleria artificiale: (Le Fosse imb. N+S)	80000			80000
Ferrovia a scavo meccanizzato		2750000		
Galleria artificiale ferroviaria: S. Agata e S. Cecilia	493000			493000
St metropolitane SS1 Papardo	70000		3500	66500
St metropolitane SS2 Annunziata	90000		4500	85500
St metropolitane SS3 Europa	105000		5000	100000
Galleria artificiale ferroviaria: Zona Contesse	37000			37000
TOTALE	4011100	5704400		3965600

Dati utilizzati per le elaborazioni

Le elaborazioni condotte ai fini della stima dei volumi di materiale utilizzabili ai fini del ripascimento hanno richiesto l'acquisizione di svariate serie di dati.

E' stata acquisita la cartografia disponibile alle varie scale utili alle elaborazioni. Più specificamente si sono utilizzate le informazioni desunte dal PAI Sicilia (2005), dalla CTR Sicilia (aggiornamento 2008), dalle Carte Nautiche, in particolare:

- Carta nautica n. 23 - Da Capo Milazzo a Roccella Ionica, Scala 1:100.000, ed. 2007
- Carta nautica n. 138 - Stretto di Messina. Scala 1:30.000, ed. 1993

entrambe editate dall'Istituto Geografico della Marina Militare.

Ai fini dell'analisi del clima ondoso al largo sono stati impiegati dati ondametrici già in possesso del DICA; in relazione alla costa tirrenica sono stati utilizzati i dati ondametrici relativi ad un punto del modello ondametrico europeo dell'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) posto a largo del paraggio in esame (38.5°N,15.5°E), relativi al periodo 01/01/1993 – 30/06/2011; per quanto attiene al paraggio di Sant'Alessio Siculo sono stati utilizzati i dati della boa ondametrica di Catania in dotazione all'ISPRA relativi al periodo 01/07/1989-05/10/2006.

Per l'analisi dei sedimenti dei siti di ripascimento sono stati utilizzati i dati sedimentologici prodotti dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Messina, nell'ambito della convenzione "Analisi delle criticità idrauliche marittime e geomorfologiche, monitoraggi, studi idraulici e geologici delle coste del tratto ionico e tirrenico del comune di Messina" e forniti a chi scrive dal Ufficio Tecnico del Comune di Messina.

Sono state, altresì, fornite dal Committente informazioni in merito ai progetti preliminari di ripascimento presentati dal comune di Messina. Tali informazioni, disponibili per lo più sotto forma di schede, sono relative ai seguenti tratti di litorale:

- Tremestieri
- S. Margherita Nord
- Scaletta - Briga
- Galati – S. Margherita
- Briga – Schiavo
- Torrente Rodia – T. Giudeo
- T. Calamona – Capo Rasocolmo
- T. Calamona – T. Giudeo
- Ortoliuzzo

- Mezzana – Tono
- Casabianca – Tono

È opportuno precisare che i primi cinque siti sono localizzati lungo il versante ionico, gli altri a quello tirrenico. A seguito di specifiche esigenze del committente legate alla movimentazione dei sedimenti si è deciso di focalizzare l'attenzione ai siti posti lungo il litorale tirrenico. Per tali siti, unitamente agli ulteriori posti nei limitrofi comuni lungo il litorale tirrenico, sono state condotte analisi specifiche qualitative e sono stati quantificati i volumi necessari di materiale per ripascimento.

Al fine di verificare la possibilità di effettuare ripascimenti anche lungo il litorale ionico, sono state acquisite le informazioni relative al progetto delle opere di difesa dell'abitato di Sant'Alessio Siculo.

Con riferimento alla descrizione delle caratteristiche delle spiaggia emersa, sono stati, infine, utilizzati anche i dati fotografici e sedimentologici relativi ai rilievi effettuati in situ condotti dal DICA.

Limiti

Tra i principali limiti cui la presente indagine è soggetta vi è quello dovuto al fatto che, prevalentemente, non sono state condotte indagini specifiche e campagne di acquisizione dati a mare mirate direttamente alla realizzazione dei ripascimenti, bensì sono stati utilizzati dati acquisiti con finalità diverse e dunque non focalizzati sull'obiettivo del presente studio. Più specificamente, non erano disponibili dati meteo marini rilevati direttamente nei siti di interesse. Inoltre, non sono state condotte campagne batimetriche né sono stati acquisiti dati sedimentologici nei siti da ripascere relativi alla spiaggia sommersa. Pertanto, le informazioni in merito alla batimetria sono state desunte, per le profondità superiori ai 10 m, dalle carte nautiche. In taluni casi, la cartografia riporta anche le informazioni relative alla batimetria 5 m; questa indicazione tuttavia, essendo riferita alla spiaggia attiva, non sempre risulta affidabile. Pertanto, per descrivere l'andamento della spiaggia sommersa, tenendo conto che le carte nautiche non vengono aggiornate con frequenza, si è preferito per le profondità inferiori ai 10 m assumere un profilo di equilibrio, in particolare quello di Bruun (1954), seguendo un'apposita metodologia meglio descritta nel seguito. Per quanto attiene ai dati sedimentologici, per i tratti ricadenti nel Comune di Messina, si sono utilizzati quelli acquisiti dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Messina, i quali tuttavia sono disponibili solo alle profondità +1, 0 e -1 m. Non sono dunque disponibili informazioni relative alla porzione attiva della spiaggia sommersa, più rappresentative dell'effettiva granulometria dei sedimenti mobilitati dal trasporto solido. In particolare, tutti i campioni prelevati alla profondità di -1 m e sulla battigia sono caratterizzati dalla forte presenza di ciottoli, mentre i sedimenti prelevati sulla spiaggia sono tipicamente sabbie. Tale situazione è tipica dei litorali della zona tirrenica della Provincia Messina. In particolare, la forte presenza di ciottoli alla profondità di -1 m e sulla battigia è legata all'azione di dilavamento delle particelle più sottili condotta dalle onde proprio in corrispondenza delle fasi di "run-up" e "run-down". In tale condizione i campioni prelevati in corrispondenza della profondità -1 m e della battigia non risultano particolarmente rappresentativi della granulometria effettiva presente lungo il profilo di spiaggia. Per tale ragione, in mancanza di campionamenti lungo la porzione attiva della spiaggia sommersa, al fine di ottenere una prima stima dei sedimenti presenti nel litorale si sono presi come riferimento i campioni prelevati nella sola porzione emersa della spiaggia. In assenza di tali informazioni, è stato ricavato il diametro medio dei sedimenti, alle profondità desunte dalle batimetriche presenti sulla carte nautiche, che determina un adattamento ottimale del profilo medio della spiaggia di Bruun (1954). La procedura sarà meglio descritta nel successivo paragrafo 1.14.

Stato dei luoghi

L'indagine è stata rivolta ai litorali della costa Tirrenica. Successivamente, in esito ad incontri con il committente, si è deciso di inserire nel presente studio anche il tratto di costa ricadente nel comune di Sant'Alessio Siculo, situato lungo la costa ionica della provincia di Messina. Tale tratto di costa non è stato incluso nella presente descrizione dei luoghi poiché l'intervento si limita a fornire i sedimenti per la realizzazione di un progetto di ripascimento protetto già in fase esecutiva e con le opere di protezione al piede già realizzate.

Quanto riportato di seguito trova riferimento nel report fotografico e alle tavole ad esso allegate.

Il litorale tirrenico in esame è situato nella Provincia di Messina e ricade all'interno dell'unità fisiografica compresa tra Capo Milazzo e Capo Peloro. Esso è caratterizzato in massima parte da spiagge basse costituite da sabbia e ghiaia.

Cominciando la descrizione dai comuni posti più ad Ovest rispetto ai luoghi di lavorazione e dunque dal tratto compreso tra Valdina e Capo Rasocolmo, esso risulta fortemente antropizzato con la presenza di abitati e vie di comunicazione immediatamente a ridosso della spiaggia.

Lungo il litorale citato si possono osservare numerose opere di protezione dei litorali. Si osservano barriere emerse, barriere sommerse e pennelli. Tali opere appaiono realizzate senza una visione di insieme realizzata a scala di unità fisiografica ma, piuttosto, per risolvere problemi locali e dunque determinando, dopo la loro realizzazione, arretramenti della linea di riva sottoflutto alle stesse opere.

Inoltre, lungo il litorale, particolarmente nei tratti immediatamente a Ovest dell'abitato di Valdina, sull'arenile si osserva la presenza di residui di laterizi, verosimilmente provenienti dalle fabbriche poste lungo i corsi d'acqua che sfociano su tale tratto di litorale.

Più in dettaglio nel tratto di costa ricadente in Comune di Valdina si osserva la presenza di una barriera distaccata poco emergente realizzata in tetrapodi (vedere Foto 1 e 5). Lungo la parte sommitale della spiaggia emersa si rileva la presenza di un muro di contenimento, verosimilmente distrutto dall'azione del moto ondoso (vedere Foto 2 e 3). Tutta la spiaggia risulta caratterizzata dalla presenza di residui di laterizi posti in corrispondenza della berma (vedere Foto 4, 6 e 7).

Il tratto di costa ricadente in comune di Venetico risulta caratterizzato da una spiaggia di dimensione sempre più ampia procedendo verso Est (vedere Foto 9) grazie alla presenza di un pennello trasversale realizzato in massi di calcestruzzo posto in prossimità del confine con il comune di Spadafora (vedere Foto 8).

Tale pennello ha verosimilmente alterato la deriva dei sedimenti sottoflutto allo stesso, determinando lungo il tratto di costa in comune di Spadafora un forte arretramento dell'arenile, solo in parte contrastato dalla realizzazione di pennelli di modeste dimensioni realizzati in massi di calcestruzzo (vedere Foto 10, 11, 12, 13) e di barriere realizzate in massi di calcestruzzo. Dette barriere, originariamente distaccate, oggi si presentano quasi completamente colmate da sedimenti (vedere Foto 14 e 15).

Il litorale del comune di Rometta risulta caratterizzato dalla presenza di barriere distaccate emerse realizzate in massi di calcestruzzo, caratterizzate da una forte inclinazione rispetto alla linea di riva (vedere Foto 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21) e dalla presenza di tomboli che, per le barriere poste più a ovest, hanno determinato il colmamento della porzione di mare tra l'originaria linea di riva e la barriera (vedere Foto 15 e 16). La porzione emersa della spiaggia è caratterizzata dalla presenza di elementi di laterizi (vedere Foto 19).

Il tratto di costa in comune di Villafranca Tirrena è costituito da una spiaggia di modesta estensione trasversale protetta da opere a gettata di diversa tipologia (distaccata, radicata e radente) (vedere Foto 23, 24 e 25). Anche tale tratto di costa risulta caratterizzato da una berma con elevata presenza e da residui di laterizi (vedere foto 22).

In corrispondenza della contrada Ortoliuzzo in comune di Messina, la spiaggia appare di modesta estensione (vedere foto 26) o del tutto assente, con la presenza di opere di protezione di tipo radente (vedere Foto 27, 28 e 29).

Lungo il litorale compreso tra la foce del Torrente Marmora e Capo Rasocolmo, si rileva la presenza di una spiaggia di modesta estensione trasversale con la presenza di opere di protezione in particolare in corrispondenza dell'abitato di San Saba (vedere Foto 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38).

In corrispondenza della frazione di Acquarone in comune di Messina si rileva la presenza di una spiaggia emersa di ampie dimensioni (vedere foto 39 e 40) che va riducendosi fino a diventare praticamente assente in prossimità delle contrade Mezzana e Tono (vedere Foto 41, 44, 45, 46). In particolare in tale tratto di spiaggia sono evidenti i risultati di un forte arretramento della linea di riva (vedere foto 42 e 43).

In prossimità dell'abitato di Casabianca si rileva l'assenza della spiaggia emersa con la realizzazione di opere di protezione dell'abitato con elementi prefabbricati di calcestruzzo, adattati alla certamente non consona funzione di protezione radente (vedere Foto 47, 48, 49 e 50).

Note tecniche sui ripascimenti

1.1 Generalità

I ripascimenti artificiali, ovvero i versamenti controllati di sabbia di opportuna granulometria estratta da cave di prestito in mare o a terra, sono oggi tra gli interventi di protezione costiera più diffusi, in quanto consentono di ripristinare litorali in erosione con basso impatto ambientale. Partendo da tale considerazione, si vuole qui valutare la possibilità di impiegare i sedimenti prodotti dalle operazioni di scavo previste nell'ambito del Progetto del Collegamento Stabile dello Stretto di Messina ai fini del ripascimento delle spiagge della Provincia di Messina che, come testimoniato dal Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana, patiscono importanti arretramenti della linea di riva. E' opportuno sottolineare come tale pratica consentirebbe di riguardare i sedimenti estratti dalle operazioni di scavo non come materiale di scarto ma come vera e propria risorsa da destinare ad interventi volti ad un effettivo recupero ambientale. In questo capitolo, in particolare, vengono fornite alcune informazioni tecniche di carattere generale sui ripascimenti, che verranno più specificamente impiegate nei successivi capitoli.

1.2 Il ripascimento artificiale

I ripascimenti artificiali consistono in versamenti controllati di sabbia di opportuna granulometria estratta da cave di prestito. Essi vengono anche definiti spesso come interventi passivi morbidi o passivi in quanto, pur non eliminando la causa dell'erosione e non intervenendo ai fini di un incremento della spiaggia emersa a seguito dello stesso intervento, assicurano una protezione della fascia costiera; morbidi in relazione all'elevata deformabilità all'azione del moto ondoso. Ovviamente il ripascimento non deve essere inteso come semplice sversamento di materiale sugli arenili: i sedimenti destinati al ripascimento, infatti, soprattutto in relazione al sito oggetto dell'intervento, devono possedere adeguate caratteristiche chimiche, fisiche, sedimentologiche e cromatiche.

In particolare, la granulometria dei sedimenti di prestito deve in genere essere superiore a quella presente sulla spiaggia; e ciò al fine di evitare un incremento della capacità di trasporto solido del moto ondoso, con necessità di frequenti e costosi interventi di manutenzione.

Per limitare gli interventi periodici di manutenzione di una spiaggia artificiale, limitando le perdite di sedimenti, si possono combinare i versamenti di materiali, ossia i ripascimenti cosiddetti liberi, con opere di contenimento, sia aderenti che distaccate, sia trasversali che longitudinali, realizzando i cosiddetti ripascimenti protetti o controllati.

Gli obiettivi sono principalmente quelli di costruire o ricostruire aree fruibili per scopi turistici e ricreativi, offrire protezione dall'attacco del moto ondoso, ricostituire habitat per specie pregiate o in estinzione.

Tra i vantaggi della realizzazione di un ripascimento artificiale vi sono, quindi, la possibilità di ampliamento della spiaggia e il conseguente incremento della sua fruibilità, la capacità di conservare e persino migliorare le caratteristiche paesaggistiche e ambientali, una migliore protezione da mareggiate anche attraverso la costruzione di spiagge sacrificali e, infine, la redistribuzione del materiale solido anche a tratti di litorale limitrofi a quello di intervento.

Lo svantaggio principale è legato alla manutenzione del ripascimento stesso, ovvero alla necessità di ripetere ciclicamente l'intervento (peraltro a distanza temporale non facilmente determinabile)

poiché, come detto, il ripascimento non interviene sulle cause dell'erosione. Il citato svantaggio, tuttavia, è minore rispetto a quanto si possa stimare a primo acchito, poiché, comunque, il materiale asportato dal sito oggetto del ripascimento finisce per alimentare i litorali vicini.

Calcolo del coefficiente di overfill

Nell'ipotesi che il materiale di riporto abbia la stessa granulometria del materiale originario (o che sia leggermente più grossolano), il volume di progetto potrà essere calcolato considerando trascurabili le perdite di materiale di riporto dovute a diversità di comportamento sotto l'azione del moto ondoso (processi di rimozione e di sorting).

L'utilizzo di materiale più fine comporterà, invece, sotto l'azione del moto ondoso, la perdita di quantità anche considerevoli di sedimenti subito dopo il ripascimento, di cui si dovrà tener conto aumentando adeguatamente i quantitativi di apporto calcolati nell'ipotesi di uniformità di caratteristiche tra materiale di ripascimento e materiale originario (Swart, 1991).

Il coefficiente di overfill RA è stato calcolato originariamente da James (1975) in funzione della deviazione standard della distribuzione granulometrica del campione in unità ϕ e del diametro medio della distribuzione granulometrica del campione in unità ϕ , esso rappresenta il numero di metri cubi di materiale richiesto per produrre un metro cubo di materiale di spiaggia.

La Figura 0.1 mostra l'andamento del coefficiente di overfill in funzione dei parametri

$$M_\phi = \frac{\phi_{84} + \phi_{16}}{2} \quad (0.1)$$

$$\sigma_\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2} \quad (0.2)$$

della distribuzione granulometrica della spiaggia nativa (pedice "n") e della cava di prestito (pedice "b"), essendo rispettivamente ϕ_{84} e ϕ_{16} l'ottantaquattresimo e il sedicesimo percentile della distribuzione granulometrica in scala ϕ . Si ricorda che la variabile ϕ è legata al diametro D dalla relazione:

$$\phi = -\log_2 D \quad (0.3)$$

e viene utilizzata per avere valori di ϕ positivi per granuli di dimensione inferiore al millimetro; in tal modo per la caratterizzazione delle sabbie, i diametri caratteristici determinano valori di ϕ nel range 0-4.

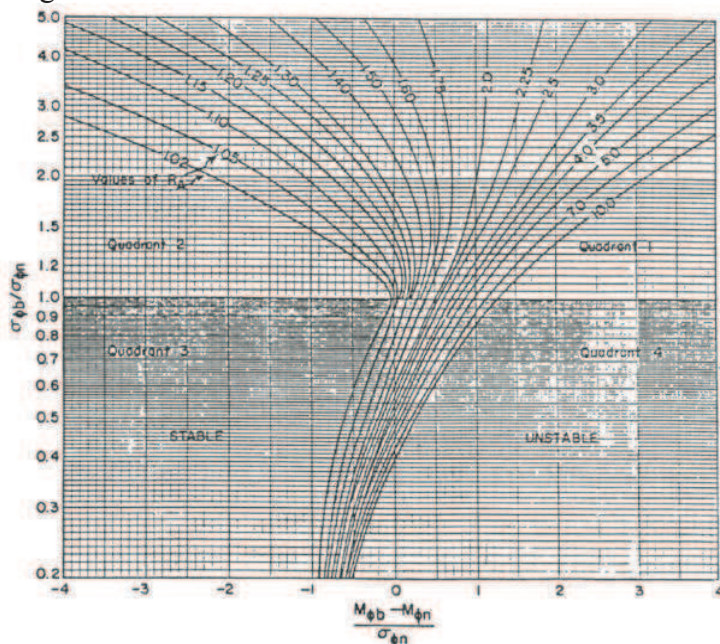


Figura 0.1 Coefficiente di overfill in funzione dei parametri dei sedimenti provenienti dalla cava di prestito e dalla spiaggia nativa.

Calcolo del coefficiente di ripascimento

Un secondo coefficiente, che interessa la durata a lungo termine del ripascimento, riguarda l'incremento della frequenza degli apporti di sedimento rispetto al caso di invarianza del sedimento di riporto rispetto a quello nativo. Infatti la diversa dimensione dei sedimenti implica un diverso tempo di residenza del materiale nella zona interessata dal ripascimento. Tale coefficiente, indicato con RJ rappresenta l'incremento della frequenza di ripascimento rispetto alla condizione di invarianza del sedimento di riporto rispetto a quello di origine (vedi Figura 0.2).

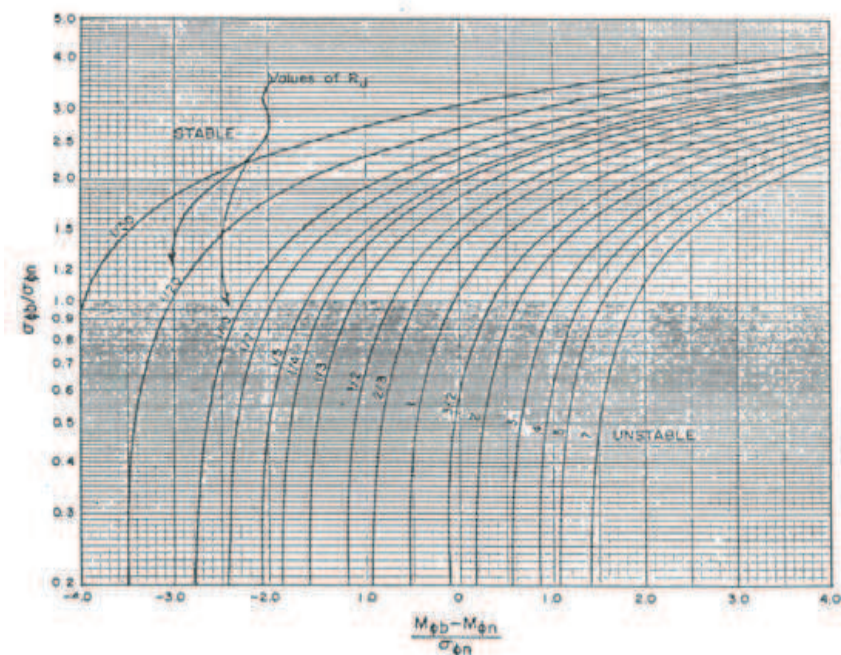


Figura 0.2 Coefficiente di ripascimento in funzione dei parametri dei sedimenti provenienti dalla cava di prestito e dalla spiaggia nativa.

Inquadramento normativo sui ripascimenti

1.3 Generalità

Per poter affrontare in maniera circostanziata la possibilità di utilizzare una aliquota significativa del materiale proveniente dagli scavi delle opere di collegamento al ponte sullo Stretto di Messina sul versante siciliano, è opportuno innanzitutto fornire un quadro della normativa alla quale occorre fare riferimento.

Pertanto, in questo capitolo si descrivono brevemente i principali riferimenti normativi esistenti in materia di ripascimento dei litorali. Più specificamente, vengono dapprima discussi i principali contenuti delle linee guida emesse a livello nazionale, passando quindi ad approfondire la normativa regionale in materia, disponibile per lo più sotto forma di decreti assessoriali.

1.4 Documenti programmatici e linee guida

Un primo fondamentale riferimento a livello nazionale è costituito dal “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini” redatto nell’agosto 2006 dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Tale documento, di carattere programmatico e dunque da intendersi come un insieme di linee guida, riporta l’insieme di informazioni che è necessario disporre per quanto attiene al sito da ripascere. In particolare, il Manuale inquadra in primo luogo l’iter autorizzativo che qualunque attività di movimentazione di fondali marini deve seguire, passando quindi ad esaminare la lista dei parametri fisici, chimici e microbiologici da analizzare in funzione dell’ambiente di prelievo e i requisiti che i sedimenti devono possedere per poter essere utilizzati ai fini di ripascimento.

Ai fini della determinazione della compatibilità dei sedimenti di apporto, relativamente al sito da ripascere, è richiesta la seguente documentazione:

- Planimetria generale dell’area da ripascere comprensiva delle isobate;
- Caratteristiche meteomarine climatologiche annuali, stagionali ed estreme;
- regime sedimentario e trasporto solido litoraneo nel tratto di costa interessato;
- analisi storiografica dell’andamento della linea di costa, dei fondali e delle eventuali opere o interventi di protezione
- possibili fonti d’inquinamento e stato ambientale delle spiagge da ripascere (superficie emersa e sommersa);
- caratteristiche cromatiche, mineralogiche, granulometriche e chimiche;

- principali popolamenti macrobentonici presenti nel sito di ripascimento e nell'area circostante fino alla batimetrica dei 10 m;
- principali popolazioni ittiche esistenti nell'area.

Inoltre, occorre prevedere il prelievo di almeno due campioni all'interno dell'area interessata dal ripascimento, l'uno sulla spiaggia emersa e l'altro su quella sommersa, lungo sezioni tra loro equidistanti al massimo 200 m e perpendicolari alla linea di costa. Il documento, inoltre, per tener conto degli impatti dell'opera sull'unità fisiografica, prevede un apposito piano di monitoraggio che consideri, oltre all'osservazione costante della linea di costa e della granulometria della spiaggia, le caratteristiche meteo marine, i livelli di torbidità e i principali popolamenti macrobentonici. Più recentemente, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato le "Linee guida per le problematiche connesse alle attività di dragaggio nei porti e di possibilità e modalità di riutilizzo dei materiali dragati" (2008). Il documento, maggiormente focalizzato sul prelievo di materiale dai fondali portuali che sull'attività di deposizione, tuttavia riporta le direttive e gli orientamenti comunitari e nazionali, precisando che per quanto riguarda lo sversamento di sedimenti provenienti da attività di dragaggio in spiagge, lagune, terrapieni costieri, etc., l'attività di istruttoria così come il rilascio dell'autorizzazione è di competenza delle singole regioni.

1.5 Normativa regionale

La normativa regionale in materia di ripascimenti si basa per lo più su alcuni decreti assessoriali. Tra questi si ricordano qui brevemente quelli di principale interesse ai fini della presente indagine volta ad individuare i possibili recapiti del materiale di scavo proveniente dalle opere di collegamento al ponte sul versante siciliano.

IL Decreto Assessoriale della Regione Siciliana del 30 dicembre 1997 dal titolo "Disposizioni relative alla regolamentazione delle operazioni di dragaggio e di ripascimento degli arenili nell'ambito del demanio marittimo regionale" dell'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente individua nell'Assessorato, per tramite delle Capitanerie di porto competenti, l'ente preposto alle autorizzazioni per la movimentazione dei depositi nell'ambito di uno stesso arenile o corpo sedimentario, escludendoli dalla procedura di nulla osta ambientale.

Il Decreto Assessoriale del 31 dicembre 1997 dal titolo "Modalità per il rilascio del nulla osta per gli interventi di ripascimento dei litorali nell'ambito del demanio marittimo regionale" dell'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente riporta l'elenco della documentazione da produrre ai fini del rilascio del nulla osta ai sensi dell'art. 30 della L.R. 10/93. Inoltre il D.A. specifica le modalità di campionamento per le analisi che è necessario condurre: in particolare, ai fini delle analisi definitive, vengono indicati i criteri con cui eseguire i carotaggi nelle aree destinate a dragaggio.

Il Decreto Assessoriale del 4 gennaio 2001 dal titolo "Disposizioni relative alla regolamentazione delle operazioni di dragaggio e di ripascimento degli arenili nell'ambito del demanio marittimo regionale", emanato dall'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente, individua l'esigenza di sottoporre alla fase di verifica dell'assoggettabilità alla procedura di V.I.A. regionale i progetti che prevedono lavori di dragaggio dei fondali marini o portuali nonché operazioni di ripascimento degli arenili marini delle zone costiere dell'isola, ed in base all'esito della stessa, all'eventuale rilascio del giudizio finale di compatibilità ambientale.

Il Decreto Assessoriale del 1 giugno 2004 dal titolo "Documentazione necessaria per il rilascio dei provvedimenti di compatibilità ambientale di competenza regionale afferenti i progetti dei lavori marittimi e portuali, ai sensi dell'art. 5 del D.P.R. 12 aprile 1996 e s.m.i." emanato dall'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente, con riferimento alle operazioni di rifacimento artificiale di arenili in

arretramento, individua tutta la documentazione che deve essere contenuta all'interno dello studio di impatto ambientale. Più specificamente occorre prevedere:

1. un quadro di riferimento programmatico contenente le seguenti informazioni:
 - conformità e compatibilità con gli strumenti urbanistici vigenti;
 - coerenza del progetto e previsioni relative nell'ambito degli strumenti di programmazione;
 - giustificazione degli interventi proposti;
 - ambienti e beni da salvaguardare dall'azione del mare;
 - motivazioni del ricorso all'intervento di ripascimento piuttosto che ad altre soluzioni;
 - vincoli presenti nell'area di intervento;
2. un quadro di riferimento progettuale:
 - descrizione del territorio e delle infrastrutture interessate dalla realizzazione delle opere;
 - nell'escavazione di fondali portuali, conformità delle quote con il vigente piano regolatore portuale;
 - caratteristiche dimensionali, fisiche e tecniche degli interventi;
 - nel recupero di suoli a mare, conformità e coerenza con gli strumenti di pianificazione e programmazione;
 - efficacia degli interventi proposti, eventuali manutenzioni previste e costi relativi;
 - possibili soluzioni alternative a quella selezionata;
 - analisi costi- benefici;
 - rilievo batimetrico dei fondali oggetto di escavazione;
 - rilievo topografico e batimetrico del tratto litoraneo da ripascere con studio delle strutture di fondo presenti;
 - modalità di sversamento in relazione al profilo di equilibrio del materiale;
 - studio idraulico marittimo dei siti di prelievo e di ricezione;
 - studio climatologico – anemometrico;
 - relazione geologica e geotecnica;
3. un quadro di riferimento ambientale:

- caratteristiche chimico – fisiche e batteriologiche dei materiali dragati;
- caratteristiche granulometriche e sedimentologiche dei materiali dragati e di quelli presenti nel sito di ricezione, con valutazione della compatibilità relativa;
- volume e peso secco dei materiali;
- eventuali trattamenti e/o lavorazioni preventive dei materiali;
- caratterizzazione dell'unità fisiografica di appartenenza;
- Vicinanza di eventuali aree naturali protette, siti di interesse comunitario, etc. ed impatti a carico delle stesse;
- Occupazione definitiva di suolo da parte dell'opera e temporanea da parte del cantiere;
- Rapporti dell'opera con il bacino idrografico e eventuali interferenze con il reticolo idrografico;
- Sfruttamento cave di prestito;
- Modalità previste per lo smaltimento dei materiali di risulta;
- Studio geomorfologico costiero con individuazione dei sistemi di dune e del grado di erodibilità delle formazioni costiere ed impatti relativi;
- Analisi ed impatti sugli ecosistemi terrestri interessati;
- Biocenosi bentoniche esistenti ed impatti relativi nel sito di ripascimento;
- Biocenosi bentoniche esistenti ed impatti relativi nel sito di prelievo;
- Dinamica ed evoluzione dei litorali comprensivo di bilancio sedimentario, valutazione del trasporto solido, interazioni dovute alla realizzazione dei lavori di dragaggio o di ripascimento;
- Valutazione dell'azione eolica, delle produzioni bioclastiche, degli apporti naturali e di altri fattori nei processi di trasformazione dei litorali esaminati;
- Impatto acustico e delle vibrazioni;
- Impatto da rischio di incidente (nelle fasi di cantiere);

- Impatti sulla qualità dell'aria;
- Effetti sulla qualità delle acque marine;
- Impatti dovuti all'eventuale produzione di polveri;
- Impatti di cantiere;
- Effetti sulla fruizione della costa;
- Effetti del ripascimento sulla percezione visiva e sul paesaggio;
- Eventuali impatti su beni culturali, storici e d archeologici;
- Eventuali impatti su infrastrutture e manufatti esistenti;
- Impatti dovuti all'eventuale apertura e coltivazione di cavi di prestito;
- Effetti socio-economici;
- Misure di mitigazione e compensazione ambientale;
- Documentazione fotografica.

Analisi dei sedimenti provenienti dagli scavi

Il progetto definitivo del Collegamento Stabile dello Stretto di Messina prevede la lavorazione di circa 9.700.000 m³ di sedimenti provenienti da scavi e da smarino di gallerie. Di tale quantità è previsto il riuso di circa 2.443.500 m³ per la realizzazione di inerti, di 1.072.700 m³ per la realizzazione di rilevati, di 2.564.000 m³ per il recupero di cave dismesse, mentre circa 340.100 m³ sono destinati a rifiuto, a meno di differenti scelte del Committente nell'individuazione del recapito dei volumi residui.

A parere di chi scrive, la porzione utile per la realizzazione degli interventi di ripascimento degli arenili della fascia tirrenica della Provincia di Messina deve essere prevalentemente costituita dai sedimenti provenienti dagli scavi del blocco di ancoraggio (394.000 m³), dalle fondazioni del pilone (268.000 m³) e del viadotto Pantano (95.800 m³) e, soprattutto, dagli scavi all'aperto in corrispondenza della futura barriera di controllo del traffico (1.700.000 m³) e del tratto compreso tra le gallerie Faro e Balena (587.200 m³), per un totale di circa 3 milioni di m³.

Dalle indagini geotecniche condotte dalla società Eurolink S.C.p.A., è emerso che il materiale costituente tali scavi rientra nel campo delle sabbie, seppur con fusi granulometrici piuttosto allungati.

In particolare, nella Figura 0.1 sono illustrati i fusi granulometrici del sondaggio S409 e relativi a diverse profondità. Tale sondaggio è stato realizzato nell'area in cui sono localizzati i massimi volumi di scavo di materiale che, verosimilmente, non sarà soggetto ad alcun trattamento preliminare e dunque dovrebbe essere privo di contaminanti dovute alle lavorazioni. I risultati delle analisi granulometriche mostrano come a tutte le quote di prelievo, i sedimenti presentano in prima analisi la stessa distribuzione granulometrica. In particolare, essi possono essere classificati come sabbie ghiaiose. Inoltre è possibile stimare un valore medio del diametro caratteristico D50 pari a circa 1.7 mm.

Inoltre la frazione limosa, caratterizzata da diametri inferiori a 0.074 mm è sempre inferiore al 10% del peso dei campioni analizzati se non anche inferiore al 5% dello stesso.

Per quanto concerne i valori medi della media geometrica, valutata secondo la relazione (8.1), e della deviazione standard, valutata secondo la relazione (8.2), essi risultano rispettivamente pari a:

$$M_{\phi} = -0.150$$

$$\sigma_{\phi} = 2.069$$

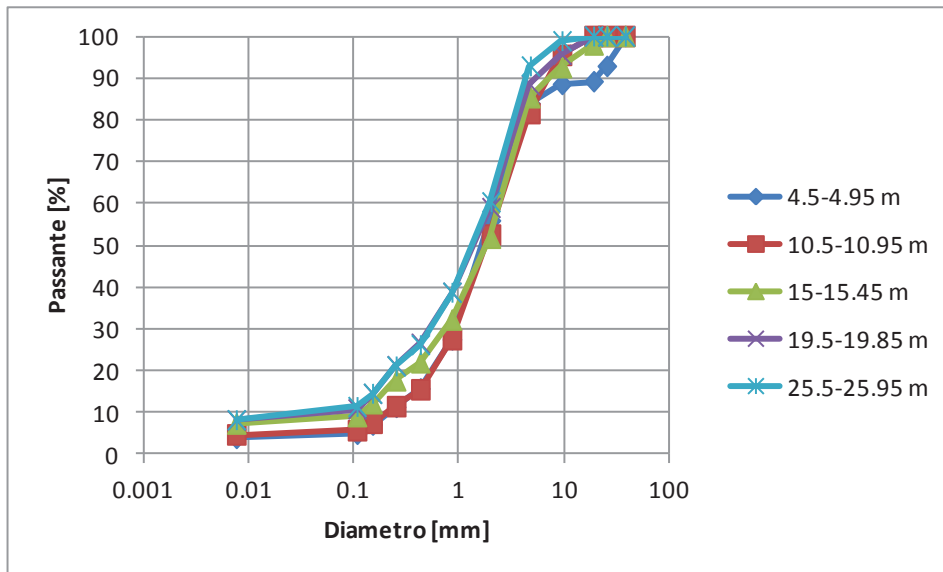


Figura 0.1 Fusi granulometrici dei sedimenti prelevati a diverse quote del sondaggio S409.

Nei capitoli successivi si analizzerà la compatibilità tra il materiale presente nei siti di prelievo e quello presente nei tratti di litorale che patiscono condizioni di erosione e che pertanto trarrebbero giovamento da interventi di ripascimento, valutando anche gli effetti di massima che l'azione del moto ondoso incidente avrebbe sugli interventi.

Caratterizzazione del clima ondoso al largo del paraggio in esame

1.6 Generalità

Com'è noto, le forzanti meteomarine che rivestono maggiore interesse ai fini dello studio dell'evoluzione dei litorali sono i venti, le correnti, le onde e le escursioni di marea. Tuttavia nel caso in esame per la definizione dello stato del mare, si può senz'altro affermare che bisogna anzitutto analizzare le forzanti più significative dal punto di vista energetico, e più precisamente individuare la direzione prevalente del clima ondoso al largo del paraggio.

Per quanto attiene al litorale tirrenico della costa di Messina, la boa ondometrica in dotazione all'ISPRA più prossima all'area in esame è quella di Capo Gallo. L'analisi di dettaglio dell'esposizione del paraggio in cui è collocata suggerisce che l'utilizzo delle informazioni di carattere idraulico marittimo fornite dalla citata strumentazione non possono essere utilmente utilizzate nel caso in esame. Per tale motivo si è deciso di adottare i dati ondometrici relativi a un punto del modello onda metrico europeo dell'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) posto a largo del paraggio in esame ($38.5^{\circ}\text{N}, 15.5^{\circ}\text{E}$).

I dati ondometrici disponibili coprono il periodo 01/01/1993-30/06/2011.

Per quanto attiene al tratto di costa sito in Comune di Sant'Alessio lungo il litorale ionico della provincia di Messina, la boa ondometrica in dotazione all'ISPRA più prossima all'area in esame è quella di Catania. L'analisi di dettaglio dell'esposizione del paraggio in cui è collocata suggerisce che l'utilizzo delle informazioni di carattere idraulico marittimo fornite dalla citata strumentazione possono essere utilmente utilizzate nel caso in esame se viene adottato il processo di trasposizione dei dati ondometrici di seguito illustrato.

I dati ondometrici oggi disponibili per la boa ondometrica di Catania coprono i periodi 01/07/1989-20/11/2005 e 06/09/2006-05/10/2006. Tuttavia, è importante da rilevare che un'attenta analisi dei dati pubblicati dall'ISPRA per la citata boa ha mostrato che nel periodo 01/01/2002-31/12/2003 i dati relativi alla direzione di provenienza del moto ondoso sono di scarsa affidabilità e dunque non utilizzabili né per analisi direzionali né, soprattutto, per l'applicazione del metodo di trasposizione geografica del moto ondoso. Per tale motivo i dati relativi al citato periodo sono stati del tutto esclusi dalle analisi condotte.

Nei paragrafi successivi vengono illustrate le frequenze di osservazione del moto ondoso.

1.7 Analisi del clima ondoso al largo della costa tirrenica determinato dal modello ondometrico ECMWF

La serie storica delle caratteristiche del moto ondoso determinata dal modello onda metrico ECMWF al largo del paraggio in esame ($38.5^{\circ}\text{N}, 15.5^{\circ}\text{E}$) nel periodo 01/01/1993-30/06/2011 è stata sintetizzata riportando, in percentuale, per classi di altezza d'onda la frequenza di apparizione degli eventi per ogni direzione di provenienza (Tabella 0.1) e la frequenza di apparizione degli eventi per classe di periodo medio (Tabella 0.2).

Come illustrato in Figura 0.1, il regime medio annuo del moto ondoso al largo del paraggio in esame è caratterizzato da una predominanza di eventi provenienti dal settore $270\text{-}300^{\circ}\text{N}$ sia in termini di frequenza che in termini di massima altezza d'onda.

Tabella 0.1 Percentuale eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza determinate al largo della costa tirrenica della provincia di Messina.

Dir [°N]	Hs [m]									
	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-5.0	5.0-6.0
0	0.296	0.222	0.081	0.063	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.241	0.137	0.041	0.019	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.218	0.074	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.229	0.056	0.007	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	0.211	0.041	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.163	0.078	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60	0.144	0.078	0.022	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70	0.174	0.085	0.007	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	0.196	0.104	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	0.196	0.141	0.030	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	0.174	0.100	0.022	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110	0.248	0.126	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120	0.211	0.163	0.026	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130	0.315	0.152	0.015	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140	0.485	0.218	0.052	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150	0.492	0.263	0.085	0.015	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160	0.551	0.452	0.200	0.033	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170	0.740	0.629	0.241	0.063	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
180	0.533	0.322	0.081	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190	0.377	0.189	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
200	0.322	0.174	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
210	0.270	0.126	0.019	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
220	0.278	0.137	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
230	0.359	0.167	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
240	0.466	0.204	0.015	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
250	0.807	0.211	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
260	1.569	0.537	0.152	0.052	0.015	0.004	0.007	0.000	0.000	0.000
270	5.833	2.946	1.221	0.681	0.329	0.115	0.052	0.030	0.004	0.000
280	6.788	5.751	2.654	1.369	0.566	0.270	0.085	0.070	0.015	0.011
290	7.576	5.344	1.821	0.751	0.352	0.159	0.081	0.030	0.026	0.019
300	7.894	4.338	1.266	0.459	0.174	0.137	0.041	0.033	0.015	0.000
310	8.216	1.828	0.500	0.226	0.070	0.037	0.041	0.011	0.000	0.000
320	5.122	1.025	0.303	0.189	0.059	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
330	2.184	0.725	0.278	0.093	0.059	0.011	0.011	0.004	0.000	0.000
340	0.896	0.411	0.200	0.067	0.052	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
350	0.518	0.292	0.081	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0-360	55.292	27.842	9.619	4.171	1.721	0.770	0.318	0.178	0.059	0.030

Tabella 0.2 Percentuale eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di periodo medio determinate al largo della costa tirrenica della provincia di Messina.

Dir [°N]	Hs [m]									
Tp [s]	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	5.0-6.0
0-2	0.455	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2-4	28.072	5.130	0.215	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4-5	15.718	8.009	1.947	0.178	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5-6	7.391	8.916	3.531	1.380	0.200	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
6-7	2.176	4.297	2.605	1.517	0.707	0.255	0.030	0.000	0.000	0.000
7-8	0.833	1.062	1.121	0.877	0.618	0.377	0.144	0.056	0.007	0.000
8-9	0.333	0.289	0.170	0.185	0.155	0.107	0.115	0.100	0.019	0.007
9-10	0.148	0.096	0.022	0.030	0.015	0.019	0.030	0.019	0.022	0.015
>10	0.167	0.044	0.007	0.004	0.007	0.004	0.000	0.004	0.011	0.007

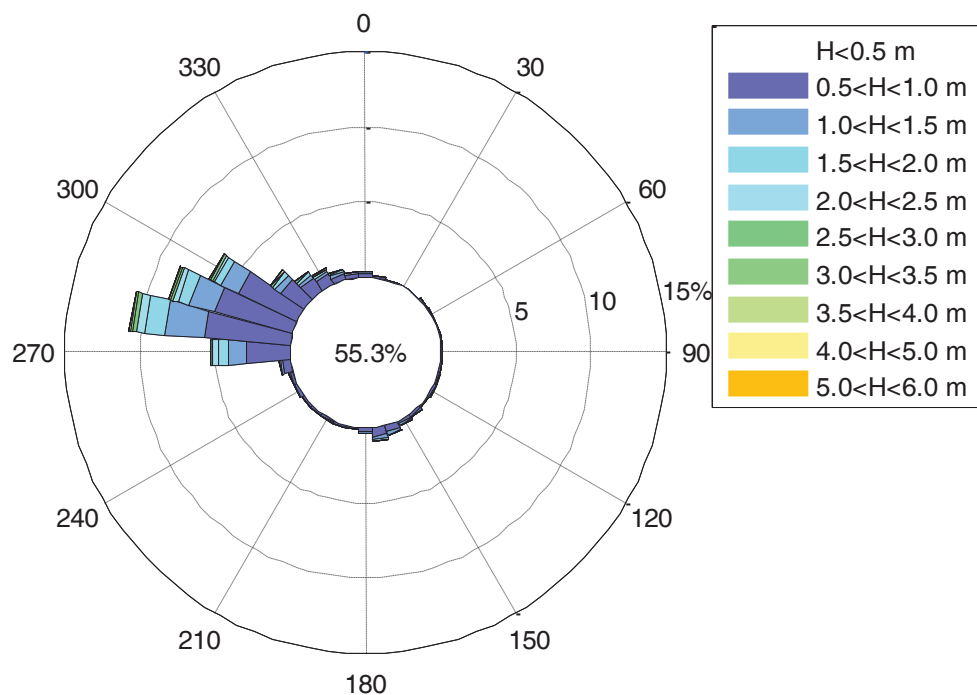


Figura 0.1 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza determinate al largo della costa tirrenica della provincia di Messina.

1.8 Analisi sul contenuto energetico del moto ondoso al largo della costa tirrenica

Al fine di completare la caratterizzazione del clima ondoso al largo e di individuare la direzione di provenienza del maggior contenuto energetico associato al moto ondoso si è effettuata un'analisi sul contenuto energetico direzionale del moto ondoso al largo.

Dai dati sopra brevemente richiamati, si è ricavata la distribuzione direzionale dell'energia. Più precisamente, l'energia media del moto ondoso associata a un dato ondometrico triorario è stata calcolata mediante la relazione:

$$E = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L \cdot \frac{10800(s)}{T} \quad (0.1)$$

in cui: $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$ è la densità dell'acqua;
 $g = 9.806 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità;
H è l'altezza d'onda media;
L è la lunghezza d'onda su profondità infinita;
T è il periodo medio.

Nella Figura 0.2 viene rappresentata la distribuzione dell'energia ondosa annuale media rilevata al largo del paraggio in esame, desunta sulla base del clima ondoso descritto al paragrafo precedente, per settore di ampiezza 10° .

L'analisi della distribuzione dell'energia mostra come la provenienza dell'energia risulti concentrata nel settore compreso tra 270°N e 300°N , con una direzione media dell'energia del moto ondoso pari a 279°N .

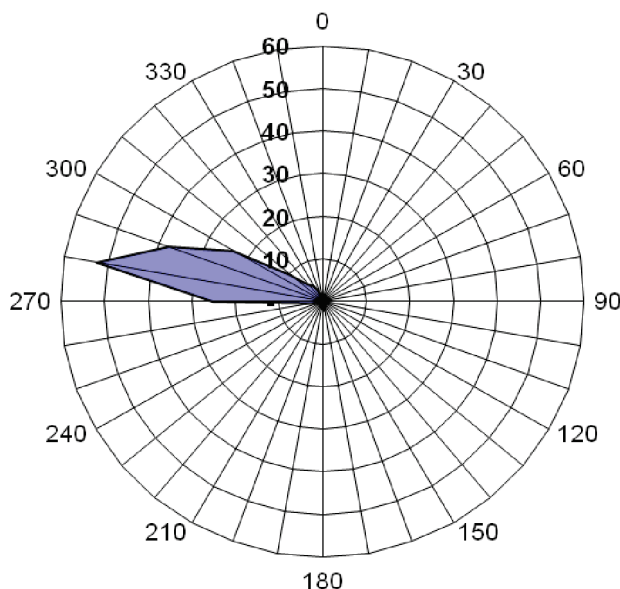


Figura 0.2 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso al largo della costa tirrenica della provincia di Messina espressa in GJ/m.

Al fine di evidenziare le componenti direzionali dell'energia del moto ondoso che possono influenzare il trasporto solido costiero, dalla Figura 0.4 alla Figura 0.5 si riportano le distribuzioni direzionali dell'energia del moto ondoso al largo dovuta a onde con altezza almeno pari a 1 m, 2 m e 3 m.

L'analisi della distribuzione dell'energia mostra come al crescere della soglia di altezza d'onda la direzione di provenienza dell'energia risulti sempre concentrata nel settore compreso tra 270°N e 300°N, ma con una direzione media dell'energia del moto ondoso rispettivamente pari a 280°N, 286°N e 288°N.

Le condizioni sopra descritte e l'esposizione della costa fanno supporre una deriva media annua dei sedimenti diretta verso levante.

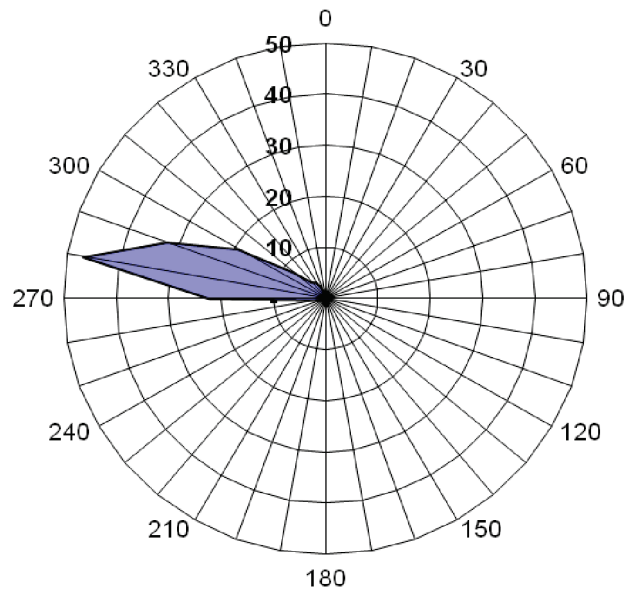


Figura 0.3 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 1 m, al largo della costa tirrenica della provincia di Messina espressa in GJ/m.

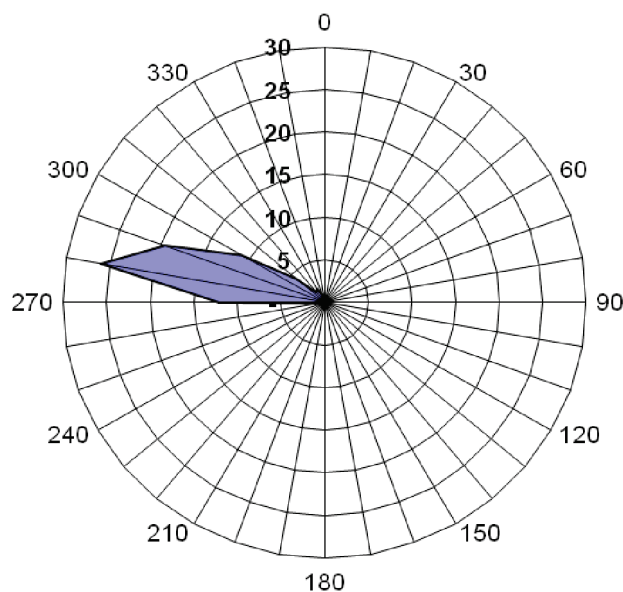


Figura 0.4 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 2m, al largo della costa tirrenica della provincia di Messina espressa in GJ/m.

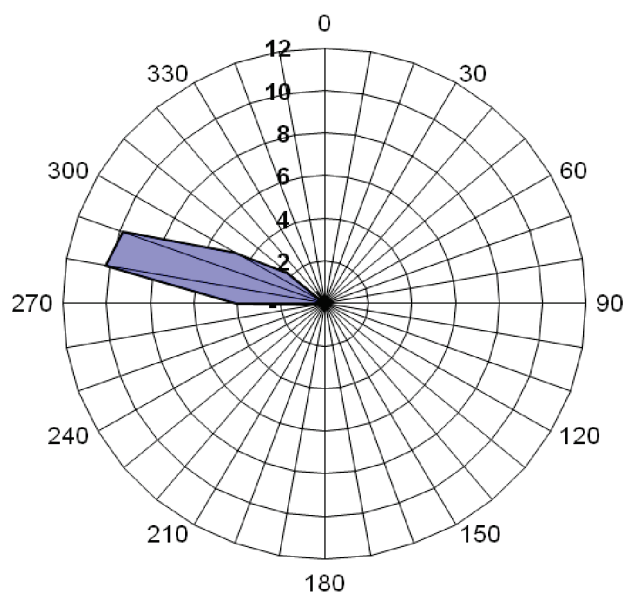


Figura 0.5 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 3m, al largo della costa tirrenica della provincia di Messina espressa in GJ/m.

1.9 Analisi del clima ondoso al largo del comune di Sant'Alessio Siculo

Al fine di effettuare un'analisi del clima ondoso relativamente al paraggio in esame, come già accennato, si è condotta una trasposizione geografica dei dati ondometrici rilevati dalla boa di Catania, secondo la procedura proposta da Contini e De Girolamo (1998). In particolare, nella Figura 0.6 sono riportati i diagrammi di riferimento per la trasposizione geografica delle misure di

moto ondoso tra la boa ondometrica di Catania e Sant'Alessio Siculo, determinati sulla base del fetch efficace della boa ondometrica di Catania e del paraggio in esame.

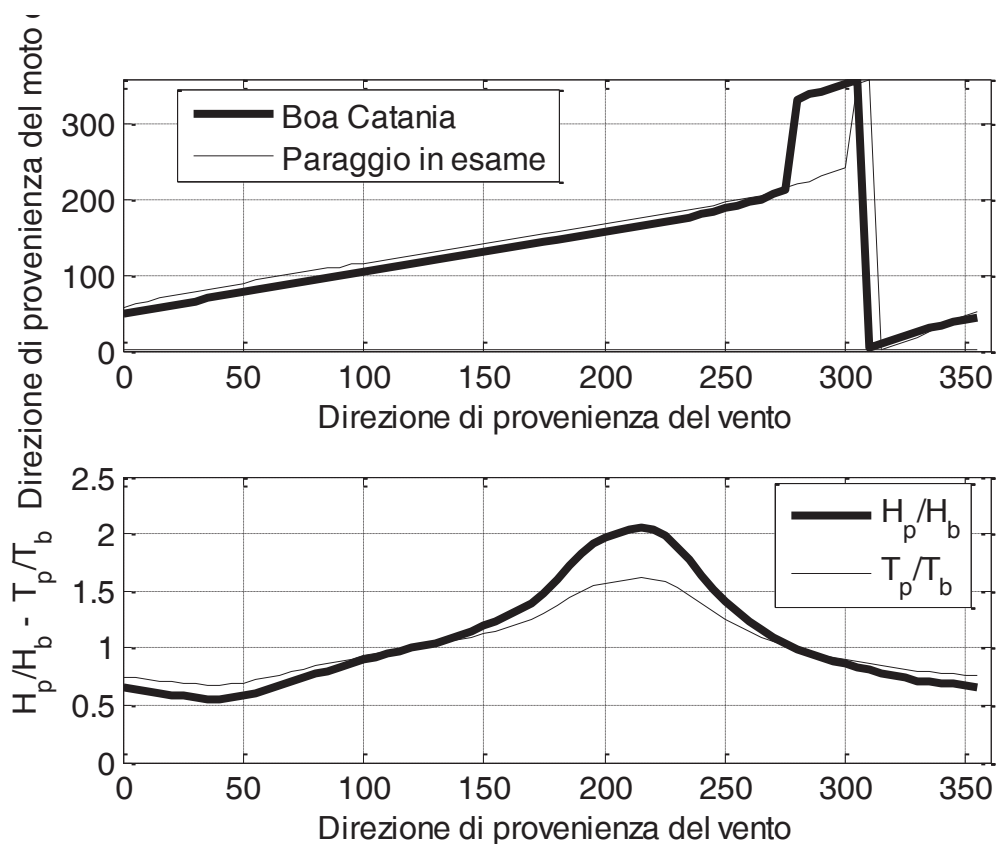


Figura 0.6 Diagrammi di riferimento per la trasposizione geografica delle misure di moto ondoso tra la boa ondometrica di Catania e Sant'Alessio .

La serie storica delle caratteristiche del moto ondoso ricavata con il metodo della trasposizione geografica per il paraggio di Sant'Alessio è stata sintetizzata riportando il numero di eventi per classi di altezza d'onda e per la direzione di provenienza (Tabella 0.3), per classe di periodo medio (Tabella 0.4) e per classe di periodo di picco (Tabella 0.5).

Tabella 0.3 Percentuale eventi degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti al largo della costa di Sant'Alessio Siculo con il metodo della trasposizione geografica.

Dir[°N]	Hs[m]											
	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0
0	0.125	0.021	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.192	0.029	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.459	0.101	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	2.403	0.409	0.035	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	6.937	1.701	0.136	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50	7.690	1.087	0.077	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60	6.226	0.668	0.117	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70	6.846	1.808	0.435	0.083	0.016	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	6.846	1.949	0.395	0.115	0.056	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	5.578	1.746	0.563	0.200	0.069	0.027	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
100	4.627	1.957	0.817	0.339	0.192	0.083	0.056	0.032	0.008	0.005	0.000	0.000
110	4.283	1.727	0.737	0.390	0.232	0.091	0.051	0.021	0.013	0.000	0.000	0.000
120	3.717	2.310	0.627	0.310	0.168	0.053	0.037	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
130	3.164	2.224	0.569	0.224	0.053	0.011	0.024	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
140	1.028	1.661	0.304	0.096	0.013	0.008	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
150	0.342	0.601	0.128	0.045	0.019	0.003	0.005	0.003	0.008	0.000	0.000	0.000
160	0.171	0.368	0.104	0.011	0.013	0.005	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.003
170	0.179	0.304	0.035	0.027	0.005	0.000	0.000	0.003	0.011	0.000	0.000	0.000
180	0.264	0.222	0.037	0.005	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
190	0.339	0.152	0.003	0.003	0.000	0.005	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
200	0.425	0.056	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
210	0.526	0.096	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
220	0.553	0.142	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
230	0.684	0.139	0.005	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
240	0.801	0.280	0.005	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
250	0.836	0.366	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
260	0.806	0.312	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
270	0.582	0.304	0.013	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
280	0.366	0.163	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
290	0.232	0.131	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
300	0.216	0.043	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
310	0.206	0.056	0.008	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
320	0.117	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
330	0.144	0.029	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
340	0.128	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
350	0.125	0.019	0.003	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0-360	68.163	23.234	5.201	1.914	0.857	0.312	0.184	0.080	0.045	0.005	0.000	0.003

Tabella 0.4 Percentuale eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di periodo medio ricostruiti al largo della costa di Sant'Alessio Siculo con il metodo della trasposizione geografica.

Dir [°N]	Hs [m]											
Tm [s]	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0
0-2	2.226	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2-4	37.683	6.647	0.091	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4-5	9.954	3.739	0.761	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5-6	7.603	3.501	0.656	0.155	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6-7	4.569	3.760	0.937	0.278	0.088	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7-8	2.204	2.834	1.294	0.526	0.144	0.043	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8-9	1.059	1.206	0.937	0.558	0.272	0.077	0.040	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
9-10	0.592	0.571	0.251	0.232	0.219	0.112	0.059	0.024	0.011	0.000	0.000	0.000
>10	2.271	0.977	0.272	0.141	0.107	0.064	0.077	0.043	0.035	0.005	0.000	0.003

Tabella 0.5 Percentuale eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di periodo di picco ricostruiti al largo della costa di Sant'Alessio Siculo con il metodo della trasposizione geografica.

Dir [°N]	Hs [m]											
Tp [s]	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0
0-2	0.945	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2-4	50.735	9.821	0.489	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4-5	10.112	5.467	1.348	0.216	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5-6	4.140	3.935	1.105	0.419	0.157	0.037	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6-7	1.329	2.648	1.260	0.577	0.195	0.056	0.029	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
7-8	0.376	0.972	0.667	0.480	0.251	0.067	0.048	0.019	0.003	0.000	0.000	0.000
8-9	0.144	0.267	0.230	0.163	0.176	0.131	0.053	0.024	0.021	0.003	0.000	0.000
9-10	0.080	0.061	0.075	0.029	0.035	0.019	0.040	0.021	0.011	0.003	0.000	0.000
>10	0.304	0.064	0.024	0.027	0.016	0.003	0.008	0.013	0.011	0.000	0.000	0.003

Come illustrato in Figura 0.7, il regime medio annuo del moto ondoso è caratterizzato da una predominanza del moto ondoso proveniente da Est-SudEst sia in termini di frequenza che in termini di massima altezza d'onda.

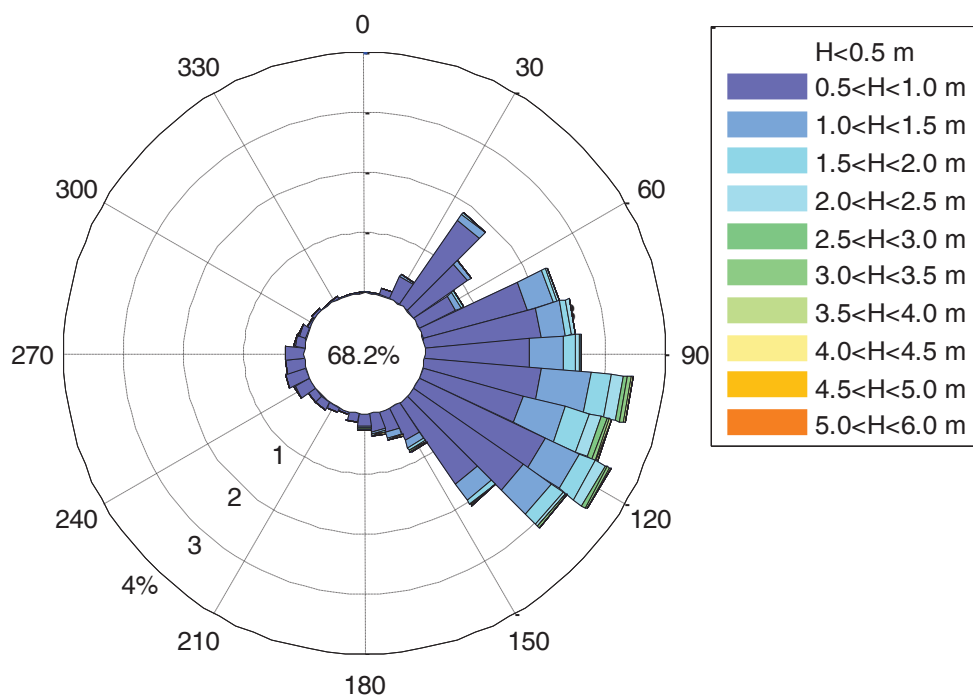


Figura 0.7 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti al largo della costa di Sant'Alessio Siculo.

1.10 Analisi sul contenuto energetico del moto ondoso al largo del comune di Sant'Alessio Siculo

Al fine di completare la caratterizzazione del clima ondoso al largo e di individuare la direzione di provenienza del maggior contenuto energetico associato al moto ondoso si è effettuata un'analisi sul contenuto energetico direzionale del moto ondoso al largo.

Dai dati sopra brevemente richiamati, si è ricavata la distribuzione direzionale dell'energia. Più precisamente, l'energia media del moto ondoso associata a un dato ondametrio triorario è stata calcolata mediante la relazione:

$$E = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L \cdot \frac{10800(s)}{T} \quad (0.2)$$

- in cui:
- $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$ è la densità dell'acqua;
 - $g = 9.806 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità;
 - H è l'altezza d'onda media;
 - L è la lunghezza d'onda su profondità infinita;
 - T è il periodo medio.

Nella Figura 0.2 viene rappresentata la distribuzione dell'energia ondosa annuale media rilevata al largo del paraggio in esame, desunta sulla base del clima ondoso descritto al paragrafo precedente, per settore di ampiezza 5°.

L'analisi della distribuzione dell'energia mostra come la provenienza dell'energia risulti concentrata nel settore compreso tra 100°N e 140°N, con una direzione energeticamente media pari a 112°N.

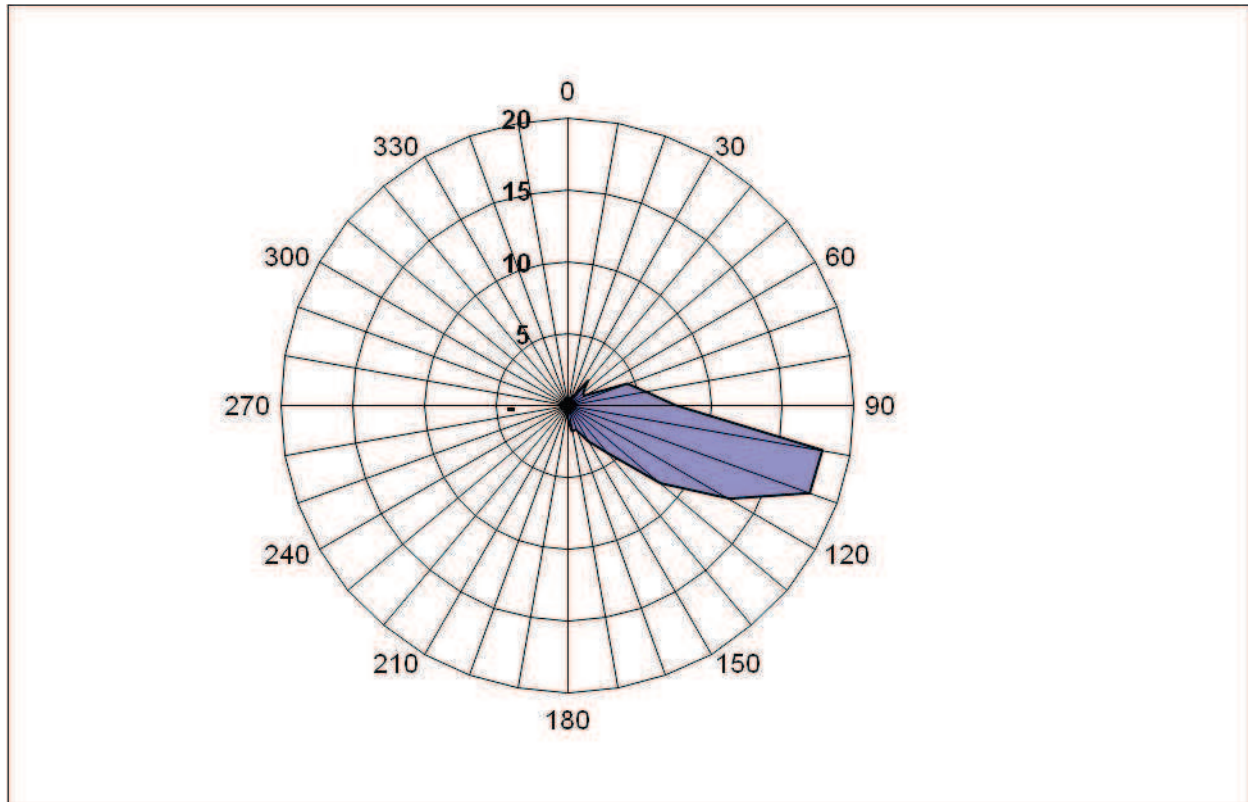


Figura 0.8 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso al largo della costa di Sant'Alessio Siculo, espressa in GJ/m.

Al fine di evidenziare le componenti direzionali dell'energia del moto ondoso che possono influenzare il trasporto solido costiero, dalla Figura 0.4 alla Figura 0.5 si riportano le distribuzioni direzionali dell'energia del moto ondoso al largo dovuta a onde con altezza almeno pari a 1 m, 2 m e 3 m.

L'analisi della distribuzione dell'energia mostra come al crescere della soglia l'energia risulta essere contenuta in settori sempre più ristretti e concentrati intorno al settori 100-130°N, mentre il valore energeticamente medio della direzione di provenienza è sempre pari a circa 112°N a eccezione del caso di sole onde maggiore di 2 m a cui corrisponde una direzione di circa 116°. Inoltre si rileva che il moto ondoso caratterizzato da un'altezza d'onda compresa tra 1 e 2 m rappresenta la maggior aliquota di energia che può scaricarsi sulla spiaggia.

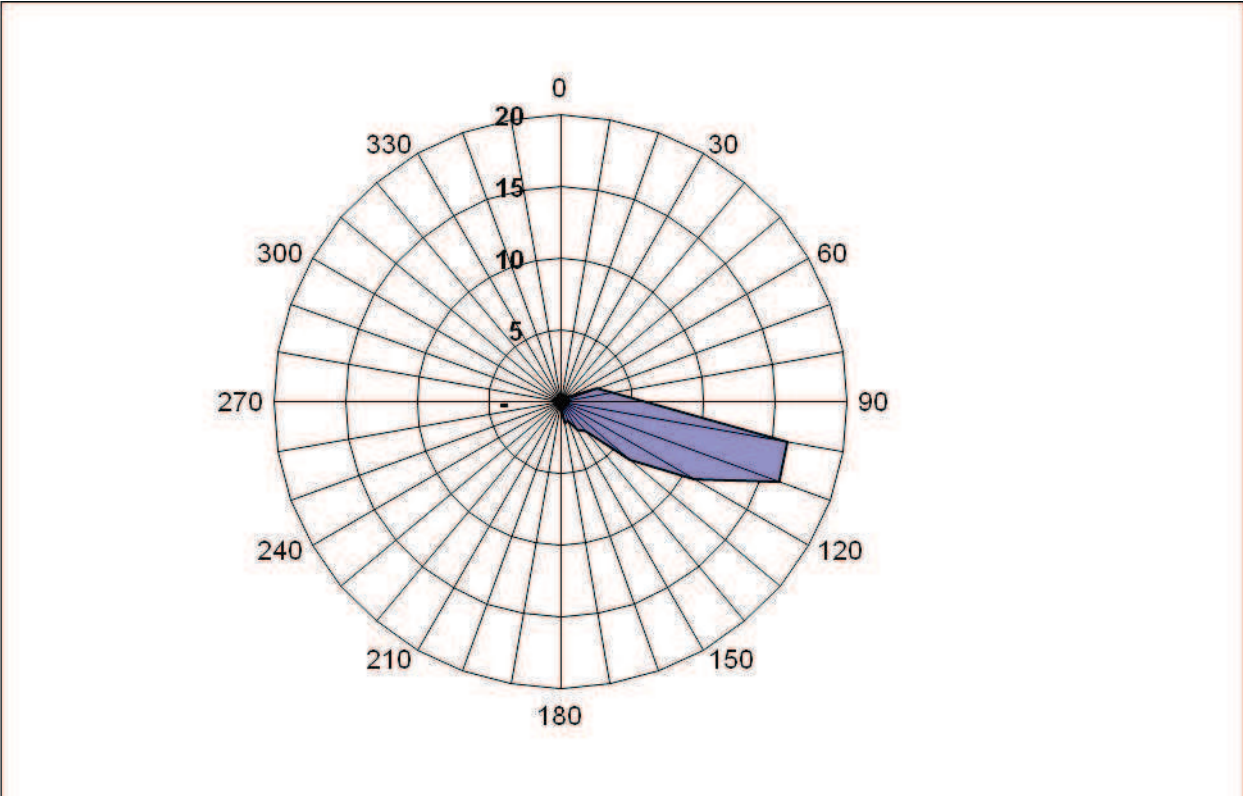


Figura 0.9 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 1 m, al largo della costa di Sant'Alessio Siculo, espressa in GJ/m.

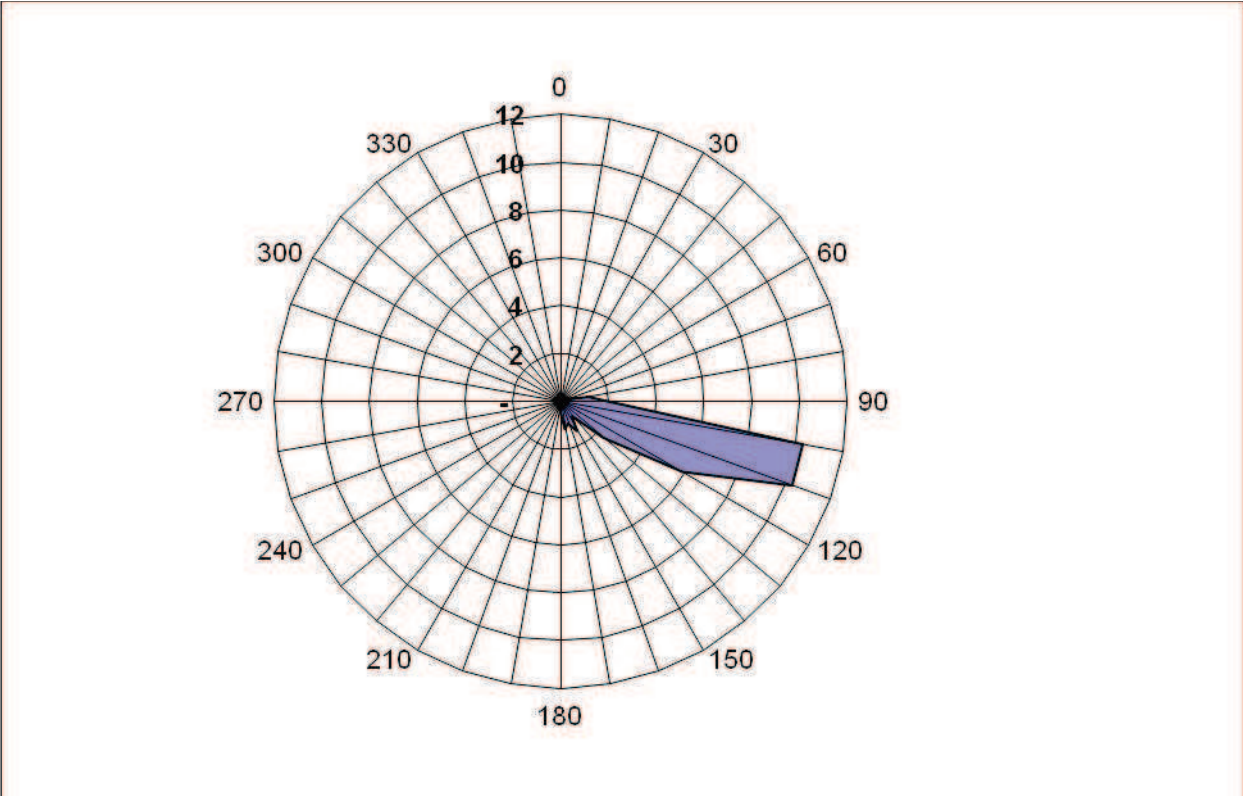


Figura 0.10 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 2m, al largo della costa di Sant'Alessio Siculo, espressa in GJ/m.

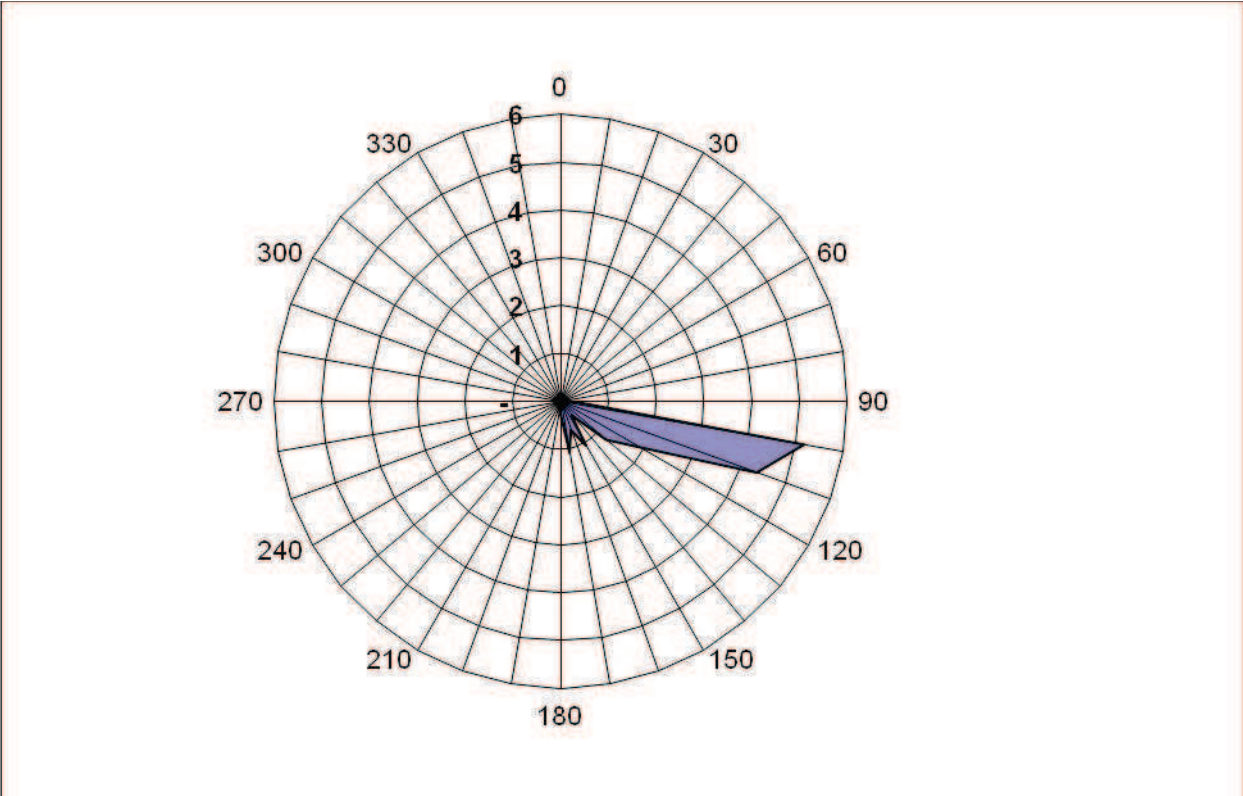


Figura 0.11 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 3m, al largo della costa di Sant'Alessio Siculo, espressa in GJ/m.

Caratterizzazione della spiaggia emersa lungo il litorale tirrenico della provincia di Messina da Valdina a Capo Peloro

1.11 Generalità

Per poter caratterizzare la spiaggia emersa è opportuno acquisire due tipi di informazioni: da un lato le indicazioni relative alla tendenza evolutiva del tratto di costa in un arco temporale sufficientemente lungo da consentire anche di calibrare opportunamente i modelli di previsione dell'evoluzione costiera, dall'altro l'andamento della granulometria presente nel tratto attivo della spiaggia, inclusa quella sommersa.

In questo capitolo si vuole fornire un inquadramento del tratto litoraneo tirrenico della provincia di Messina compreso tra Valdina e Capo Peloro. A tal fine è stata condotta un'analisi diacronica della linea di costa nel periodo compreso tra il 1976 e il 2008. Sono stati inoltre presi in considerazione i dati granulometrici ricavati dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Messina per il tratto tirrenico del Comune di Messina; i dati sedimentologici dei litorali tirrenici della Provincia di Messina non contemplati dallo studio sono invece stati ricavati mediante una procedura analitica che verrà descritta nei paragrafi che seguono.

1.12 Analisi diacronica

Il presente paragrafo sintetizza i risultati relativi alla valutazione delle tendenze evolutive del tratto di litorale in esame, compreso tra il comune di Valdina e Capo Peloro. In particolare, come verrà meglio dettagliato nel seguito, grazie al raffronto cartografico, è stato possibile individuare i tratti di spiaggia in condizioni più critiche a causa di mancanza di apporti solidi, ma anche le zone che, soprattutto negli ultimi anni, manifestano una tendenza all'accrescimento verosimilmente legata all'influenza di opere antropiche.

Per analizzare la tendenza evolutiva del tratto di costa in esame, una volta acquisite le linee di riva corrispondenti alle diverse fonti cartografiche e topografiche utilizzate, le stesse sono state importate in ambiente CAD. Il sistema di riferimento adottato è stato quello in coordinate Gauss – Boaga.

Le linee di costa considerate risalgono al 1976, 1986, 1998 (desunte dal PAI) e 2008 (desunta dalla CTR aggiornamento 2008).

L'unità fisiografica è stata suddivisa in tratti di costa orientati in maniera più o meno omogenea; è stata costruita quindi una spezzata parallela ad ogni singolo tratto. Il sistema di riferimento cartesiano adottato è stato ottenuto posizionando l'asse delle ascisse parallelamente alla spezzata, e l'asse delle ordinate ortogonalmente ad esso e dunque si presenta ruotato di un angolo che è per ogni tratto uguale a quello formato tra la spezzata e la direzione Nord. L'origine del sistema di riferimento è stata posta in corrispondenza al tratto più occidentale in studio situato lungo il litorale del comune di Valdina (ME) e le distanze progressive sono state misurate a partire da tale punto sulla spezzata sopra indicata.

Nella Tavola R.4 è riportato un quadro d'insieme del sistema di riferimento mobile adottato e delle progressive iniziali e finali di ciascun tratto.

La lunghezza complessiva del tratto di costa analizzato così regolarizzato è pari a 31300 m. Sono state prese in considerazione 313 sezioni trasversali, disposte una ogni 100 m e per ognuna di esse è stato calcolato l'avanzamento o l'arretramento della linea di riva.

Più in particolare, per ciascuna sezione è stata individuata l'intersezione con le linee di riva rilevate ai vari anni e sono state valutate le distanze $\Delta Z_{x,y}$, dove il pedice x indica l'anno a cui risale la linea di riva più antica e y quello relativo alla linea di riva più recente. Valori positivi di ΔZ denunciano un avanzamento della linea di riva mentre valori negativi rappresentano un arretramento della linea di riva.

Il confronto reciproco dei dati disponibili è stato eseguito in progressione cronologica (1976-1985, 1985-1998, 1998-2008). In tale modo è possibile valutare l'evoluzione nel tempo dei fenomeni di dinamica litoranea con particolare riferimento ai limiti di escursione della linea di riva stessa. I risultati di tali analisi sono riportati in forma grafica nelle Tavole R.5a-R.5.r, e sono stati sintetizzati in forma tabellare nella Tabella A.0.1 riportata in appendice, dove, per ogni sezione, indicata dalla progressiva corrispondente, sono stati riportati gli arretramenti/avanzamenti riferiti ai periodi 1976-1985, 1985-1998 e 1998-2008. L'ultima colonna infine riporta lo scostamento tra la linea di costa del 1976 e quella più recente tra quelle disponibili (2008) evidenziando in rosso le zone in erosione. Dall'esame delle elaborazioni grafiche effettuate appare evidente che i più consistenti fenomeni di erosione si sono manifestati nel tratto ad Ovest di Capo Rasocolmo, nel periodo tra il 1976 ed il 1985 per il quale si registra un marcato arretramento, distribuito in ampi tratti di costa; ad Est del Capo un arretramento importante è invece ascrivibile al periodo 1985-1998.

Arretramenti più contenuti si osservano invece nel periodo compreso tra il 1998 e il 2008.

Procedendo un po' più nel dettaglio, da Ovest verso Est, in corrispondenza al Comune di Valdina si osservano arretramenti della linea di costa dell'ordine di circa 20 m tra il 1976 e il 1985, di poco inferiori nel periodo compreso tra il 1985 e il 1998, e dell'ordine di circa 10 m tra il 1998 e il 2008. A meno di un breve tratto che è stato oggetto di interventi di sistemazione del litorale, l'intero arenile si manifesta in condizioni di forte erosione, con picchi che raggiungono i 60 m di arretramento. In corrispondenza della foce del torrente Cocuzzaro, tra Valdina e Spadafora, si riscontra un breve tratto di costa in avanzamento, fenomeno dovuto certamente al materiale solido trasportato dal corso d'acqua. Ivi gli avanzamenti nell'intero arco temporale investigato complessivamente superano i 60 m, e si estendono fin quasi all'abitato di Spadafora. Ad est del centro abitato, tuttavia la situazione di arretramento riprende: si può osservare che la spiaggia arretra fin quasi a 60 m nell'arco di tempo compreso tra il 1976 e il 1985. In seguito la realizzazione di interventi di difesa costiera hanno evitato il protrarsi di tale situazione, consentendo un parziale recupero di habitat costiero. In prossimità di Rometta si riscontrano ancora arretramenti molto cospicui tra il 1976 e il 1985, con punte di circa 40 m, mentre nei periodi successivi la costa si manifesta più o meno stabile, grazie alla realizzazione di opere di difesa distaccate dalla riva. Spostandosi quindi verso Villafranca Tirrena è possibile osservare che gli arretramenti maggiori risalgono al periodo 1985-1998, pari a quasi 30 m, mentre dal 1998 al 2008 si è assistito ad un piccolo avanzamento della linea di riva, pari a qualche metro. La situazione si protrae pressoché invariata fin quasi ad Ortoliuzzo, dove nuovamente i maggiori arretramenti sono imputabili al lasso di tempo tra il 1976 ed il 1985, con valori intorno a 20 m, mentre un avanzamento paragonabile si osserva tra il 1998 e il 2008. Il risultato complessivo della dinamica del trasporto litoraneo è tuttavia in deficit, con arretramenti complessivi di circa 30 m. Ad est di Ortoliuzzo è possibile individuare alcune foci di torrenti. Differentemente da quanto osservato in precedenza, la tendenza della linea di riva all'arretramento è qui progressiva e molto pronunciata, a testimonianza di evidenti interventi di regimentazione delle acque fluviali occorsi lungo il corso d'acqua. A Rodia Giudeo si osservano circa 28 m di arretramento tra il 1976 e il 1985, altrettanti tra il 1985 e il 1998 ed una situazione all'incirca stabile negli ultimi dieci anni, probabilmente dovuta al raggiungimento di una linea di inerodibilità. Tra Calamona Giudeo e Calamona Rasocolmo è evidente un arretramento iniziale compreso tra 15 e 40 m tra il 1976 e il 1985, seguito da variazioni limitate negli anni successivi. Ad ovest di Calamona Rasocolmo e prima del capo si assiste ad una riduzione progressiva della

spiaggia, con arretramenti complessivi di oltre 50 m. In tratti limitati la costa è protetta da opere di difesa radenti che testimoniano la scomparsa completa della spiaggia. A Spartà la costa è sempre in forte arretramento; ivi tra il 1976 e il 1985 la perdita di spiaggia è di circa 15 m, tra il 1985 e il 1998 di circa 20 m, tra il 1998 e il 2008 contenuta in alcuni m. Tra Spartà e Mezzana, ad est della fiumara Lavina la linea di costa avanza tra il 1976 e il 1985 di circa 30-50 m anche a seguito della realizzazione di opere di difesa distaccate dalla linea di riva, ma nei periodi successivi manifesta un arretramento molto marcato, tale da raggiungere tra il 1985 e il 2008 gli 80 m. A Mezzana-Tono la situazione appare estremamente critica: gli arretramenti complessivamente raggiungono i 200 m, distribuiti nell'arco del trentennio investigato; in particolare 20-60 m tra il 1976 e il 1985, 60-180 m tra il 1985 e il 1998, e circa una decina di m nell'ultimo decennio. Tale situazione può essere probabilmente ricollegata ai mancati apporti solidi da parte dei torrenti Molinello e Tono. Una possibile analisi del comportamento sedimentario nel tratto in esame può essere legata ad un qualche evento di piena, associato a probabili frane, occorso in epoca poco precedente alla più antica linea di riva disponibile, nei due corsi d'acqua che alimentano il litorale, in occasione del quale una quantità molto consistente di sabbie e ghiaie è stata recapitata in corrispondenza delle foci. Sono così venute a formarsi due anse: tale situazione di disequilibrio è stata negli anni successivi smussata dall'azione del moto ondoso che, risultando nel tratto in studio caratterizzato da una componente litoranea diretta verso levante piuttosto rilevante, ha provocato una vera e propria migrazione di queste "onde" di sabbia, ridistribuendo il materiale lungo il litorale sottoflutto, come anche evidenziato da tratti in avanzamento ad est di Casabianca - Tono.

Difatti nel tratto Casabianca – Tono si osservano arretramenti di circa 20 m tra il 1976 e il 1985, di circa 15 m tra il 1985 e il 1998 e di circa 10 m tra il 1998 e il 2008. Procedendo ancora verso Capo Peloro, si osserva uno dei pochi tratti in avanzamento tra Casabianca e Mortelle, caratterizzata tra il 1976 e il 1985 ora da avanzamenti ora da tratti in arretramento, quindi tra il 1985 e il 1998 ad avanzamenti compresi tra 30 e 60 m, e infine tra il 1998 e il 2008 di ulteriori avanzamenti tra 20 e 50 m, ricollegabile alla migrazione delle onde di sabbia individuate precedentemente nelle località di Mezzana - Tono. Infine, verso Capo Peloro si assiste all'assottigliamento della spiaggia che si riduce a non più di 15-20 m.

Riassumendo dunque quanto fin qui analizzato, dai grafici prodotti si evince quanto segue:

- la costa compresa tra Valdina e Capo Peloro si presenta in condizioni di forte erosione, con arretramenti molto consistenti, ad esclusione di un brevissimo tratto compreso tra Valdina e Spadafora e un ulteriore segmento tra Casabianca e Mortelle;
- gli arretramenti maggiori si osservano nel periodo 1976-1985 principalmente nel tratto di costa ad Ovest di Capo Rasocolmo, nel periodo tra il 1985 e il 1998 ad est del capo;
- le principali cause dell'arretramento costiero possono essere ricercate in primis nella sistemazione degli alvei dei torrenti, procurando un mancato apporto di sedimenti alla costa; inoltre le opere di protezione costiera realizzate non sempre in modo corretto hanno spostato o accentuato situazioni di degrado già in atto;
- nel tratto sottoflutto al litorale di Mezzana – Tono si assiste alla migrazione di onde di sabbia probabilmente generate da eventi di

piena associati ad eventi franosi verificatisi in un periodo antecedente al 1976.

1.13 Indicazioni sulle possibili cause di erosione

Il tratto di costa in studio è particolarmente esteso e occupa quasi per intero l'unità fisiografica compresa tra Capo Milazzo e Capo Peloro.

Tale tratto di costa e i bacini idrografici che sfociano in esso risultano caratterizzati da forti alterazioni antropiche. Tale situazione suggerisce che l'arretramento della linea di costa è il risultato di diverse cause.

Tra le diverse cause possiamo sicuramente annoverare la riduzione degli apporti solidi al litorale dovuta sia alle opere di sistemazione idraulica realizzate negli anni ottanta nei diversi bacini idrografici, quali ad esempio quelli relativi alla Fiumara di Niceto e al Torrente Muto, sia alle modifiche del regime delle acque dovuto alla presenza di infrastrutture di trasporto lineare e alla presenza delle cave di estrazione.

A tale riduzione di apporto solido si sono sommati gli effetti dovuti a opere di protezione del litorale, verosimilmente realizzate sia per attenuare l'erosione dovuta ai minori apporti sia per proteggere le infrastrutture viarie realizzate in prossimità della costa. Tali opere, tuttavia, non essendo realizzate con un ottica di unitarietà ma univocamente per proteggere piccoli tratti di costa, si sono rilevate inefficaci o hanno prodotto l'accelerazione dell'erosione dei tratti di litorale posti sottoflutto.

1.14 Analisi dei sedimenti

Al fine di verificare la possibilità di effettuare dei ripascimenti artificiali è necessaria la conoscenza preliminare della distribuzione granulometrica dei sedimenti nativi delle spiagge da ripascere, sia al fine di valutare la dimensione minima dei sedimenti da utilizzare per il ripascimento sia per determinare la capacità di trasporto solido dei sedimenti pre e post intervento.

Per quanto attiene ai sedimenti presenti sul litorale si sono in parte utilizzati i dati forniti dal Comune di Messina relativi al rapporto "Analisi delle criticità idrauliche marittime e geomorfologiche, monitoraggi, studi idraulici e geologici delle coste del tratto ionico e tirrenico del comune di Messina" redatto dal Dipartimento di scienza della terra dell'Università di Messina.

In particolare, in tale studio sono stati analizzati i sedimenti prelevati in 35 sezioni localizzate lungo le coste del Comune di Messina (vedere Figura 0.1). Per ogni sezione lo studio riporta le analisi granulometriche di tre campioni prelevati a quote diverse:

- profondità – 1 m;
- battigia;
- spiaggia.

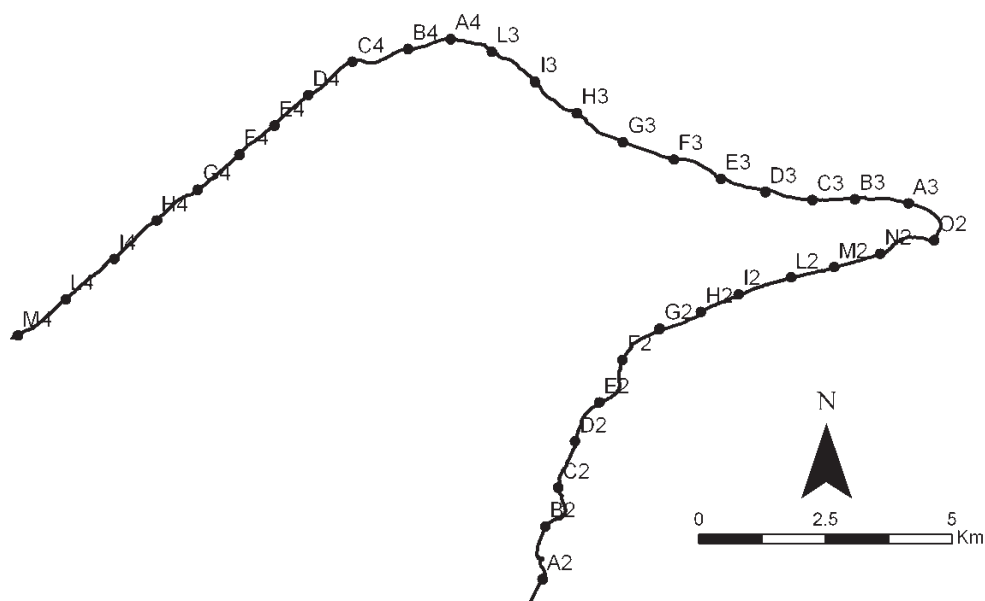


Figura 0.1 Localizzazioni delle sezioni di prelievo dei sedimenti dello studio "Analisi delle criticità idrauliche marittime e geomorfologiche, monitoraggi, studi idraulici e geologici delle coste del tratto ionico e tirrenico del comune di Messina" redatto dal Dipartimento di scienza della terra dell'Università di Messina.

Le analisi dei sopra citati campioni hanno mostrato una forte variazione della dimensione dei sedimenti. In particolare, tutti i campioni prelevati alla profondità di -1 m e sulla battigia sono caratterizzati dalla forte presenza di ciottoli, mentre i sedimenti prelevati sulla spiaggia sono tipicamente sabbie. Tale situazione è tipica dei litorali della zona tirrenica della Provincia Messina. In particolare, la forte presenza di ciottoli alla profondità di -1m e sulla battigia è legata all'azione di dilavamento delle particelle più sottili condotta dalle onde proprio in corrispondenza delle onde durante le fasi di "run-up" e "run-down". In tale condizione i campioni prelevati in corrispondenza della profondità -1m e della battigia non sono rappresentativi della granulometria effettiva presente lungo il profilo di spiaggia. Per tale ragione, in mancanza di campionamenti lungo la porzione attiva della spiaggia sommersa, al fine di ottenere una prima stima dei sedimenti presenti nel litorale si sono presi come riferimento i campioni prelevati nella porzione emersa della spiaggia. La Tabella 0.1 riporta, per ognuna delle sezioni presenti lungo il litorale tirrenico del Comune di Messina, i percentili delle analisi granulometriche dei sedimenti prelevati sulla spiaggia emersa del litorale tirrenico del comune di Messina espressi in scala ϕ e, per comodità di lettura, anche valori del diametro medio dei sedimenti espresso in mm.

Tabella 0.1 Percentili delle analisi granulometriche dei sedimenti prelevati sulla spiaggia emersa del litorale tirrenico del comune di Messina espressi in scala ϕ e valori del diametro medio dei sedimenti espresso in mm.

Sezione	Percentili							D50 [mm]
	5	16	25	50	75	84	95	
A3								
B3	-0.75929	-0.22249	0.038621	0.47849	0.939835	1.191519	1.679639	0.718
C3	-1.7671	-1.42686	-1.06417	1.160338	2.061558	2.27023	2.600276	0.447
D3	-0.1737	0.463304	0.718436	1.287941	1.790454	1.971705	2.407518	0.410
E3	-4.9436	-4.81945	-4.7179	0.254958	1.479103	1.783598	2.293152	0.838
F3	1.09043	1.448654	1.579303	1.846378	2.181995	2.336228	2.629718	0.278
G3	0.932	1.223314	1.417001	1.717464	1.974595	2.174041	2.467217	0.304
H3	0.33632	0.783562	1.060217	1.683394	2.034832	2.168231	2.331275	0.311
I3	-3.1508	-2.56667	-2.15345	-1.79976	-1.37387	-1.17955	-0.78819	3.482
L3	-0.4478	-0.07701	0.082332	0.388855	0.750945	0.892677	1.263208	0.764
A4	-0.41869	0.136214	0.30121	0.715169	1.175975	1.428973	1.886792	0.609
B4	-2.8422	0.315383	0.562203	0.901923	1.28541	1.429861	1.829114	0.535
C4	-0.23563	0.103121	0.23396	0.623891	1.152454	1.446892	1.962664	0.649
D4	0.476648	0.805875	1.029336	1.374195	1.776945	1.933903	2.374221	0.386
E4	-1.36777	-0.00218	0.149499	0.558992	0.928304	1.132679	1.484642	0.679
F4	0.158628	0.679865	0.919567	1.341871	1.76347	1.923327	2.35727	0.395
G4	0.443215	0.778013	1.008314	1.339996	1.731568	1.892627	2.302541	0.395
H4	0.557692	1.029282	1.182204	1.582045	1.907792	2.064715	2.434836	0.334
I4	0.078603	0.478894	0.628576	1.012285	1.46617	1.713843	2.141326	0.496
L4	-4.19822	-3.53606	-2.9831	-2.0905	-1.87106	-1.69439	-1.31965	4.259
M4	-4.45837	-3.8377	-0.25565	0.912642	1.438198	1.690153	2.123095	0.531

I risultati mostrano valori medi dei sedimenti sempre nel campo delle sabbie ad eccezione delle sezioni I3 e M4. Tuttavia, i sopralluoghi condotti hanno mostrato come in tali sezioni si rilevi una forte variabilità della granulometria dei sedimenti con la presenza di sabbie nelle porzioni di spiaggia immediatamente retrostanti alla battigia.

La Tabella 0.2 riporta per i tratti di costa in erosione individuati dal comune di Messina o dal PAI i valori della media geometrica e della deviazione standard valutati secondo le relazioni:

$$M_{\phi} = \frac{\phi_{84} + \phi_{16}}{2} \quad (0.1)$$

$$\sigma_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2} \quad (0.2)$$

Tabella 0.2 Media geometrica e deviazione standard dei sedimenti prelevati nella spiaggia emersa delle sezioni di interesse.

Tratto di interesse	Sezione	M	σ
Casa Bianca - Tono	G3	1.699	0.475
Mezzana-Tono	H3	1.476	0.692
Spartà	A4	0.783	0.646
Calamona-Rasocolmo	D4	1.370	0.564
Calamona Giudeo	E4	0.565	0.567
Rodia-Giudeo	F4	1.302	0.622
Rodia-Giudeo	G4	1.335	0.557
Ortoliuazzo	L4	-2.615	0.921
Villafranca Tirrena	M4	-1.074	2.764

Al fine di verificare l'attendibilità di tali dati al fine di rappresentare l'effettiva granulometria presente nella porzione attiva della spiaggia sommersa, per le sezioni di interesse localizzate in corrispondenza delle aree in cui si è verificato un arretramento della linea di riva e/o segnalate dal Comune di Messina, si è determinato il valore medio dei sedimenti che fornisce l'adattamento ottimale del profilo medio della spiaggia di Bruun (1954) alle profondità desunte dalle batimetriche presenti sulla carte nautiche.

E' qui opportuno ricordare che, se si ipotizza che il moto ondoso si presenti con le stesse caratteristiche per un periodo sufficientemente lungo, è lecito immaginare che si sviluppi un cosiddetto profilo di equilibrio. Un'espressione frequentemente usata per la descrizione del profilo di equilibrio è quella di Bruun (1954):

$$h = Ay^{\frac{2}{3}} \quad (0.3)$$

in cui h è la profondità; y è la distanza dalla linea di spiaggia; A è un fattore dimensionale [$m^{1/3}$] che risulta dipendere soprattutto dalla granulometria dei sedimenti (vedere al riguardo la Figura 0.2). La suddetta equazione non considera la presenza di barre e cavi, ma essa deve essere considerata come la migliore approssimazione di un profilo passante attraverso tali caratteristiche morfologiche del fondo

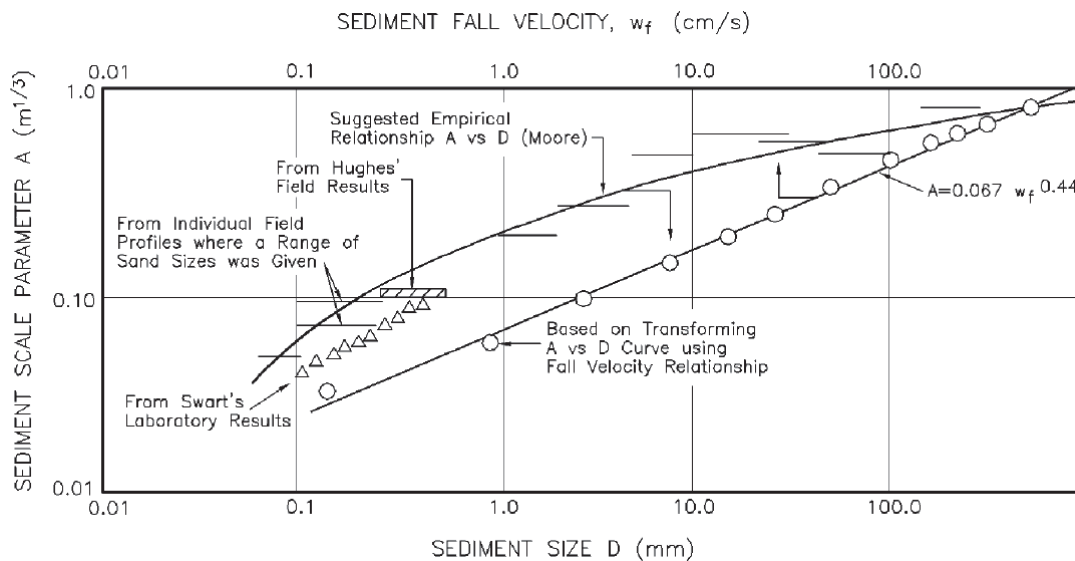


Figura 0.2 Andamento del parametro A del profilo di equilibrio in funzione della granulometria (d_{50}) e della velocità di sedimentazione (Dean, 1987).

La Tabella 0.3 mostra per le sezioni di interesse dei valori medi determinati sulla base della procedura descritta e, dove disponibili, i valori medi dei sedimenti riportati nella Tabella 0.1.

Tabella 0.3 Confronto tra i diametri mediani dei sedimenti valutati dall'analisi granulometrica dei campioni prelevati nella spiaggia emersa e i diametri valutati a partire dal profilo di equilibrio.

Sezione		D ₅₀ (an. granul.)	D ₅₀ (prof. equil.)
		[m]	[m]
Valdina		-	0.472
Spadafora		-	0.463
Rometta		-	0.556
Villafranca Tirrena	M4	0.531	0.588
Ortoliuzzo	L4	4.259	0.330
Rodia-Giudeo	G4-F4	0.395	0.227
Calamona-Giudeo	E4	0.679	0.249
Calamona-Rasocolmo	D4	0.386	0.302
Spartà	A4	0.609	0.431
Mezzana-Tono	H3	0.311	0.021
Casa Bianca - Tono	G3	0.304	0.036

È importante rilevare che la procedura sopra riportata mal si adatta al tratto di litorale compreso tra Mezzana e Casa Bianca, in cui l'andamento delle batimetrie presenta importanti effetti legati alla presenza di una porzione di piattaforma continentale caratterizzata da profondità modeste rispetto alle aree limitrofe.

Il confronto ha mostrato come per i tratti di litorale in oggetto si ha un buon accordo tra i valori riportati nella Tabella 0.1 e quelli desunti dalla procedura proposta, ad eccezione del tratto di litorale di in corrispondenza della località Ortoliuzzo.

Le indicazioni del confronto sopra riportato hanno suggerito di effettuare dei sopralluoghi che hanno mostrato come lungo tutto il litorale il materiale più grossolano è presente unicamente in corrispondenza della porzione di spiaggia in prossimità della battigia. Tale circostanza ha suggerito di utilizzare per la sezione di Ortoliuzzo non i valori dei sedimenti rilevati dallo studio "Analisi delle criticità idrauliche marittime e geomorfologiche, monitoraggi, studi idraulici e geologici delle coste del tratto ionico e tirrenico del comune di Messina" ma il diametro medio determinato dalla procedura sopra descritta.

Stima dei volumi di ripascimento

1.15 Generalità

Per poter determinare le quantità effettive di materiale sedimentario proveniente dagli scavi delle opere di collegamento al ponte sul versante siciliano che è possibile destinare ad interventi di ripascimento è di fondamentale importanza conoscere i volumi che effettivamente possono essere versati lungo gli arenili in arretramento al fine di ripristinare la spiaggia erosa. In questo capitolo vengono descritte le metodologie adottate e le stime effettuate per la determinazione della quantità di materiale che la spiaggia è in grado di accogliere, insieme ad alcune valutazioni sulle tecniche di versamento e sulla fattibilità dei ripascimenti. Si precisa che i volumi nel seguito individuati derivano da ipotesi relative all'avanzamento della linea di costa, ipotizzato in modo da essere sempre contenuto entro i massimi scostamenti osservati nel periodo 1976-2011, e dunque possono variare sensibilmente in virtù di diverse scelte di partenza.

Il volume del ripascimento relativo al tratto di costa ricadente nel comune di Sant'Alessio Siculo è stato desunto dal progetto delle opere di salvaguardia del litorale del citato comune.

1.16 Stima dei volumi

Al fine di stimare i volumi di ripascimento sono stati determinati i volumi determinati dall'avanzamento del profilo di spiaggia sommersa e della spiaggia emersa a seguito del ripascimento.

In dettaglio i profili di spiaggia pre e post ripascimento utilizzati a riferimento sono stati determinati sulla base del profilo di equilibrio di Bruun (1954).

La Tabella 0.1 riporta per ognuna delle sezioni considerate il diametro mediano D_{50} considerato per i sedimenti nativi e i corrispondenti valori del parametro di forma del profilo di equilibrio considerato, determinati sulla base della legge fornita da Moore (1982) e riportata in forma grafica in Figura 0.2.

Tabella 0.1 Diametri medi dei sedimenti e parametri di forma utilizzati per la determinazione dei profili di equilibrio delle spiagge pre-operam.

Sezione	D50	A
	[m]	[m ^{1/3}]
Valdina	0.472	0.181
Spadafora	0.463	0.180
Rometta	0.556	0.191
Villafranca Tirrena	0.531	0.188
Ortoluozzo	0.330	0.161
Rodia-Giudeo	0.395	0.171
Calamona-Giudeo	0.679	0.203
Calamona-Rasocolmo	0.386	0.170
Spartà	0.609	0.196
Mezzana-Tono	0.311	0.158
Casa Bianca - Tono	0.304	0.157

Per quanto attiene al profilo di spiaggia post ripascimento si è considerato (vedere Figura 0.1):

- Un primo tratto di profilo di spiaggia sommersa determinato dal profilo di Bruun (1954) per una spiaggia costituita da sedimenti caratterizzati da un D_{50} pari a 1.7 mm e un parametro di forma $A=0.2726$ fino all'intersezione con il profilo della spiaggia pre-operam;
- Un secondo tratto di profilo di spiaggia sommersa, successivo all'intersezione del precedente, uguale a quello pre-operam;
- Un tratto emerso costituito dall'avanzamento della berma.

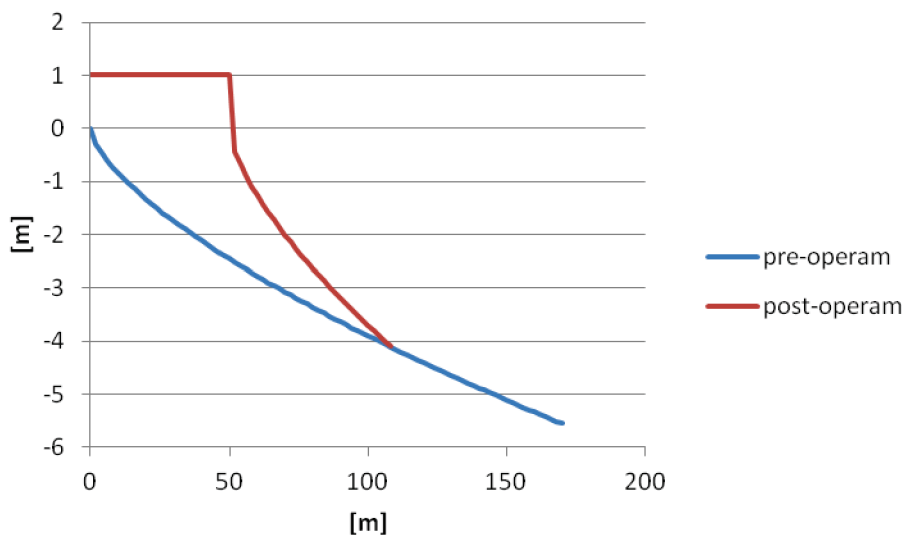


Figura 0.1 Schema utilizzato per il calcolo dei volumi dei ripascimenti.

Per ognuno dei tratti di costa considerati, la Tabella 0.2 Calcolo dei volumi di ripascimento.

riporta il calcolo dei volumi di ripascimento valutati secondo la procedura sopra descritta. Gli avanzamenti della linea di riva sono stati valutati sulla base dell'analisi diacronica descritta nel paragrafo 1.12 Più in dettaglio, gli avanzamenti medi della linea di riva sono tali da essere sempre interni a quelli indicati dalla linea di riva del 1976.

E' stato inoltre valutato il coefficiente di overfill per gli interventi sopra ipotizzati, come mostrato in Figura 0.2. Si evince come la perdita di materiale sabbioso nei casi in esame sia contenuta tra il 10 e il 25% del materiale versato, in virtù dei fusi granulometrici del sedimento proveniente dagli scavi individuati in precedenza.

Assumendo un valore del coefficiente di overfill medio per tutta l'unità fisiografica, stimato sulla base dei dati sedimentologici precedentemente individuati, pari al 20% (si precisa che un calcolo più dettagliato richiederebbe informazioni in merito ai fusi granulometrici per tutti i tratti analizzati) il volume totale che potrà essere utilizzato ai fini di ripascimento è pari a circa 2.9 milioni di m³.

Tabella 0.2 Calcolo dei volumi di ripascimento.

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	
Ortoliuzzo		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				332.000	332.000
Totale						3.199.640

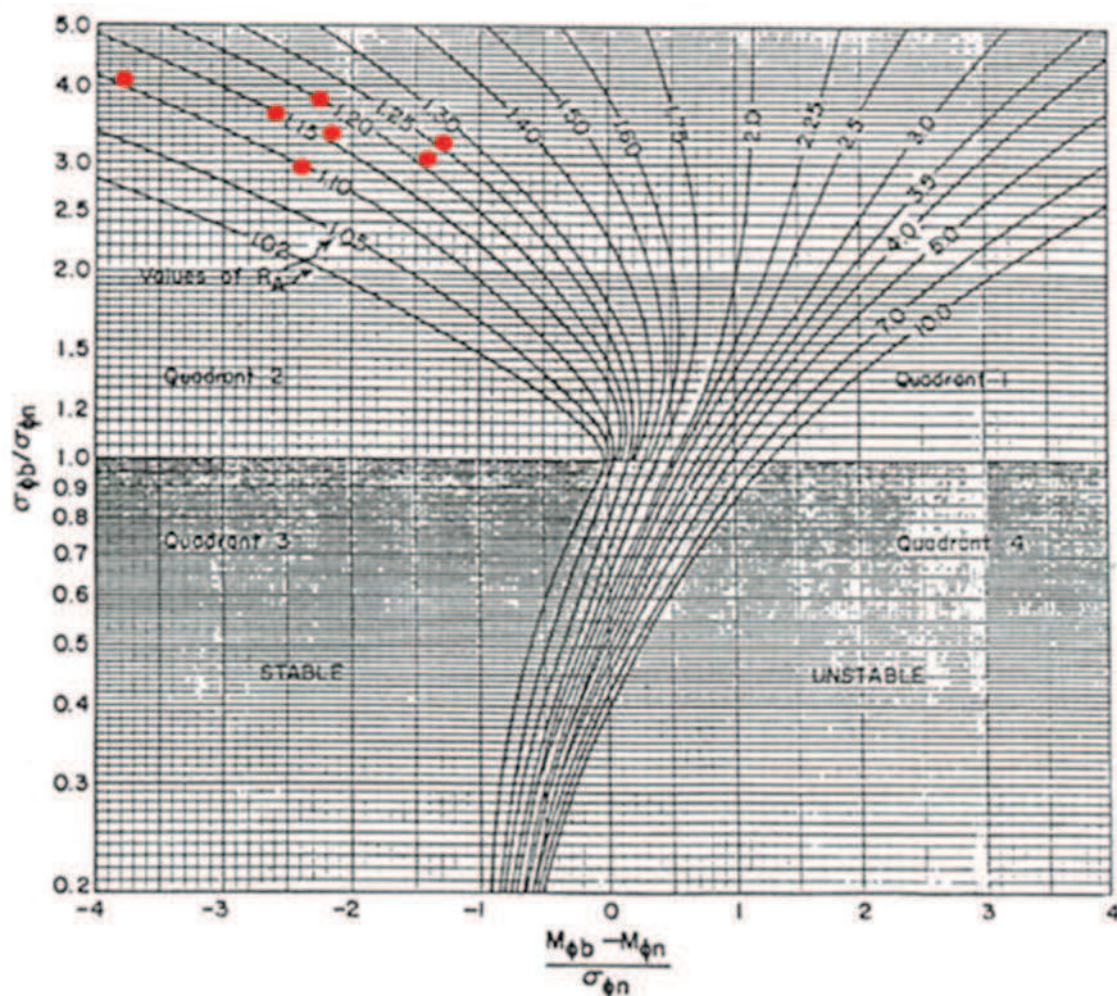


Figura 0.2 Valutazione del coefficiente di overfill.

1.17 Tecniche di versamento dei sedimenti ai fini del ripascimento

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 in erosione.

Le draghe esistenti hanno una capacità di carico compresa tra 100 e 20.000 m³ e possono operare tra una profondità minima, dettata dal pescaggio della draga stessa, di 5-8 m e una massima di oltre 100 m. Per eliminare la parte più fina del materiale sciolto aspirato, durante il dragaggio viene utilizzato un sistema di "overflow" ad altezza regolabile con scarico al livello della chiglia della nave. La condotta aspirante è posta di fianco allo scafo ed è dotata di giunti ed articolazioni che le conferiscono un'adeguata flessibilità. Lo scarico del materiale sul sito di deposito può avvenire per refluentamento o per apertura della parte inferiore dello scafo. Per la sua versatilità, questo tipo di draga si è dimostrata di ottime caratteristiche per quanto riguarda il prelievo di sabbia di ripascimento da cave a mare. Infatti, anche a profondità elevate dell'area di prelievo e in condizioni meteomarine non favorevoli, è in grado eseguire prelievi di sabbia superficiali, intermedi (al di sotto di uno strato superficiale di cattive caratteristiche granulometriche) e profondi (fino a 40 m al di sotto della quota del fondale marino). E' bene precisare infine che una deposizione graduale del materiale estratto sulla spiaggia ha un impatto inferiore rispetto a quella di un quantitativo simile ma posto in opera in modo massivo.



Figura 0.3 Versamento di sedimenti dragati durante un intervento di ripascimento (fonte ICRAM).

Viceversa è possibile intervenire via terra, con mezzi pesanti che trasportano e scaricano i sedimenti lungo la costa con continuità e ruspe che li distribuiscono 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.

E' inoltre opportuno precisare che, differentemente da quanto ipotizzato in sede preliminare (si veda la relazione metodologica del 30 novembre 2011) non è consigliabile il ricorso ai pennelli rifornitori, ovvero alla realizzazione di accumuli di sedimento posizionati secondo assi ortogonali alla linea di riva. Difatti come è emerso nei precedenti capitoli, il materiale sedimentario che si intende utilizzare ai fini del ripascimento è caratterizzato da una granulometria superiore a quella nativa; ciò garantisce una maggiore stabilità del ripascimento ma d'altro canto determina un limitato trasporto solido che precluderebbe dunque lo spandimento di detto materiale lungo l'arenile in tempi brevi. E' dunque preferibile in tale ottica prevedere l'azione di ruspe che distribuiscono la sabbia lungo la spiaggia.

1.18 Valutazioni sulla fattibilità dei ripascimenti

Come già accennato nei paragrafi precedenti, sono stati ipotizzati interventi di ripascimento in cui la linea di riva possa avanzare non superando comunque il massimo avanzamento registrato all'interno dell'arco temporale tra il 1976 e la situazione attuale, e comunque compreso tra 30 e 50 m.

E' qui opportuno precisare che in genere gli interventi di ripascimento prevedono avanzamenti della linea di costa mediamente intorno ai 40 m, e che i volumi minimi che attestano la fattibilità dell'intervento sono intorno al mezzo milione di m³. Al di sotto di tali volumi difatti l'intervento risulterebbe antieconomico soprattutto se è necessario impiegare draghe i cui costi incidono maggiormente quanto più ridotto è l'intervento previsto.

In quest'ottica la priorità di realizzazione degli interventi ipotizzati nei precedenti paragrafi prevedrebbe come soluzione preferibile quella di iniziare sopraflutto, ovverosia partendo dal punto più ad Ovest della porzione di litorale investigata, procedendo via via verso Est. Tenendo conto altresì che gli interventi previsti sono caratterizzati da una elevata stabilità e dunque il materiale

solido non viene facilmente mobilitato, è possibile prevedere innanzi tutto il ripascimento dei tratti in condizioni di maggiore arretramento.

Stima del trasporto solido e verifica della stabilità dei ripascimenti

1.19 Generalità

Al fine di valutare l'efficacia della soluzione proposta, si è proceduto alla valutazione della stabilità dei ripascimenti individuati nei capitoli precedenti.

Più in dettaglio, si è proceduto da un lato effettuando un confronto tra la capacità di trasporto solido pre e post ripascimento, dall'altro utilizzando la metodologia proposta da James (1974).

Nell'ambito del presente studio sono stati individuati i siti in erosione localizzati nel territorio del Comune di Messina e dei Comuni limitrofi, con riferimento al versante tirrenico. Per ognuno di tali siti è stato stimato il trasporto solido litoraneo longitudinale nella condizione attuale ed in presenza di ripascimento.

E' stato inoltre analizzato un altro sito localizzato lungo la costa ionica della provincia di Messina: S. Alessio. Il litorale antistante tale Comune è infatti interessato da problemi erosivi ingenti che hanno causato danneggiamenti nella strada litoranea e nelle abitazioni attigue. A causa di tali problemi è stata predisposta, e quasi ultimata, una scogliera soffolta ed il progetto prevede l'inserimento a tergo della stessa di un ripascimento protetto. Per tale motivo è stato considerato l'effetto dell'inserimento del materiale disponibile dalla realizzazione del ponte anche su questo tratto di costa.

Lo studio è stato condotto mediante il codice di calcolo ad una linea LITDRIFT del DHI che, sulla base del profilo perpendicolare alla linea di costa, delle caratteristiche dei sedimenti e del clima ondoso medio annuo consente di stimare il trasporto potenziale annuo di sedimenti.

Infine è stata valutata la stabilità del ripascimento secondo la procedura proposta da James (1974).

1.20 Individuazione delle caratteristiche dei profili

Data la limitata disponibilità di dati sedimentologici lungo il litorale tirrenico, è stata eseguita una indagine a ritroso, individuando le caratteristiche dei sedimenti in un punto assegnato sulla base della distanza del punto dalla linea di costa, tramite l'applicazione del profilo di equilibrio di Bruun (1954), come già descritto al paragrafo 1.14. Come osservato in precedenza, dal momento che in quasi tutte le sezioni in cui i dati granulometrici erano disponibili, il diametro medio di sedimenti ricavato con tale procedura si avvicina molto a quello misurato sul campo, è stato possibile, in assenza di misure granulometriche dirette, assumere come valore di riferimento il diametro medio dei sedimenti ottenuto analiticamente.

Per ognuno dei tratti di litorale in erosione è stato ipotizzato inoltre un andamento del fondale compatibile con il suddetto profilo di equilibrio per le profondità minori di 10 m, dove le informazioni desunte dalla cartografia sono carenti e comunque non aggiornate; su profondità maggiori (fino a 100m) si invece operata una semplice interpolazione lineare tra le isobate tracciate nella carta nautica della zona.

I profili così individuati e i corrispondenti diametri sono mostrati dalla Figura 0.1 alla Figura 0.12 per tutti i tratti di costa presi in esame. In ciascuno di essi in giallo è rappresentato l'andamento trasversale della batimetria, in nero è tracciato l'andamento del diametro medio dei sedimenti, che in questa fase, a causa della carenza di dati sedimentologici diffusi, è stato ipotizzato indipendente dalla profondità.

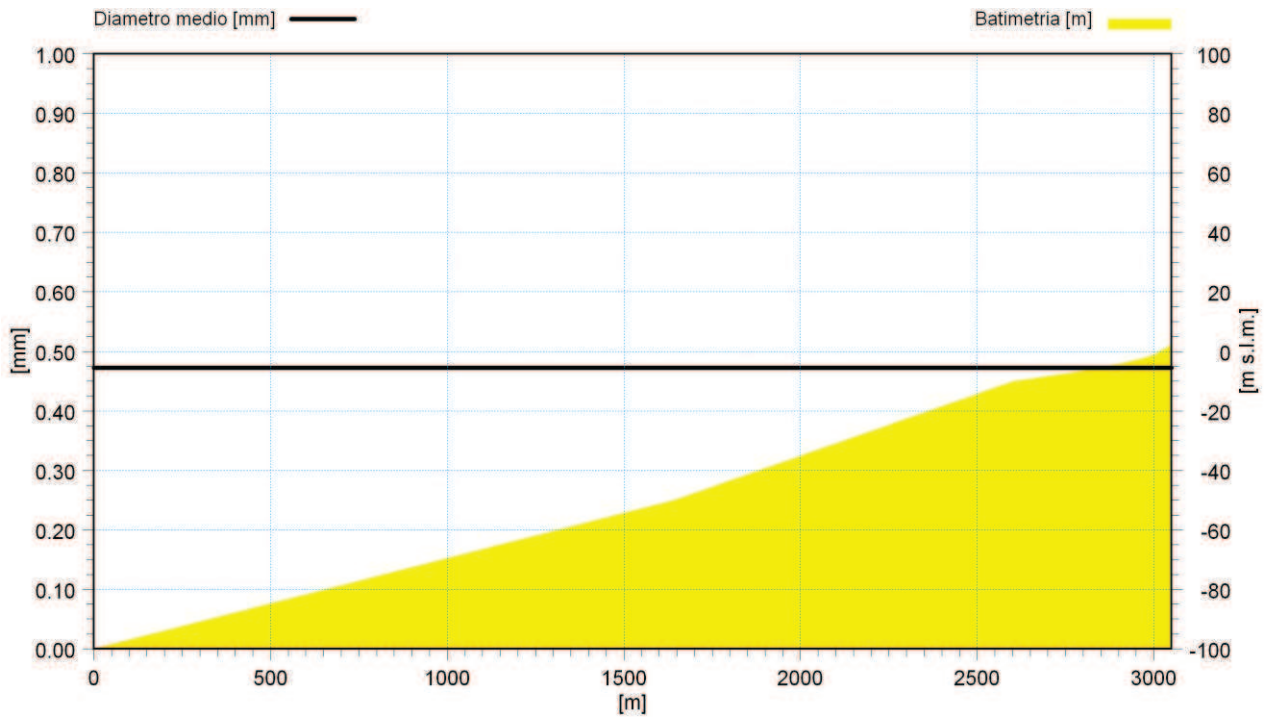


Figura 0.1 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Valdina.

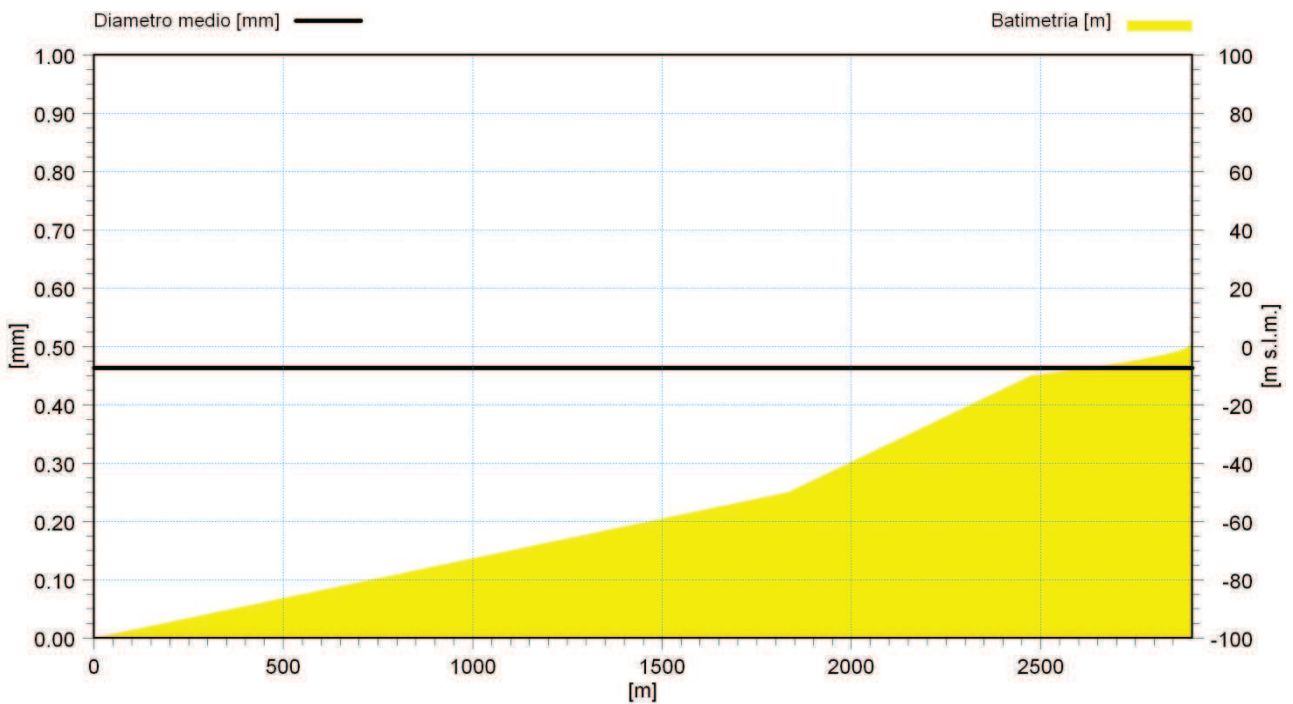


Figura 0.2 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Spadafora.

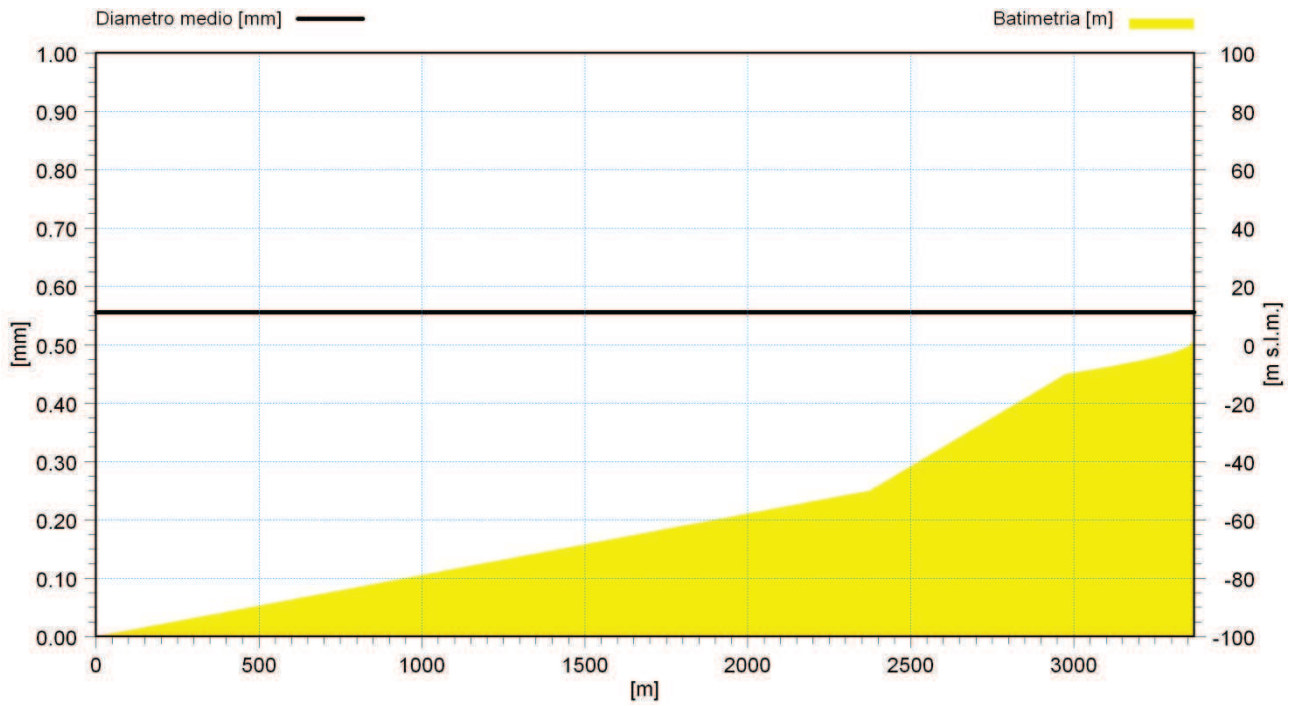


Figura 0.3 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Rometta.

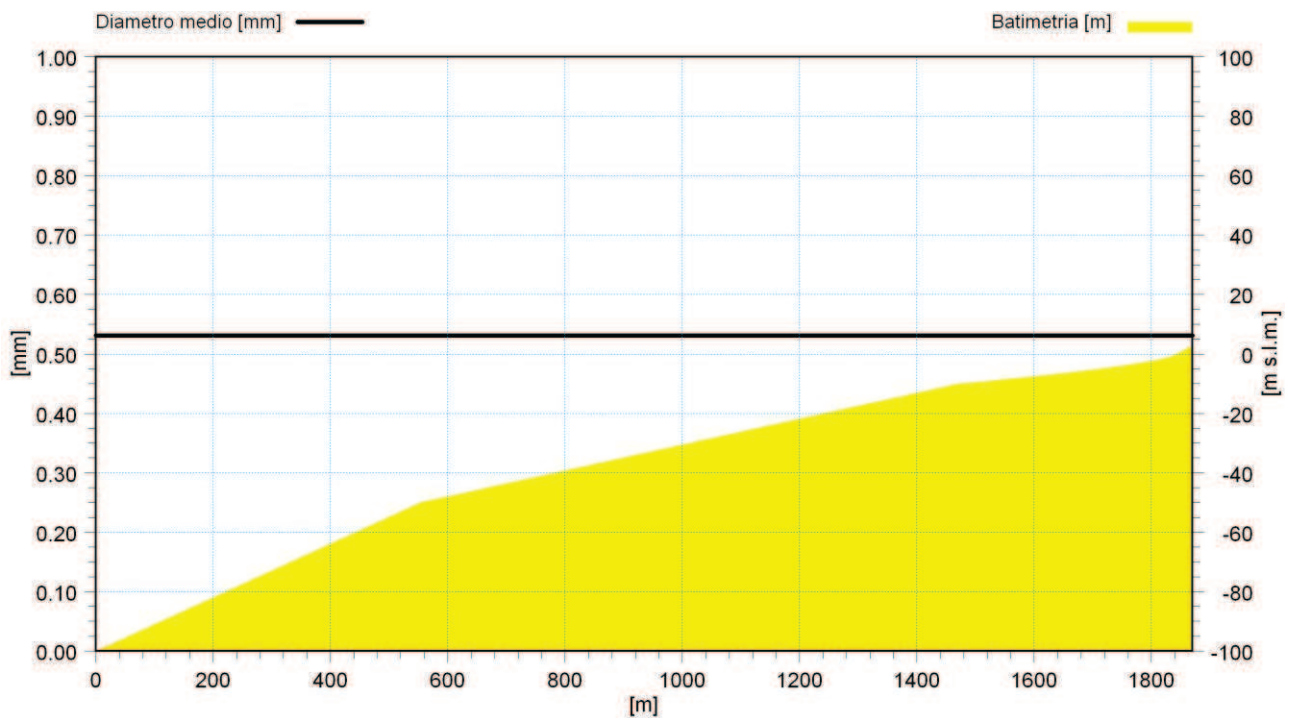


Figura 0.4 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Villafranca Tirrena.

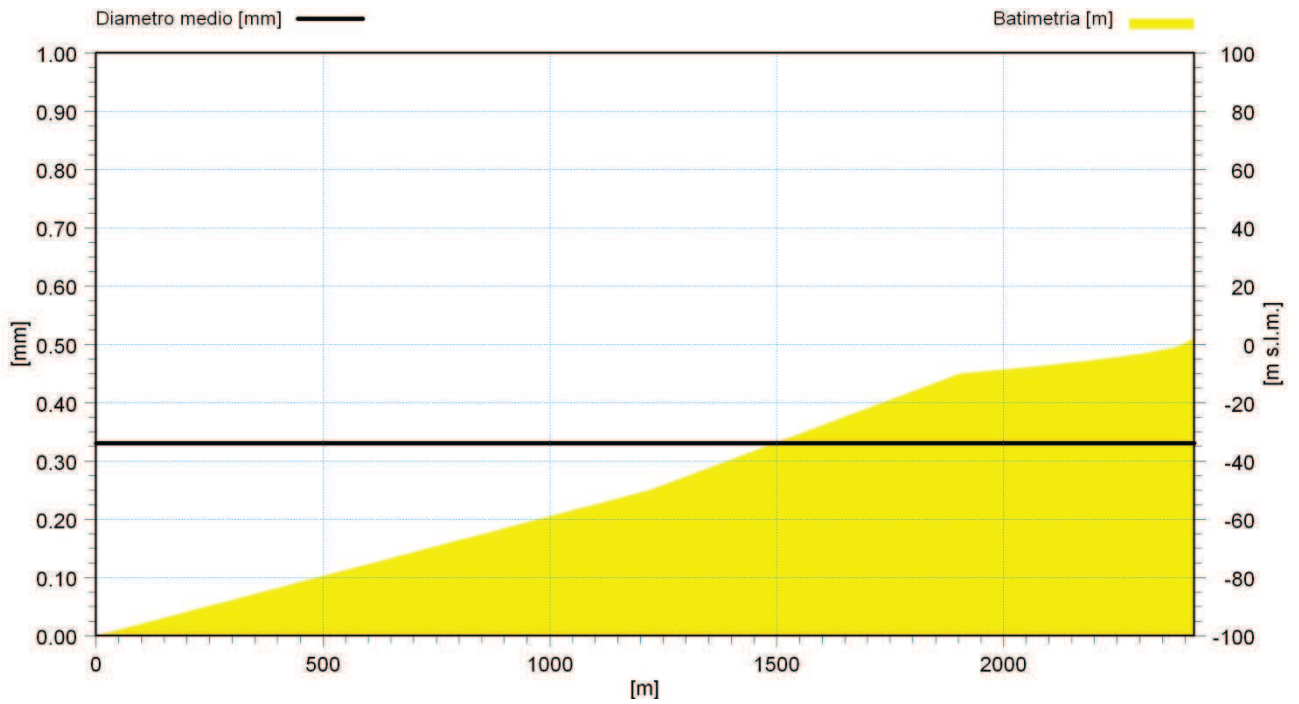


Figura 0.5 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Ortoliuzzo.

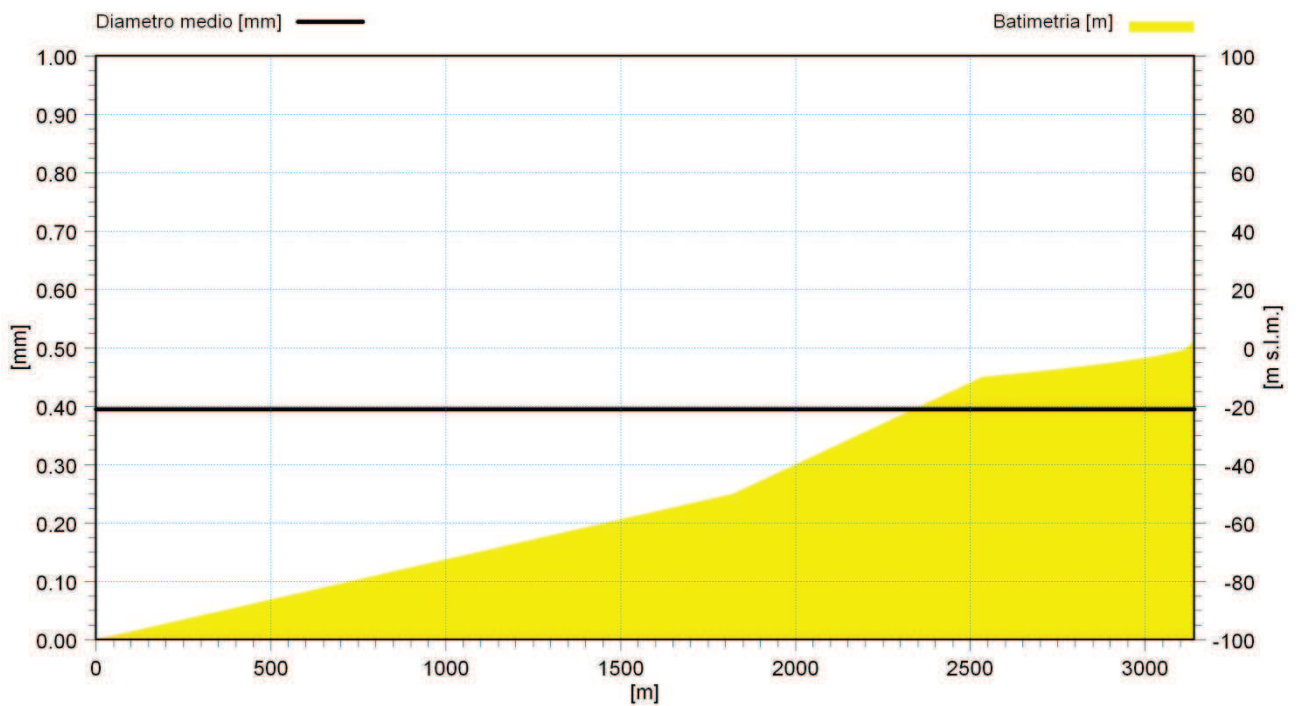


Figura 0.6 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Rodia-Giudeo.

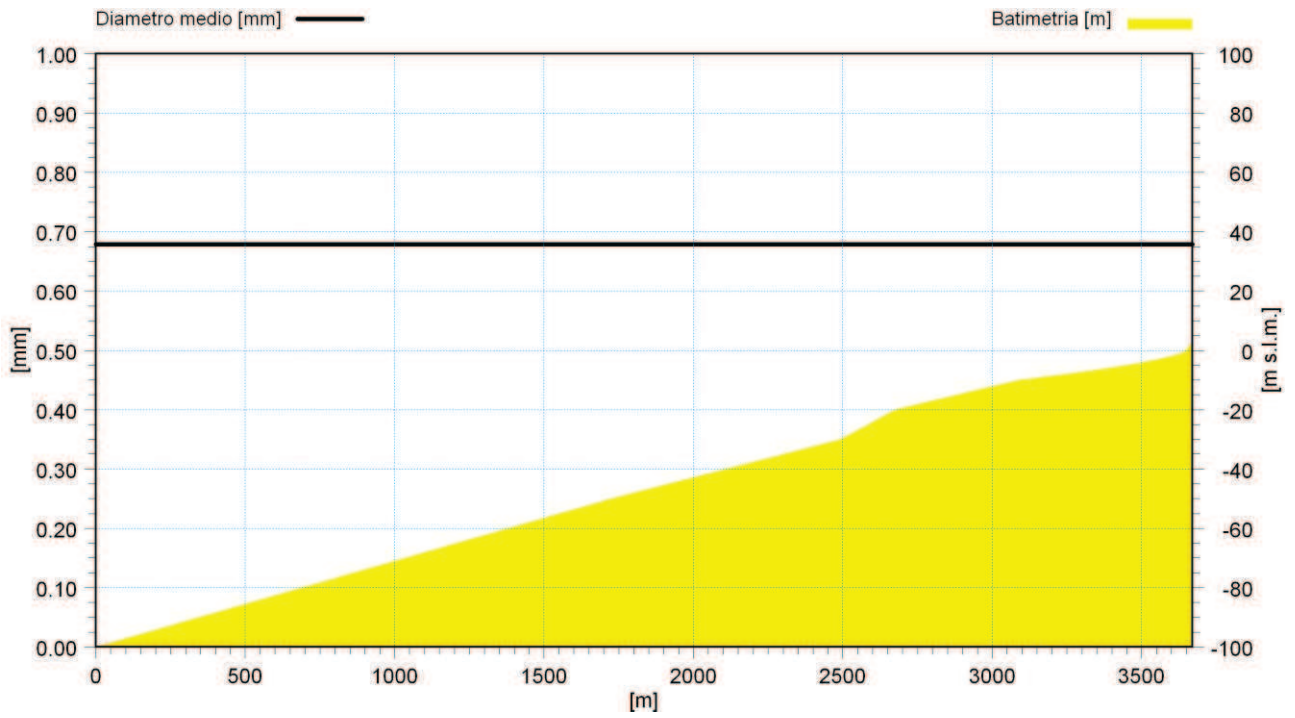


Figura 0.7 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Calamona - Giudeo.

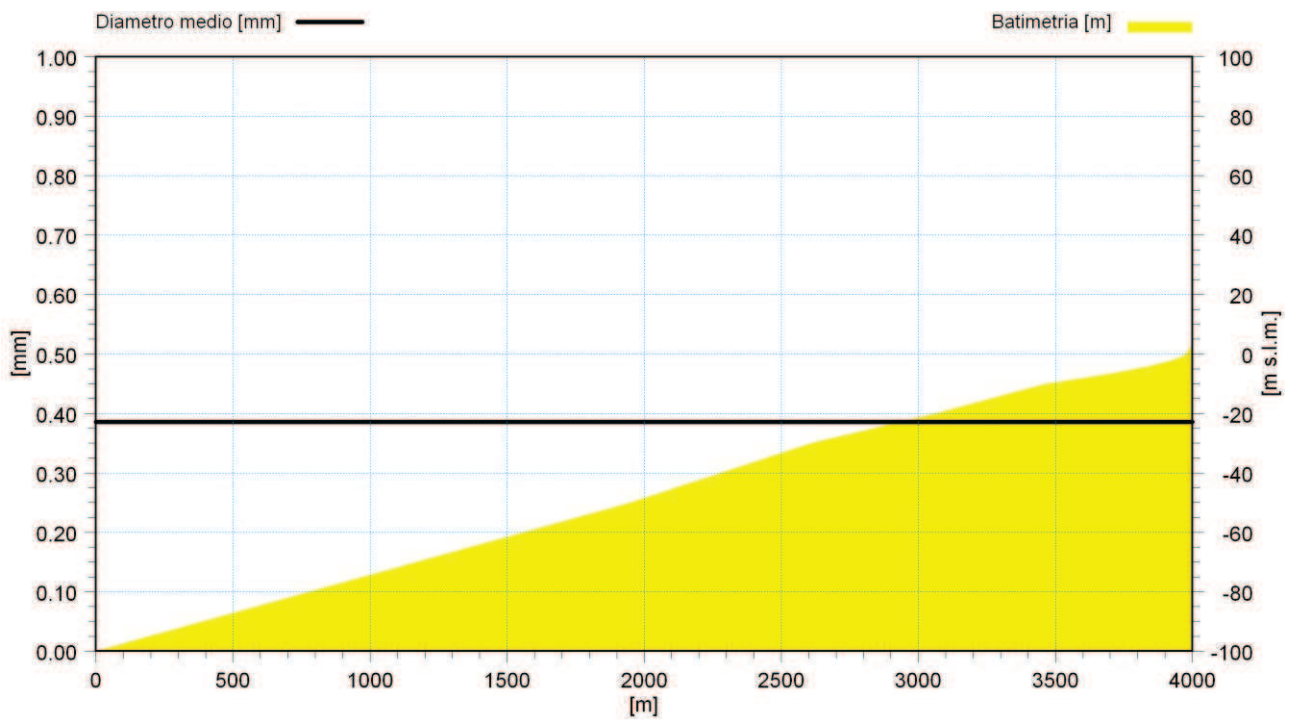


Figura 0.8 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Calamona - Rosocloro.

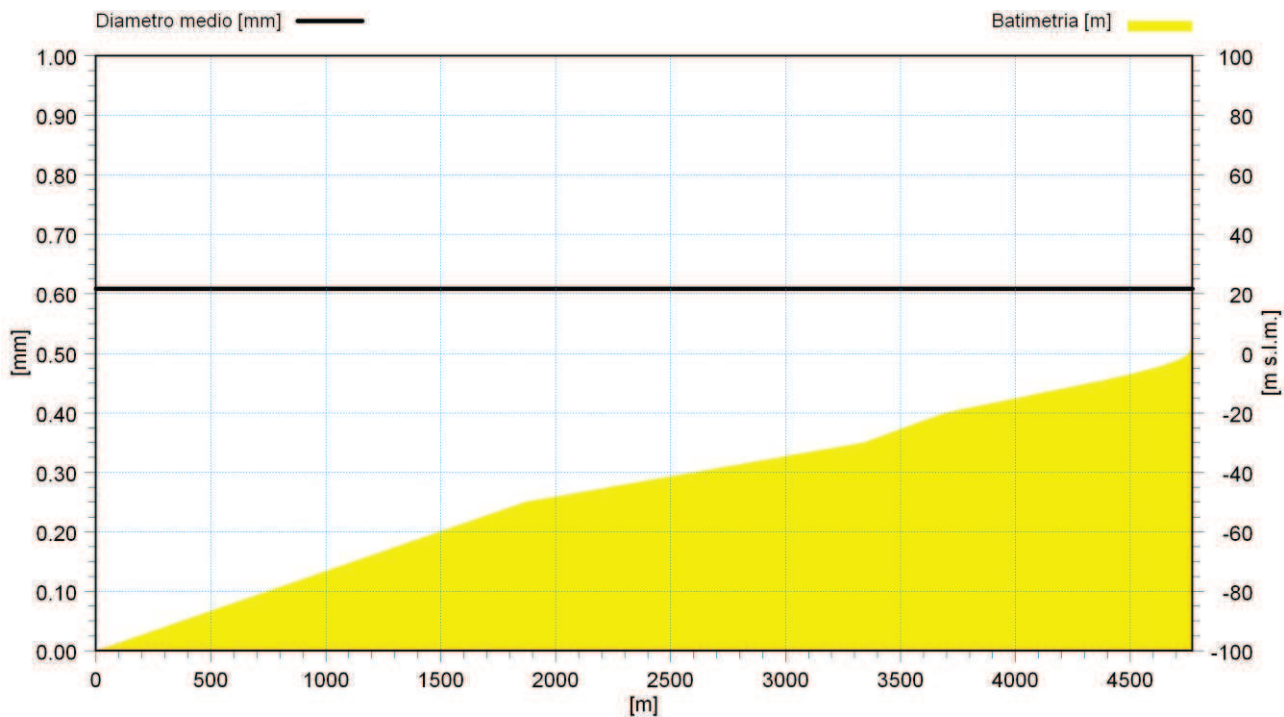


Figura 0.9 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Sparta.

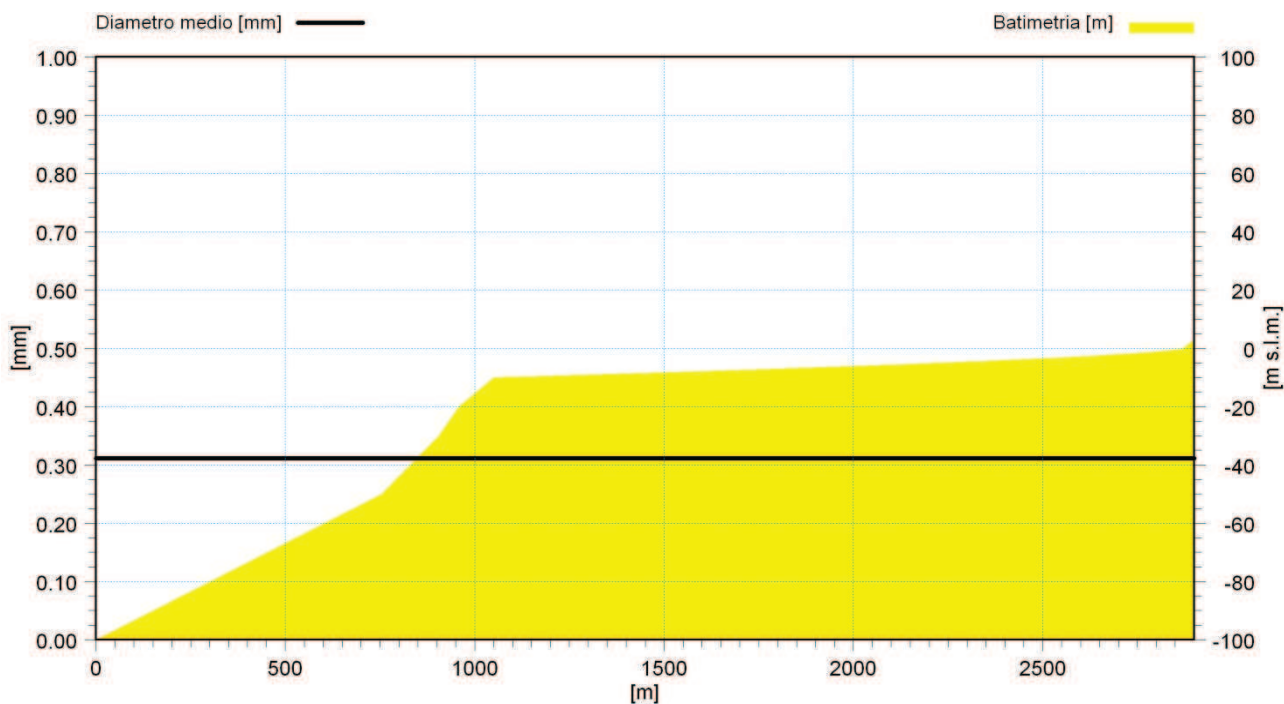


Figura 0.10 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Mezzana - Tono.

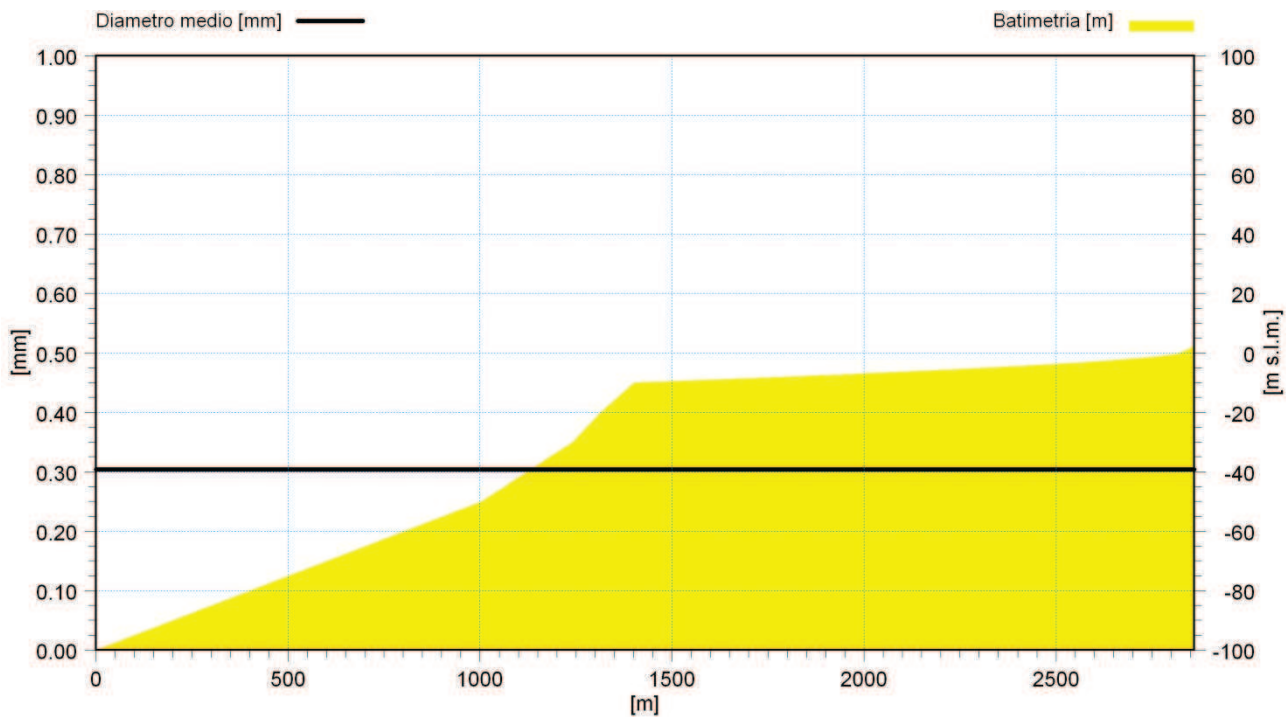


Figura 0.11 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Casabianca - Tono.

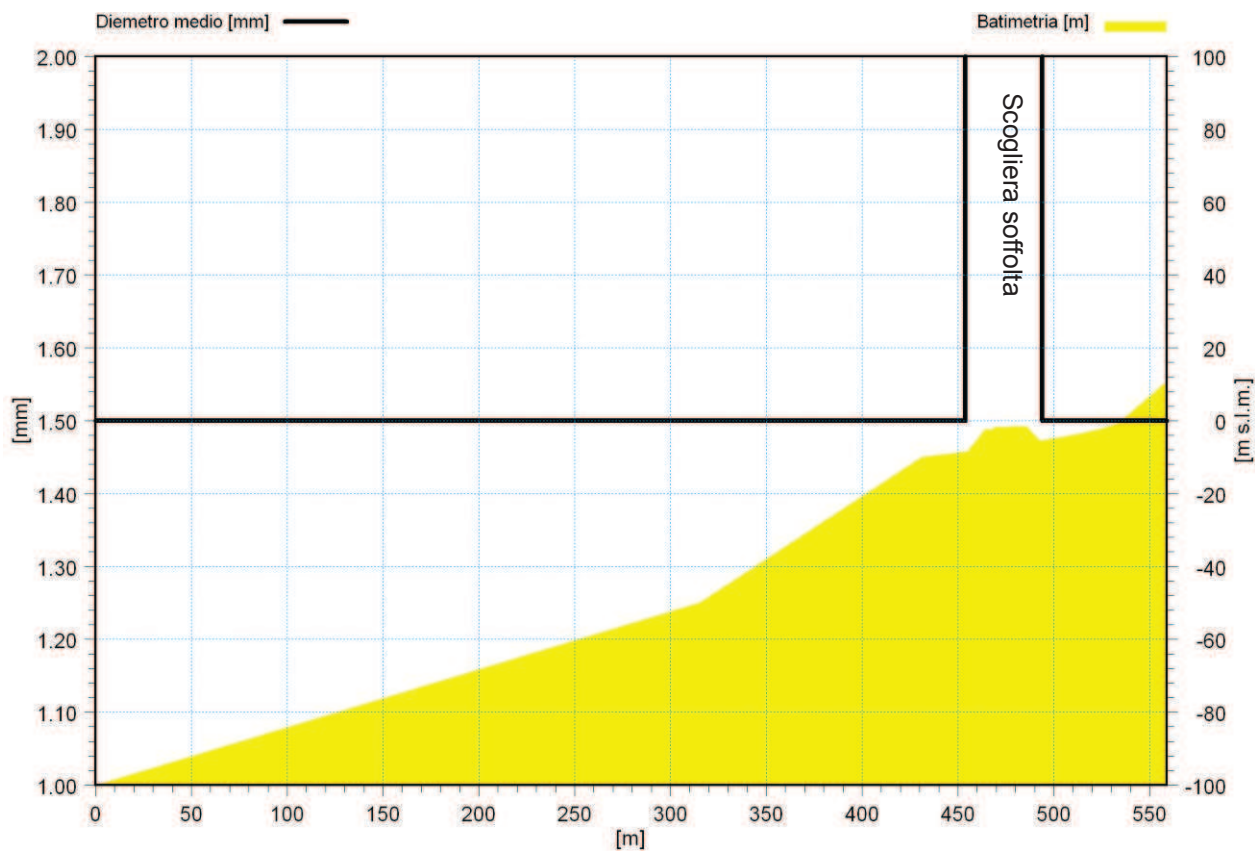


Figura 0.12 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località S. Alessio.

In modo analogo sono stati tracciati i profili e l'andamento del diametro medio dei sedimenti in presenza di ripascimento, considerando un avanzamento della linea di riva variabile tra i 20 e i 50 metri in modo proporzionale all'arretramento avvenuto in ciascuna località, come illustrato nel paragrafo 1.12. Il diametro medio dei sedimenti nel tratto di profilo oggetto di ripascimento corrisponde a quello del materiale dello scavo di più grossa entità e risulta essere pari a circa 1,7mm. I profili così individuati e il nuovo andamento del diametro medio dei sedimenti è mostrato dalla Figura 0.13 alla Figura 0.24 per tutti i tratti di costa considerati.

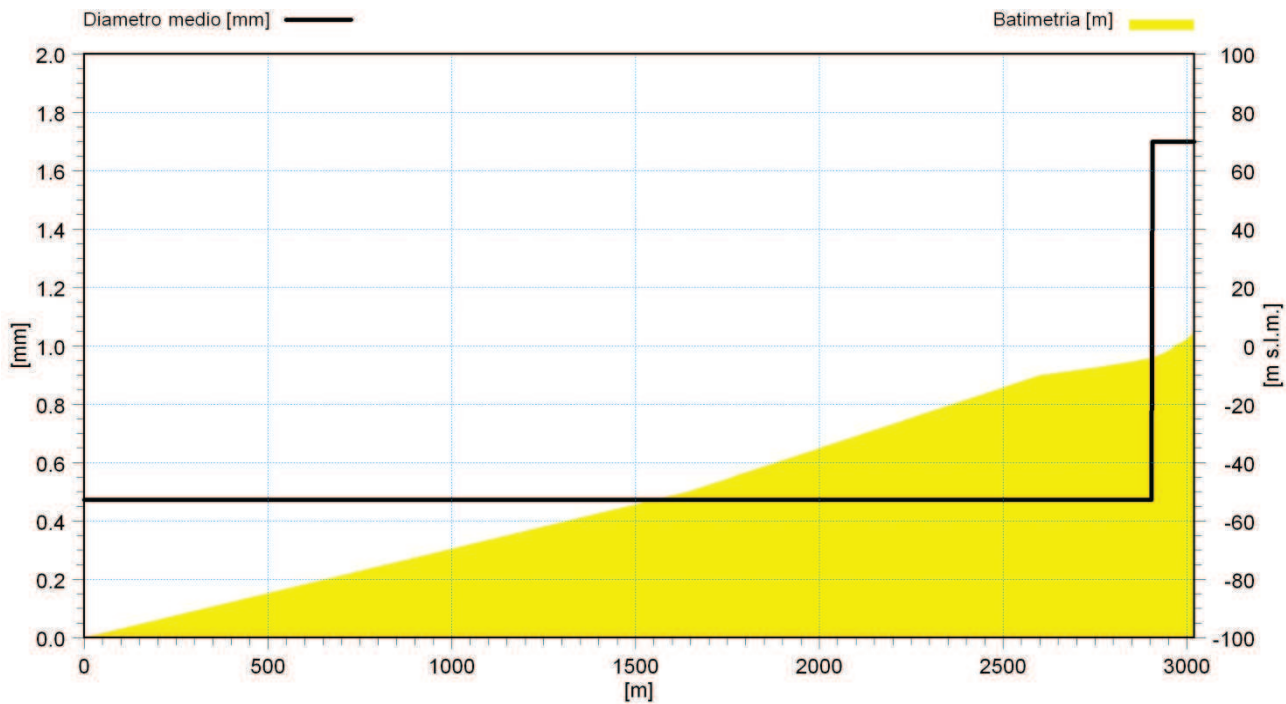


Figura 0.13 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Valdina.

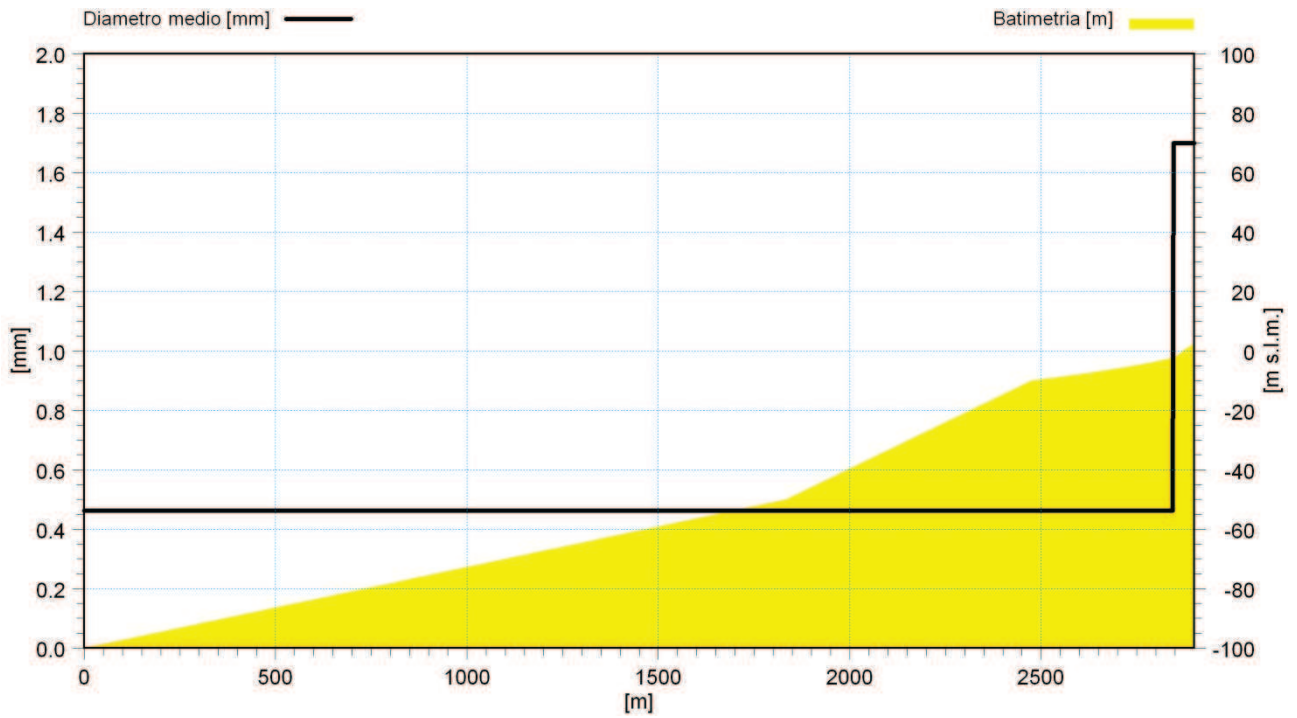


Figura 0.14 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Spadafora.

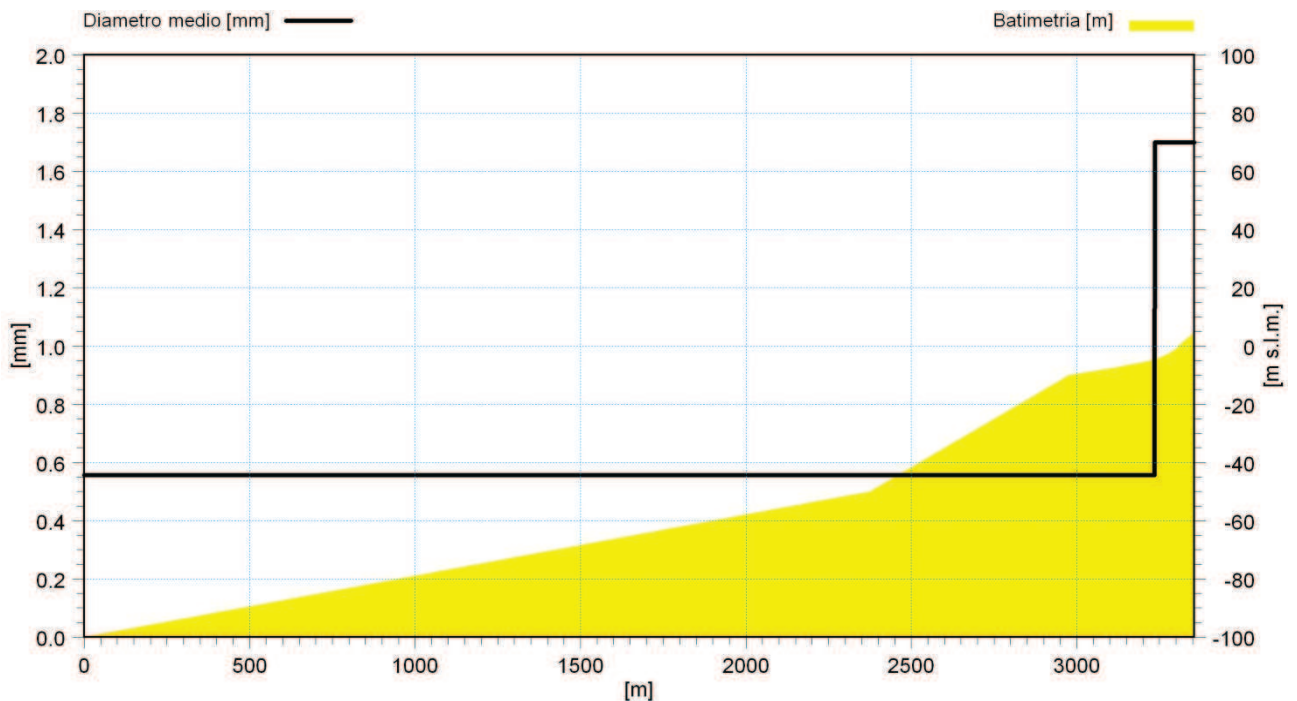


Figura 0.15 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Rometta.

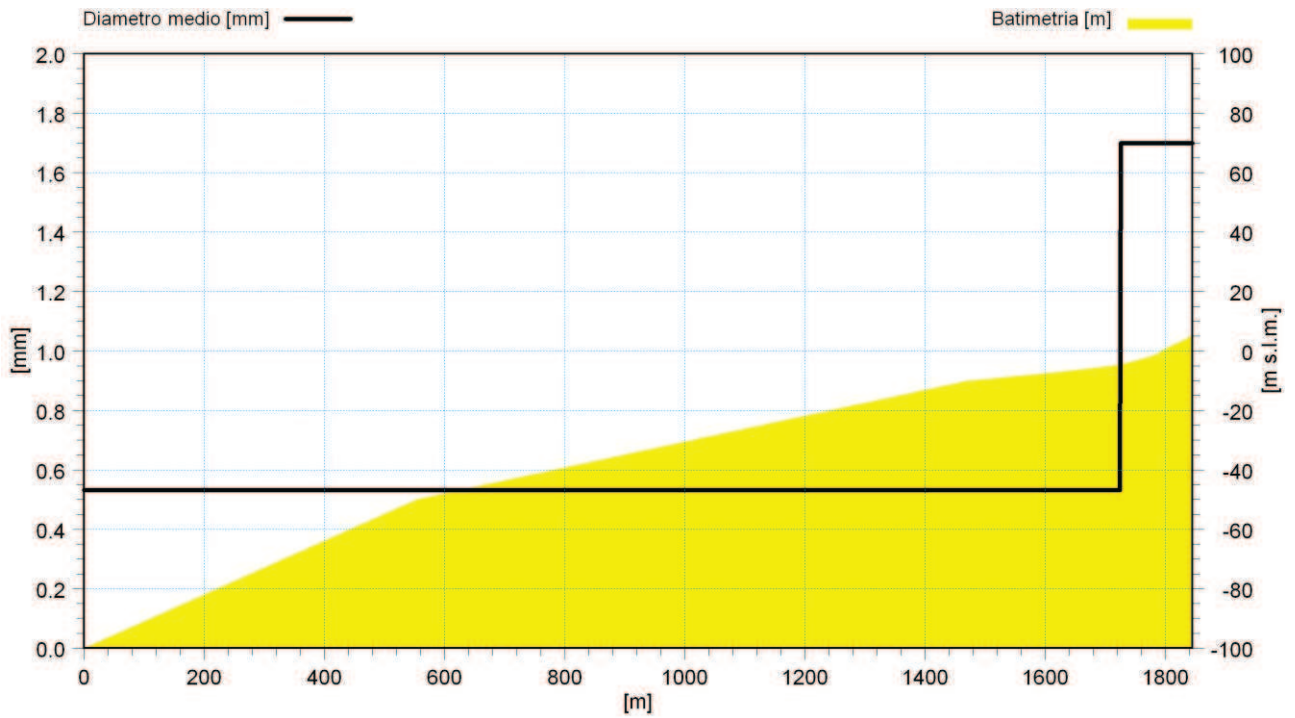


Figura 0.16 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Villafranca Tirrena.

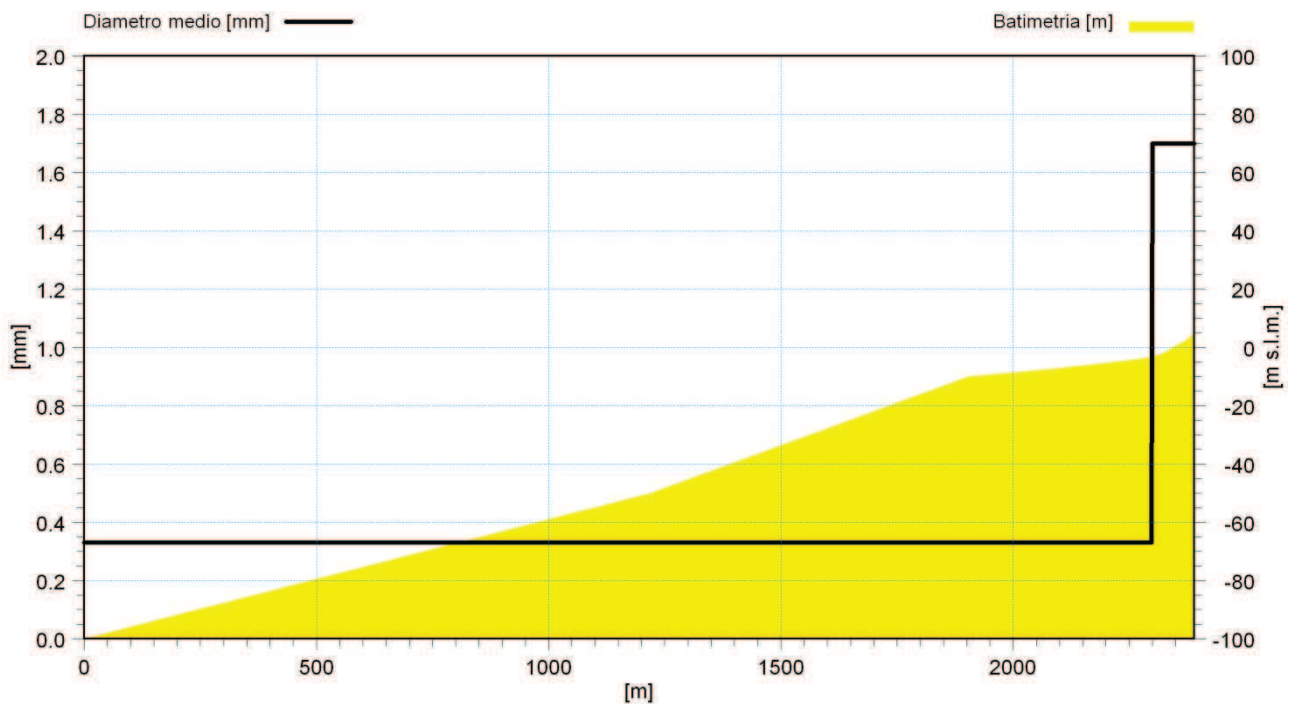


Figura 0.17 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Ortoliuzzo.

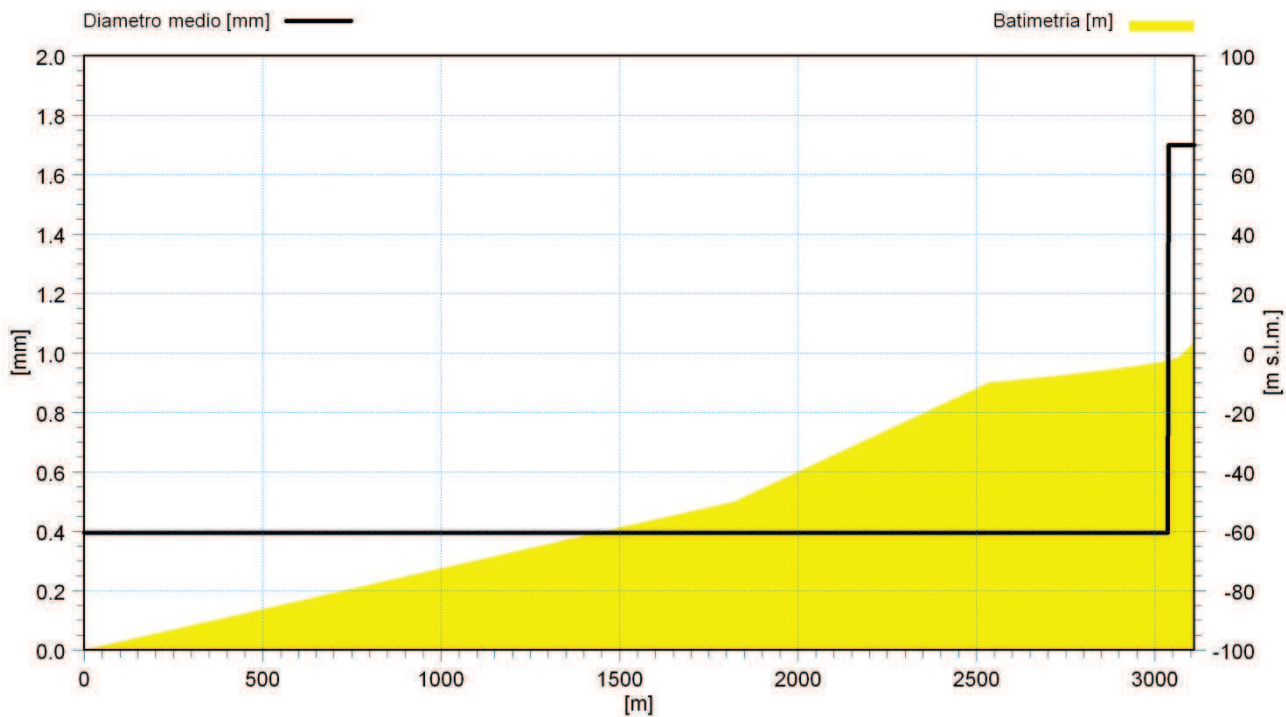


Figura 0.18 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Rodia-Giudeo.

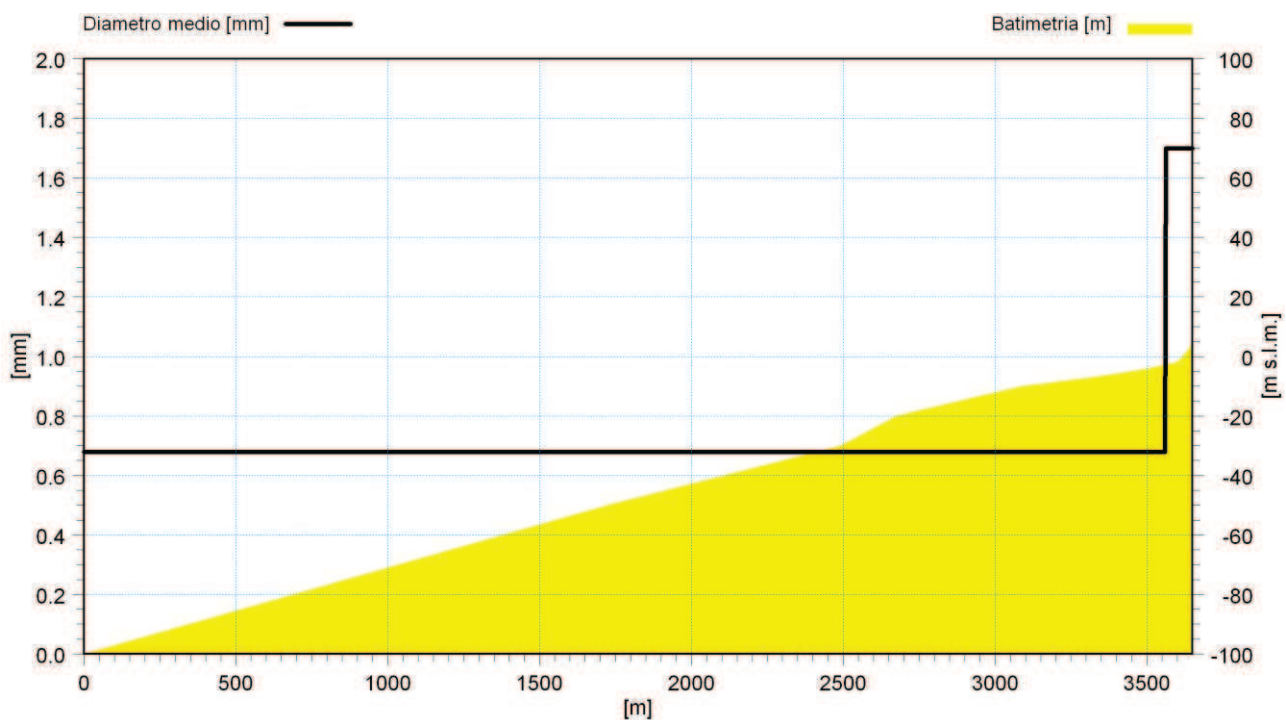


Figura 0.19 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Calamona - Giudeo.

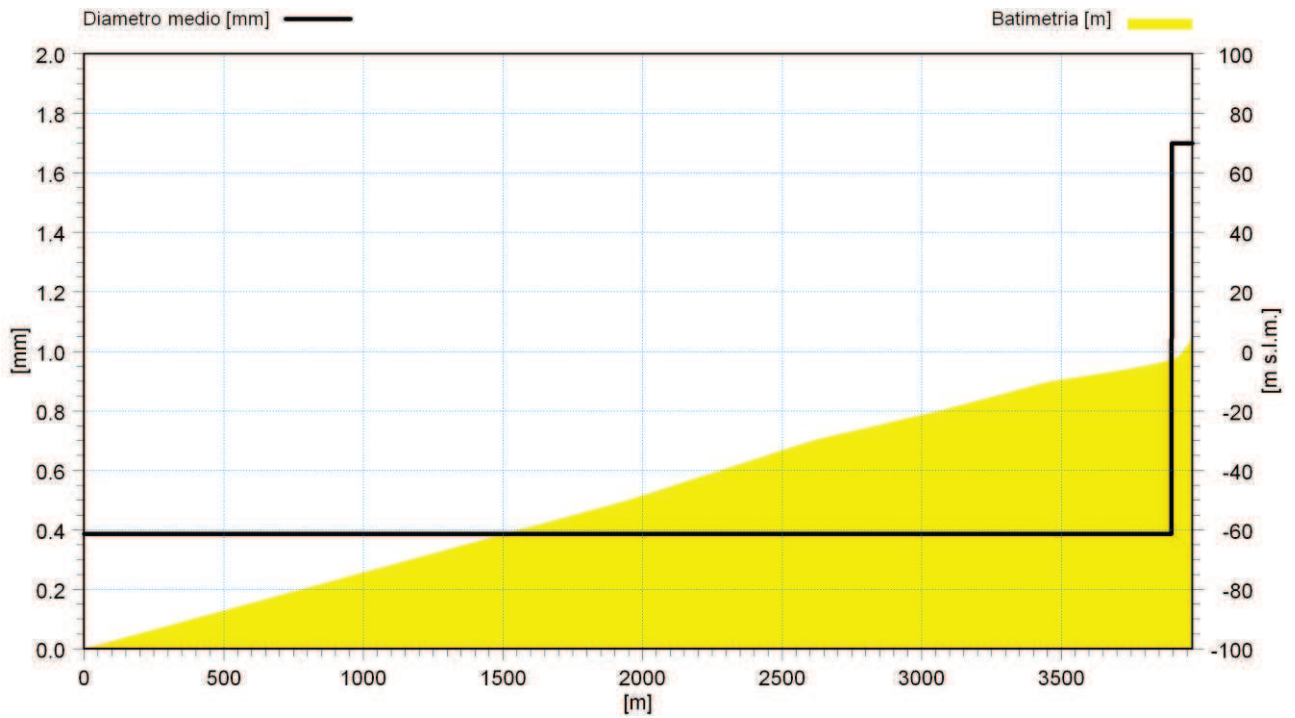


Figura 0.20 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Calamona - Rosocloro.

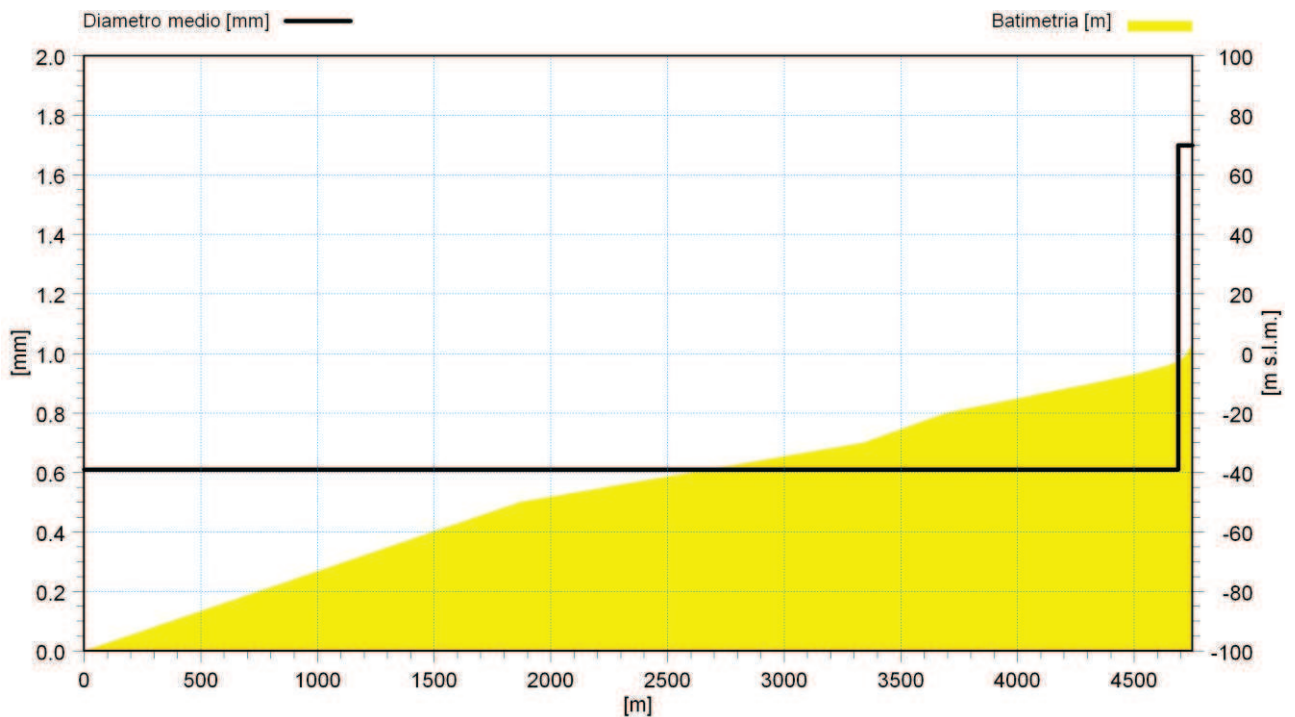


Figura 0.21 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Spartà.

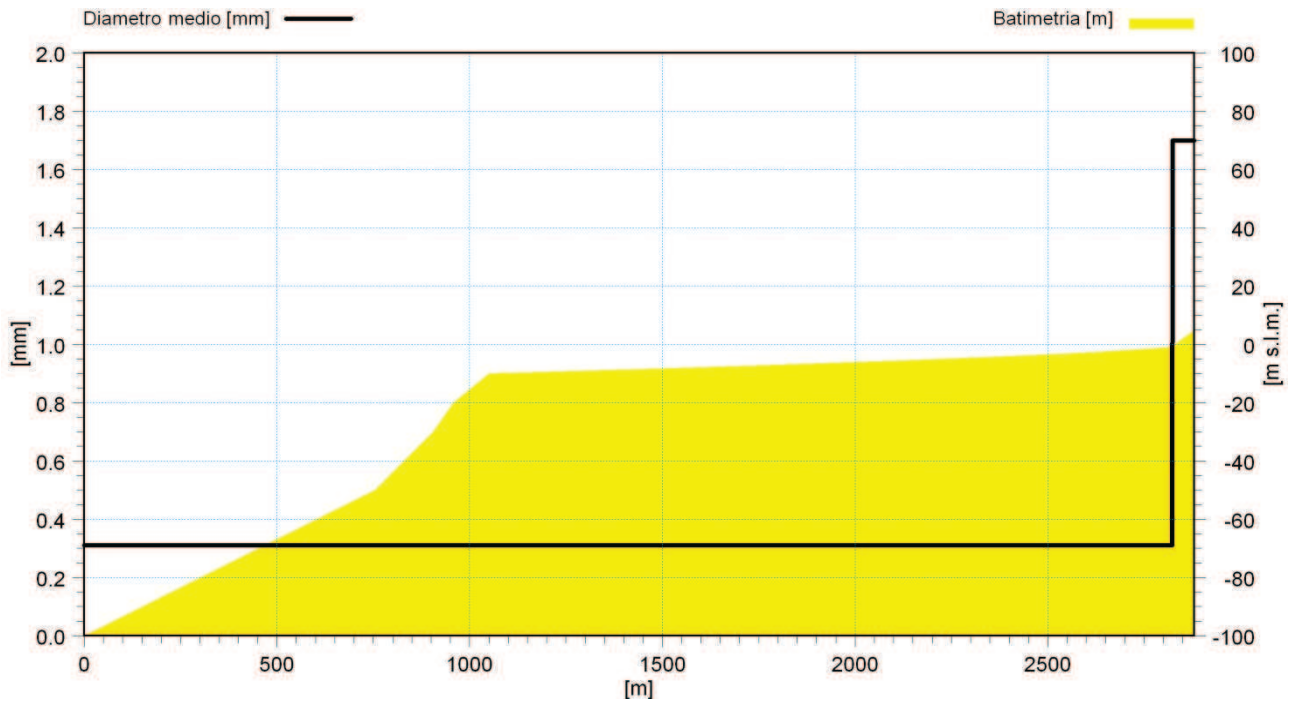


Figura 0.22 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Mezzana - Tono.

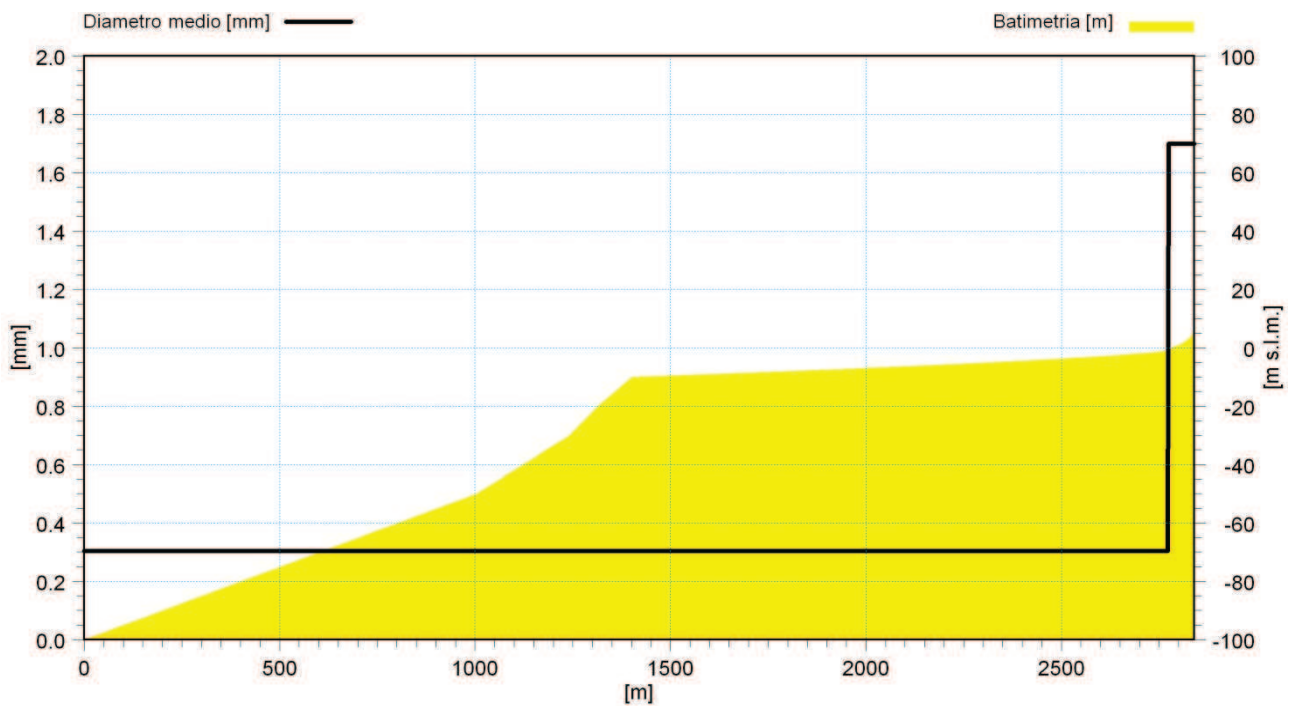


Figura 0.23 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località Casabianca - Tono.

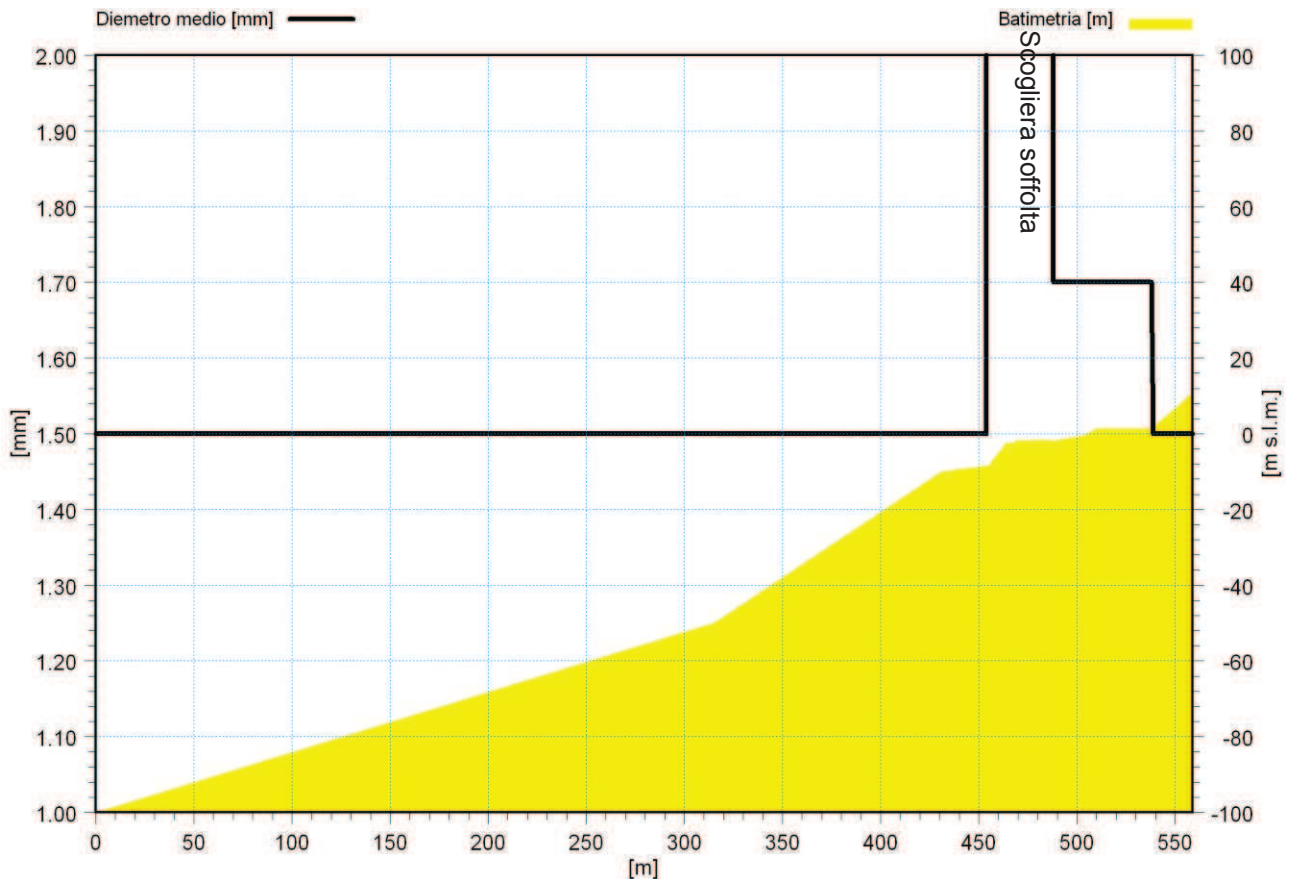


Figura 0.24 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi in presenza di ripascimento per la località S. Alessio.

1.21 Stima del trasporto solido annuo

Il modulo LITDRIFT di LITPACK è utilizzato per determinare sia il flusso costiero indotto dal moto ondoso, sia la distribuzione di trasporto solido lungo una sezione trasversale alla linea di costa. Il trasporto annuo in una data sezione trasversale alla costa è calcolato come somma di un elevato numero di eventi che coprono un intero anno

L'applicazione del suddetto codice di calcolo ha dunque consentito di ottenere per ciascuna sezione la rosa del moto ondoso pesata sul trasporto di sedimenti. In particolare la rosa del trasporto solido illustra il peso che ogni classe di altezza e direzione del moto ondoso ha sul trasporto solido. I risultati, mostrati dalla Figura 0.25 alla Figura 0.36, evidenziano come, in tutti i casi analizzati lungo la costa tirrenica, le onde che causano il maggiore trasporto di sedimenti litoraneo sono quelle provenienti da Ovest e Nord-Ovest. Tale tendenza risulta essere particolarmente evidente per tutte le sezioni a Ovest di Capo Rasocolmo, per le quali le onde provenienti da primo quadrante sono sostanzialmente ininfluenti ai fini del trasporto solido.

L'analisi della rosa del clima ondoso pesata sul trasporto di sedimenti per il litorale di S. Alessio, mostrata in Figura 0.36, permette di evidenziare che le onde con maggiore capacità di trasporto provengono dalle direzioni comprese tra 90 e 120 °N. Al contrario le onde provenienti da Sud e Sud-Est, con direzioni comprese tra 130 e 200 °N, influiscono poco sul trasporto di sedimenti pur essendo in qualche caso superiori a 5m a causa della loro scarsa frequenza di apparizione.

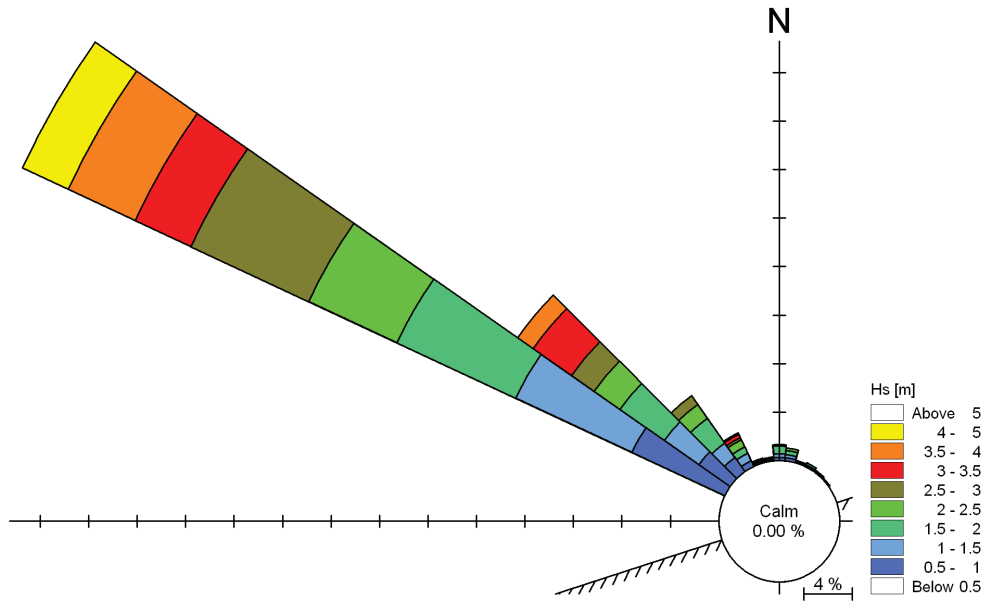


Figura 0.25 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Valdina.

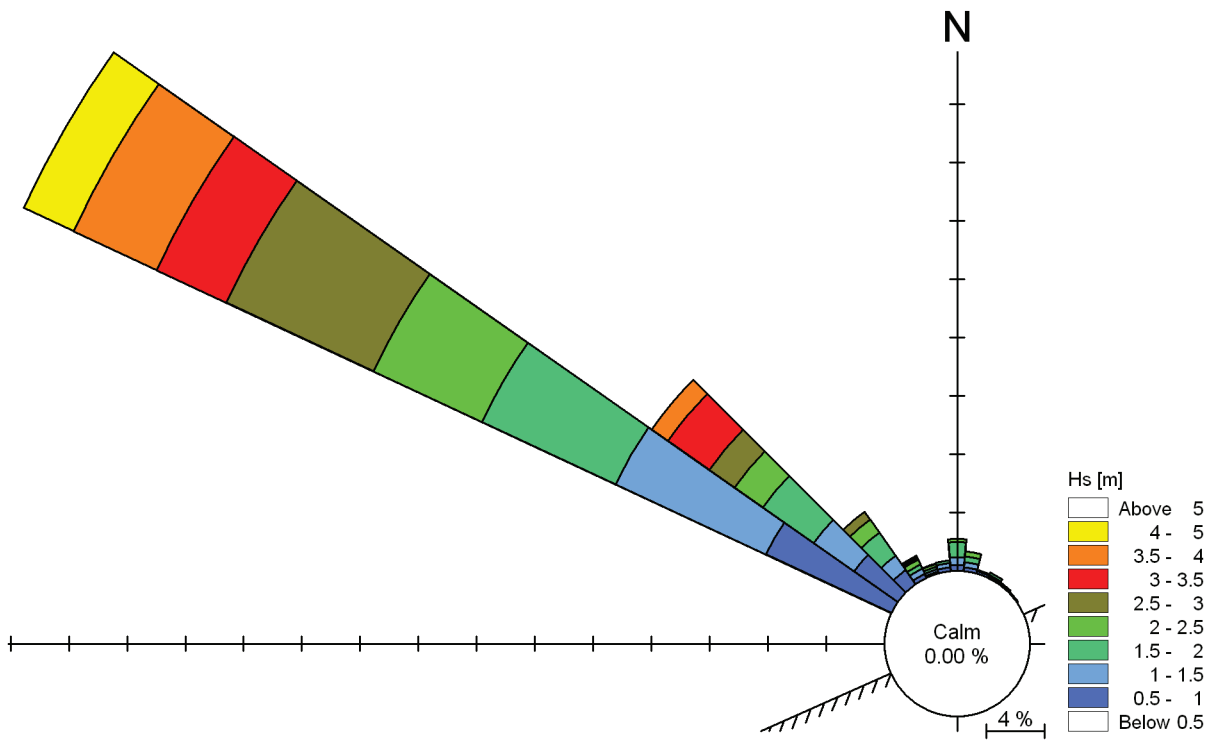


Figura 0.26 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Spadafora.

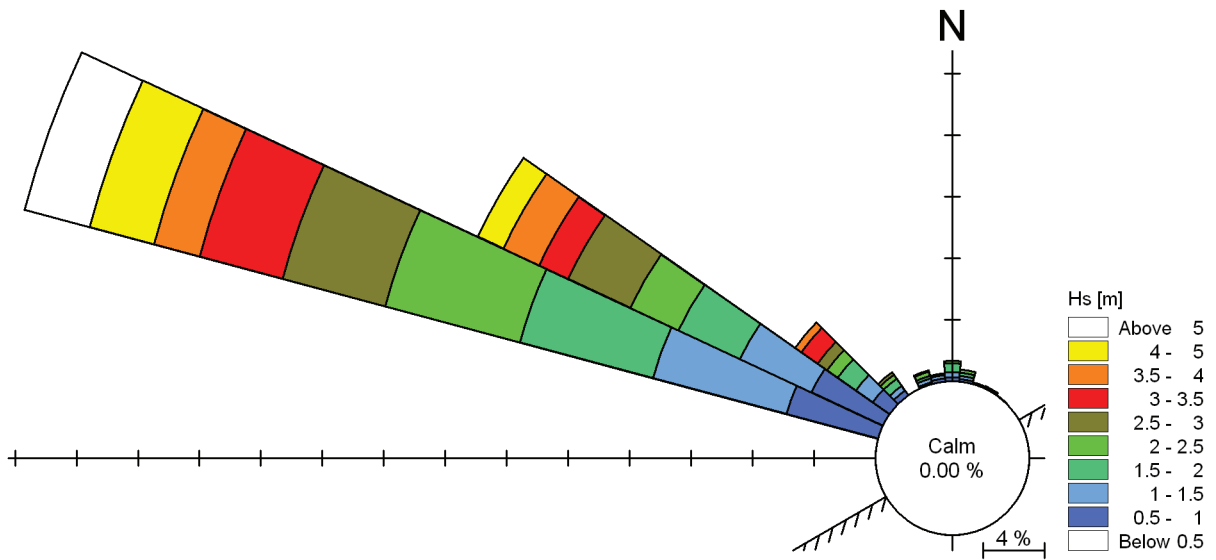


Figura 0.27 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Rometta.

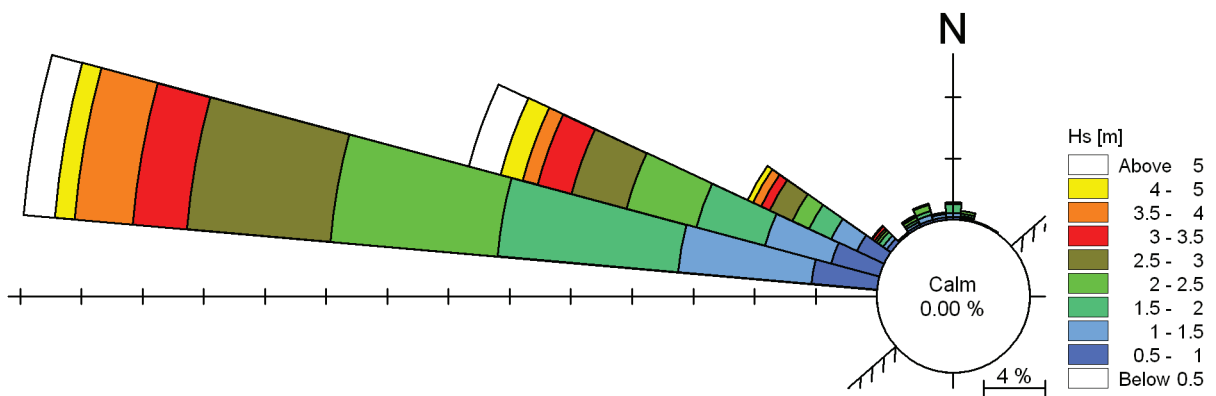


Figura 0.28 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Villafranca Tirrena.

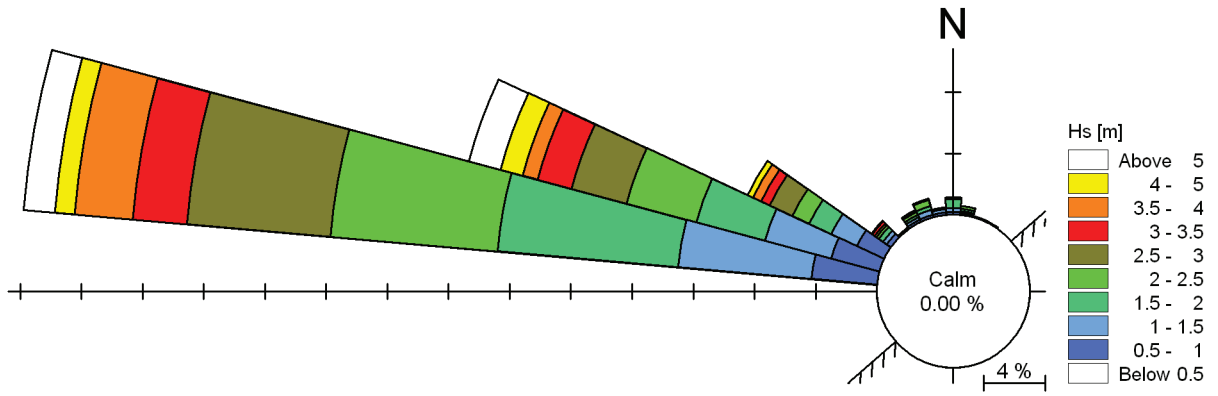


Figura 0.29 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Ortoliuzzo.

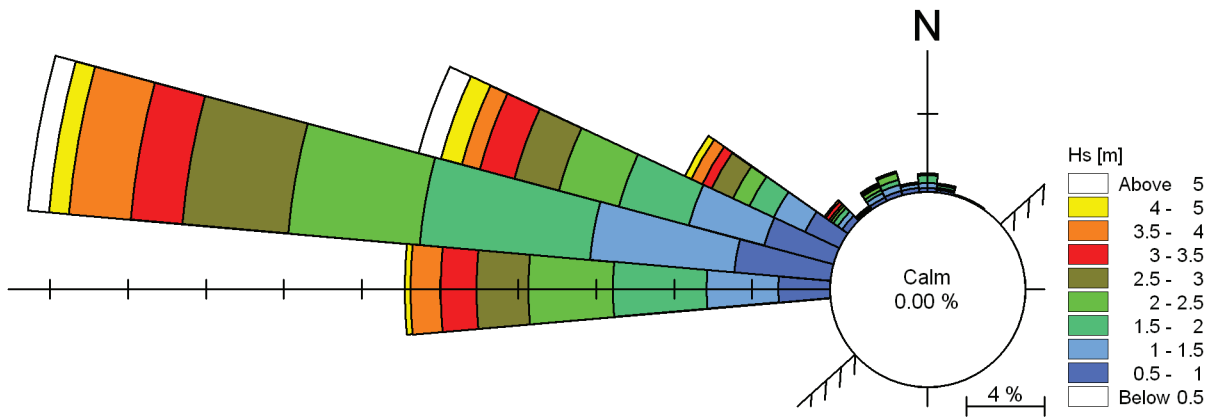


Figura 0.30 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Rodia-Giudeo.

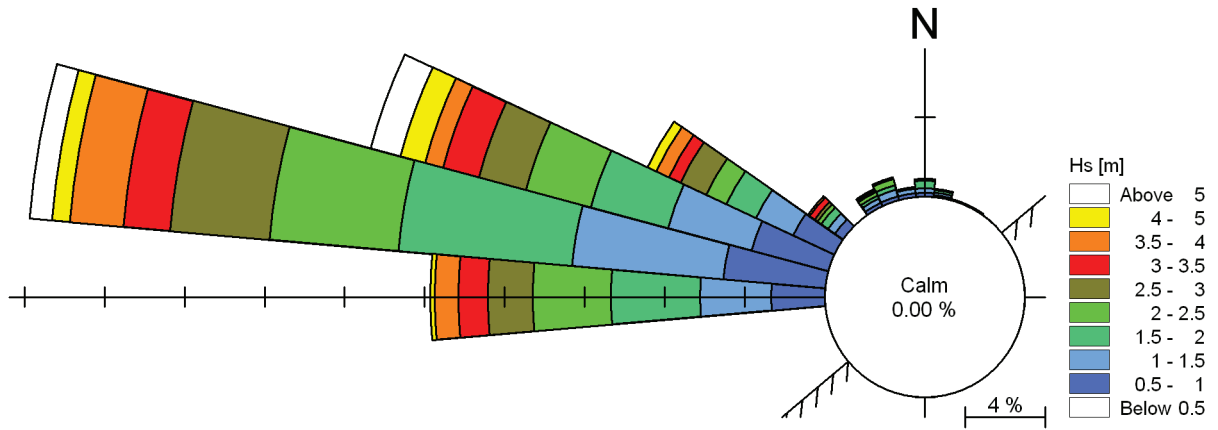


Figura 0.31 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Calamona - Giudeo.

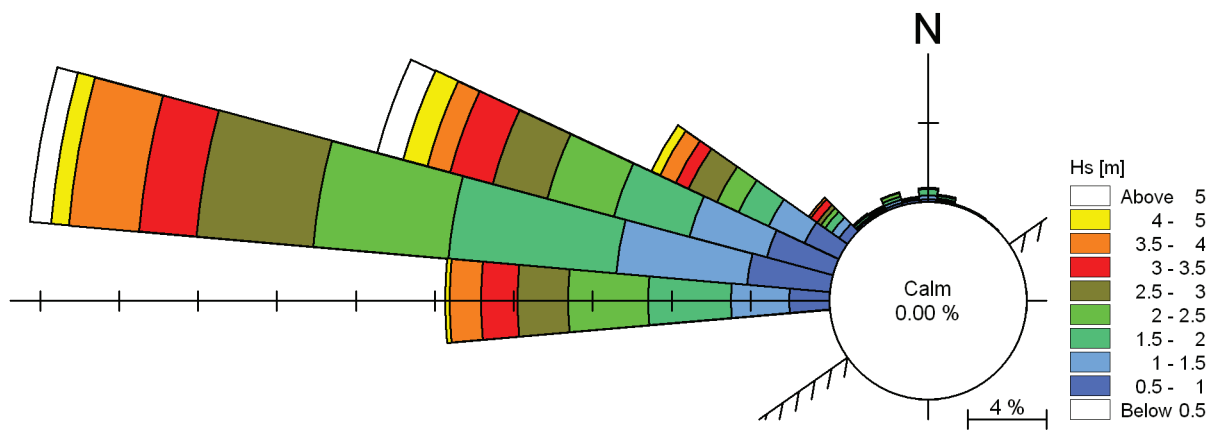


Figura 0.32 Profilo Rosa del trasporto di sedimenti per la località Calamona - Rosocclomo.

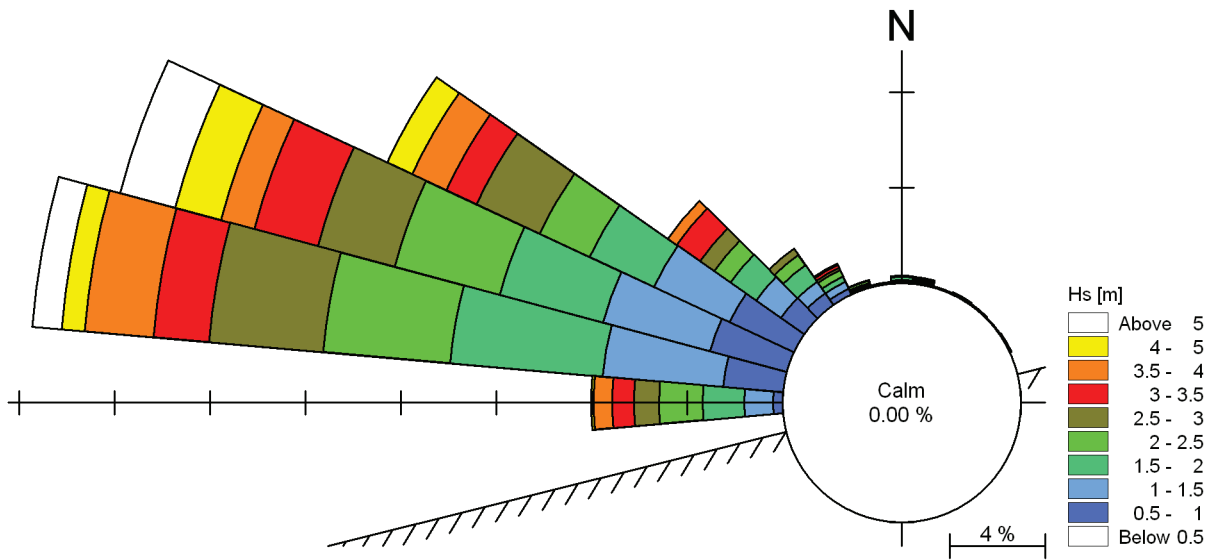


Figura 0.33 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Spartà.

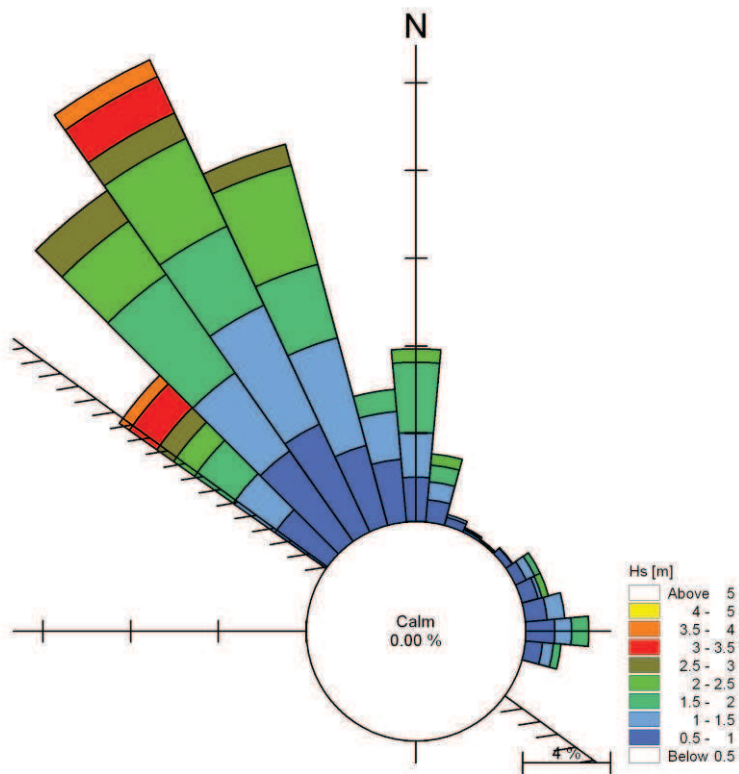


Figura 0.34 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Mezzana - Tono.

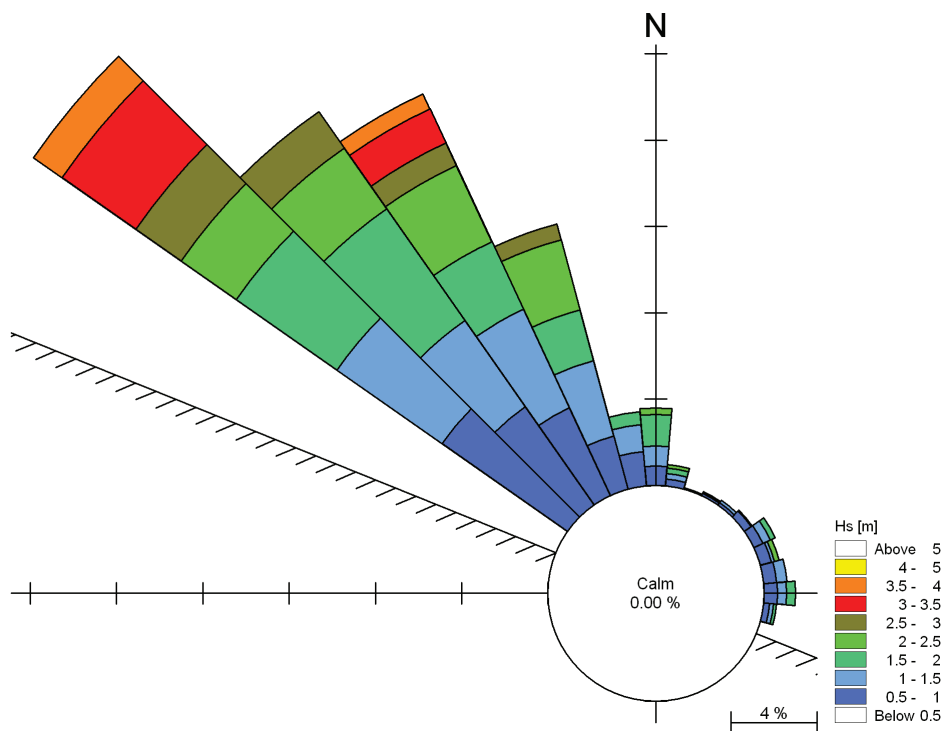


Figura 0.35 Rosa del trasporto di sedimenti per la località Casabianca - Tono.

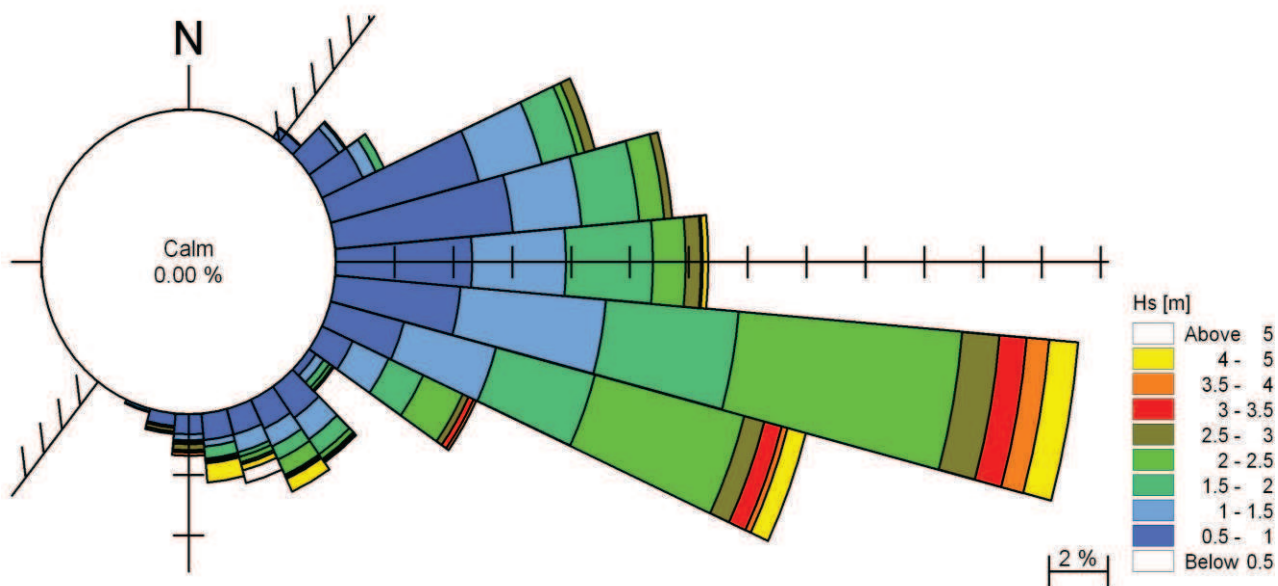


Figura 0.36 Rosa del trasporto di sedimenti per la località S. Alessio.

Il principale output del modello LITDRIFT è rappresentato dall'andamento del trasporto potenziale annuo lungo ciascun profilo di calcolo trasversale alla linea di costa. Tale risultato è mostrato dalla Figura 0.37 alla Figura 0.58 per tutte le località prese in esame, rispettivamente per lo stato attuale e per i profili modificati a seguito del ripascimento artificiale.

I suddetti grafici mostrano che la maggior parte del trasporto litoraneo ha luogo nelle vicinanze della linea di costa, approssimativamente fino ad una profondità di circa 5 metri, quota che rappresenta la profondità limite della fascia "attiva", ovvero la profondità di chiusura.

L'applicazione del modello LITDRIFT consente inoltre la stima del trasporto solido annuo, netto e lordo, cumulato lungo la sezione di calcolo. Tale risultato è stato ottenuto per tutti i tratti di litorale analizzati sia per lo stato attuale sia in presenza di ripascimento, come mostrato in Tabella 0.1. E' possibile evidenziare come in tutti i tratti di litorale ricadenti nella costa Tirrenica (ovvero tutti quelli analizzati ad eccezione di S. Alessio) il trasporto solido netto, diretto verso Est, sia di poco inferiore a quello lordo. Ciò conferma il fatto che gli eventi ondosi che causano il trasporto dei sedimenti verso Ovest sono poco frequenti e poco intensi e sostanzialmente ininfluenti sulla dinamica litoranea locale.

Dalla analisi della variazione del trasporto di sedimenti tra le varie sezioni si evidenzia come a partire dalla località Spadafora e fino a Capo Rasocolmo è presente un graduale incremento della capacità di trasporto litoraneo. Dopo la sconnessione morfologica rappresentata da Capo Rasocolmo, in cui è compresa la località Spartà, l'entità del trasporto potenziale si riduce di circa un ordine di grandezza, ciò però non causa un avanzamento della spiaggia perché il flusso litoraneo è deviato da Capo Rasocolmo. Analizzando infine le ultime due sezioni si ricava di nuovo un aumento del trasporto (di circa il 70%) tra l'una e l'altra località e dunque una evidente tendenza all'erosione.

L'analisi comparativa del trasporto di sedimenti tra lo stato attuale e le sezioni modificate dal ripascimento mostra una riduzione del trasporto solido di circa il 20% per tutte le sezioni della costa tirrenica, in cui è previsto ripascimento libero, a causa del fatto che è aumentato il diametro medio dei sedimenti. Tale risultato non implica una controtendenza nelle evidenziate tendenze morfodinamiche locali ma fornisce una evidenza della maggiore stabilità del litorale a seguito del ripascimento.

Tale risultato è confermato dai risultati ottenuti dalla valutazione del coefficiente di ripascimento (James, 1974). In particolare, come è possibile osservare dalla Figura 0.59, i sedimenti che costituiscono il ripascimento determineranno la realizzazione di una spiaggia stabile, anche in relazione al maggiore diametro medio dei sedimenti utilizzati per il ripascimento.

Un discorso a parte meritano i risultati del trasporto di sedimenti per il litorale di S. Alessio, mostrati in Figura 0.60 per lo stato attuale ed in Figura 0.61 per lo stato modificato dal ripascimento a tergo della scogliera soffolta esistente, da cui si evince che il trasporto medio annuo di sedimenti è diretto verso Sud-Ovest. Tale trasporto afferisce alla parte centrale e Settentrionale del litorale che risulta essere maggiormente rettilineo e che ha direzione perpendicolare alla costa formante un angolo di 128° con il Nord.

Nei tratti più a Sud, invece, l'orientazione perpendicolare alla costa si riduce fino a portarsi prossima a 100°N in vicinanza di Capo S. Alessio e per tale motivo in questa zona la direzione del trasporto si inverte, essendo le direzioni comprese tra 100 e 120°N quelle in cui si concentra maggiormente l'energia del moto ondoso.

Nel caso specifico, inoltre, il diametro medio dei sedimenti provenienti dagli scavi delle opere per il ponte (stimato pari a 1,7mm) è di poco superiore alla dimensione media dei sedimenti presenti nella zona, di conseguenza la stabilità del ripascimento non è elevata, anche se in questo caso il piede del ripascimento è protetto dalla scogliera e pertanto si ha un effetto di ulteriore stabilità "non naturale" di cui è difficile tenere conto con gli strumenti utilizzati.

In tale contesto bisogna considerare in modo adeguato i risultati mostrati in Tabella 0.1, afferenti S. Alessio, riguardanti l'entità del trasporto di sedimenti: in questo caso, infatti, il ripascimento causa una notevole diminuzione della profondità del fondale, che dunque risulta essere maggiormente soggetto ai marosi rispetto allo stato attuale e di conseguenza l'entità del trasporto aumenta ed il

fondale con ripascimento risulta essere meno stabile rispetto alla condizione esistente ma al contempo fornisce un'importante protezione delle opere antropiche presenti lungo il litorale.

Tabella 0.1 Trasporto potenziale annuo di sedimenti per tutti i profili rappresentativi dei tratti di spiaggia analizzati. Condizioni di stato attuale e di stato modificato dal ripascimento.

Località	Stato attuale		Profilo di ripascimento	
	Trasporto netto [m ³ /anno]	Trasporto lordo [m ³ /anno]	Trasporto netto [m ³ /anno]	Trasporto lordo [m ³ /anno]
Valdina	53.348	57.494	43.536	47.038
Spadafora	43.379	49.208	34.142	38.938
Rometta	81.411	88.468	69.554	75.479
Villafranca Tirrena	85.194	92.410	70.350	76.342
Ortoliuazzo	166.730	184.552	113.776	126.109
Rodia-Giudeo	146.685	161.734	119.377	131.013
Calamona-Giudeo	121.157	132.254	112.011	121.794
Calamona-Rasocolmo	197.030	208.001	140.175	148.320
Spartà	150.087	153.582	132.681	135.578
Mezzana-Tono	11.041	13.572	7.790	9.741
Casa Bianca - Tono	18.766	21.393	13.750	15.483
S. Alessio	11.146	15.678	21.536	30.686

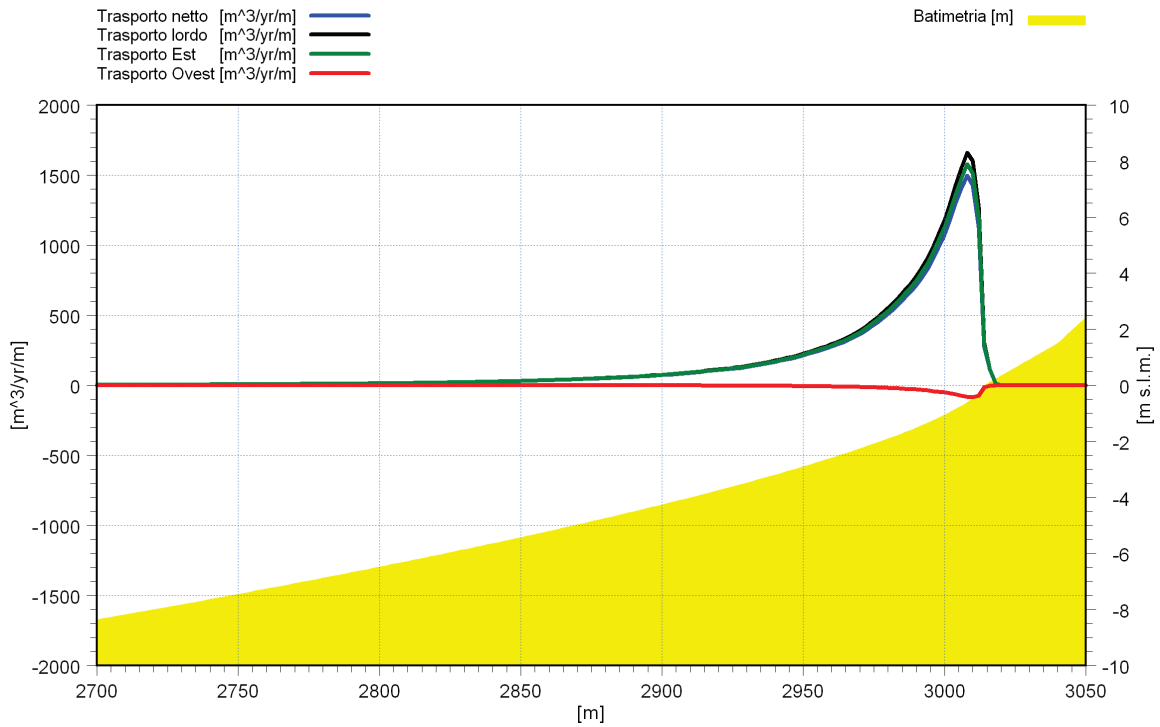


Figura 0.37 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Valdina. Stato attuale.

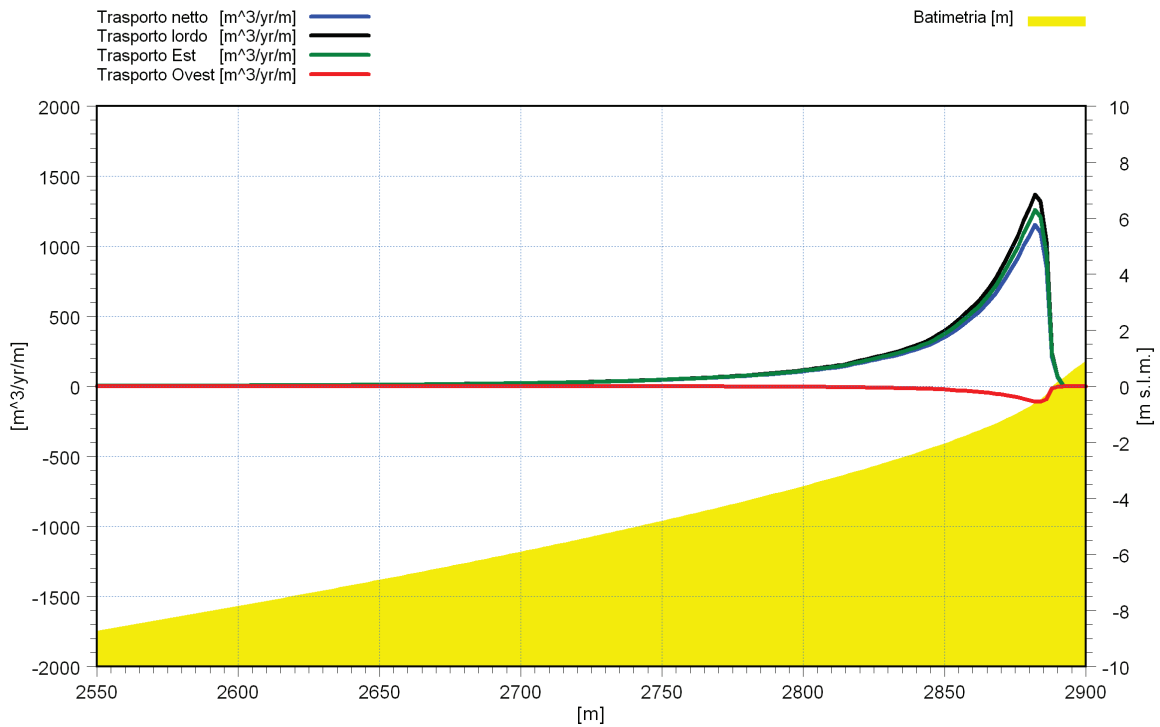


Figura 0.38 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Spadafora. Stato attuale.

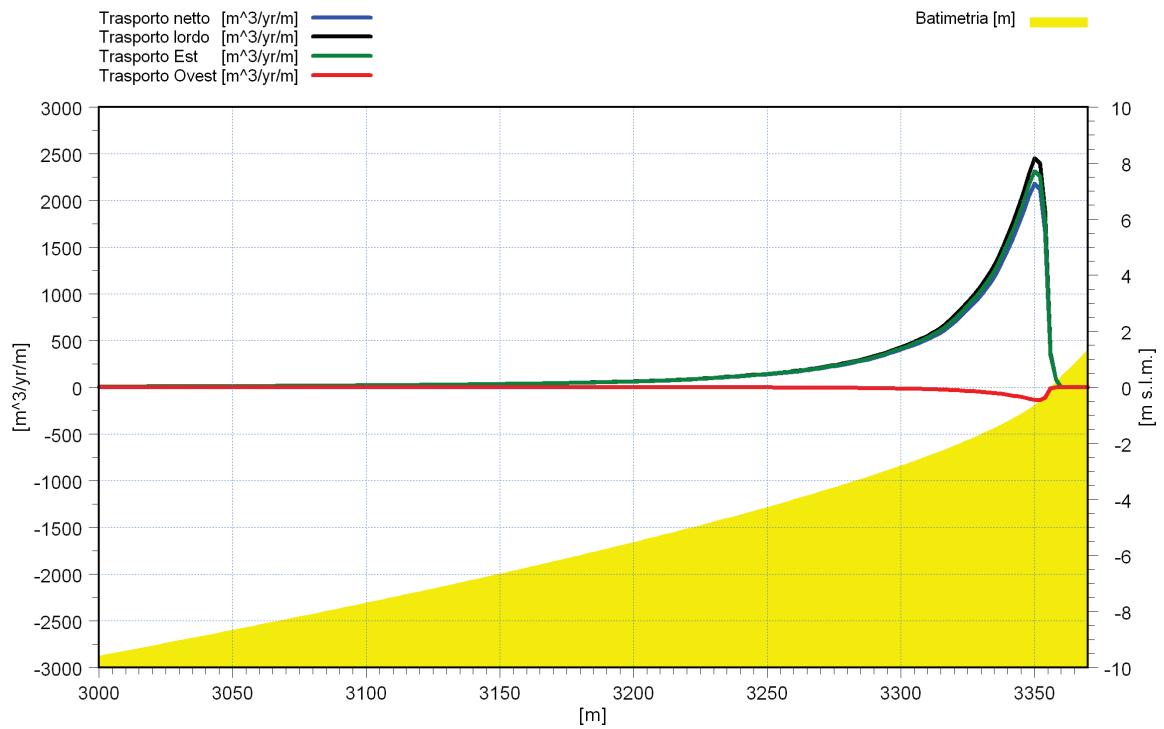


Figura 0.39 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Rometta. Stato attuale.

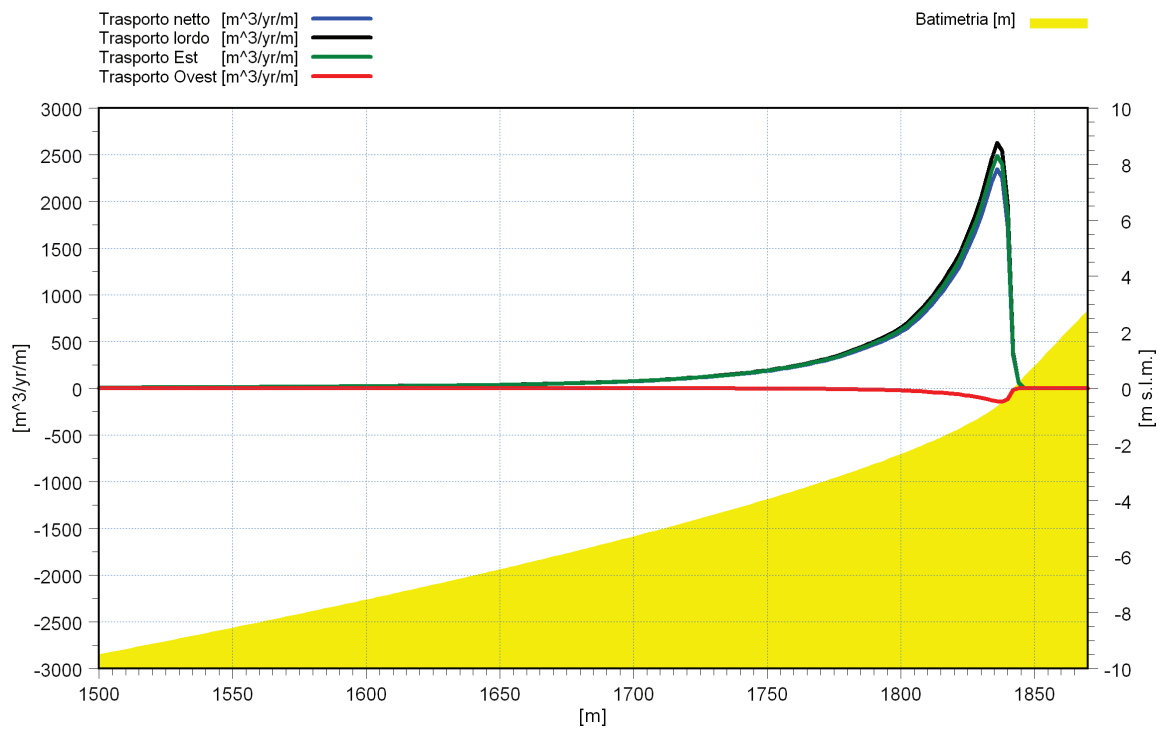


Figura 0.40 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Villafranca Tirrena. Stato attuale.

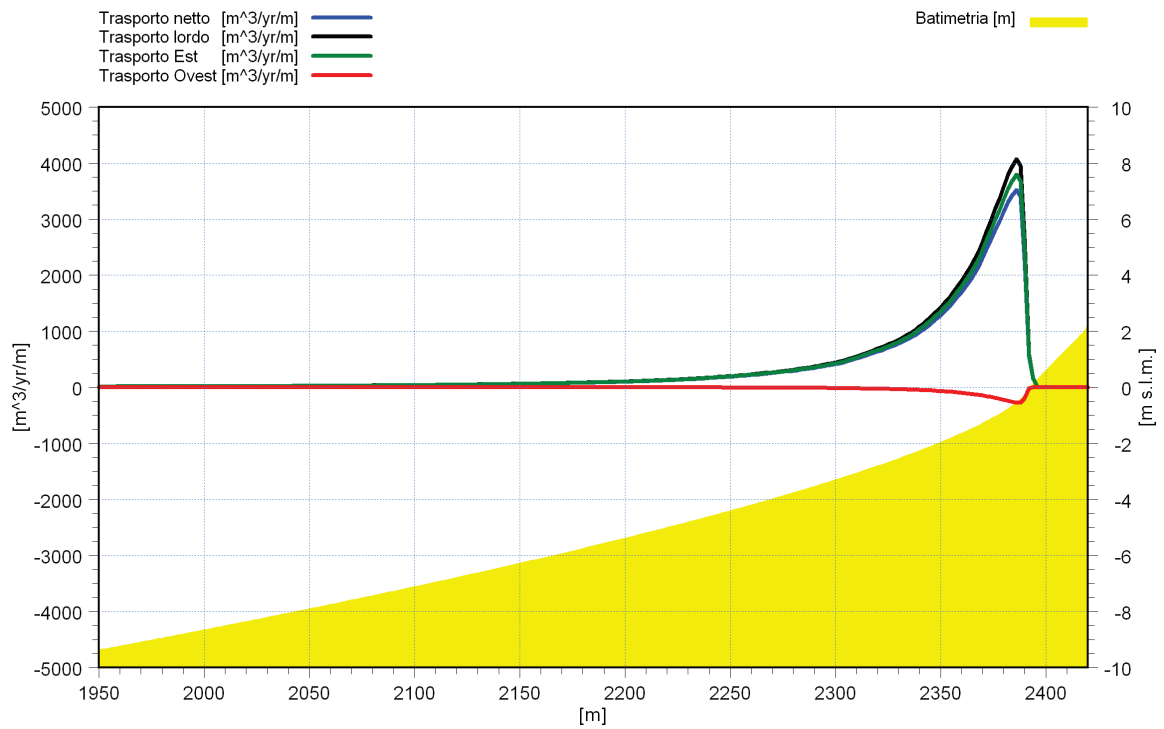


Figura 0.41 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Ortoliuzzo. Stato attuale.

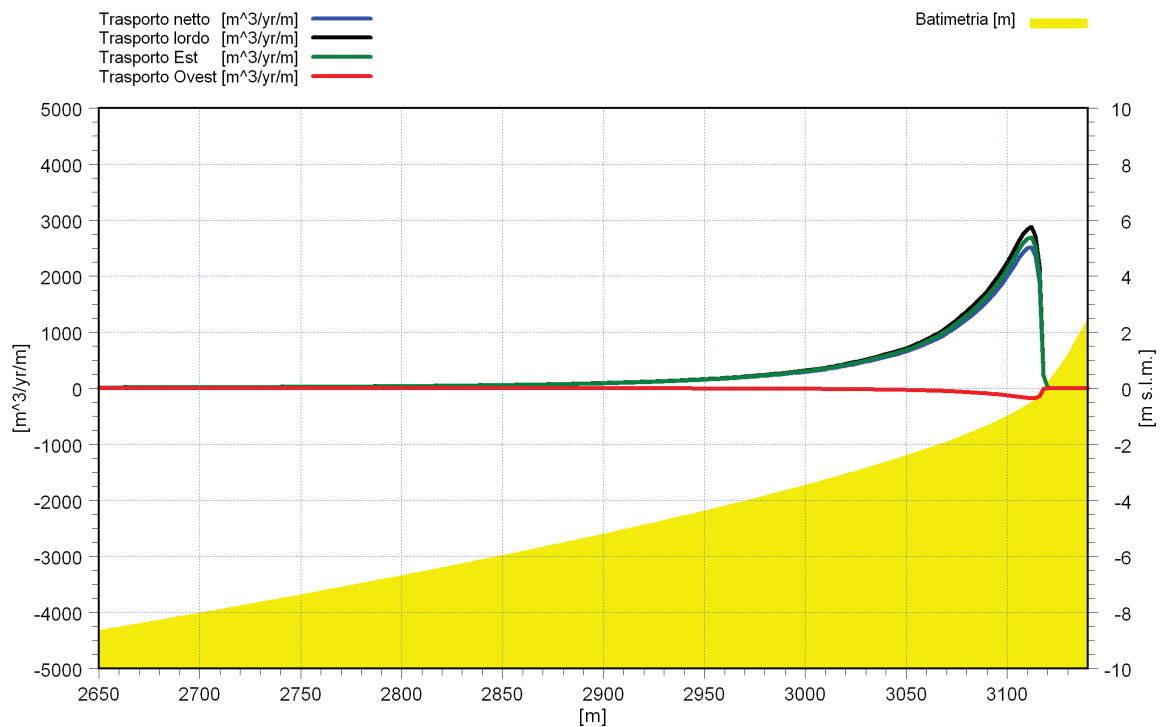


Figura 0.42 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Rodia-Giudeo. Stato attuale.

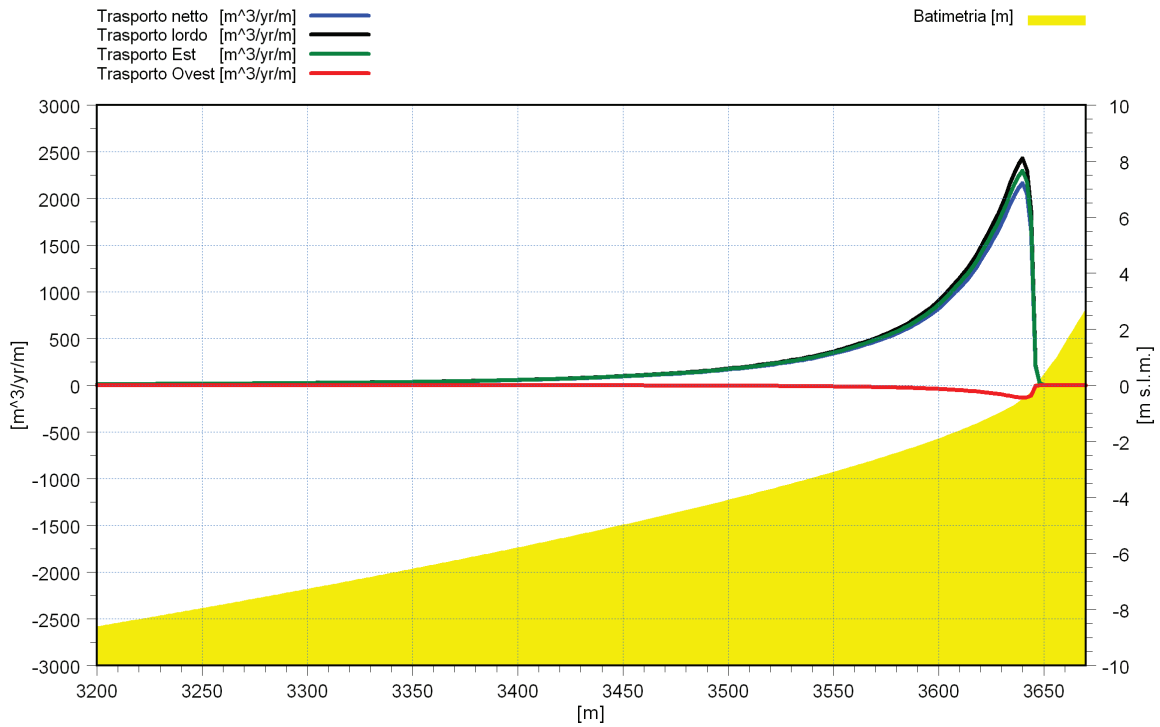


Figura 0.43 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Calamona - Giudeo. Stato attuale.

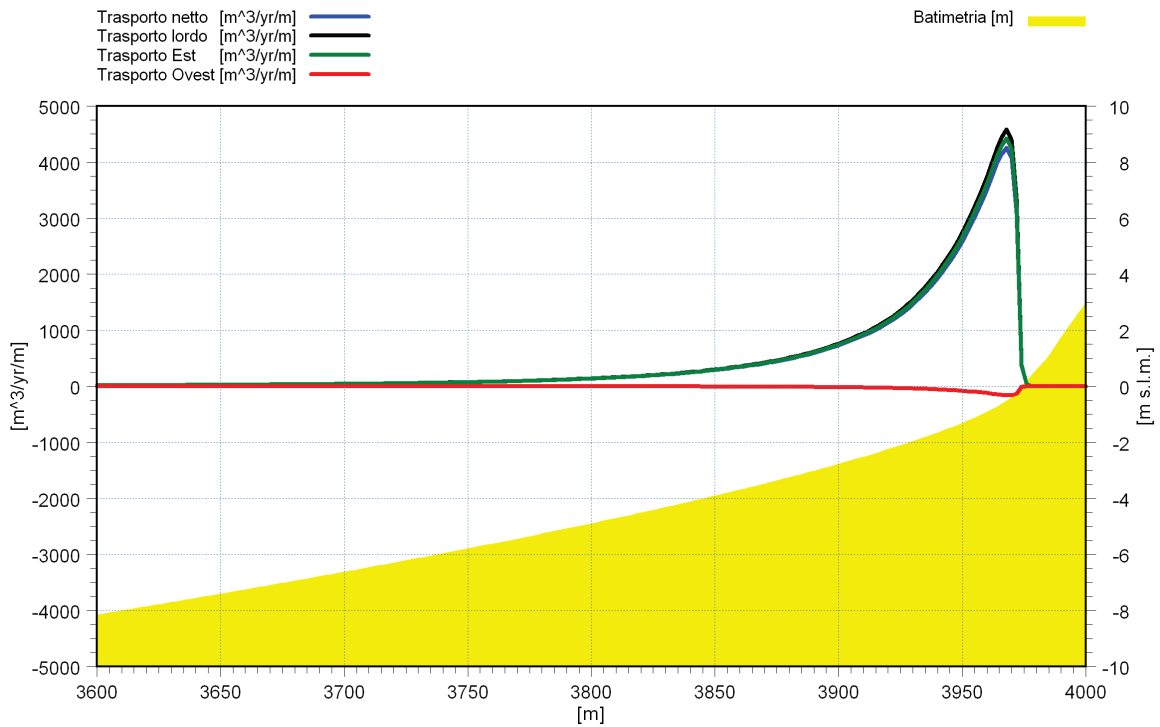


Figura 0.44 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Calamona - Rosocloro. Stato attuale.

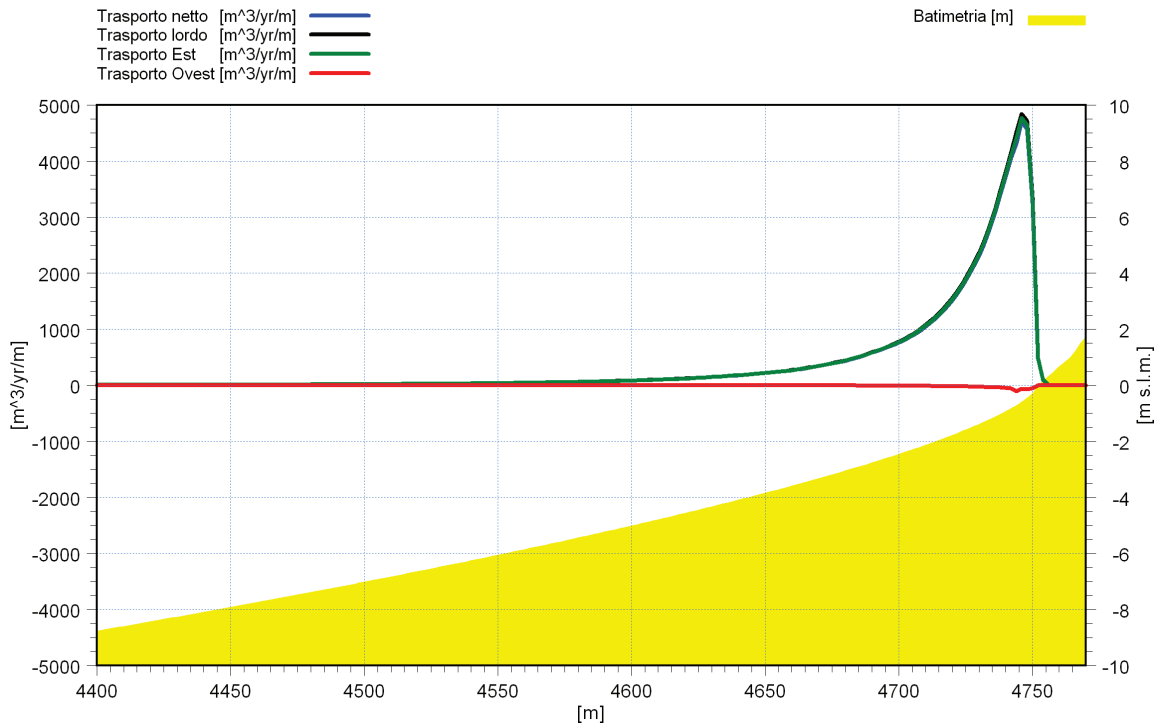


Figura 0.45 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Spartà. Stato attuale.

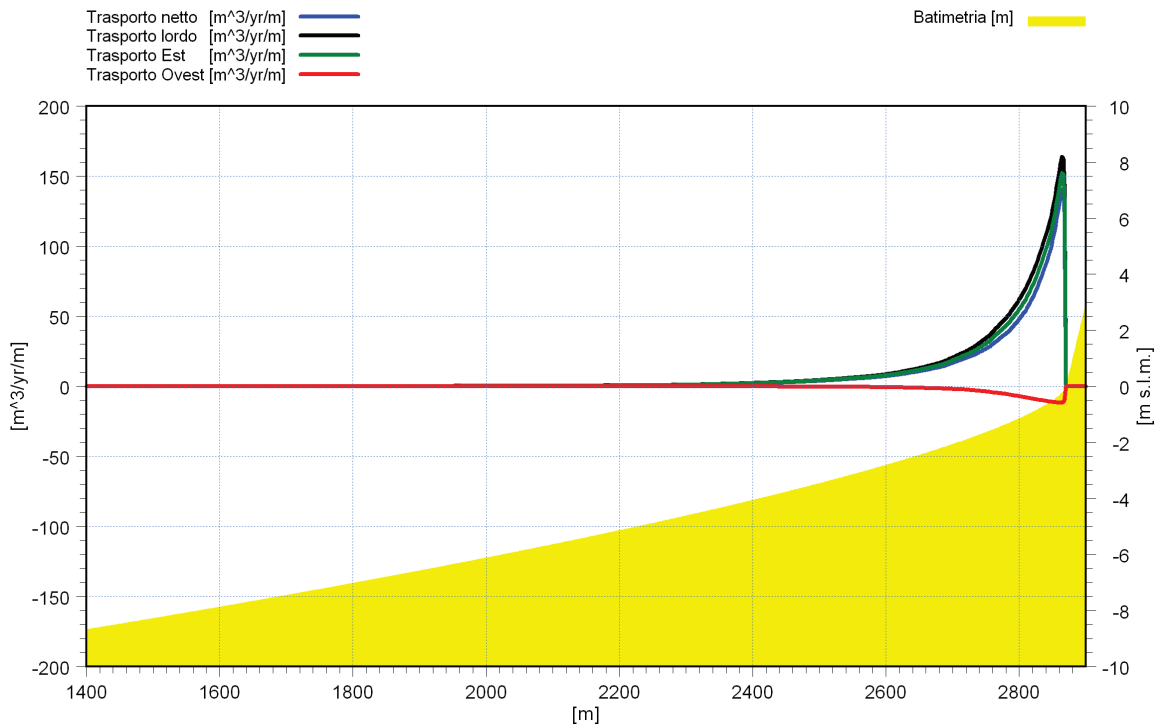


Figura 0.46 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Mezzana - Tono. Stato attuale.

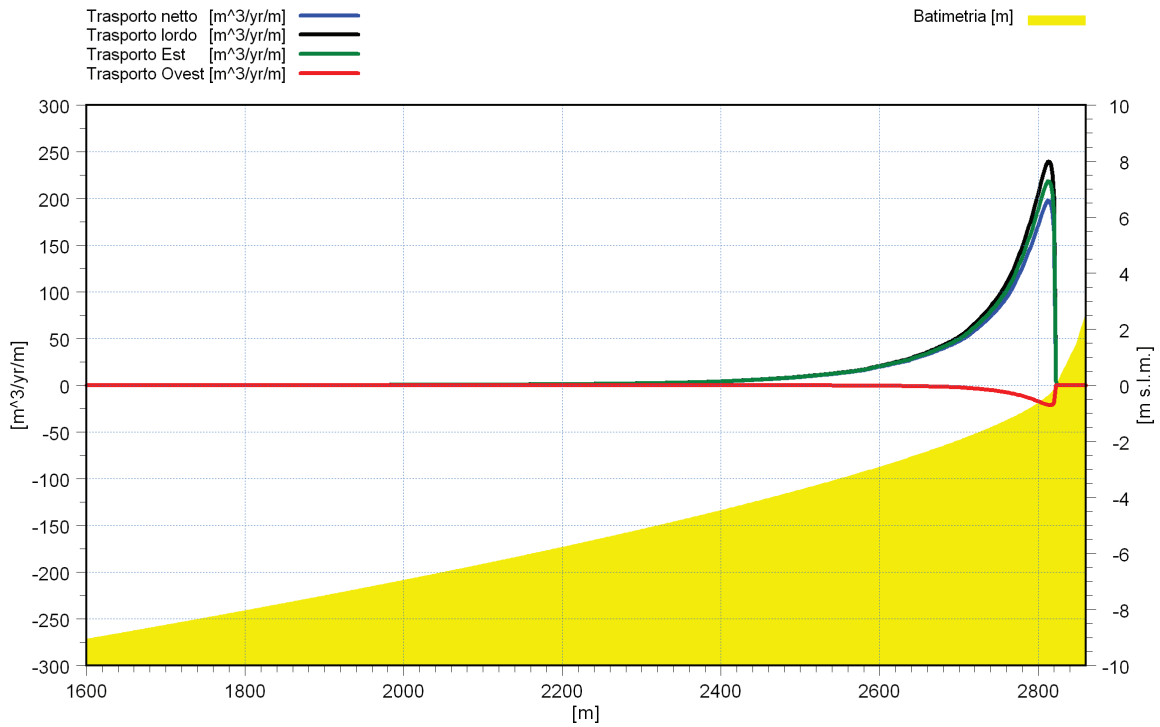


Figura 0.47 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Casabianca - Tono. Stato attuale.

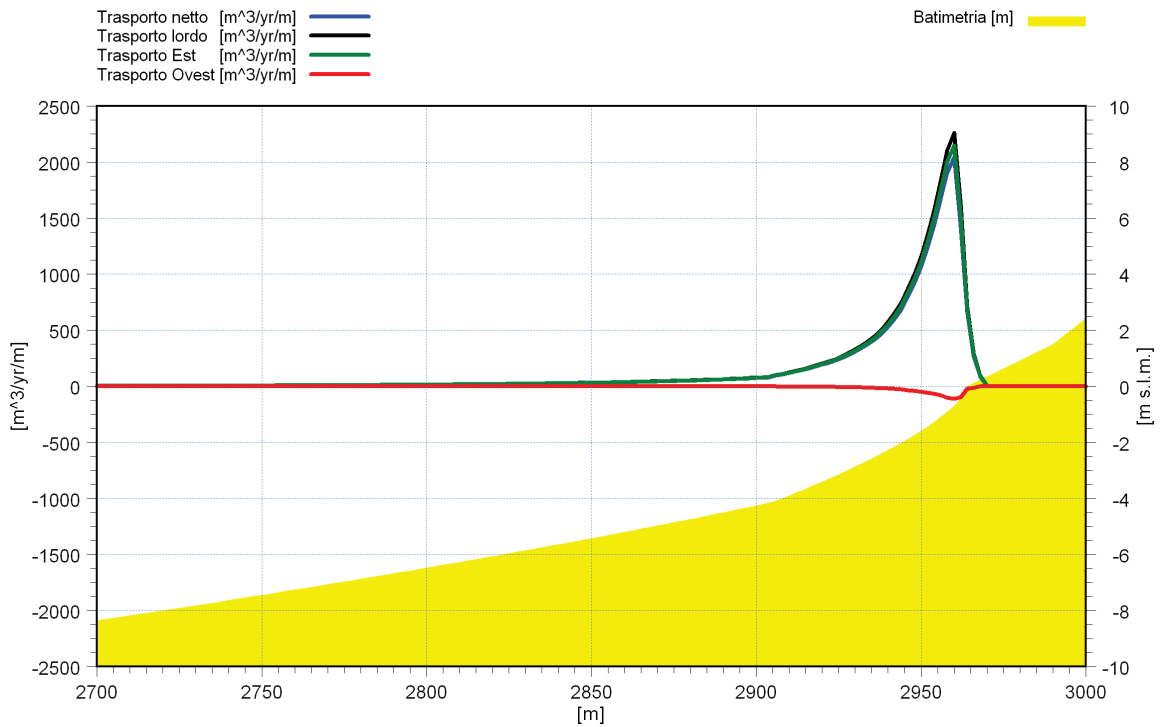


Figura 0.48 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Valdina. Stato modificato dal ripascimento.

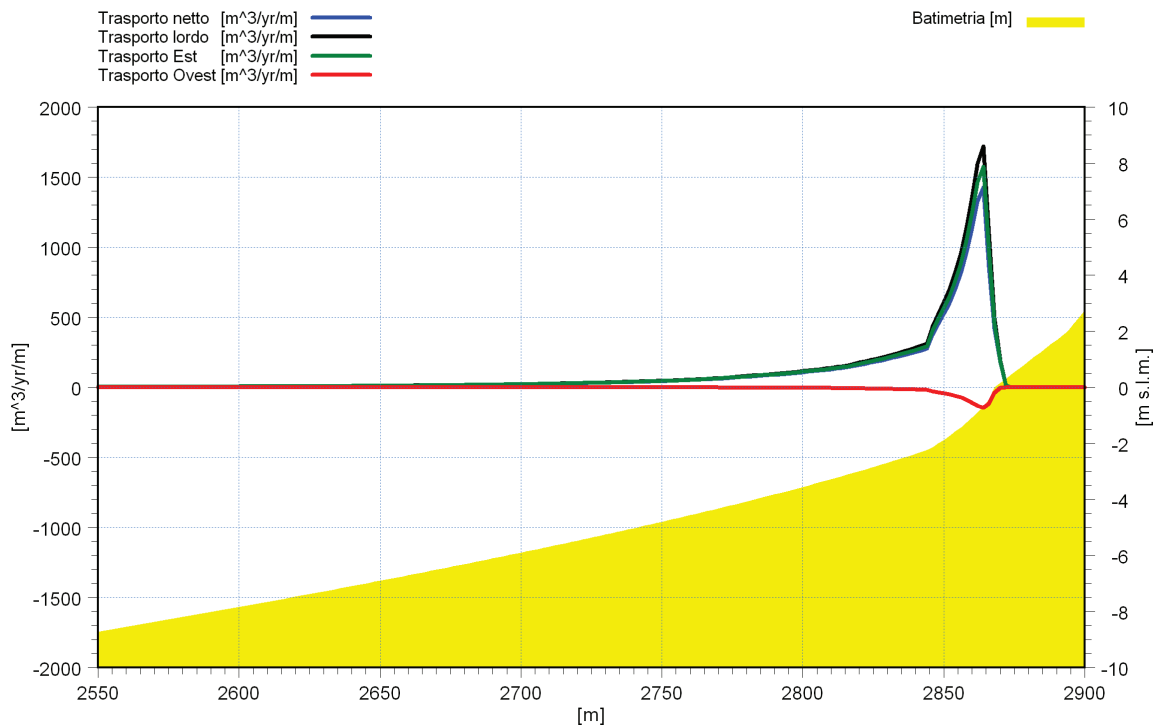


Figura 0.49 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Spadafora. Stato modificato dal ripascimento.

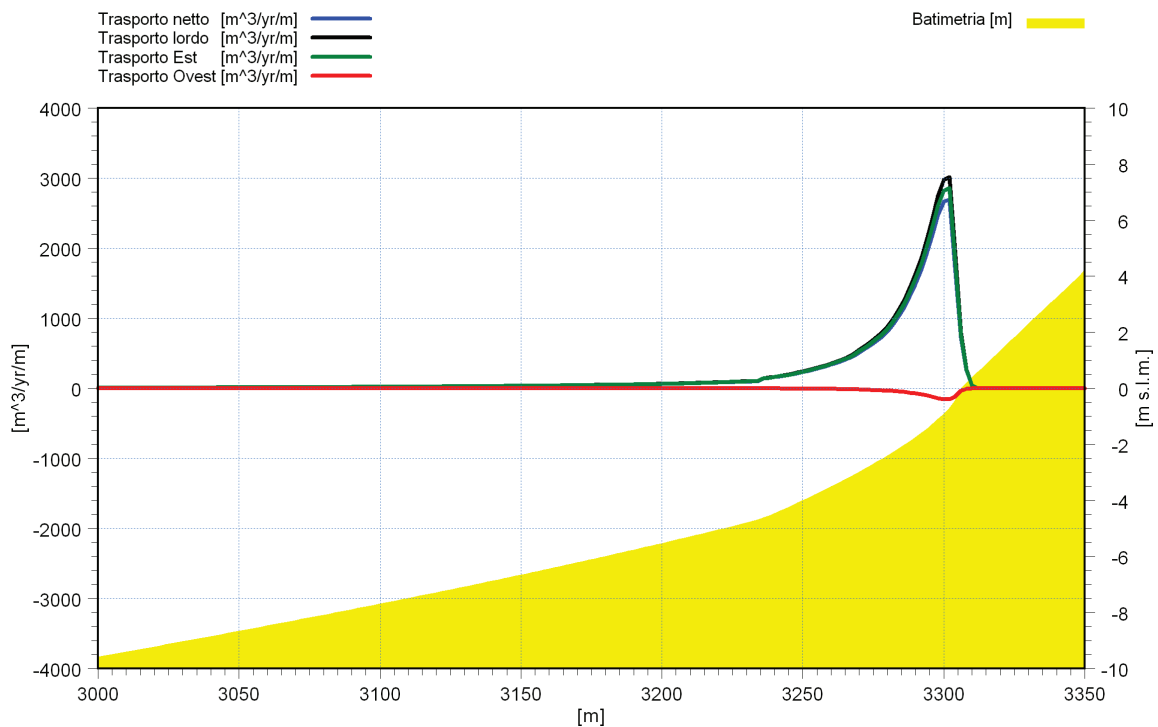


Figura 0.50 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Rometta. Stato modificato dal ripascimento.

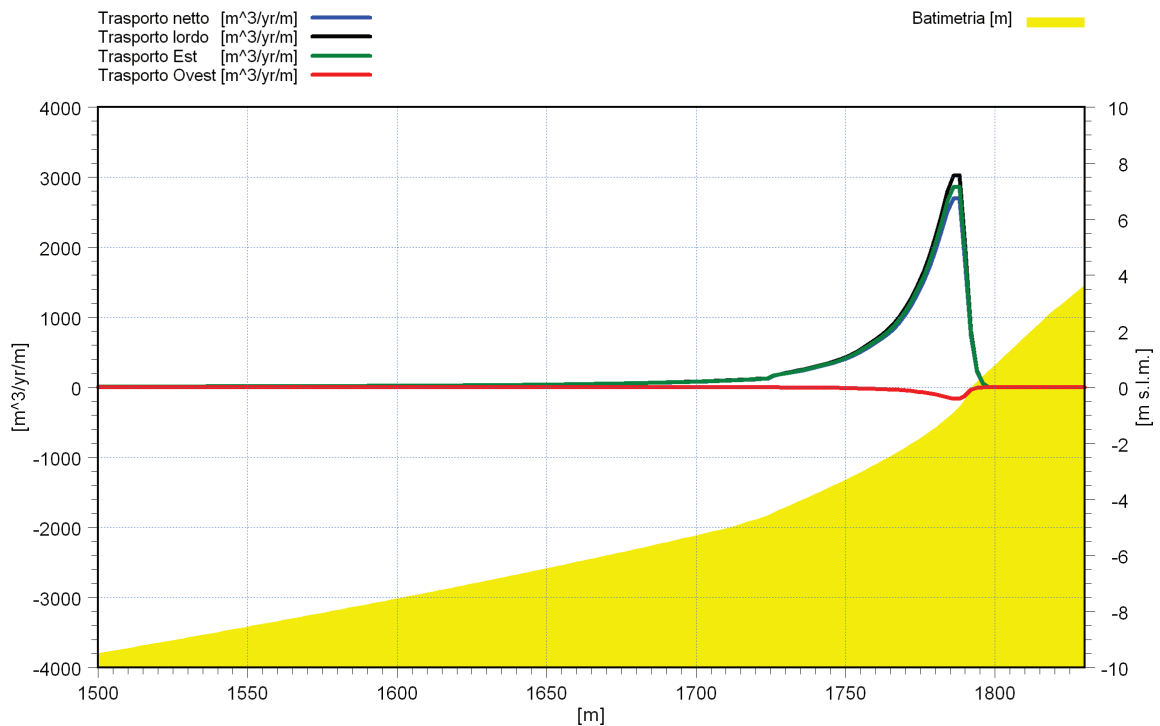


Figura 0.51 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Villafranca Tirrena. Stato modificato dal ripascimento.

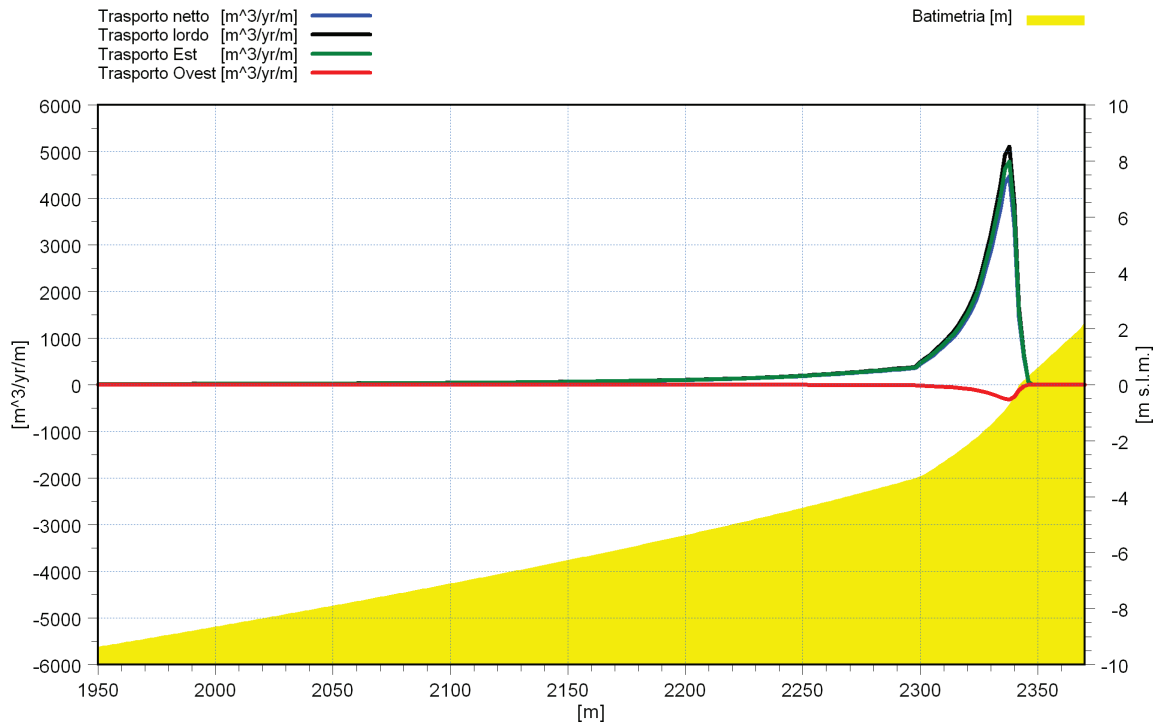


Figura 0.52 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Ortoliuzzo. Stato modificato dal ripascimento.

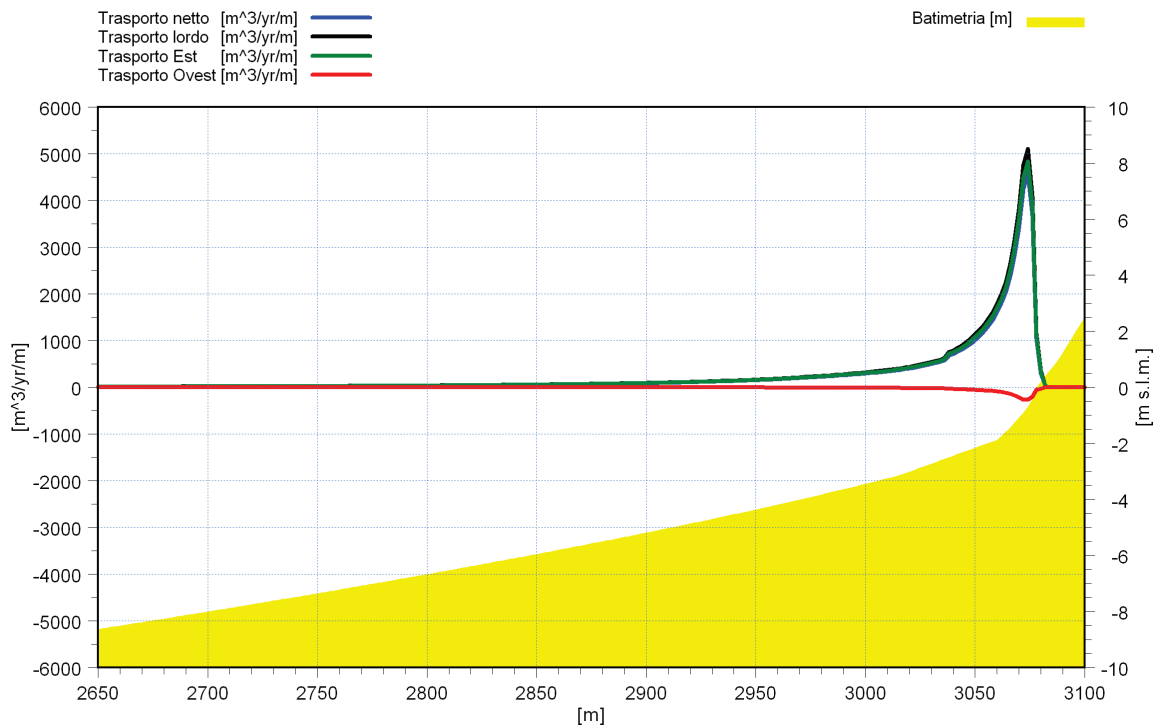


Figura 0.53 Profilo trasversale e caratteristiche dei sedimenti rappresentativi della località Rodia-Giudeo. Stato modificato dal ripascimento.

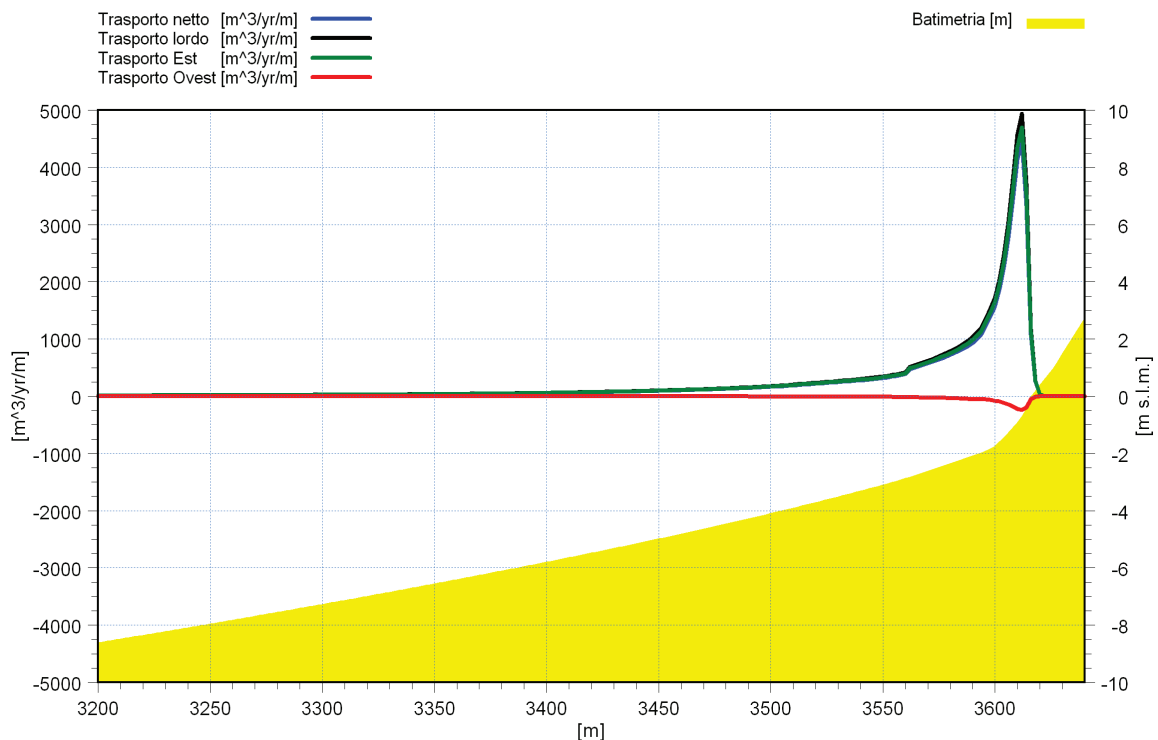


Figura 0.54 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Calamona - Giudeo. Stato modificato dal ripascimento.

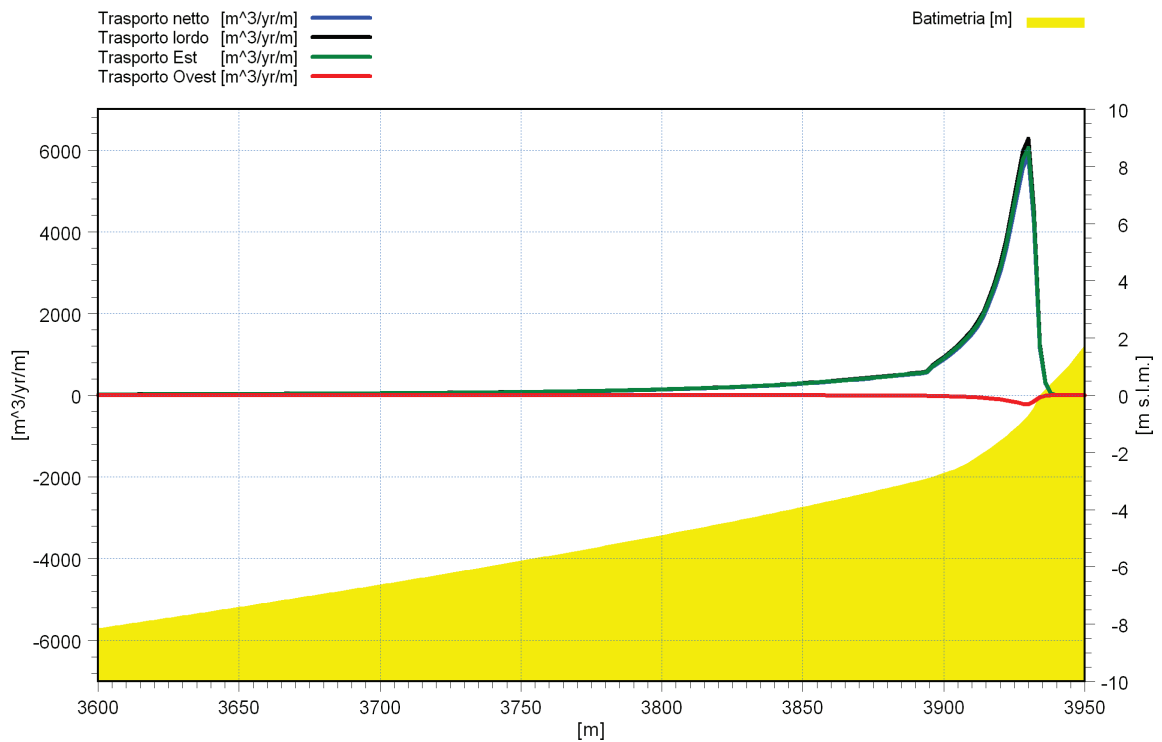


Figura 0.55 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Calamona - Rosocloro. Stato modificato dal ripascimento.

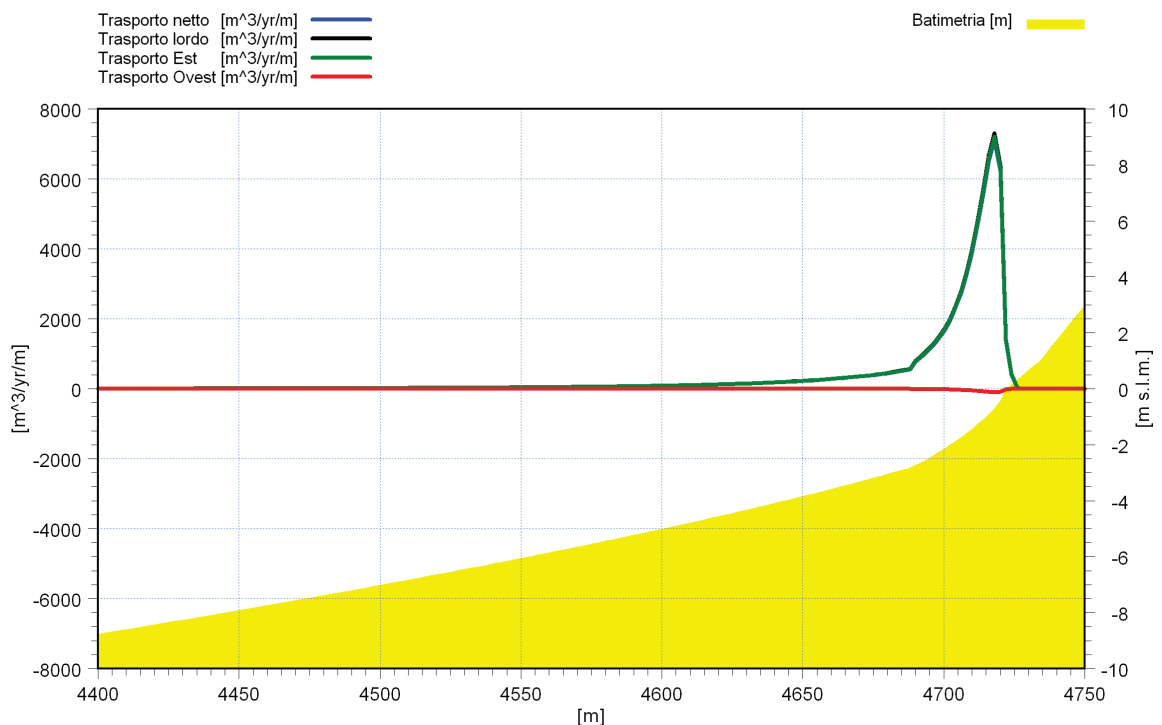


Figura 0.56 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Spartà. Stato modificato dal ripascimento.

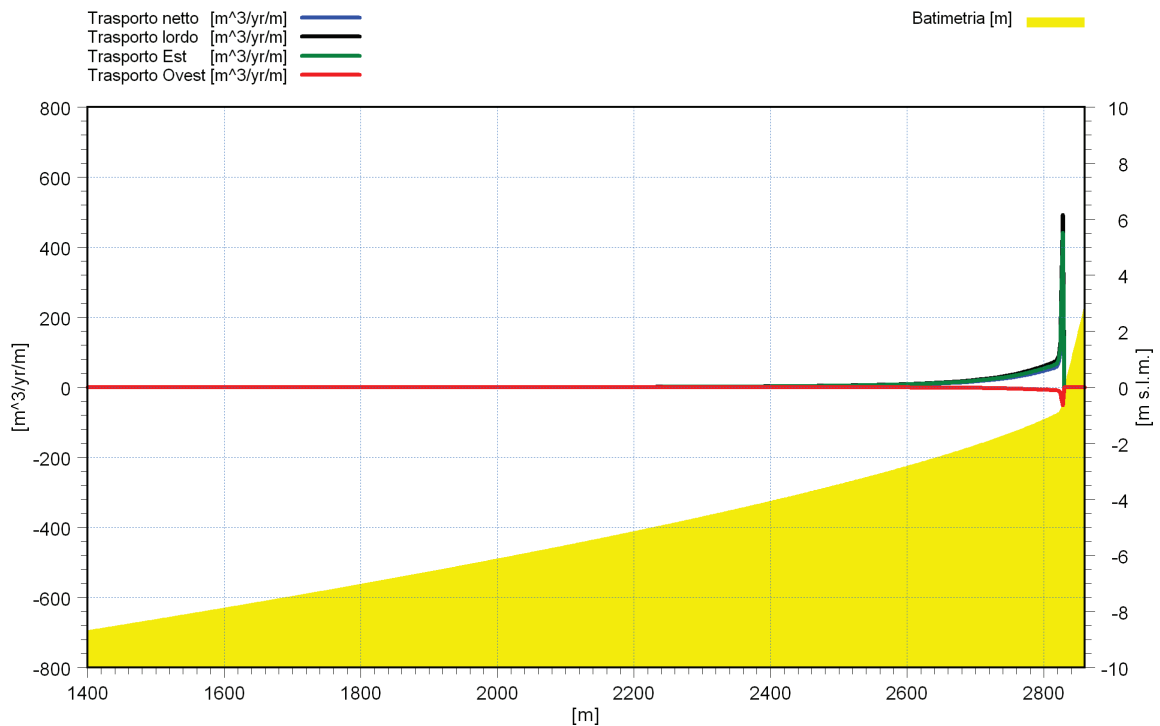


Figura 0.57 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Mezzana - Tono. Stato modificato dal ripascimento.

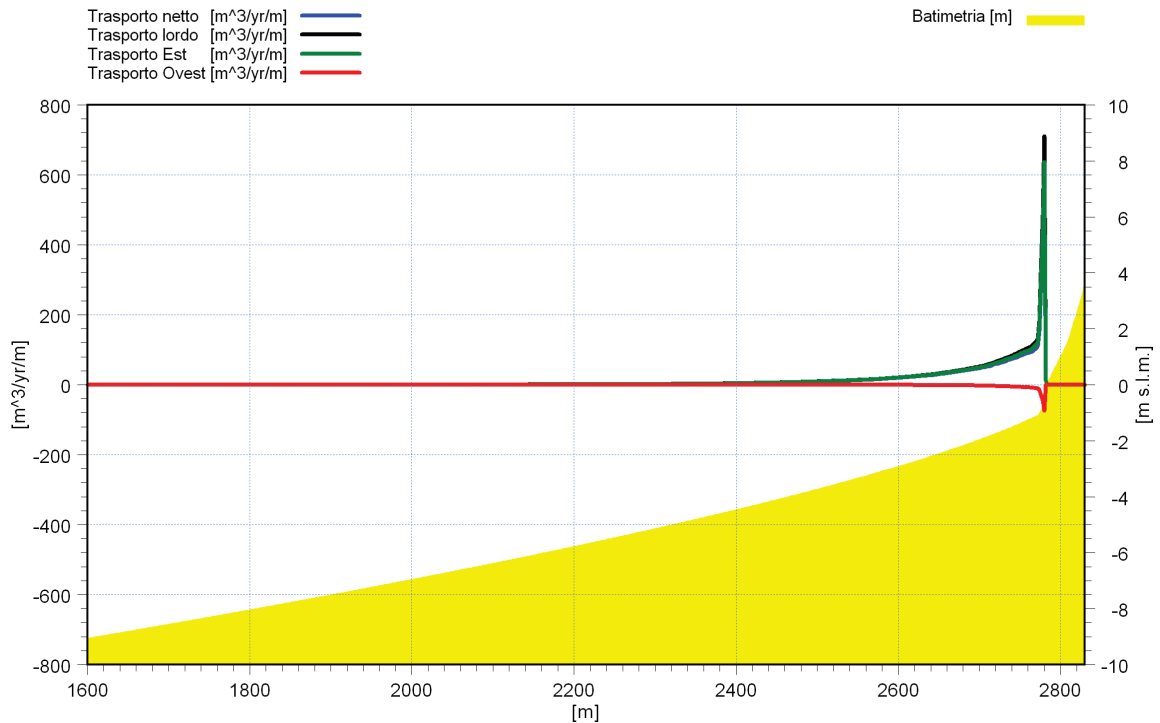


Figura 0.58 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località Casabianca - Tono. Stato modificato dal ripascimento.

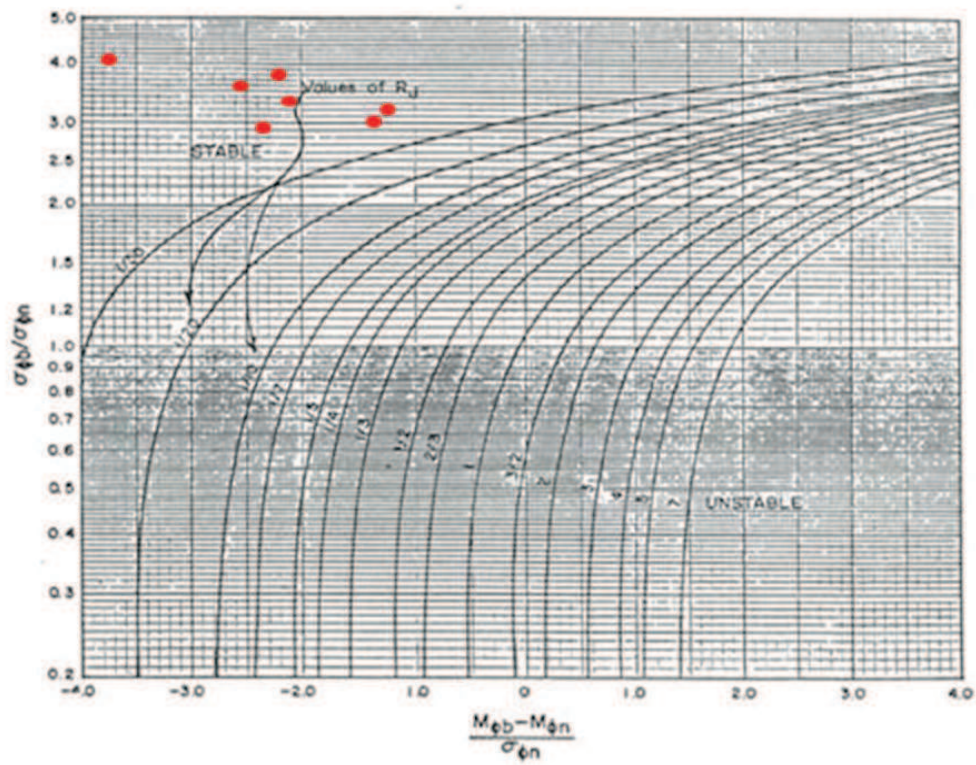


Figura 0.59 Valutazione del coefficiente di ripascimento per i siti del litorale tirrenico.

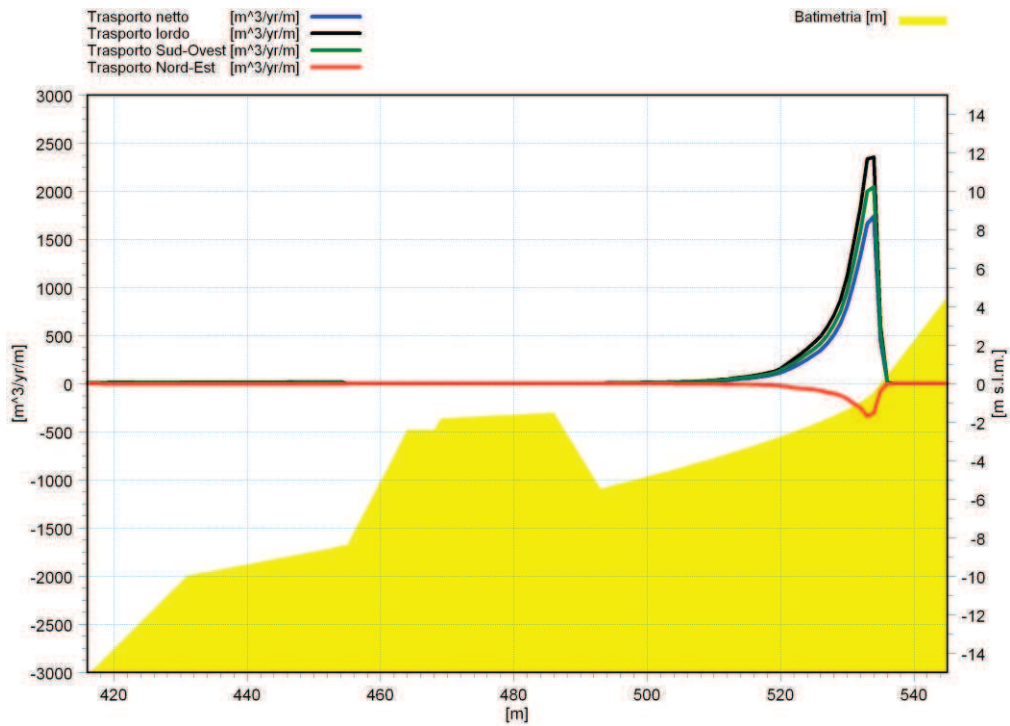


Figura 0.60 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località S. Alessio.

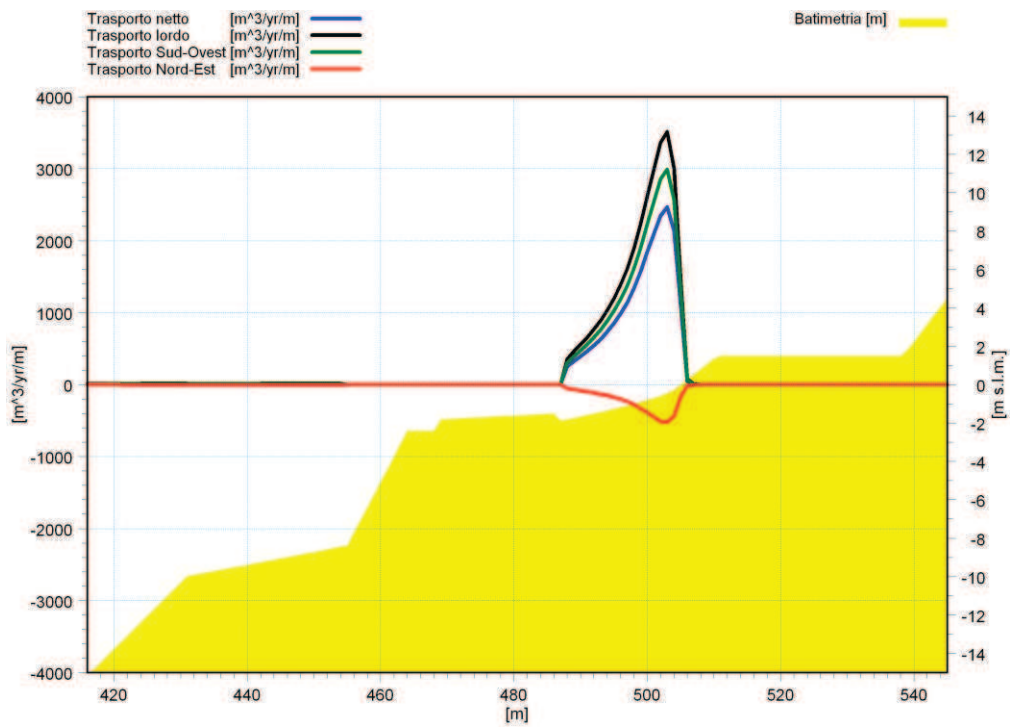


Figura 0.61 Distribuzione del trasporto annuo di sedimenti su un profilo cross-shore per la località S. Alessio. Stato modificato dal ripascimento.

Interferenze tra i ripascimenti ed aree ad elevato valore ambientale lungo il litorale tirrenico della provincia di Messina da Valdina a Capo Peloro

1.22 Generalità

Il versamento artificiale di sabbia lungo la costa può avere interferenze con aree ad elevato valore ambientale. In particolare, come anche evidenziato dai riferimenti normativi precedentemente citati, è necessario verificare in primo luogo che le operazioni di ripascimento non interferiscano con praterie erbose sottomarine; è altresì fondamentale valutare gli impatti sui beni culturali, storici e archeologici. Il presente capitolo riporta una individuazione preliminare sia delle praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa che dei siti di interesse comunitario (SIC) nel tratto tirrenico ove sono stati ipotizzati interventi di ripascimento.

1.23 Individuazione preliminare delle praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa

Gli interventi di ripascimento artificiale possono avere importanti impatti sulle biocenosi marine. Di particolare rilevanza lungo le coste della Sicilia è la presenza di Posidonia oceanica e Cymodocea Nodosa, piante acquatiche endemiche del Mar Mediterraneo, appartenente alla famiglia delle Posidoniacee. Hanno caratteristiche simili alle piante terrestri, presentando radici, rizomi e foglie nastriformi lunghe fino ad un metro e unite in ciuffi. Formano delle praterie sottomarine che hanno una notevole importanza ecologica, costituendo la comunità climax del mar Mediterraneo ed esercitando una notevole azione nella protezione della linea di costa dall'erosione. Al suo interno vivono molti organismi animali e vegetali che nella prateria trovano nutrimento e protezione. Gli interventi di ripascimento possono significativamente alterare l'habitat di tale vegetazione attraverso ad esempio l'incremento della torbidità delle acque, soprattutto in fase di realizzazione del ripascimento.

Per tale ragione risulta importante individuare in modo accurato tale vegetazione.

Una prima individuazione preliminare, compatibile con gli scopi del presente studio, può essere svolta utilizzando i dati dello studio "Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sicilia e delle isole minori circostanti" condotto dal Ministero dell'Ambiente – Servizio Difesa del Mare il tratto di litorale.

Come illustrato nella Figura 0.1, nei fondali prospicienti il tratto di costa di interesse, sono state individuate praterie a Cymodocea Nodosa lungo il tratto di spiaggia compresa tra la foce della fiumara di Niceto e Capo Rasocolmo, una prateria a Posidonia Oceanica su matte immediatamente a ovest di Capo Rasocolmo e alcune piccole praterie di Posidonia su sabbia a Nord di Capo Rasocolmo.

Le praterie sono localizzate a profondità superiori a 5 m e presentano un limite inferiore di tipo progressivo su fondo sabbioso o su *matte* morta o su substrato grossolano che varia dalla profondità di 33 m a quella di 38 m.

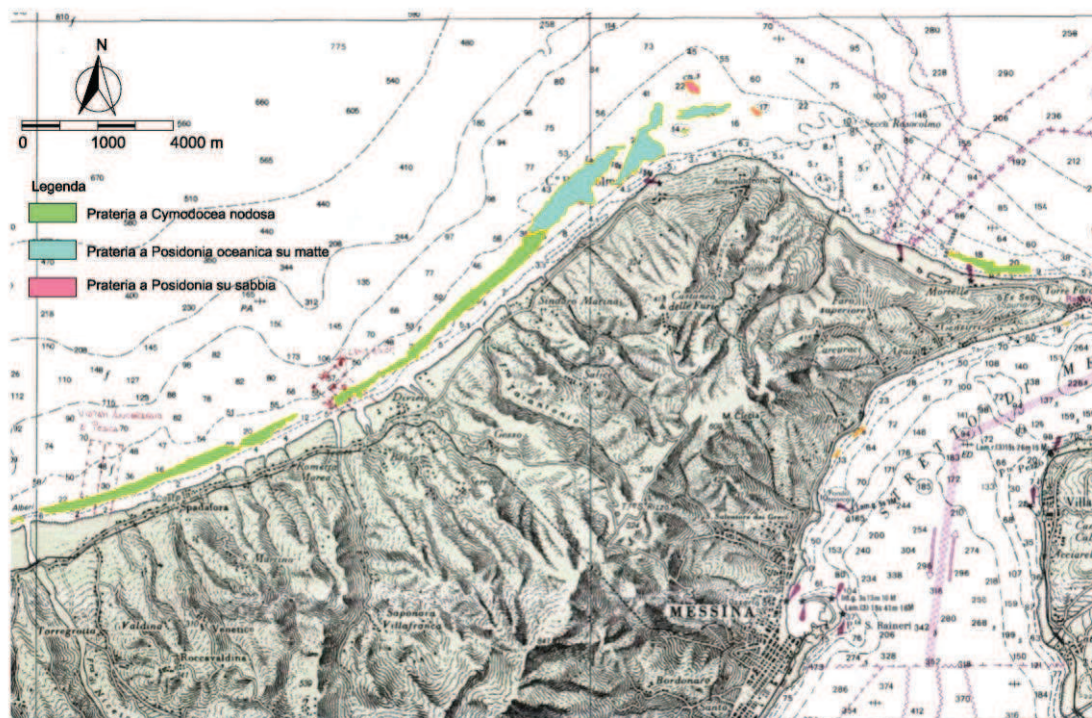


Figura 0.1 Individuazione delle praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa (Dati "Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sicilia e delle isole minori circostanti" condotta dal Ministero dell'Ambiente – Servizio Difesa del Mare).

Tale individuazione preliminare deve trovare conferma da ulteriori appositi rilievi da condurre in sede di progettazione definitiva dell'intervento di ripascimento. Tuttavia, la realizzazione di un ripascimento con materiale più grossolano di quello presente attualmente sui litorali in oggetto (caratterizzato da un d_{50} pari a circa 1.7 mm) e avanzamenti della spiaggia sommersa che non interessano le profondità a cui la Posidonia Oceanica e la Cymodocea Nodosa sono presenti suggeriscono un trascurabile effetto dell'intervento sulle citate praterie.

1.24 Individuazione aree SIC e ZPS

Alcuni tratti di costa individuati per i ripascimenti sono prossimi o interni ad aree di protezione inserite nella rete Natura2000 che comprende aree destinate alla conservazione della diversità biologica presente nel territorio dell'Unione stessa ed in particolare alla tutela di una serie di habitat e specie animali e vegetali indicati negli allegati I e II della Direttiva "Habitat" e delle specie di cui all'allegato I della Direttiva "Uccelli" e delle altre specie migratrici che tornano regolarmente in Italia.

Più in dettaglio, come riportato nella tavola 3, le aree di protezione interessate sono:

- Sito di interesse Comunitario (SIC) denominato "Monti Peloritani, Dorsale Curcuraci, Antennamare e area marina dello stretto di Messina"(Cod. Natura2000 ITA030044) che interessa i comuni di Messina, Villafranca, Saponara, Rometa e Monforte San Giorgio
- Zona di Protezione Speciale (ZPS) denominata "Dorsale Curcuraci, Antennamare" (cod. Natura2000 ITA030011) che interessa i comuni di Messina, Villafranca, Saponara, Rometa e Monforte San Giorgio

In relazione a tale circostanza, qualora si proceda alla realizzazione di ripascimenti in aree prossime a tali siti, si evidenzia la necessità di integrare lo studio di incidenza redatto a supporto del progetto delle opere già previste con le nuove previsioni progettuali.

Studi necessari per la realizzazione di progetti di ripascimento

Ai fini della realizzazione dei progetti di ripascimento, la normativa siciliana prevede la redazione di una serie di studi di supporto. Più specificamente occorre prevedere per ogni sito da ripascere:

- Rilievo topografico e batimetrico del tratto litoraneo da ripascere;
- Studio idraulico-marittimo dei siti di ricezione;
- Studio climatologico - anemometrico;
- Studio degli apporti solidi dai bacini idrografici;
- Studio dell'evoluzione dei litorali e bilancio sedimentario;
- Studio di incidenza ambientale (eventuale);
- Relazione geologica;
- Studio della compatibilità granulometrica e sedimentologica dei materiali dragati e dei materiali presenti nel sito di ricezione (eventuali trattamenti e/o lavorazioni preventive dei materiali);
- Studio geomorfologico costiero con individuazione dei sistemi di dune e del grado di erodibilità delle formazioni costiere;
- Studio di impatto acustico, qualità dell'aria, effetti sulla qualità delle acque marine;
- Studio degli impatti di cantiere: rischio di incidenti (fasi di cantiere); produzione di polveri;
- Studio degli ecosistemi e delle biocenosi;
- Studio degli impatti sui beni culturali, storici ed archeologici.

Lo studio delle caratteristiche chimico fisiche e microbiologiche dei materiali destinati al ripascimento dovrà essere condotto da organismi tecnici pubblici competenti (U.S.L. o Agenzia Regionale per l'Ambiente) o da laboratori privati accreditati da organismi riconosciuti ai sensi della UNI CEI EN 17011/05.

In particolare, è possibile prendere a riferimento quanto indicato dal "Manuale per la movimentazione di sedimenti marini" (2007) realizzato dall'Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica Applicata al Mare (ICRAM) e dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT). In particolare, per quanto attiene ai siti da ripascere il citato manuale prevede che, al fine di scongiurare la copertura di siti inquinati, per il sito di deposito vengano individuati possibili fonti di inquinamento e lo stato ambientale delle spiagge da ripascere, sia come superficie emersa che come superficie sommersa. Inoltre devono essere analizzate le caratteristiche cromatiche, mineralogiche, granulometriche e chimiche. In assenza di dati di letteratura esaustivi e non antecedenti i 3 anni, i campioni dovranno essere prelevati in numero non inferiore a due (uno su spiaggia emersa e uno su spiaggia sommersa) lungo sezioni equidistanti tra loro al massimo 200 m.

Per i sedimenti delle aree marine litoranee, le analisi da condurre sono riportate nella Tabella 0.1 desunta dal citato manuale.

Tabella 0.1 Parametri da ricercare per la caratterizzazione e la classificazione dei sedimenti di aree marine fluviali o litoranee (da Manuale per la Movimentazione di sedimenti marini – ICRAM APAT).

	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	Principali caratteristiche mineralogiche
Analisi Chimiche	Composti organostannici	Sommatoria: Monobutil, Dibutil e Ttributilstagno (l'analisi si trascura se la presenza può essere esclusa sulla base di indagini pregresse)
	Metalli	Al, As, Cd, Cr totale, Pb, Hg, Ni, Cu, V, Zn
	Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	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	Possibilmente distinti in C<12 e C>12
	Pesticidi Organoclorurati	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-Nonacloro, cis-Nonacloro, Eldrin, Mirex, Metossicloro
	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
	Clorobenzeni	Esaclorobenzene
	Carbonio organico totale o sostanza organica totale	
	Azoto totale	
	Fosforo totale	
Analisi Microbiologiche	Coliformi	Escherichia coli
	Enterococchi	Fecali
	Salmonelle	
	Clostridi	Spore di clostridi solfito-riduttori
	Stafilococchi	
	Miceti	

Per quanto attiene al sito di prelievo posto sulla terraferma, non esistono indicazioni specifiche sulle analisi da condurre. Tuttavia, in assenza di specifiche richieste da parte dei soggetti preposti all'approvazione del progetto, si ritiene che debbano essere condotte le medesime analisi previste per i siti di deposito.

Inoltre, sempre secondo quanto riportato nel citato manuale, il materiale da utilizzare per ripascimento di arenili, oltre ad essere caratterizzato dalla presenza di una frazione pelitica inferiore al 10%, deve soddisfare i limiti indicati nella Tabella 0.2e nella Tabella 0.3.

Tabella 0.2 Limiti di concentrazione ammessi per i materiali da utilizzare per ripascimento (da Manuale per la Movimentazione di sedimenti marini – ICRAM APAT).

Parametro	LCB (pelite < 10%)
Elementi in tracce	[mg kg ⁻¹] p.s.
As	17
Cd	0,20
Cr	50
Cu	15
Hg	0,20
Ni	40
Pb	25
Zn	50
Contaminanti organici	[µg kg ⁻¹] p.s.
Organostannici	4,5
Σ PCB	5
Σ DDD	1,2
Σ DDE	2,1
Σ DDT	1,2
Clordano	2,3
Dieldrin	0,7
Endrin	2,7
γ -HCH	0,3
Eptacloro epossido	0,6
Σ IPA	900
Acenafte	7
Antracene	47
Benzo[a]antracene	75
Benzo[a]pirene	80
Crisene	108
Dibenz[a,h]antracene	6
Fenantrene	87
Fluorene	21
Fluorantene	113
Naftalene	35
Pirene	153

Tabella 0.3 Limiti eco tossicologici dei sedimenti da utilizzare per ripascimento – Livello Chimico di Base (da Manuale per la Movimentazione di sedimenti marini – ICRAM APAT).

Specie-test	
Skeletonema costatum	EC20 \geq 90%
Dunaliella tertiolecta	EC20 \geq 90%
Pheodactylumtricornutum	EC20 \geq 90%
Vibrio fischeri (elutriato)	EC20 \geq 90%
Vibrio fischeri (sedimento)	S.T.I. \leq 3 3
Brachionus plicatilis	EC20 \geq 90%
Ampelisca diadema	Δ Mortal. \leq 15%
Corophium orientale	Δ Mortal. \leq 15%
Corophium insidiosum	Δ Mortal. \leq 15%
Balanus amphitrite	Δ Mortal. \leq 15%
Acartia tonsa	EC20 \geq 90%
Acartia clausi	EC20 \geq 90%
Tisbe battagliai	EC20 \geq 90%
Tigriopus fulvus	EC20 \geq 90%
Paracentrotus lividus	EC20 \geq 90%
Sphaerechinus granularis	EC20 \geq 90%
Dicetrarchus labrax	EC20 \geq 90%
Sparus aurata	EC20 \geq 90%

Dal punto di vista tecnico-amministrativo, il progetto di ripascimento, corredato dagli studi sopra definiti, dovrà quindi essere sottoposto al nulla osta dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Sicilia ai sensi del D. A. 825 del 4/01/2001, che è comprensivo e sostitutivo dell'autorizzazione del Ministero dell'Ambiente ai sensi del D.M. 24/01/1996.

Conclusioni

È stato condotto uno studio volto alla verifica della possibilità di impiego dei sedimenti provenienti dagli scavi insiti nella realizzazione delle opere previste dal Collegamento Stabile dello Stretto di Messina sul versante siciliano ai fini del ripascimento di alcuni litorali ricadenti nella Provincia di Messina. Al fine di ridurre gli impatti connessi al trasporto dei materiali, sono stati inizialmente individuati solo alcuni litorali ricadenti lungo la costa Tirrenica della provincia di Messina, compresi tra il comune di Valdina e Capo Peloro. Successivamente, in esito a incontri e specifiche richieste del Committente, è stato studiato anche il litorale di Sant'Alessio Siculo, per il quale è stato già predisposto dall'Amministrazione Comunale un progetto esecutivo di ripascimento protetto.

È opportuno precisare che, ad eccezione del sopracitato litorale di Sant'Alessio Siculo, i siti presi in esame ai fini del ripascimento sono stati oggetto da parte del DICA di indagini sui luoghi nonché di alcune analisi sedimentologiche specifiche. Inoltre, per tali siti è stata preliminarmente condotta una analisi diacronica volta ad individuare le modificazioni della linea di riva e, consequenzialmente, a suggerire i possibili avanzamenti da realizzare tramite i ripascimenti.

L'indagine di campo condotta ha evidenziato lo stato di degrado dell'intero litorale tirrenico messinese. In particolare, il tratto di costa compreso tra Valdina e Capo Rasocolmo risulta fortemente antropizzato, con la presenza di abitati e di vie di comunicazione immediatamente a ridosso della spiaggia. Tale tratto di costa risulta interessato da numerose opere di protezione dei litorali, tuttavia verosimilmente realizzate in passato senza una visione di insieme a scala di unità fisiografica e al fine di risolvere problemi locali, con conseguenti arretramenti della linea di riva sottoflutto alle stesse opere dopo la loro realizzazione. Dal punto di vista ambientale, si segnala il fatto che tutto il litorale risulta interessato dalla notevole presenza di frammenti di laterizi, verosimilmente provenienti dalle fabbriche presenti in prossimità dei corsi d'acqua che sfociano vicini alla costa nel comune di Valdina.

Il tratto di costa compreso tra Capo Rasocolmo e Capo Peloro presenta un'antropizzazione modesta e, quindi, pur trovandosi per gran parte in erosione, non presenta significativi rischi per le abitazioni, le infrastrutture e per le attività ivi presenti.

Quanto evidenziato dai sopralluoghi effettuati risulta confermato dall'analisi diacronica condotta. In particolare, tale studio ha evidenziato che:

- la costa compresa tra Valdina e Capo Peloro si presenta in condizioni di forte erosione, con arretramenti molto consistenti, ad esclusione di un brevissimo tratto compreso tra Valdina e Spadafora e un ulteriore segmento tra Casabianca e Mortelle;
- gli arretramenti maggiori si osservano nel periodo 1976-1985 principalmente nel tratto di costa ad Ovest di Capo Rasocolmo, nel periodo tra il 1985 e il 1998 ad Est del capo;
- le principali cause dell'arretramento costiero possono essere ricercate in una riduzione degli apporti solidi al litorale dai torrenti, dovuti all'antropizzazione dei bacini e nella realizzazione di opere di

protezione costiera che hanno spostato sottoflutto e talvolta persino accentuato situazioni di degrado già in atto;

- nel tratto sottoflutto al litorale di Mezzana – Tono si assiste alla migrazione di onde di sabbia, probabilmente generate da eventi di piena associati a frane verificatisi in un periodo antecedente al 1976.

Lo studio oggetto della presente relazione ha imposto una attenta analisi del clima meteomarinico al largo dei paraggi esaminati. In particolare, per quanto attiene alla costa tirrenica, in mancanza di dati diretti rilevati da boe ondometriche rappresentative, si sono utilizzati i dati ottenuti dal modello ondometrico del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Per quanto riguarda, invece, il paraggio di Sant’Alessio Siculo, lo studio meteomarinico è stato condotto sulla base dei dati rilevati dalla boa di Catania della Rete Ondometrica Nazionale, opportunamente trattati con una procedura di trasposizione geografica.

In esito a dette analisi e, soprattutto, effettuando un confronto tra la distribuzione dell’energia del moto ondoso e l’orientamento della costa in esame, si è rilevato che, per il tratto di litorale tirrenico in studio, la deriva dei sedimenti, invero piuttosto significativa, è orientata da Ovest verso EST. Per quanto attiene al paraggio di Sant’Alessio Siculo, invece, l’analisi della distribuzione dell’energia del moto ondoso ha evidenziato come la direzione dei marosi più energetici si presenti pressoché ortogonale alla linea di riva generando, dunque, un modesto trasporto dei sedimenti che va dalla foce della fiumara di Agrò verso il litorale di Sant’Alessio.

Ai fini della stima dei volumi necessari per il ripascimento, a causa della carenza di dati sia sedimentologici, relativi alla spiaggia sommersa, che batimetrici, relativi alla porzione attiva della spiaggia stessa, è stato necessario predisporre una procedura “ad hoc” per la verifica dei dati sedimentologici disponibili. In particolare, la verifica dei dati sedimentologici desunti dallo studio “Analisi delle criticità idrauliche marittime e geomorfologiche, monitoraggi, studi idraulici e geologici delle coste del tratto ionico e tirrenico del comune di Messina” redatto dal Dipartimento di scienza della terra dell’Università di Messina è stata condotta sulla base dei dati batimetrici desunti dalla cartografia nautica disponibile e dall’adozione del modello di Bruun (1954) per il profilo di equilibrio.

Il confronto condotto tra i dati sedimentologici disponibili per i siti in studio e quelli ottenuti dalle prove geotecniche, condotte sui campioni prelevati nelle aree di scavo, ha suggerito la compatibilità dei materiali di scavo con quelli degli arenili da ripascere, almeno dal punto di vista granulometrico. La compatibilità dei sedimenti utilizzabili per il ripascimento è stata condotta anche sulla base di considerazioni idrodinamiche. In particolare si è verificato, anche attraverso l’utilizzo del modello LITPACK del DHI, come l’intervento di ripascimento, oltre a far avanzare la linea di riva aumentando la fruibilità dell’arenile e la protezione della costa retrostante dal rischio di mareggiate, determini una maggiore stabilità dei sedimenti.

In esito ad una verifica dei dati disponibili, per completezza, sono state anche indicate le ulteriori indagini da effettuare sia sui siti di ripascimento che sulle aree di scavo al fine di valutare la completa fattibilità ambientale dei ripascimenti. In particolare, unitamente ai rilievi in situ e agli studi necessari, risulta importante effettuare le analisi fisiche, chimiche e microbiologiche, così come suggerite dal “Manuale per la Movimentazione di sedimenti marini” (2007) edito dall’ICRAM e dall’APAT.

La stima preliminare dei volumi utilizzabili ai fini del ripascimento, condotta sulla base dei profili di equilibrio di Bruun (1954) e ipotizzando ripascimenti liberi, ha suggerito che è possibile sversare fino a circa 2.800.000 m³ di sedimenti lungo il litorale Tirrenico. Va, altresì, osservato che a partire dalla località di Villafranca e procedendo verso Est, i siti interessati da arretramento ricadono in prossimità di aree ZPS. Volendo focalizzare l’attenzione sulle aree esterne alle ZPS, ovvero alle

località di Valdina, di Spadafora e di Rometta, la quantità di materiale che potrà essere ivi destinata è pari a circa 1.150.000 m³, valutata considerando avanzamenti della linea di riva di circa 50 m per i siti di Valdina e di Rometta e di 20 m per il litorale di Spadafora. Si precisa, inoltre, che ulteriori volumi potranno essere eventualmente impiegati per la realizzazione di ripascimenti in aree immediatamente limitrofe a quelle studiate, in particolare nei litorali ricadenti nei comuni di Torregrotta e Monforte.

Per quanto attiene, infine, al sito di Sant'Alessio Siculo, si rileva che per tale intervento è presente un progetto di ripascimento protetto già approvato e realizzato per la parte relativa alla protezione al piede. In particolare, il progetto in questione prevede lo sversamento di circa 330.000 m³ di sedimenti.

Si segnala infine come i ripascimenti sopra descritti, perlomeno sulla base dei dati di letteratura riportati dalla "Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sicilia e delle isole minori circostanti" condotta dal Ministero dell'Ambiente e alla base del presente studio, risultino compatibili con le praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa presenti lungo il litorale tirrenico.

In definitiva, lo studio condotto ha messo in evidenza la possibilità di impiegare notevoli quantità di materiale proveniente dagli scavi ai fini del ripascimento di estesi tratti di litorale, con ciò realizzando non solo un recupero ambientale di arenili oggi degradati ma anche un effettivo riutilizzo degli inerti derivanti dalle lavorazioni, che sono a questo punto da considerare come risorsa anziché come scarto di lavorazione.

Bibliografia

- AA.VV. (2007) Manuale per la Movimentazione di sedimenti marini, ICRAM e APAT.
- AA.VV. (2004) “Piano stralcio di bacino per l’Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia” (P.A.I.)
- Bruun P. (1954) “Coast erosion and development of beach profiles”, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech Memo. No 44,.
- Contini, P., De Girolamo P. (1998) “Impatto morfologico di opere a mare: casi di studio”. Atti convegno AIOM, Lerici.
- Dean, R. G. (1987). “Coastal Sediment Processes: Toward Engineering Solutions,” Coastal Sediments '87, American Society of Civil Engineers, New Orleans, LA, Vol 1, pp 1-24.
- James W.R. (1974) “Beach fill stability and borrow material texture”, Proc. 14th Intl. Conf. Coastal Eng., ASCE, Copenhagen, 1334-1349.
- Ministero dell’Ambiente – Servizio Difesa del Mare (2002) Mappatura delle praterie di Posidonia Oceanica lungo le coste della Sicilia e delle isole minori circostanti.
- Moore B.D. (1982) “Beach Profile Evolution in Response to changes in water level and wave height”, MCE Thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware, 164 pp.
- U.S. Army Corps of Engineers (2002). “Coastal Engineering Manual. Engineer Manual” 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

APPENDICE

APPENDICE A	Analisi diacronica
APPENDICE B	Elaborato fotografico

Appendice A

Tabella A.0.1 Variazioni della posizione della linea di costa nel tratto Valdina-Capo Peloro tra il 1976 e il 2008.

progressiva	1976-1985	1985-1998	1998-2008	1976-2008
0	-47.07	-46.31	-3.09	-96.47
100	-0.23	-74.9	-2.07	-77.2
200	2.37	-64.56	-3.1	-65.29
300	7.5	-56.74	-4.13	-53.37
400	7.3	-35.73	-8.68	-37.11
500	8.8	-17.32	-18.64	-27.16
600	15.8	-12.63	-9.65	-6.48
700	16.28	-14.07	-0.15	2.06
800	11.57	6.8	-7.34	11.03
900	21.75	4.32	-18.07	8
1000	26.52	9.65	-6.18	29.99
1100	-38.27	50.4	0.45	12.58
1200	-35.71	41.2	-22	-16.51
1300	-38.16	-34.13	13.44	-58.85
1400	-25.72	-25.93	6.09	-45.56
1500	-13.47	-30.84	3.91	-40.4
1600	-8.7	-36.67	7.43	-37.94
1700	-10.42	-36.29	6.37	-40.34
1800	-20.53	-16.9	-9.25	-46.68
1900	-30.64	-13.61	-1.04	-45.29
2000	-30.35	-19.54	-11.92	-61.81
2100	-24.48	-23.92	-16.12	-64.52
2200	-19.65	-18.56	2.8	-35.41
2300	-8.39	-31.99	6.48	-33.9
2400	11.43	-29.33	0	-17.9
2500	10.32	-14.74	-16.27	-20.69
2600	-0.2	-5.29	-10.14	-15.63
2700	-6	13.4	-20.64	-13.24
2800	0.6	-7.21	-3.26	-9.87
2900	2.19	7.98	-0.9	9.27
3000	20.74	-0.21	-1.48	19.05
3100	11.24	6.34	-6.21	11.37
3200	10.47	5.88	3.5	19.85
3300	15	6.4	1.51	22.91
3400	37.5	5.6	-1.06	42.04
3500	30.95	11.67	-5.57	37.05
3600	51	25.69	-10.82	65.87
3700	50.08	30.88	-14.47	66.49

progressiva	1976-1985	1985-1998	1998-2008	1976-2008
3800	28.13	32.91	-17.2	43.84
3900	50.38	11.97	-11.7	50.65
4000	45.12	9.43	1.73	56.28
4100	20.48	23.71	-1.4	42.79
4200	17.28	18.8	2.64	38.72
4300	21.74	13.91	-0.87	34.78
4400	17.5	21.79	-10.56	28.73
4500	19.7	3.62	-0.06	23.26
4600	13.34	19.65	-3.7	29.29
4700	13.34	11.2	-0.24	24.3
4800	0.18	-4.22	9.89	5.85
4900	12.66	-2.29	7.32	17.69
5000	3.32	-7.35	12.96	8.93
5100	-2.76	-2.2	22.21	17.25
5200	-15.37	0.82	17.5	2.95
5300	-13.96	-16.85	22.4	-8.41
5400	-25.51	12.45	-3.78	-16.84
5500	-25.8	-0.45	-1.83	-28.08
5600	-16.15	-1.83	-10.85	-28.83
5700	-28.75	-12.58	-2.13	-43.46
5800	-38.44	15.46	-0.85	-23.83
5900	-57.08	62.3	-8.96	-3.74
6000	-46.61	26.98	-2.66	-22.29
6100	-41.29	2.7	12.44	-26.15
6200	-44.27	-3.97	13.31	-34.93
6300	-31.02	6.58	1.31	-23.13
6400	-32.77	9.89	-5.82	-28.7
6500	-0.82	-12.29	-3.98	-17.09
6600	-18.31	-1.17	-0.7	-20.18
6700	-13.61	-15.66	-0.35	-29.62
6800	-10.66	-2.92	2.53	-11.05
6900	-19.98	-13.16	17.32	-15.82
7000	-32.77	-10.43	16.83	-26.37
7100	-43.23	-7.8	6.84	-44.19
7200	-27.2	10.18	-9.75	-26.77
7300	-15.55	-11.84	-6.8	-34.19
7400	7.22	-40.6	-3.1	-36.48
7500	-32.42	-17.44	-2.9	-52.76
7600	-27.2	-15.84	0.27	-42.77
7700	-26.8	1.98	-6.82	-31.64
7800	-41.22	-15.65	-10.5	-67.37
7900			-20	-20
8000			-15.12	-15.12
8100			-11.47	-11.47

progressiva	1976-1985	1985-1998	1998-2008	1976-2008
8200			-13.42	-13.42
8300			-15.33	-15.33
8400			-7.22	-7.22
8500			-3.32	-3.32
8600			0.3	0.3
8700	-12.35	-15.95	7.51	-20.79
8800	-2.3	-9.17	-4.9	-16.37
8900	-5.3	5.11	-6.36	-6.55
9000	-15.17	-8.6	7.25	-16.52
9100	-11.75	-8.5	3.48	-16.77
9200	-0.27	-15.47	11.51	-4.23
9300	-1.78	-8.7	1.27	-9.21
9400	2.89	-23.4	4.8	-15.71
9500	-2.9	-27.62	6.57	-23.95
9600	-15.26	-24.94	6.86	-33.34
9700	-4.6	-36.46	4.7	-36.36
9800	-7.12	-41.38	10.41	-38.09
9900	-2.4	-51.59	2.33	-51.66
10000	-4.85	-32.11	6.04	-30.92
10100	-8.57	-20.03	-4.04	-32.64
10200	-10.12	15.9	-3.53	2.25
10300	-8.99	16.06	-0.26	6.81
10400	-11.28	7.59	15	11.31
10500	-16.78	1.77	-22.98	-37.99
10600	-12.59	-2.54	-24.94	-40.07
10700	6.94	-7.74	-6.24	-7.04
10800	12.02	-26.06	-3.52	-17.56
10900	2.03	-28.14	-6.67	-32.78
11000	2.57	-30.57	-8.9	-36.9
11100	8.66	-35.13	-11.43	-37.9
11200	16.57	-40.24	-8.04	-31.71
11300	16.69	-40.32	-2.53	-26.16
11400	7.62	-36.23	4.5	-24.11
11500	11.16	-35.65	11.85	-12.64
11600	12.54	-13.39	-16.4	-17.25
11700	-7.55	-12.2	-5.15	-24.9
11800	-19.79	-27.52	17.11	-30.2
11900	-24.54	-22.2	18.9	-27.84
12000	-31.03	-12.31	11.59	-31.75
12100	-34.44	-10.59	7.98	-37.05
12200	-16.03	-18.05	8.15	-25.93
12300	-7.37	-16.49	12.71	-11.15
12400	4.53	-18.45	-6.87	-20.79
12500	11.9	-9.38	-13.77	-11.25

progressiva	1976-1985	1985-1998	1998-2008	1976-2008
12600	6.43	-7.68	-35.49	-36.74
12700	-0.76	-15.09	-19.8	-35.65
12800	-7	-7.37	-13.91	-28.28
12900	-9.77	-25.52	-15.64	-50.93
13000	2.17	-18.17	-36.45	-52.45
13100	8.02	4.95	-53.07	-40.1
13200	7.96	22.23	-57.24	-27.05
13300	4.16	3.1	-34.45	-27.19
13400	-10.14	-9.95	-24.69	-44.78
13500	-3.8	-5.83	-25.6	-35.23
13600	-3.36	-1.96	-18.66	-23.98
13700	-0.65	2.68	-20.94	-18.91
13800	15.79	5.2	-29.34	-8.35
13900	33.62	-0.62	-35.3	-2.3
14000	-7.06	28.15	-16.19	4.9
14100	-15.19	18.66	-6.16	-2.69
14200	-26.84	30.5	-6.98	-3.32
14300	-26.21	28.88	4.25	6.92
14400	-26.54	33.2	5.64	12.3
14500	-24.48	47.11	3.72	26.35
14600	-47.88	68.98	-0.25	20.85
14700	-41.58	74.8	-3.04	30.18
14800	-28.76	24.4	19.4	15.04
14900	-17.57	-3.35	15.92	-5
15000	-21.89	-21.11	11.87	-31.13
15100	-46.46	-11.85	3.89	-54.42
15200	-29.74	-2.06	-3.34	-35.14
15300	-22.61	-5.18	-3.75	-31.54
15400	-23.16	-12.88	-0.1	-36.14
15500	-29.46	-14.17	-1.43	-45.06
15600	-36.44	-32.5	8.15	-60.79
15700	-25.31	-29.46	5.17	-49.6
15800	-21.05	-26.07	-0.93	-48.05
15900	-4.45	-28.17	-1.03	-33.65
16000	-1.57	-20.84	-6.22	-28.63
16100	-5.36	-5.16	-28.31	-38.83
16200	-4.98	-7.41	-24.51	-36.9
16300	2.3	-25.08	-8.5	-31.28
16400	11.62	-19.11	-10.44	-17.93
16500	-13.3	-19.36	0.3	-32.36
16600	-21.46	-32.9	12.18	-42.18
16700	-14.08	-33.96	7.3	-40.74
16800	-26.21	-8.74	0.3	-34.65
16900	-41.03	-2.01	6.78	-36.26

progressiva	1976-1985	1985-1998	1998-2008	1976-2008
17000	-49.61	5.36	0.77	-43.48
17100	-43.02	-2.14	6.26	-38.9
17200	-48.02	4.37	8.46	-35.19
17300	-47.08	-1.38	11.57	-36.89
17400	-46.17	-2.75	5.95	-42.97
17500	-37.83	-11.18	9.01	-40
17600	-47.67	-5.28	4.2	-48.75
17700	-49.48	-5.37	0.36	-54.49
17800	-36.15	-5.95	-0.43	-42.53
17900	-20.9	-12.55	-4.15	-37.6
18000	-6.69	-9.95	-8.68	-25.32
18100	-13.55	-18.77	-5.76	-38.08
18200	-11.56	-26.35	-11.84	-49.75
18300	-17.75	-30.75	-7.37	-55.87
18400	-20.17	-26.63	-12.17	-58.97
18500	-20.76	-18.63	-6.15	-45.54
18600	-20.15	-18.39	-0.7	-39.24
18700	-13.43	-13.1	-3.16	-29.69
18800	-11.89	-11.43	4.03	-19.29
18900	-8.59	-9.58	-1.45	-19.62
19000	-5.63	-2.08	-6.6	-14.31
19100	-2.98	8.7	-7.68	-1.96
19200	-1.19	-9.18	-1.45	-11.82
19300	3.25	-0.6	-6.9	-4.25
19400	13.86	-5.25	-5.81	2.8
19500	19.47	-5.9	-5.43	8.14
19600	9.76	-10.85	-5	-6.09
19700	8.16	-13.24	-2.38	-7.46
19800	8.57	-8.94	0.28	-0.09
19900	15.4	-5.94	-3.08	6.38
20000	7.58	10	-2.3	15.28
20100	2.32	8.98	-2.87	8.43
20200	14.64	-12.9	-5.81	-4.07
20300	7.21	-10.8	-0.68	-4.27
20400	14.14	-17.76	-5.29	-8.91
20500	28.08	-22.45	-5.59	0.04
20600	27.69	-18.28	-7.4	2.01
20700	3.67	-11.72	-8.14	-16.19
20800	-15.86	-6.8	-5.75	-28.41
20900	-6.5	-10.84	-2.32	-19.66
21000	-11.35	-13.3	-5.09	-29.74
21100	-9.79	-18.2	-7.1	-35.09
21200	-17.27	-8.72	-3.46	-29.45
21300	-16.99	-13.39	-2.48	-32.86

progressiva	1976-1985	1985-1998	1998-2008	1976-2008
21400	-10.9	-21.49	-0.2	-32.59
21500	-5.55	-23.27	-4.44	-33.26
21600	26.04	-25.9	-17.94	-17.8
21700	60.26	-48.24	-49.35	-37.33
21800	51.75	-20.53	-35.95	-4.73
21900	43.1	-33.67	-11.44	-2.01
22000	45.79	-62.83	-11.72	-28.76
22100	-20.88	-5.7	-6.57	-33.15
22200	-13.86	-5.8	9.88	-9.78
22300	-20.73	-3.3	-7.85	-31.88
22400	-0.32	-8.87	-15.35	-24.54
22500	-24.91	22.24	-9.64	-12.31
22600	-24.5	22.51	-8.04	-10.03
22700	-3.13	33.59	-14.18	16.28
22800	36.86	20.95	-12.09	45.72
22900	10.9	-6.27	-0.63	4
23000	0.22	-37.04	-11.68	-48.5
23100	-39.05	-51.38	-25.69	-116.12
23200	-62.3	-92.92	-28.02	-183.24
23300	-43.47	-130.76	-28.03	-202.26
23400	-16.31	-185.21	-3.59	-205.11
23500	-26.25	-153.71	-22.23	-202.19
23600	-26.28	-78.02	-56.24	-160.54
23700	-52.2	-14.11	-48.09	-114.4
23800	-65.01	-6.56	-34.51	-106.08
23900	-85.89	-19.71	-46.26	-151.86
24000	-103.87	-49.15	-33.05	-186.07
24100	-108.32	-73.64	-64.07	-246.03
24200	-10.02	-130.24	-40.15	-180.41
24300	70.75	-131.36	-42	-102.61
24400	80.4	-97.74	-64.34	-81.68
24500	90.31	-58	-69	-36.69
24600	79.26	-7.9	-67.09	4.27
24700	31.41	27.57	-54.14	4.84
24800	14.7	15.18	-31.29	-1.41
24900	18.52	-4.4	-19.65	-5.53
25000	14.52	-18.1	-19.5	-23.08
25100	2.9	-15.2	-18.9	-31.2
25200	-12.11	10.64	-27.78	-29.25
25300	-21.85	14.5	-26.48	-33.83
25400	-23.33	12.63	-30.1	-40.8
25500	-20.93	-15.38	-10.66	-46.97
25600	-35.46	-26.4	-5.4	-67.26
25700	-50.62	-32	-16.09	-98.71

progressiva	1976-1985	1985-1998	1998-2008	1976-2008
25800	-46.9	-33.5	-15.85	-96.25
25900	-25.85	-54.45	-14.67	-94.97
26000	-34.26	-21.45	-17.68	-73.39
26100	3.37	2.4	-11.43	-5.66
26200	11.75	12	6.79	30.54
26300	9.24	22.44	25.71	57.39
26400	-19.38	52.56	20.35	53.53
26500	-36.98	74.26	4.45	41.73
26600	-5.66	27.23	21.74	43.31
26700	7.9	8.95	47.28	64.13
26800	13.4	5.26	12.2	30.86
26900	9.86	18.26	-14.01	14.11
27000	2.64	22.65	-12.08	13.21
27100	22.36	11.06	-0.76	32.66
27200	113.96	9.2	-5.25	117.91
27300	79	70	0.87	149.87
27400	74.8	46.58	16	137.38
27500	50.25	29.36	20.94	100.55
27600	5.5	48.62	50.29	104.41
27700	-7.1	40.65	56.43	89.98
27800	-7.5	43.28	54.48	90.26
27900	-11.87	67.07	43.48	98.68
28000	3.7	50.26	45.62	99.58
28100	-10.77	53.11	26.5	68.84
28200	7.31	19.3	16.94	43.55
28300	-9.61	36.6	5.61	32.6
28400	-6.75	32.26	3.17	28.68
28500	7.36	0.12	13.36	20.84
28600	13.78	1.16	-0.3	14.64
28700	14.1	10.8	-14.16	10.74
28800	8.12	13.71	-4.3	17.53
28900	-1.68	-0.57	15.97	13.72
29000	-7.62	5.62	0.72	-1.28
29100	-7.1	5.23	0.07	-1.8
29200	-19.18	17.97	6.7	5.49
29300	-10.3	12.83	0.37	2.9
29400	3.86	4.14	1.6	9.6
29500	-13.72	28.11	-14.05	0.34
29600	-14.32	35.5	9.79	30.97
29700	-24.52	41.41	-8.3	8.59
29800	-17.57	25.8	-7.75	0.48
29900	12.43	15.8	-11.85	16.38
30000	0.86	3.77	-0.47	4.16
30100	3.07	-8.1	6.43	1.4

progressiva	1976-1985	1985-1998	1998-2008	1976-2008
30200	1.38	-10.22	-0.96	-9.8
30300	5.23	-13	-8.63	-16.4
30400	6.44	-8.21	-10.4	-12.17
30500	6.45	-5.98	-5.92	-5.45
30600	-1.24	-0.11	-4.2	-5.55
30700	4.83	-4.61	-9.13	-8.91
30800	13.79	-14.04	-3.31	-3.56
30900	12.93	-13.7	-3.63	-4.4
31000	6.04	-8.97	-4.1	-7.03
31100	15.65	-12.78	-4.48	-1.61
31200	18.16	-13.3	3.56	8.42
31300	17.73	-8.13	5.67	15.27
31400	30.95	-23.5	7.53	14.98