

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

OPERA

PORTO DI PALERMO - ARENELLA COMPLETAMENTO MOLO FORANEO PORTO ARENELLA

CUP: I71J19000040005 (OPERA PNRR)
CIG: 9073719DC8

LIVELLO DI PROGETTAZIONE

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO

RELAZIONE SULLA DINAMICA LITORANEA LOCALE

PROGETTAZIONE



Direzione tecnica:
ING. ELIO CIRALLI

Coordinamento:
ING. GIANCARLO INSERRA

VISTO:

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
ING. SALVATORE ACQUISTA

AREA TECNICA
ING. LEONARDO TALLO

ELABORATO B.03	SCALA --	NS. RIF. B.03_REL-DINAMICA- LITOR_v002-XXapr2022.docx	COMMESSA - NN. A4 2022ARE - 59	
DATA 19 maggio 2022	REVISIONE 01	REDATTORE VV	CONTROLLO GI	APPROVAZIONE EC

A TERMINI DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO, CON DIVIETO DI RIPRODURLO, ANCHE IN PARTE, O DI RENDERLO NOTO A TERZI SENZA LE NECESSARIE AUTORIZZAZIONI

INDICE DEI CONTENUTI

1	GENERALITÀ	4
1.1	PREMESSA.....	4
1.1.1	<i>Il precedente livello progettuale e le approvazioni</i>	4
1.2	IL CORPO DOCUMENTALE.....	4
1.3	FINALITÀ DELL'ELABORATO	5
1.4	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	5
2	UNITÀ FISIOGRAFICA DI RIFERIMENTO	8
2.1	IL PIANO REGIONALE CONTRO L'EROSIONE COSTIERA (PRCEC).....	8
2.2	GERARCHIZZAZIONE DELLA COSTA	9
2.2.1	<i>Unità gestionale di riferimento</i>	10
3	FATTORI METEOCLIMATICI	11
3.1	ANALISI ANEMOMETRICA.....	11
3.1.1	<i>Clima medio</i>	11
3.1.2	<i>Eventi estremi</i>	12
3.1.3	<i>Analisi anemometrica: Stazione Aeronautica Militare Palermo Punta Raisi</i>	13
3.1.4	<i>Analisi anemometrica: Stazione Aeronautica Militare Palermo Boccadifalco</i>	15
3.1.5	<i>Analisi anemometrica: ERA-5, Punto 7.A</i>	17
3.2	ANALISI ONDAMETRICA	19
3.2.1	<i>Clima medio</i>	19
3.2.2	<i>Eventi estremi</i>	20
3.2.3	<i>Profondità di chiusura dell'Unità Fisiografica del I ordine</i>	24
3.2.4	<i>Analisi dei livelli idrici</i>	24
3.2.5	<i>Analisi della propagazione del moto ondoso dal largo alla costa</i>	27
3.2.6	<i>Analisi del moto ondoso in prossimità dell'isobata 20m</i>	27
4	STIMA DELLA DERIVA DEI SEDIMENTI	35
5	CONSIDERAZIONI SEDIMENTOLOGICHE	39
5.1	GRANULOMETRIA	39
5.2	COMPOSIZIONE	39
6	MORFOLOGIA COSTIERA	44
6.1	STATO DELLE COSTE REGISTRATO.....	45
6.1.1	<i>Il PAI coste</i>	45
6.1.2	<i>Il Progetto Coste</i>	45
6.2	CONSIDERAZIONI PER IL PROSEGUIMENTO DELLO STUDIO	47
6.3	ANALISI DIACRONICA	47
6.3.1	<i>Spiagge della costa a sud dei siti portuali di Arenella e Palermo</i>	47
6.3.2	<i>Spiaggia dell'Arenella</i>	49
6.3.3	<i>Vergine Maria</i>	52
7	VERIFICA DI STABILITÀ DELLA SPIAGGIA DELL'ARENELLA	55
8	CONSIDERAZIONI SULL'INSABBIAMENTO DEL BACINO	57
9	CONCLUSIONI	59

ELENCO DELLE FIGURE

FIGURA 1-1:	SOVRAPPOSIZIONE PRP 1974 - PRP 2018 - STATO DI FATTO	5
FIGURA 2-1:	UNITÀ FISIOGRAFICA 7.3.2 DA PUNTA PRIOLA A CAPO MONGERBINO (FONTE PRCEC, MODIFICATO)	10

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



FIGURA 3-1: LIVELLO DE MARE RILEVATO DALLA STAZIONE MAREOGRAFICA DI PALERMO (ISPRA RMN)	25
FIGURA 3-2: PRESSIONE ATMOSFERICA RILEVATA DALLA STAZIONE MAREOGRAFICA DI PALERMO (ISPRA RMN)	25
FIGURA 3-3: SCHEMA DI SINTESI DELLE FASI PER IL MODELLO DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO	27
FIGURA 3-4: PUNTI PER L'ANALISI DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA PER LE SPIAGGE DELL'U.F. 7.3.2	28
FIGURA 4-1: DEFINIZIONE DELLA DIREZIONE MEDIA DEL FLUSSO DI ENERGIA DEL MOTO ONDOSO, DELLA DIREZIONE MEDIA DELLA LINEA COSTA E DELLA DIREZIONE MEDIA DELLA DERIVA DEI SEDIMENTI: A) DIREZIONE DELLA DERIVA	36
FIGURA 5-1: DIAMETRO MEDIO DEI SEDIMENTI DI BATTIGIA, SPIAGGIA E - 1M	39
FIGURA 5-2: VERGINE MARIA - CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA – SPIAGGIA, ESTATE	40
FIGURA 5-3: VERGINE MARIA - CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA – BATTIGIA, ESTATE	41
FIGURA 5-4: VERGINE MARIA - CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA – BATTIGIA, INVERNO	42
FIGURA 5-5: VERGINE MARIA - CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA – -1 M LMM, ESTATE	43
FIGURA 6-1: INDIVIDUAZIONE DEI TRATTI COSTIERI DEL PARAGGIO	44
FIGURA 6-2: ELABORAZIONE DI SINTESI DAL PROGETTO COSTE (FONTE: PCN)	46
FIGURA 6-3: ORTOFOTOPIANO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO DAL PORTO DELL'ARENELLA A PUNTA MONGERBINO DEL 1994	47
FIGURA 6-4: ORTOFOTOPIANO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO DAL PORTO DELL'ARENELLA A PUNTA MONGERBINO DEL 2000	48
FIGURA 6-5: ORTOFOTOPIANO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO DAL PORTO DELL'ARENELLA A PUNTA MONGERBINO DEL 2006	48
FIGURA 6-6: ORTOFOTOPIANO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO DAL PORTO DELL'ARENELLA A PUNTA MONGERBINO DEL 2012	49
FIGURA 6-7: SPIAGGIA DELL'ARENELLA - ANALISI DIACRONICA - LA SCOGLIERA FU COSTRUITA INTORNO AL 2009	50
FIGURA 6-8: SPIAGGIA DELL'ARENELLA, CONFRONTO LINEA DI RIVA 2005 MAG - 2020 MAG	51
FIGURA 6-9: DESCRIZIONE VISUALE DELLA SPIAGGIA E UBICAZIONE DEI CAMPIONAMENTI SEDIMENTOLOGICI (FONTE: PROGETTO BESS)	52
FIGURA 6-10: SPIAGGIA DI VERGINE MARIA - ANALISI DIACRONICA	53
FIGURA 6-11: SPIAGGIA DI VERGINE MARIA - CONFRONTO LINEA DI RIVA 2005 MAG - 2020 MAG	54
FIGURA 7-1: ANALISI DI BILANCIAMENTO DEL FLUSSO DI ENERGIA PER LA SPIAGGIA DELL'ARENELLA	56
FIGURA 8-1: MITIGAZIONE DELL'INTERRIMENTO DEL BACINO DI ARENELLA GRAZIE AL COMPLETAMENTO DEL SOPRAFLUTTO	58
FIGURA 8-2: FENOMENO DI INSABBIAMENTO DELLA DARSENA DELL'ARENELLA	58

ELENCO DELLE TABELLE

TABELLA 1-1: CORPO DOCUMENTALE DEL PROGETTO	7
TABELLA 2-1: UNITÀ FISIOGRAFICA, GERARCHIZZAZIONE E DEFINIZIONI (FONTE LINEE GUIDA TNEC 2018)	9
TABELLA 3-1: PUNTO DELLA GRIGLIA DEL DATASET ERA5 UTILIZZATO	11
TABELLA 3-2: STAZIONI ANEMOMETRICHE DELL'AERONAUTICA MILITARE UTILIZZATE	11
TABELLA 3-3: PUNTO DELLA GRIGLIA DEL DATASET CMEMS UTILIZZATO PER LE ANALISI AL LARGO	19
TABELLA 3-4: SINTESI DELL'ANALISI DEGLI EVENTI ESTREMI PER IL PUNTO GRIGLIA DEL DATASET CMEMS	20
TABELLA 3-5: PROFONDITÀ DI CHIUSURA PER L'U.F. DI I LIVELLO	24
TABELLA 3-6: VALORE MINIMO E MASSIMO DELLA PRESSIONE ATMOSFERICA E CORRISPONDENTI VARIAZIONI DEL LIVELLO DEL MARE	25
TABELLA 3-7: SINTESI DELLE ESCURSIONI DI LIVELLO POSSIBILI DOVUTE AI FATTORI PRINCIPALI	26
TABELLA 3-8: COORDINATE DEI NODI ESTRATTI DALLA GRIGLIA DI CALCOLO PER L'ANALISI SOTTOCOSTA	28
TABELLA 4-1: INDICAZIONI SULLA DERIVA DEI SEDIMENTI	36

1 Generalità

L'Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sicilia Occidentale, nell'ottica del completamento e della funzionalizzazione della propria offerta portuale, per il Porto dell'Arenella vuole eseguire la definizione dell'opera di sopraflutto secondo la configurazione prevista dal Piano Regolatore Portuale oggi vigente.

La redazione del presente progetto esecutivo è stata affidata alla società di ingegneria Progetti e Opere S.r.l., di cui un direttore tecnico è l'Ing. Elio Ciralli. Quest'ultimo si era già occupato della redazione del precedente livello progettuale (livello definitivo), completamente approvato in ossequio alla normativa dell'epoca.

1.1 Premessa

Il progetto esecutivo, finalità dell'incarico professionale ricevuto, viene redatto sulla scorta dei precedenti livelli di progettazione approvati, compresa la procedura di valutazione ambientale.

1.1.1 Il precedente livello progettuale e le approvazioni

Il progetto definitivo dei lavori di completamento del molo foraneo del Porto dell'Arenella è stato redatto secondo la configurazione del precedente Piano Regolatore Portuale approvato dal Consiglio Superiore dei LL.PP. con voto n.529 del 11.09.1974.

Il progetto è stato approvato dal Comitato Tecnico Amministrativo del Provveditorato Interregionale OO.PP. Sicilia-Calabria ed ha già completato una procedura di verifica di assoggettabilità alla VIA per la quale è stata rilasciata la Determina di non assoggettabilità a VIA con D.G.V.A. del MATTM prot. n. DVA-2010-0024939 del 19/10/2010.

Nelle more del reperimento del finanziamento necessario all'esecuzione dei lavori, fu portata a termine la redazione del nuovo Piano Regolatore Portuale di Palermo che ricomprendeva il Porto dell'Arenella.

Il nuovo Piano Regolatore Portuale eseguì la prevista procedura di Valutazione Ambientale Strategica regionale, per la quale fu emesso apposito D.A. 107/GAB del 29/03/2018 con parere motivato alla procedura integrata V.A.S. - V.Inc.A. "Porto di Palermo - Piano Regolatore Portuale" ai sensi dell'art. 16 del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii., condizionato al rispetto delle prescrizioni ed osservazioni, oltre alle misure di mitigazione già previste nel PRP e fatte proprie nel parere n. 73/2018 della C.T.S. regionale.

Al suddetto Decreto seguì l'approvazione *ope legis* del PRP (art. 5, comma 3, Legge 84/94), sancita con il D.D.G. ARTA RS n. 100 del 30/07/2018 in conformità al parere del Consiglio Regionale dell'Urbanistica espresso con il voto n. 93 del 04 luglio 2018.

Il nuovo PRP oltre a inserire il Porto dell'Arenella nell'ambito portuale e a definire la destinazione funzionale, ha disegnato le opere foranee in modo leggermente diverso dal precedente PRP (Cfr. Figura 1-1). Questa leggera variazione, come dimostrato negli studi tecnici di supporto al PRP, migliora la protezione del bacino portuale anche al fine di ridurre l'agitazione residua sotto mareggiata, in modo maggiormente compatibile con la sancita funzione di porto turistico e da diporto.

1.2 Il corpo documentale

Il corpo documentale che costituisce il presente livello di progettazione è quello riportato nella seguente Tabella 1-1. Si raccomanda di attenersi sempre alla versione più recente degli elaborati che, se esistenti, superano le precedenti versioni.

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



1.3 Finalità dell'elaborato

Il presente elaborato fornisce l'analisi degli effetti dell'opera progettata sulla dinamica litoranea locale, come richiesto durante le fasi approvative dei precedenti livelli di progettazione. Infatti il parere favorevole del Comitato Tecnico Amministrativo del Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia e Calabria, n. 351/10 dell'adunanza del 16/03/2010 sul progetto definitivo di completamento del molo di sopraflutto dell'Arenella, ha prescritto che:

"Il progetto esecutivo dovrà altresì comprendere lo studio della dinamica litoranea locale (trasversale e longitudinale) in assenza ed in presenza della progettata opera da effettuare con l'ausilio di apposita modellistica numerica di tipo bidimensionale comprensiva dell'individuazione del campo di corrente e del campo di trasporto solido, per verificare opportunamente gli effetti dell'opera sull'evoluzione del litorale circostante, nonché gli eventuali fenomeni di insabbiamento dell'imboccatura portuale ed i relativi eventuali provvedimenti di mitigazione".

1.4 Riferimenti normativi

Il presente progetto è stato redatto ai sensi del D.Lgs. 50/2016 e del regolamento ancora oggi vigente (D.P.R. 207/2010 e ss.mm.ii.).

Il progetto è stato armonizzato, nel rispetto della legge, con i correnti standard di settore, con particolare riferimento a quelli prodotti dall'Associazione Internazionale di Navigazione (A.I.P.C.N. – P.I.A.N.C.), oggi PIANC.

Esso contiene inoltre uno studio con la descrizione del progetto ed i dati necessari per individuare e valutare i principali effetti che il progetto può avere sull'ambiente, con

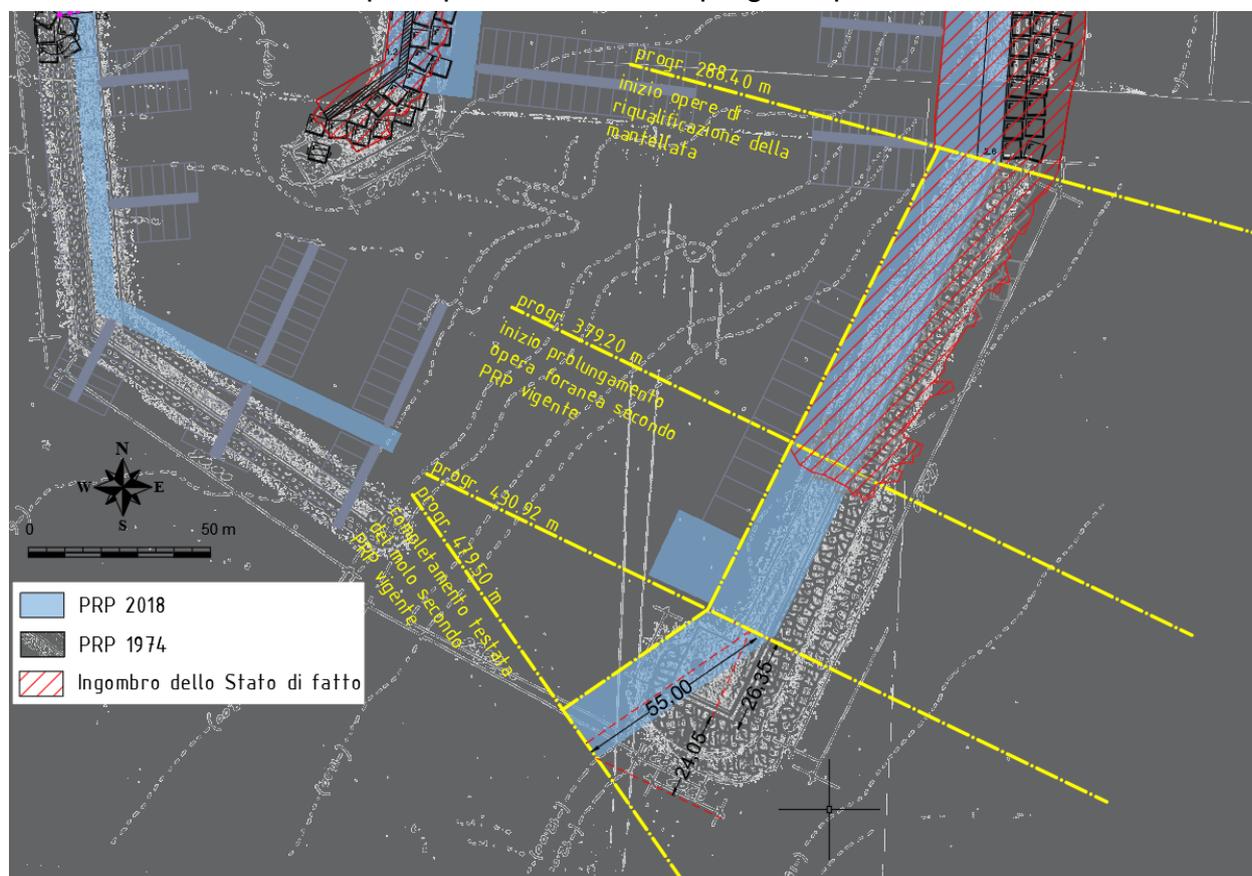


Figura 1-1: Sovrapposizione PRP 1974 - PRP 2018 - Stato di fatto

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



Progetti
CONTRACTING
e opere
SUSTAINABLE IDEAS LAB

envitek
environmental technologies
www.envitek.eu



EO 9001

riferimento al comma 6 dell'art.6 del D.Lgs. 152/2006 così come modificato dall'art. 3 del d.lgs. n. 104 del 2017.

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



ELENCO DEGLI ELABORATI DI PROGETTO	
codice	titolo elaborato
EE.00	Elenco elaborati
A - ELABORATI GENERALI	
A.01	Relazione generale
B - RELAZIONI SPECIALISTICHE	
B.01	Relazione idraulica marittima
B.01.01	Relazione idraulica marittima: allegati
B.02	Relazione dell'agitazione residua e dell'agibilità portuale
B.02.01	Relazione dell'agitazione residua e dell'agibilità portuale: allegati
B.03	Relazione sulla dinamica della costa
B.04	Relazione sismica
B.05	Relazione geotecnica
B.06	Relazione sul dimensionamento e la stabilità idraulica
B.07.01	Relazione di calcolo delle strutture
B.07.01	Relazione di calcolo delle strutture: allegati
B.08	Relazione paesaggistica
Studio Geologico (a cura del dott. Paolo Nania)	
B.09 - 1	Relazione geologica
B.09 - 1.1	Geolocalizzazione indagini geognostiche e sismiche
B.09 - 2	Indagini sismiche MASW
B.09 - 3	Indagini sismiche HVSR
B.09 - 4	Elaborazione geotecnica dei test penetrometrici (Spt) eseguiti in foro
B.09 - 5	Raccolta dati stratigrafici e laboratorio geotecnico
B.09 - 5.1	Analisi e prove di laboratorio geotecnico (a cura di CON.GEO Srl)
B.09 - 6	Tavole cartografiche
RILIEVI TOPOGRAFICI, BATIMETRICI E BIOENOTICI (A CURA DI ARENA SUB SRL)	
R.01	Relazione illustrativa dei rilievi batimetrici e bioenotici
R.01.01	Allegato: Processing Report
R.01.02	Allegato: Video subacquei dei transetti (da trasmettere su richiesta)
T.1	Ortofoto e profili di sezioni
T.2	Ortofoto e Piano Quotato
T.3a	Carta morfologico-batimetrica (isobate)
T.3b	Carta morfologico-batimetrica (rilievo ombreggiato color coded)
T.3c	Carta morfologico-batimetrica (rilievo ombreggiato grey-scale)
T.4a	Carta morfologico-batimetrica (isobate) - Spiaggia Vergine Maria
T.4b	Carta morfologico-batimetrica (shaded relief) - Spiaggia Vergine Maria
T.5	Carta dei tipi di fondo (color coded seabed features)
T.6	Carta del mosaico acustico Side Scan Sonar
RELAZIONE ARCHEOLOGICA PREVENTIVA (A CURA DOTT. ARCHEOL. F. FAZIO - ARENA SUB SRL)	
VIARCH.01	Relazione archeologica preventiva a seguito dei rilievi
VIARCH.01.01	Relazione archeologica preventiva: Carta del potenziale archeologico
C - ELABORATI GRAFICI	
C.SF - STATO DI FATTO	
C.SF.01.01	Carta nautica - Cartografia IGM - Carta Tecnica Regionale - Ortofoto
C.SF.01.02	Stralcio PRG - Stralci PRP - Stato di completamento
C.SF.01.03	Carta dei vincoli paesaggistici e territoriali
C.SF.02.01	Planimetria e sezioni dello stato di fatto
C.SF.02.02	Inventario visuale
C.OP - STATO DI PROGETTO	
C.OP.01	Planimetria sinottica delle opere in progetto
C.OP.02	Planimetria di dettaglio
C.OP.03	Raffronto SDF - PRP vigente - Opere in progetto
C.OP.04	Piano di tracciamento delle opere
C.OP.05	Sezioni tipo di progetto
C.OP.06	Quaderno delle sezioni di computo
C.OP.07	Particolari costruttivi e arredo portuale
C.OP.08.01	Cassoni cellulari: piante e sezioni
C.OP.08.02	Cassoni cellulari: carpenterie
C.OP.09	Modalità esecutive e fasi costruttive
C.OP.10	Siti di cava e deposito
D - ELABORATI DEGLI IMPIANTI	
D.IE.01	Impianti Elettrici e Illuminotecnici: Relazione descrittiva e di calcolo
D.IE.02	Impianti Elettrici e Illuminotecnici: Schema di installazione
D.IS.01	Impianti Idrici: Relazione descrittiva e di calcolo
D.IS.02	Impianti Idrici: Schema di installazione
E - PIANO DI MANUTENZIONE DELL'OPERA E DELLE SUE PARTI	
E.01	Manuale d'uso
E.02	Manuale di manutenzione
E.03	Programma di manutenzione
F - PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO E INCIDENZA DELLA MANODOPERA	
F.01	Piano di sicurezza e coordinamento
F.02	Planimetria delle aree di cantiere
G - ELABORATI ECONOMICI ED AMMINISTRATIVI	
G.01	Elenco dei prezzi unitari
G.02	Analisi dei prezzi
G.03	Quadro incidenza della manodopera
G.04	Computo metrico estimativo
G.05	Quadro economico
G.06	Cronoprogramma
G.07	Capitolato speciale d'appalto
G.08	Schema di contratto di appalto
SPA	STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE
VINCA	SCREENING DI INCIDENZA AMBIENTALE

Tabella 1-1: Corpo documentale del progetto

B.03 - RELAZIONE SULLA DINAMICA LITORANEA LOCALE

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



2 Unità fisiografica di riferimento

2.1 Il Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC)

Con Deliberazione n. 290 del 16 luglio 2020 la Giunta Regionale Siciliana ha apprezzato il “Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC)”, avendo dato mandato al Soggetto attuatore dell'Ufficio del Commissario di Governo contro il dissesto idrogeologico nella Regione Siciliana di predisporlo, sulla base delle “Linee guida nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici”, elaborate dal Tavolo nazionale sull'erosione costiera (TNEC) – MATTM – Regioni (2018), con il coordinamento tecnico dell'ISPRA.

Il documento costituisce uno strumento dinamico che consente di integrare gli interventi di difesa in una logica di piano, mediante l'implementazione su scala regionale di criteri di valorizzazione della costa in un'ottica di sviluppo sostenibile e di tutela ambientale.

Lo stesso è stato elaborato e proposto come strumento esecutivo immediatamente attuabile, e, nell'ambito di ogni Unità Fisiografica, con l'obiettivo di fornire le informazioni necessarie per l'individuazione della migliore tipologia di intervento per la difesa e la valorizzazione della costa, agendo sulla minimizzazione dell'impatto dell'erosione costiera e puntando sulla rimozione delle cause di erosione marina, mediante il ripristino delle condizioni naturali di equilibrio della linea di costa e del trasporto sedimentario dei corsi d'acqua.

Il Piano intende favorire:

- la conoscenza delle condizioni attuali del litorale siciliano;
- lo sviluppo di strumenti adeguati di gestione delle informazioni che facilitino la partecipazione di tutti gli stakeholders;
- l'analisi dell'efficacia degli interventi effettuati in passato;
- la scelta di interventi istituzionali, di prevenzione e preparazione, strutturali tradizionali e innovativi che tengano conto della necessità di adattamento agli effetti locali dei cambiamenti climatici globali;
- programmi di interventi per la difesa complessiva della costa, basati su un'analisi di pericolosità;
- le modalità di monitoraggio delle dinamiche litoranee anche in esito agli interventi programmati e/o effettuati.

Il Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera mira ad integrare, implementandolo, modernizzandolo e dinamizzandolo, il Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico (P.A.I.), che costituisce il Piano Territoriale di Settore nonché lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa da rischio idrogeologico del territorio siciliano, e inoltre, sempre in un'ottica di sviluppo sostenibile e di tutela ambientale delle coste siciliane.

Inoltre, come strumento di gestione delle informazioni del PRCEC, è stata adottata la piattaforma WebGIS, che consentirà un continuo aggiornamento di tutti i dati e una facile accessibilità a chiunque abbia l'interesse di acquisire le informazioni di carattere ambientale, urbanistico o territoriale relative alle coste siciliane.

Con la Legge Regionale 8 maggio 2018, n. 8 sono transitate all' “Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia” tutte le competenze della Parte III del D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. già attribuite alle Autorità distrettuali e alle Regioni. Tra i suoi incarichi istituzionali, nell'elaborazione del Piano di bacino, l'Autorità ha anche il compito di:

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



- pianificare «la protezione delle coste e degli abitati dall'invasione e dall'erosione delle acque marine ed il rifacimento degli arenili, anche mediante opere di ricostruzione dei cordoni dunosi» (lettera g, c. 1 art. 56);
- esprimere parere sulla coerenza con gli obiettivi del Piano di bacino, dei piani e programmi dell'Unione europea, nazionali, regionali e locali relativi alla difesa del suolo, alla lotta alla desertificazione, alla tutela delle acque e alla gestione delle risorse idriche (lettera b, c. 10 art.63).
- individuare «le opere di protezione, consolidamento e sistemazione dei litorali marini che sottendono il distretto idrografico» (lettera h, c. 3 art. 65).

Per quanto riguarda il P.R.C.E.C., l'Autorità di Bacino ne ha potuto già apprezzare i contenuti.

Come indicato dalla legge, l'AdB ha il compito di esprimere parere sulla coerenza con gli obiettivi del Piano di distretto. Prima di formalizzare formalizzare il parere sulla coerenza coerenza del P.R.C.E.C. ai sensi dell'art. 63, lettera b, comma 10 del D.Lgs. 152/2006, l'AdB ha programmato di indire incontri specifici con i redattori del Piano, sia per eventuali chiarimenti di dettaglio sia per concertare quegli aspetti meritevoli di ulteriori approfondimenti, avendo a disposizione somme destinate a ulteriori studi e indagini (ad esempio, nell'ambito del Piano di Azione e Coesione).

2.2 Gerarchizzazione della costa

L'approccio alla comprensione dei fenomeni costieri è razionale ed efficace se viene svolto rivolgendosi a tratti di costa con caratteristiche omogenee e tra loro assimilabili, in cui ragionevolmente sono comprese e si esauriscono le dinamiche naturali e quelle dovute agli effetti delle azioni antropiche.

La costa viene normalmente suddivisa in Unità Fisiografiche (UF) principali (I ordine), secondarie (II ordine) e gestionali (III ordine).

La metodologia utilizzata per la suddivisione si basa sulle Linee Guida del Tavolo Tecnico Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni (MATTMRegioni, 2018), note come Linee Guida TNEC, le cui definizioni sono date in Tabella 2-1.

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

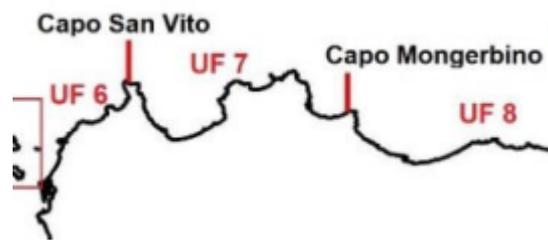
Tabella 2-1: Unità Fisiografica, gerarchizzazione e definizioni (Fonte Linee Guida TNEC 2018)

L'approccio finalizzato all'investigazione della dinamica litoranea e quindi alla pianificazione per la difesa della costa deve essere effettuato a livello dell'Unità Gestionale (III ordine).

Le unità costiere gestionali sono quindi ambite limitate in cui si effettuano studi specifici per la progettazione di interventi di difesa della costa, di opere marittime o di attività di gestione dei sedimenti che possono determinare interferenze nella dinamica costiera limitatamente allo stesso ambito.

2.2.1 Unità gestionale di riferimento

Secondo la gerarchizzazione individuata dal P.R.C.E.C. l'unità fisiografica di riferimento per le opere costiere in progetto è la 7.3.2. da Punta Priola a Capo Mongerbino.



UF 7.3 Capo Gallo – Capo Mongerbino	7.3.1 Capo Gallo – Capo Mongerbino	Costa rocciosa con la pocket beach di Mondello	Palermo
	7.3.2 Punta di Priola – Capo Mongerbino	Spiagge di Palermo Ficarazzi e Aspra	Palermo, Ficarazzi, Aspra, Bagheria



Figura 2-1: Unità Fisiografica 7.3.2 da Punta Priola a Capo Mongerbino (Fonte PRCEC, modificato)

COMMITTENTE

PROGETTAZIONE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale



3 Fattori meteoclimatici

3.1 Analisi anemometrica

Storicamente le serie storiche anemometriche da elaborare sono state registrate principalmente dall'Aeronautica Militare. Le stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare coprono solo un numero limitato di Unità Fisiografiche. Inoltre, tali stazioni sono ubicate sulla costa e, dunque, non sempre sono rappresentative delle reali condizioni nell'area di generazione del moto ondoso al largo.

Per tale ragione, le analisi che oggi vengono effettuate vengono condotte considerando sia i dati rilevati dalle stazioni anemometriche che quelli forniti da sofisticati modelli meteorologici di hindcasting rianalizzati. Nel caso in specie è stato utilizzato l'output fornito dal modello meteorologico ERA5 dell'European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF). Si rimanda alle pubblicazioni di letteratura per una descrizione del modello.

Per massima sintesi efficace, i risultati vengono esposti nelle pagine seguenti in forma grafica e tabellare¹.

Stazione	Coordinate	Quota [m s.l.m.m.]
Palermo Boccadifalco	38° 6' 42,84" N - 13° 18' 41,76" E	105
Palermo Punta Raisi	38° 10' 54,84" N - 13° 5' 57,84" E	34

Tabella 3-2: Stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare utilizzate

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
7.A	12,982264	38,370998	323735,912	4248906,4



Tabella 3-1: Punto della griglia del dataset ERA5 utilizzato

3.1.1 Clima medio

Per ogni punto sopra descritto sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza del vento.

Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°. In particolare, sono stati considerati i settori centrati nelle direzioni: 0°N, 22.5°N, 45°N, 67.5°N, 90.0°N, 112.5°N, 135.0°N, 157.5°N, 180.0°N, 202.5°N, 225.0°N, 247.50°N, 270.0°N, 292.5°N, 315.0°N e 337.5°N.

Per calma si intende una condizione anemometrica caratterizzata da un'intensità del vento inferiore a 1 m/s.

¹ Cfr. PRCERC 2020

3.1.2 Eventi estremi

Al fine di valutare gli eventi estremi al largo delle unità fisiografiche di I ordine è stata effettuata un'analisi statistica sia dei dati rilevati dalle stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare sia dei dati disponibili sui punti griglia del ERA5.

Nella fattispecie, dalla serie dei dati originari è stata ricavata la serie dei massimi annuali della velocità del vento. Per tali serie di dati è stato verificato l'adattamento di diverse distribuzioni di probabilità. In particolare, sono state utilizzate le distribuzioni per eventi estremi di Gumbel, Weibull, Lognormale, Pareto e GEV (Generalized Extreme Value Distribution), descritte in letteratura.

Per verificare se le distribuzioni si adattano alla serie di dati osservati, è stato applicato il test di Kolmogorov. Tale test consente di confrontare la frequenza cumulata dei dati osservati (F_{on}) con una distribuzione teorica (F_n).

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



3.1.3 Analisi anemometrica: Stazione Aeronautica Militare Palermo Punta Raisi

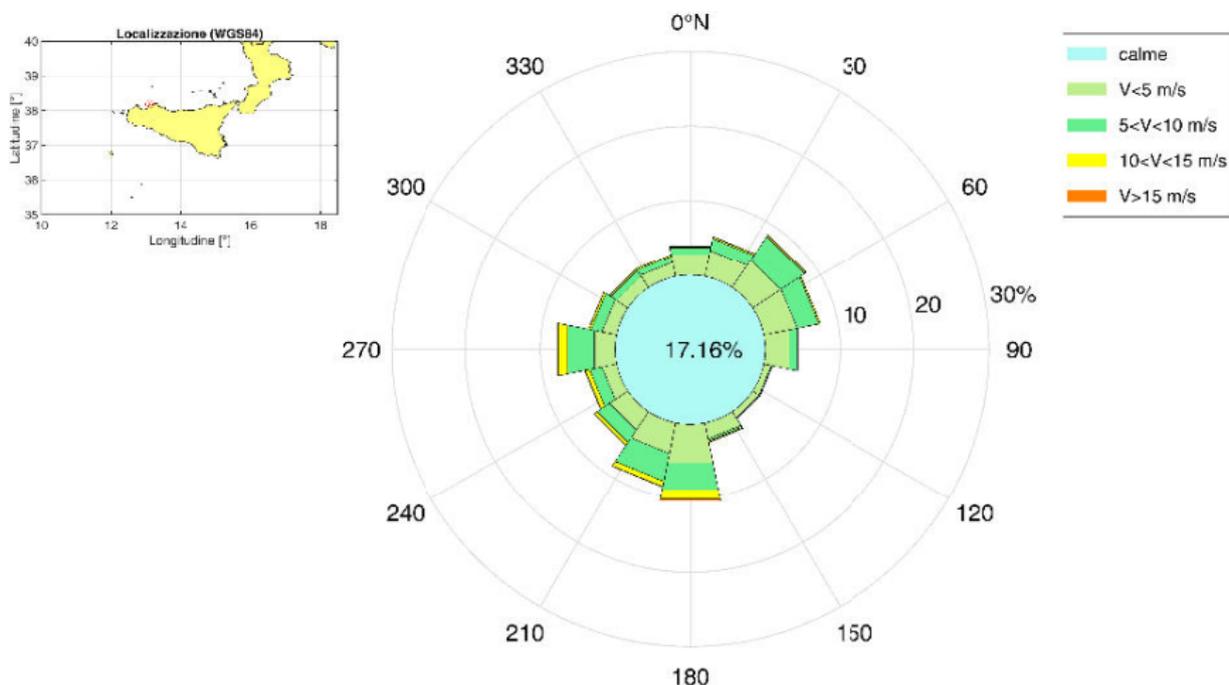


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1-5 m/s	5-10 m/s	10-15 m/s	>15 m/s
0.0	14.45	3.01	0.96	0.21	0.09
22.5	0.06	3.60	1.65	0.23	0.06
45.0	0.06	4.41	3.90	0.27	0.01
67.5	0.08	4.52	2.97	0.19	0.01
90.0	0.14	3.38	1.18	0.09	0.02
112.5	0.10	1.00	0.13	0.02	0.01
135.0	0.16	1.01	0.06	0.02	0.01
157.5	0.19	2.17	0.27	0.16	0.06
180.0	0.26	5.46	3.73	1.35	0.20
202.5	0.13	4.20	3.79	0.73	0.05
225.0	0.08	2.94	2.02	0.42	0.03
247.5	0.07	2.01	1.67	0.60	0.07
270.0	0.10	3.00	3.67	1.27	0.13
292.5	0.05	2.02	1.50	0.30	0.03
315.0	0.06	1.79	0.92	0.22	0.02
337.5	0.05	1.95	0.86	0.21	0.01

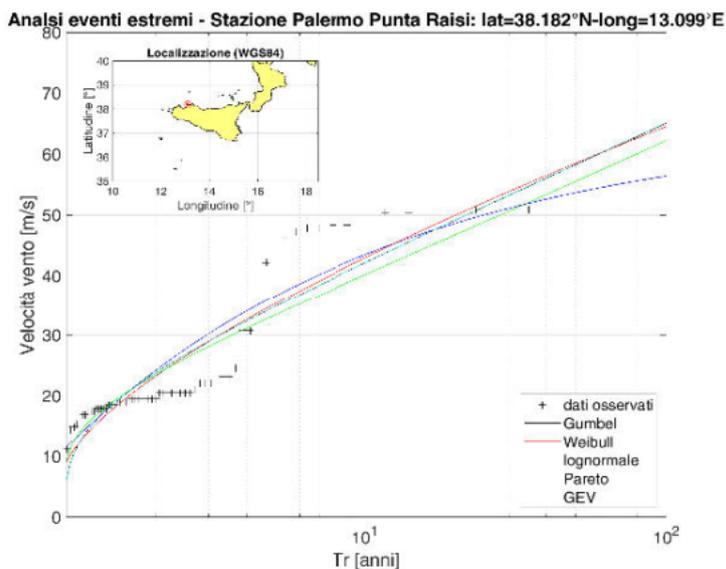


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	$\alpha=20\%$	$\alpha=15\%$	$\alpha=10\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$
D_n^*	0.12678	0.13457	0.14484	0.16089	0.19303
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.23797	0.21861	0.23944	0.24836	0.23755

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.103	20.236	19.570	8.105	1.441	3.158	0.418	11.318	21.304	-0.396	20.230	9.730	-0.002

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	23.81	23.28	23.52	24.23	23.80
5	34.86	35.33	33.44	36.67	34.84
10	42.18	43.01	40.20	43.50	42.17
50	58.28	58.52	55.53	53.69	58.33
100	65.09	64.56	62.24	56.43	65.18
500	80.82	77.61	78.40	60.53	81.03

3.1.4 Analisi anemometrica: Stazione Aeronautica Militare Palermo Boccadifalco

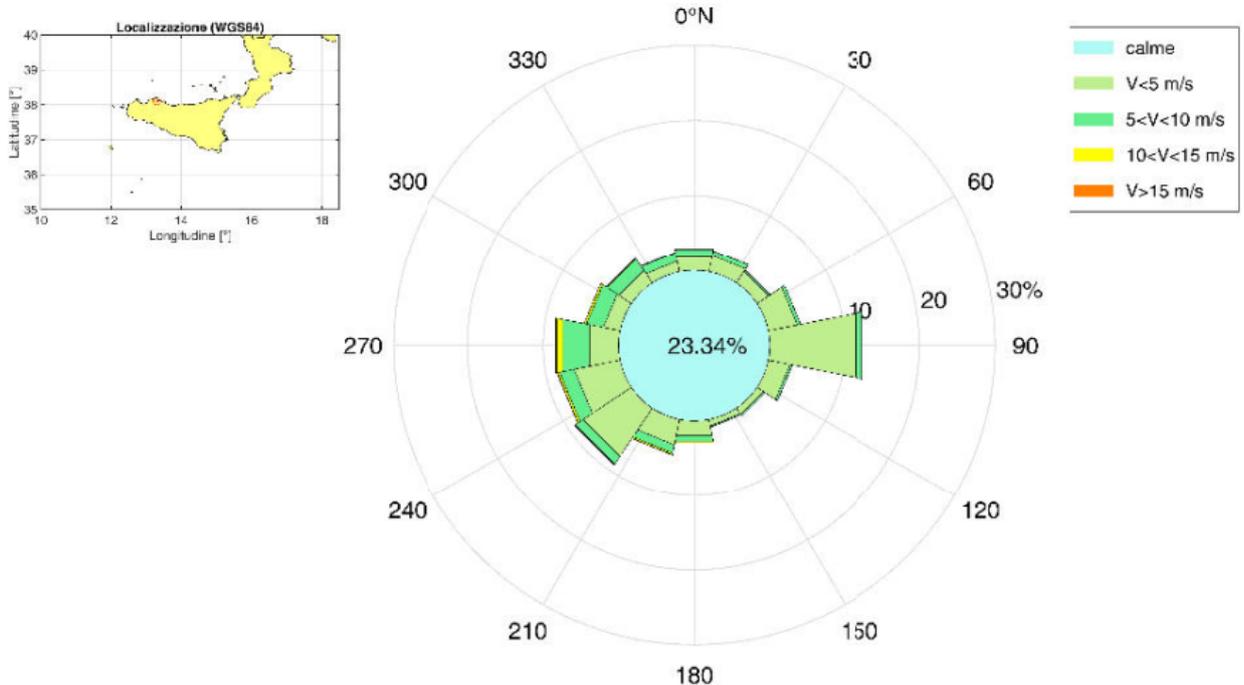


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1-5 m/s	5-10 m/s	10-15 m/s	>15 m/s
0.0	22.72	2.10	0.96	0.06	0.01
22.5	-	2.22	0.66	0.02	0.01
45.0	-	1.80	0.30	0.01	-
67.5	-	3.89	0.44	0.01	-
90.0	-	11.83	1.02	0.02	-
112.5	-	2.91	0.29	0.02	0.01
135.0	-	1.05	0.18	0.01	-
157.5	-	0.87	0.15	0.03	0.01
180.0	-	2.11	0.80	0.19	0.04
202.5	-	3.46	1.11	0.23	0.03
225.0	0.01	7.71	1.20	0.15	0.01
247.5	0.01	6.21	1.96	0.31	0.05
270.0	0.01	4.12	3.62	0.79	0.13
292.5	-	2.26	2.26	0.31	0.02
315.0	-	1.97	1.87	0.14	0.01
337.5	-	1.46	1.17	0.07	-

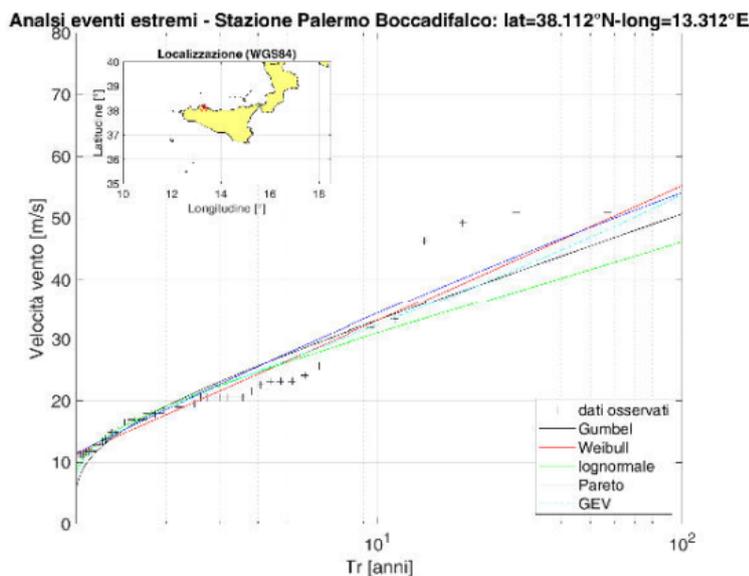


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	$\alpha=20\%$	$\alpha=15\%$	$\alpha=10\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$
D_n^*	0.14044	0.14907	0.16046	0.17824	0.21384
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15527	0.12772	0.14416	0.13302	0.12791

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.134	16.421	9.491	11.211	0.994	2.952	0.379	11.318	10.803	-0.067	16.324	6.392	-0.102

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	19.15	17.78	19.15	18.64	18.71
5	27.61	26.53	26.34	27.81	26.68
10	33.20	33.17	31.11	34.38	32.49
50	45.52	48.62	41.67	48.53	46.94
100	50.72	55.29	46.20	54.17	53.82
500	62.75	70.80	56.93	66.31	71.72

3.1.5 Analisi anemometrica: ERA-5, Punto 7.A

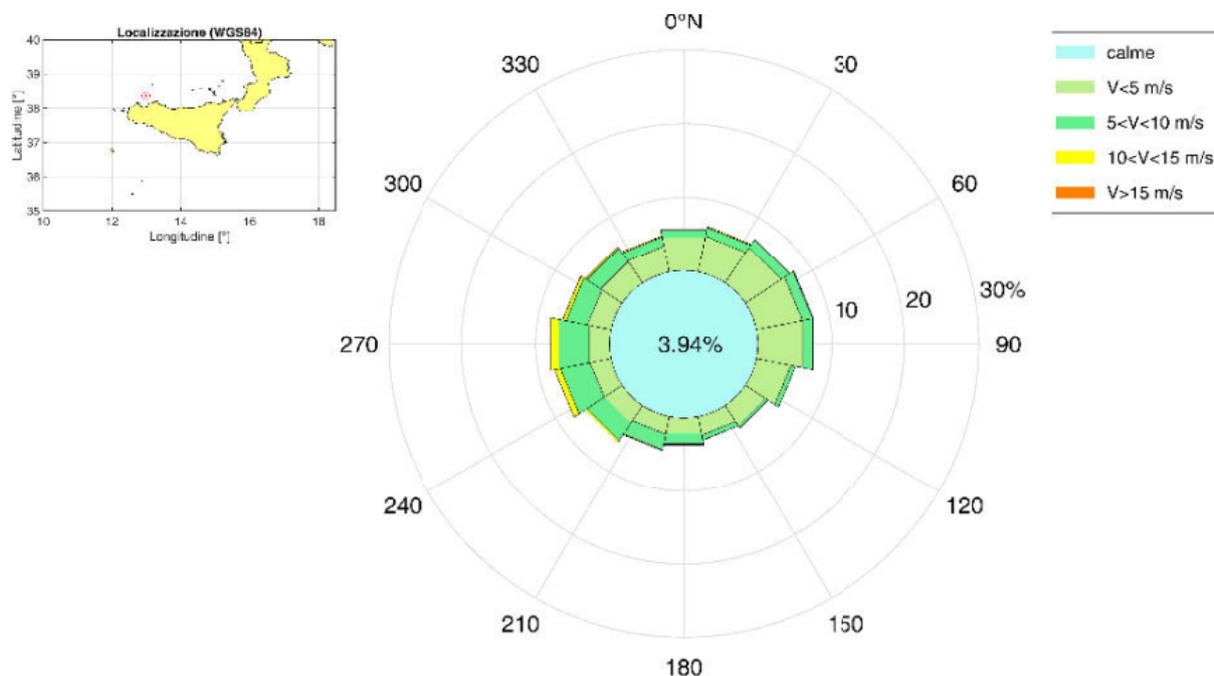


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1–5 m/s	5–10 m/s	10–15 m/s	>15 m/s
0.0	0.29	4.83	1.00	0.10	0.01
22.5	0.29	5.04	1.20	0.16	-
45.0	0.31	5.79	1.36	0.11	-
67.5	0.31	6.33	1.41	0.08	-
90.0	0.30	6.38	1.42	0.04	-
112.5	0.29	4.75	0.63	-	-
135.0	0.25	3.22	0.40	0.02	-
157.5	0.23	2.57	0.66	0.03	-
180.0	0.21	2.26	1.54	0.09	-
202.5	0.21	2.44	2.16	0.11	-
225.0	0.19	2.86	2.89	0.27	-
247.5	0.21	2.89	4.08	0.81	0.01
270.0	0.21	2.96	4.24	1.05	0.03
292.5	0.20	3.26	2.93	0.47	0.02
315.0	0.22	3.46	2.26	0.30	0.01
337.5	0.22	3.64	1.30	0.16	-

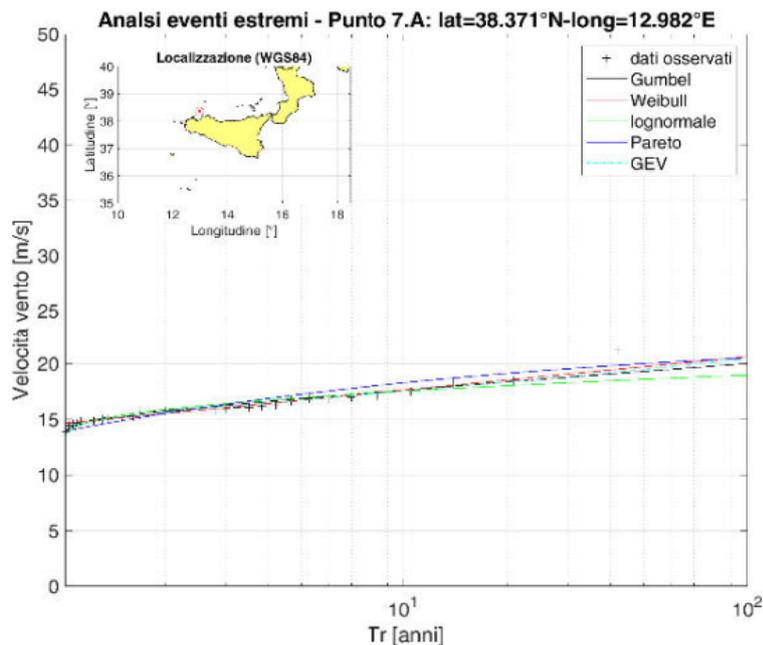


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	$\alpha=20\%$	$\alpha=15\%$	$\alpha=10\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09618	0.11443	0.14815	0.20245	0.07040

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.984	15.353	1.302	14.637	0.999	2.766	0.077	13.905	2.618	-0.291	15.340	0.873	-0.100

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	15.73	15.54	15.89	15.55	15.67
5	16.88	16.73	16.95	17.27	16.75
10	17.64	17.64	17.54	18.30	17.54
50	19.32	19.74	18.61	20.02	19.51
100	20.03	20.64	19.00	20.54	20.45
500	21.67	22.74	19.83	21.42	22.87

3.2 Analisi Ondametrica

L'analisi del moto ondoso al largo² è stata effettuata in maniera tale da risultare significativa per l'intera unità fisiografica del I ordine sia del clima medio che degli eventi estremi.

Come è noto, solo per un numero limitato di unità fisiografiche di I ordine sono disponibili dati rilevati da boe ondametriche della Rete Ondametrica Nazionale, e talvolta le serie sono brevi e discontinue.

Pertanto, per le analisi in oggetto è stato necessario impiegare dati ricavati da modelli numerici distribuiti dai centri di previsione come, ad esempio, European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e dal servizio Copernicus - Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

Al fine di selezionare il dataset che meglio rappresenta le condizioni di moto ondoso al largo della Sicilia, i suddetti dataset sono stati confrontati con i dati ondametrici rilevati dalla tre boe al largo delle coste della Sicilia gestite fino al 2014 dalla Rete Ondametrica Nazionale (Catania, Mazara del Vallo e Capo Gallo). Successivamente, per il dataset selezionato sono state estratte le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza di punti griglia posizionati al largo di ogni unità fisiografica di I ordine. Sulla base di tali dati è stato, quindi, possibile effettuare l'analisi sia del clima medio che degli eventi estremi del moto ondoso.

Dalle analisi dei parametri di performance e dai grafici di confronto, i tre modelli considerati risultano tutti sufficientemente affidabili nella stima dell'altezza d'onda significativa.

Tuttavia, è stato rilevato come i dati CMEMS siano generalmente in grado di riprodurre meglio gli stati di mare caratterizzati da altezze d'onda significative superiori a 3 m. Pertanto, vista la maggiore affidabilità dei dati CMEMS, si è deciso di adottare tale

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
7.C	13.45833	38.27083	365141.3	4236989.0



Tabella 3-3: Punto della griglia del dataset CMEMS utilizzato per le analisi al largo

dataset.

I dati della serie storica al largo coprono il periodo tra il 2006 e il 2019, con un intervallo di tempo tri-orario, lunghezza senz'altro idonea per le finalità dello studio.

3.2.1 Clima medio

Per la serie storica del punto griglia del CMEMS selezionato sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza del moto ondoso. I risultati di tali analisi sono riportati nell'Allegato Quaderno delle analisi meteomarine al largo.

Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°. In particolare, sono stati considerati i settori centrati nelle direzioni: 0°N, 22.5°N, 45°N, 67.5°N, 90.0°N, 112.5°N, 135.0°N, 157.5°N, 180.0°N, 202.5°N, 225.0°N, 247.50°N, 270.0°N, 292.5°N, 315.0°N e 337.5°N.

² Cfr. PRCERC 2020

3.2.2 Eventi estremi

Al fine di valutare gli eventi estremi al largo dell'unità fisiografica di I ordine è stata effettuata un'analisi statistica dei dati disponibili sul punto griglia del CMEMS selezionato. Nella fattispecie, dalla serie dei dati originari disponibili, è stata ricavata la serie delle altezze d'onda significative massime delle mareggiate.

Al riguardo si ricorda che il termine mareggiata viene definita come una successione di stati di mare durante la quale l'altezza d'onda significativa supera una soglia critica e non scende al di sotto di tale soglia per durate di tempo superiori a un valore prefissato t_{crit} . Nel caso in esame è stato considerato un valore di soglia pari a 1.5 m e un valore di t_{crit} pari a 12 ore (Boccotti, 1997).

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

La determinazione dei parametri delle distribuzioni considerate è stata effettuata mediante il metodo dei momenti.

Al fine di determinare l'altezza d'onda significativa per prefissato tempo di ritorno Tr , è preliminarmente necessario determinare sia l'intensità di campionamento λ =(numero di dati estremi)/(numero di anni di osservazione) che la probabilità associata al periodo di ritorno prefissato. Quest'ultima grandezza può essere ricavata come:

$$P = 1 - \frac{1}{\lambda Tr}$$

Per verificare se le distribuzioni si adattano alla serie di dati osservati, è stato applicato il test di Kolmogorov. Tale test consente di confrontare la frequenza cumulata dei dati osservati (F_{on}) con una distribuzione teorica (F_n).

ID	Numero di eventi	Valore di Hs massimo della serie	Tr=2 anni	Tr=5 anni	Tr=10 anni	Tr=50 anni	Tr=100 anni	Tr=500 anni	Distribuzione
7.C	313	6.85	5.57	6.17	6.60	7.53	7.91	8.75	Weibull

Tabella 3-4: Sintesi dell'analisi degli eventi estremi per il punto griglia del dataset CMEMS

3.2.2.1 Fetch e analisi del moto ondoso: Punto 7.C

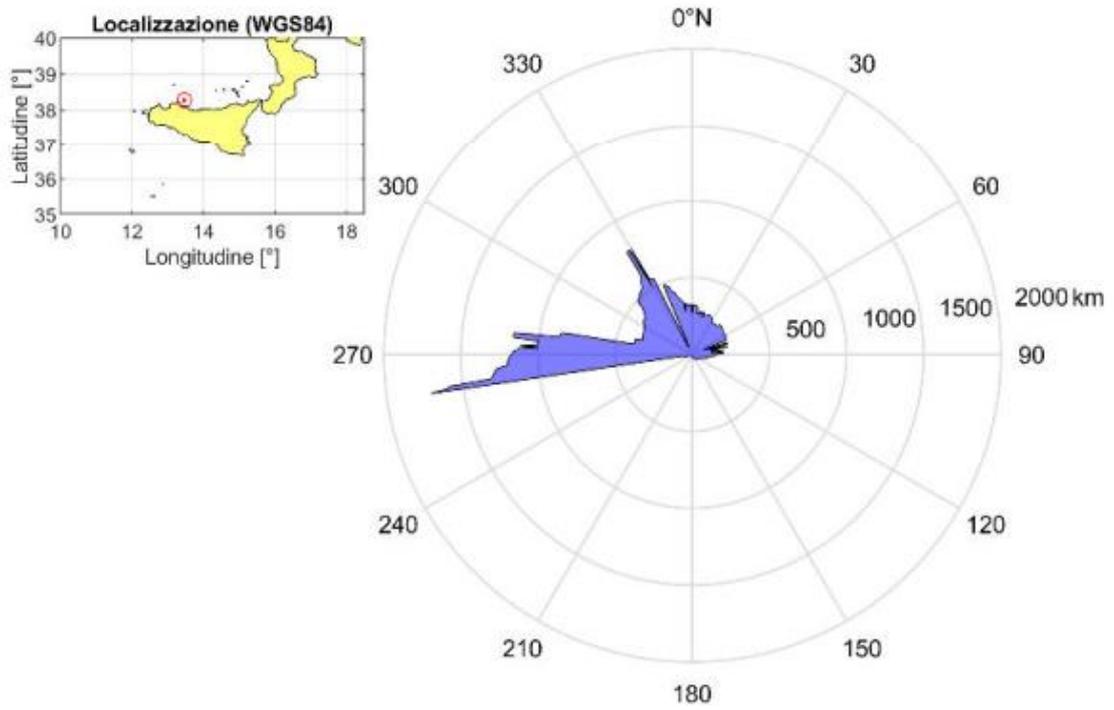


Figura 11: Fetch geografico.

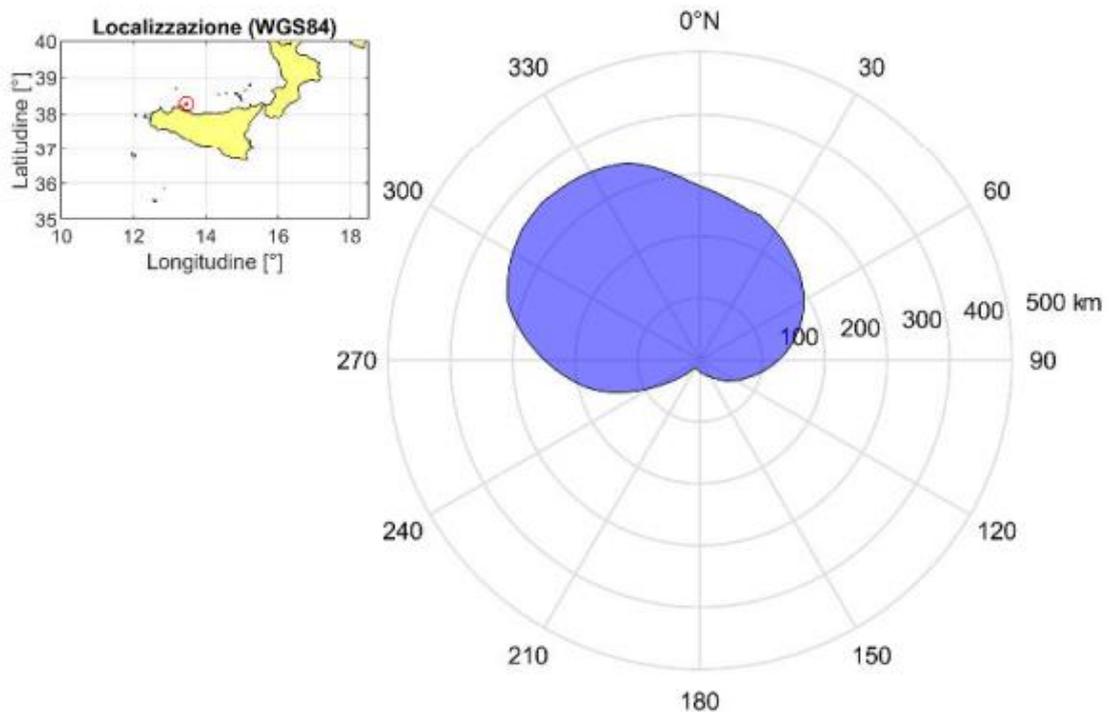


Figura 12: Fetch efficace.

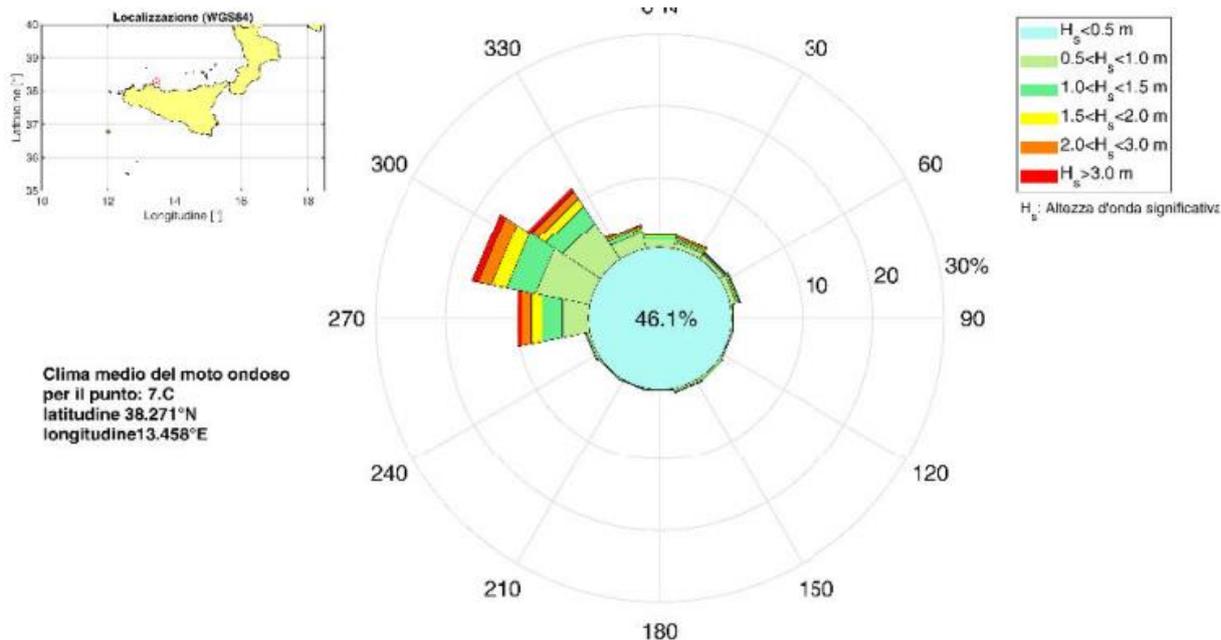


Figura 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5–1.0 m	1.0–1.5 m	1.5–2.0 m	2.0–3.0 m	>3.0 m
0.0	5.46	1.23	0.51	0.29	0.25	0.10
22.5	2.94	0.92	0.37	0.27	0.29	0.05
45.0	2.72	0.83	0.25	0.08	0.05	0.02
67.5	3.85	0.91	0.33	0.16	0.07	0.03
90.0	2.04	0.37	0.05	0.01	-	-
112.5	0.81	0.32	0.05	0.01	-	-
135.0	0.75	0.50	0.13	0.01	-	-
157.5	0.41	0.47	0.16	0.03	-	-
180.0	0.22	0.25	0.06	-	-	-
202.5	0.19	0.24	0.07	-	-	-
225.0	0.23	0.26	0.09	-	-	-
247.5	0.46	0.45	0.18	0.03	0.01	-
270.0	2.93	3.89	2.85	1.61	1.34	0.55
292.5	6.57	7.74	4.12	2.17	1.90	0.89
315.0	8.16	6.39	2.86	1.31	1.13	0.61
337.5	8.37	2.40	0.65	0.30	0.27	0.12

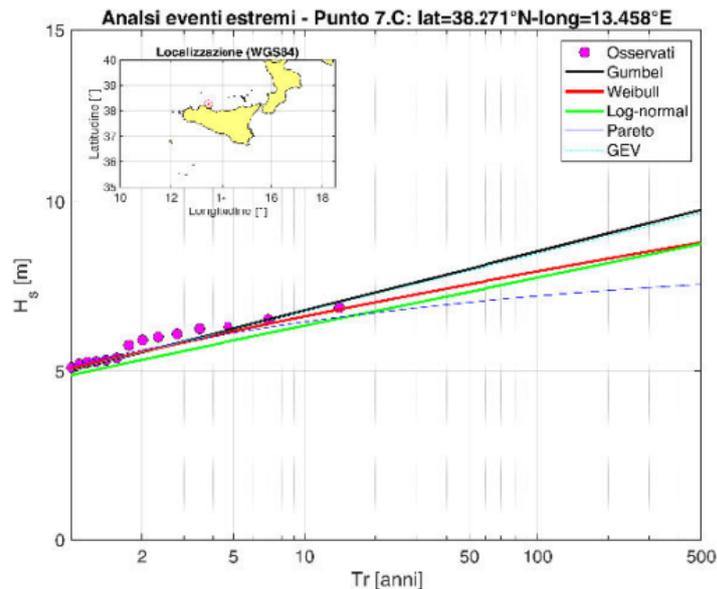


Figura 14: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	313	22.357	3.158	0.960	6.85
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	$\alpha=20\%$	$\alpha=15\%$	$\alpha=10\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$
D_n^*	0.06012	0.06379	0.06864	0.07621	0.09141
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08231	0.05971	0.09491	0.03204	0.08222

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.336	2.726	1.540	1.765	1.476	1.108	0.282	2.000	1.417	-0.225	2.726	0.753	0.005

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.56	5.57	5.34	5.62	5.55
5	6.25	6.17	5.91	6.12	6.24
10	6.77	6.60	6.33	6.44	6.75
50	7.98	7.53	7.31	7.01	7.93
100	8.50	7.91	7.73	7.19	8.43
500	9.70	8.75	8.71	7.53	9.59

3.2.3 Profondità di chiusura dell'Unità Fisiografica del I ordine

La letteratura tecnica definisce la profondità di chiusura come quella profondità, definita per un preciso intervallo temporale, che rappresenta la profondità più prossima alla riva, al largo della quale non si registrano modifiche significative della quota del fondale né trasporto solido significativo tra le zone costiere e il largo.

In questa sede, in analogia con la definizione di ambiti costieri e unità fisiografiche fornita dalle Linee Guida TNEC (MATTM-Regioni, 2018), si può considerare cautelativamente di assumere un valore di 100 anni come tempo di ritorno per la profondità di chiusura, che potrebbe per esempio essere assunta pari alla profondità al frangimento all'interno dell'unità fisiografica di I ordine. Tuttavia la valutazione di tale profondità richiede una conoscenza di dettaglio delle batimetrie in un dato sito, ottenibile mediante la realizzazione di apposite campagne di misura batimetriche che spesso non sono disponibili.

In alternativa, è possibile definire la profondità di chiusura h_c sulla base della sola analisi del moto ondoso al largo, per esempio grazie alla formula di Hallermeier (1978):

$$h_c = 2.28H_{s,12} - 68.5 \frac{H_{s,12}^2}{gT_{s,12}^2}$$

dove $H_{s,12}$ e $T_{s,12}$ sono rispettivamente l'altezza d'onda significativa dell'onda morfologica che viene superata per 12 ore all'anno e il periodo d'onda corrispondente, mentre g è l'accelerazione di gravità.

UF I ordine	Limiti UF	Identificativo punto	$H_{s,12}$ [m]	$T_{s,12}$ [s]	h_c [m]
7	Capo San Vito – Capo Mongerbino	7.C	4.92	10.47	9.68

Tabella 3-5: Profondità di chiusura per l'U.F. di I livello.

3.2.4 Analisi dei livelli idrici

In generale, l'analisi delle variazioni del livello del mare è di fondamentale importanza ai fini della gestione dei fenomeni di dinamica dei litorali. Il livello idrico influisce sulla trasformazione del moto ondoso verso la riva modificando in modo fondamentale le condizioni di frangimento delle onde incidenti e quindi le zone di dissipazione energetica che determinano le correnti litoranee e quindi il trasporto solido.

Il livello idrico muta principalmente per:

- marea
- setup dovuto ai fenomeni meteorologici (pressione e vento)
- setup dovuto alle mareggiate.

A ciò si aggiunga il fenomeno di innalzamento dovuto agli effetti del cambiamento climatico, oramai condiviso, e influente per le analisi che riguardino fenomeni con alto tempo di ritorno (50 anni e oltre).

I modelli matematici impiegati consentono di prevedere la variazione del livello idrico ai fini della conseguente correzione delle computazioni.

Va da sé che i singoli effetti vanno analizzati statisticamente e tutti insieme si compongono in maniera probabilistica.

Segue una panoramica delle componenti principali di variazione dei livelli idrici per l'Unità Fisiografica di nostro interesse.

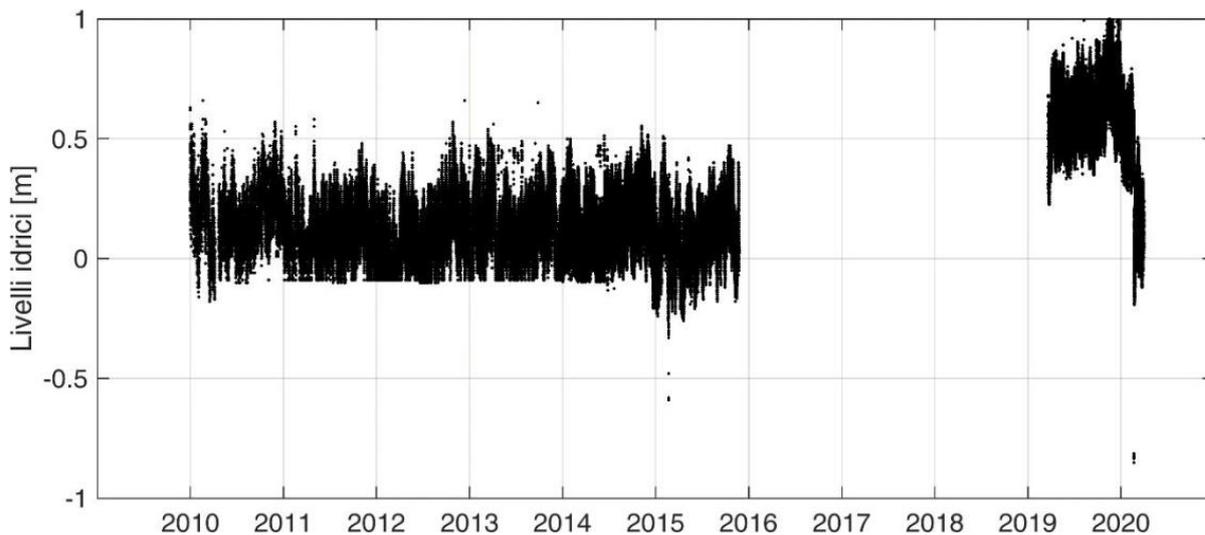


Figura 3-1: Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Palermo (ISPRA RMN)

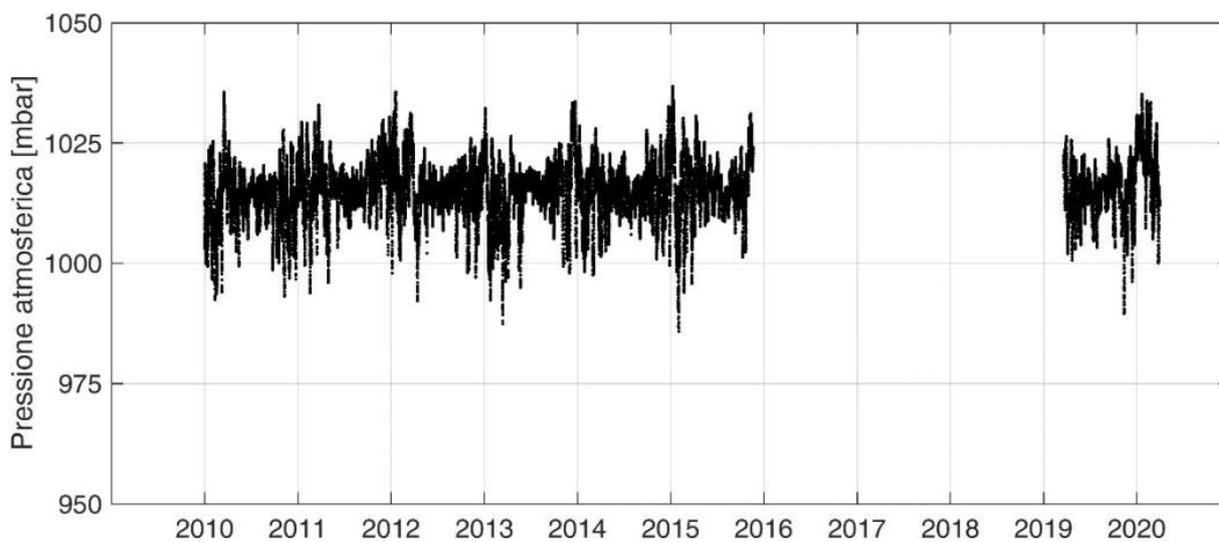


Figura 3-2: Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Palermo (ISPRA RMN)

Stazione	Numero anni di osservazioni	Pressione Min (mbar)	Pressione Max (mbar)	Pressione media (mbar)	Livello medio mare Min (m)	Livello medio mare Max (m)
Palermo	8	985.80	1036.80	1015.55	-0.21	0.30

Tabella 3-6: Valore minimo e massimo della pressione atmosferica e corrispondenti variazioni del livello del mare

	Variazioni di livello del mare per effetto della marea astronomica		Variazioni di livello del mare per effetto della pressione atmosferica		Variazioni di livello del mare per effetto del vento	Variazioni di livello del mare per effetto della marea astronomica e la marea meteorologica	
Palermo	-0.22	0.24	-0.21	0.30	0.01	-0.43	0.55

Tabella 3-7: Sintesi delle escursioni di livello possibili dovute ai fattori principali

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



**Progetti
e opere**
CONTRACTING
SUSTAINABLE IDEAS LAB

envitekk
environmental technologies
www.envitek.eu



EO 901

3.2.5 Analisi della propagazione del moto ondoso dal largo alla costa

La propagazione del moto ondoso è stata effettuata con il modello numerico SWAN (Booij et al., 1999), acronimo di Simulating Wave Nearshore, sviluppato presso la Delft University of Technology fornendo come input i seguenti dati relativi all'area oggetto di studio:

i) batimetrici; ii) di vento; iii) di moto ondoso al largo.

Ciò ha consentito di determinare le caratteristiche del moto ondoso sottocosta e, precisamente, in corrispondenza della batimetrica 20 m.

La validazione delle caratteristiche del moto ondoso sottocosta stimate mediante il modello SWAN è stata condotta sulla base di dati ondometrici ricavati da satellite e fornite dall'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) attraverso il progetto GlobWave.

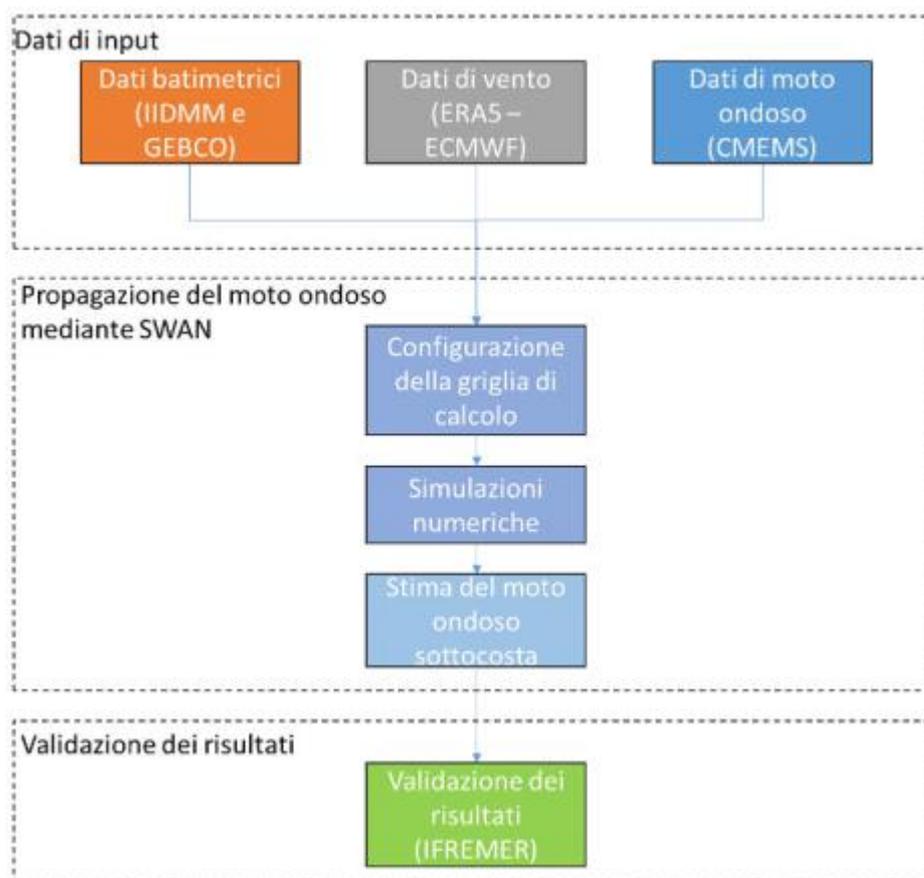


Figura 3-3: Schema di sintesi delle fasi per il modello di propagazione del moto ondoso

3.2.6 Analisi del moto ondoso in prossimità dell'isobata 20m

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

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
7.3.2.a	13.3730	38.1690	357440.75	4225813.82
7.3.2.b	13.4390	38.1040	363161.84	4218467.80

Tabella 3-8: Coordinate dei nodi estratti dalla griglia di calcolo per l'analisi sottocosta

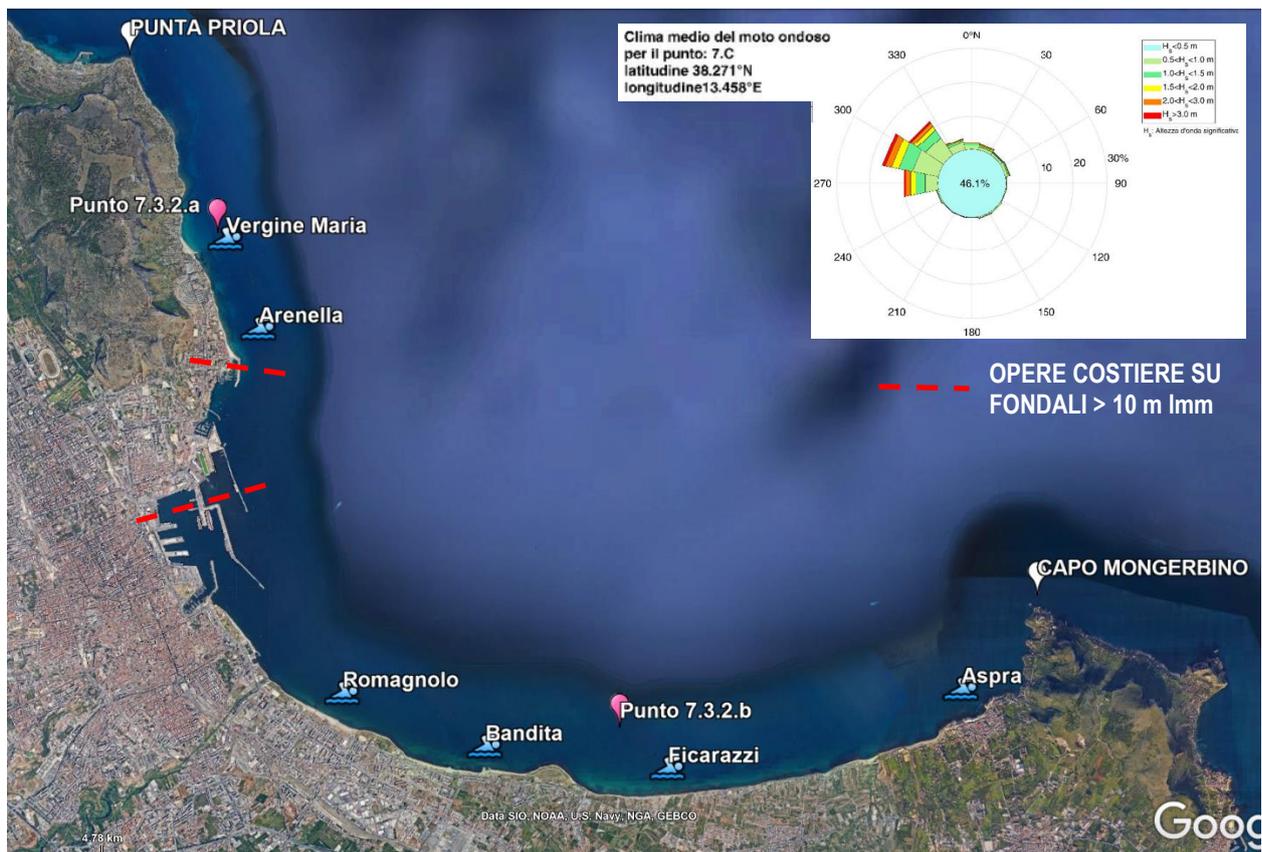


Figura 3-4: Punti per l'analisi del moto ondoso sottocosta per le spiagge dell'U.F. 7.3.2

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

3.2.6.1 Analisi per il Punto 7.3.2.a

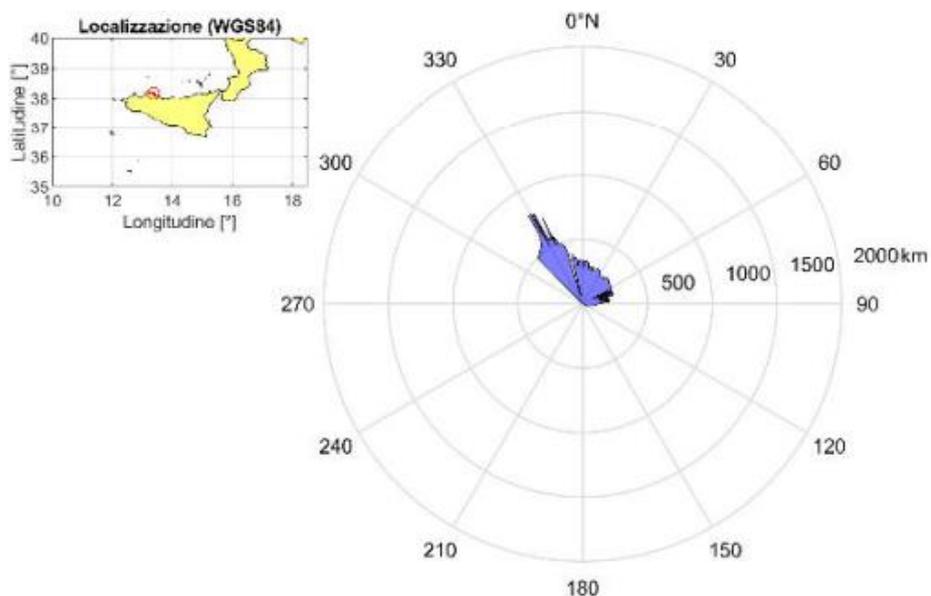


Figura 1: Fetch geografico.

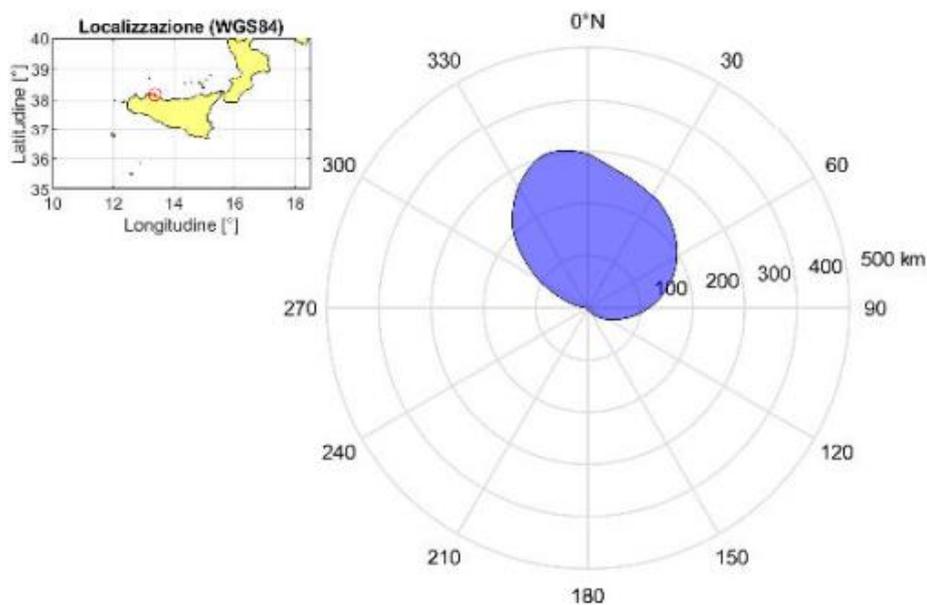


Figura 2: Fetch efficace.

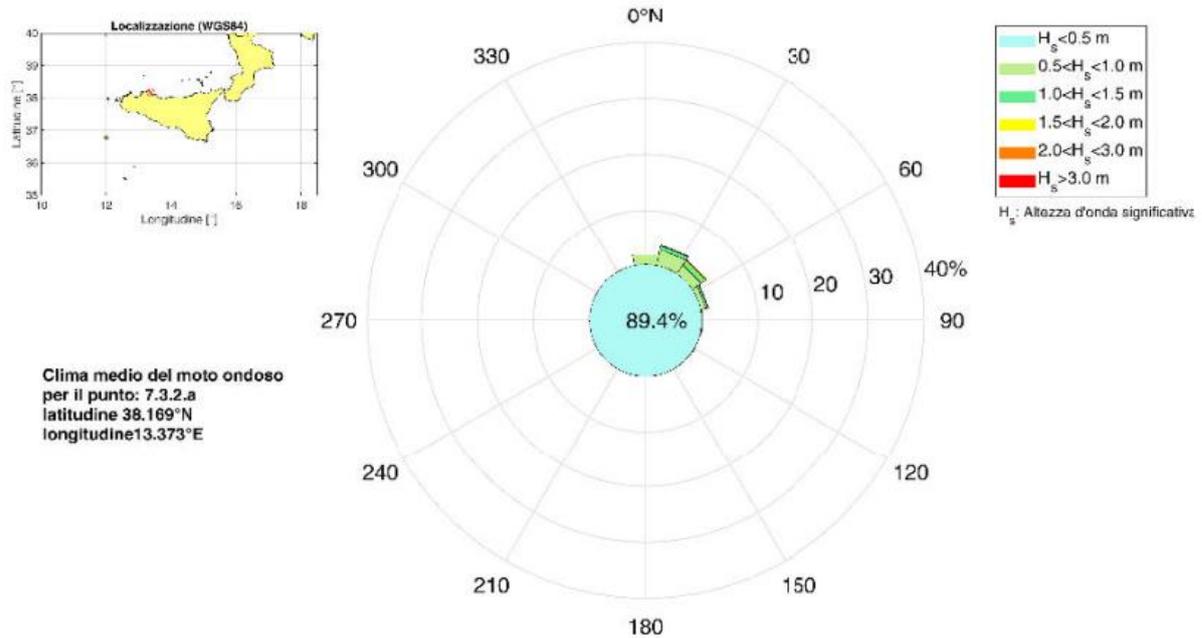


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5–1.0 m	1.0–1.5 m	1.5–2.0 m	2.0–3.0 m	>3.0 m
0.0	29.06	1.94	0.02	-	-	-
22.5	29.62	2.94	0.67	0.13	0.03	-
45.0	11.65	1.89	0.73	0.29	0.10	-
67.5	8.70	1.01	0.32	0.08	0.04	0.01
90.0	2.39	0.22	0.01	-	-	-
112.5	1.96	0.16	-	-	-	-
135.0	1.43	-	-	-	-	-
157.5	0.65	-	-	-	-	-
180.0	0.25	-	-	-	-	-
202.5	0.30	-	-	-	-	-
225.0	0.32	-	-	-	-	-
247.5	0.25	-	-	-	-	-
270.0	0.21	-	-	-	-	-
292.5	0.27	-	-	-	-	-
315.0	0.54	-	-	-	-	-

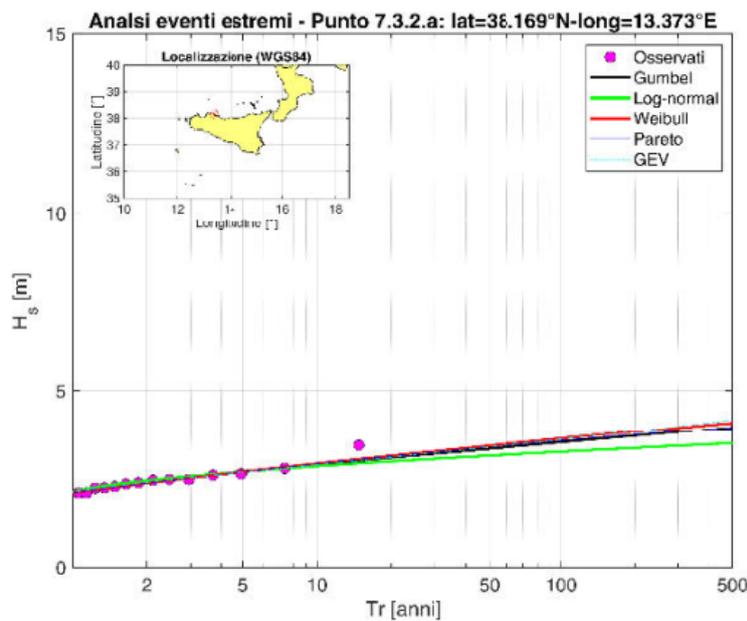


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	18	1.286	2.365	0.348	3.43
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	$\alpha=20\%$	$\alpha=15\%$	$\alpha=10\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$
D_n^*	0.24360	0.25801	0.27851	0.30936	0.37062
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10696	0.10473	0.12015	0.11731	0.11985

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.692	2.208	0.413	1.970	1.137	0.852	0.135	2.000	0.397	-0.087	2.205	0.247	-0.066

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.40	2.36	2.43	2.36	2.38
5	2.69	2.68	2.69	2.68	2.67
10	2.89	2.91	2.84	2.91	2.88
50	3.33	3.42	3.14	3.38	3.38
100	3.52	3.63	3.25	3.57	3.61
500	3.96	4.10	3.50	3.96	4.19

3.2.6.2 Analisi per il Punto 7.3.2.b

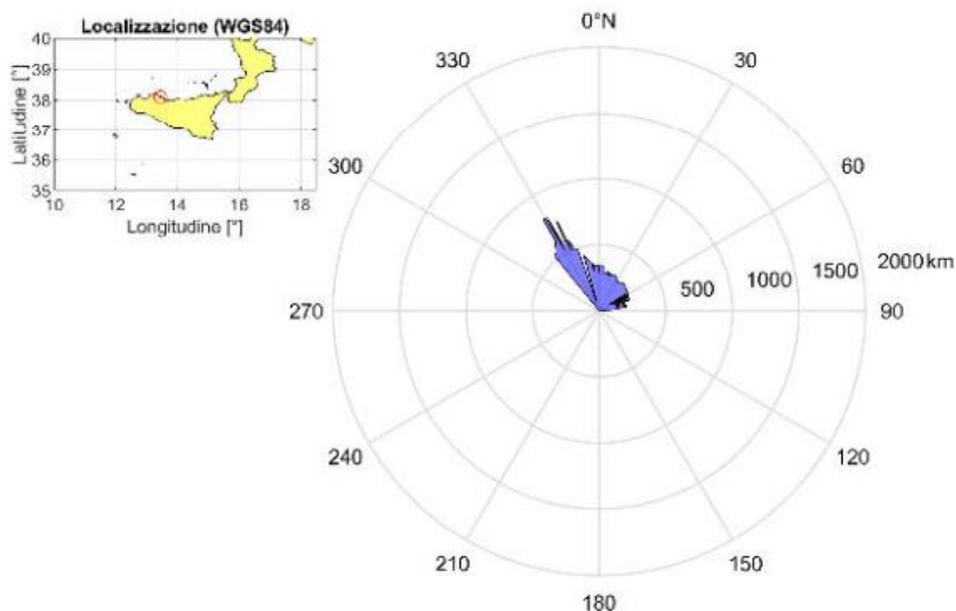


Figura 6: Fetch geografico.

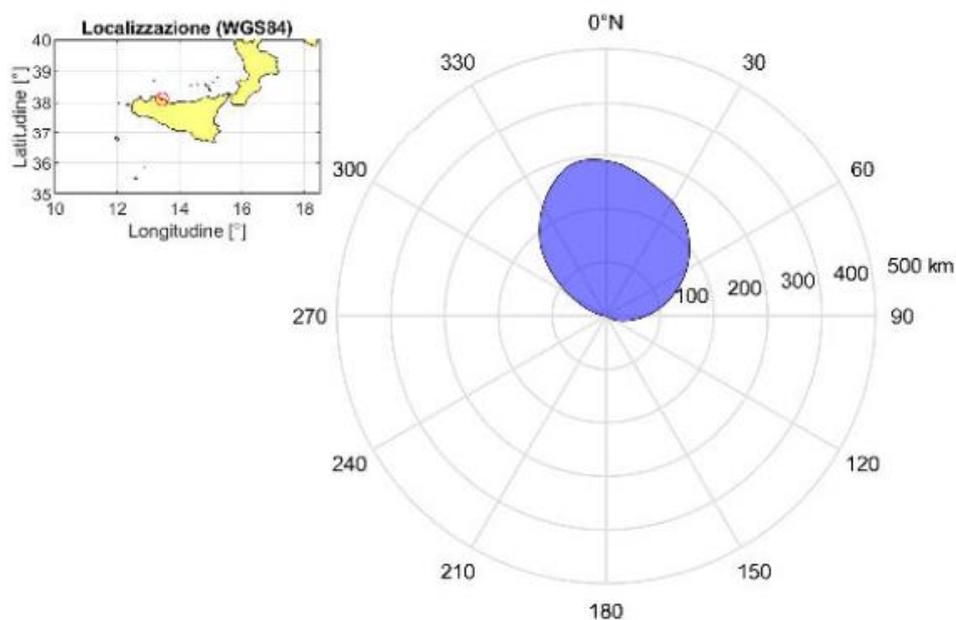


Figura 7: Fetch efficace.

B.03 - RELAZIONE SULLA DINAMICA LITORANEA LOCALE

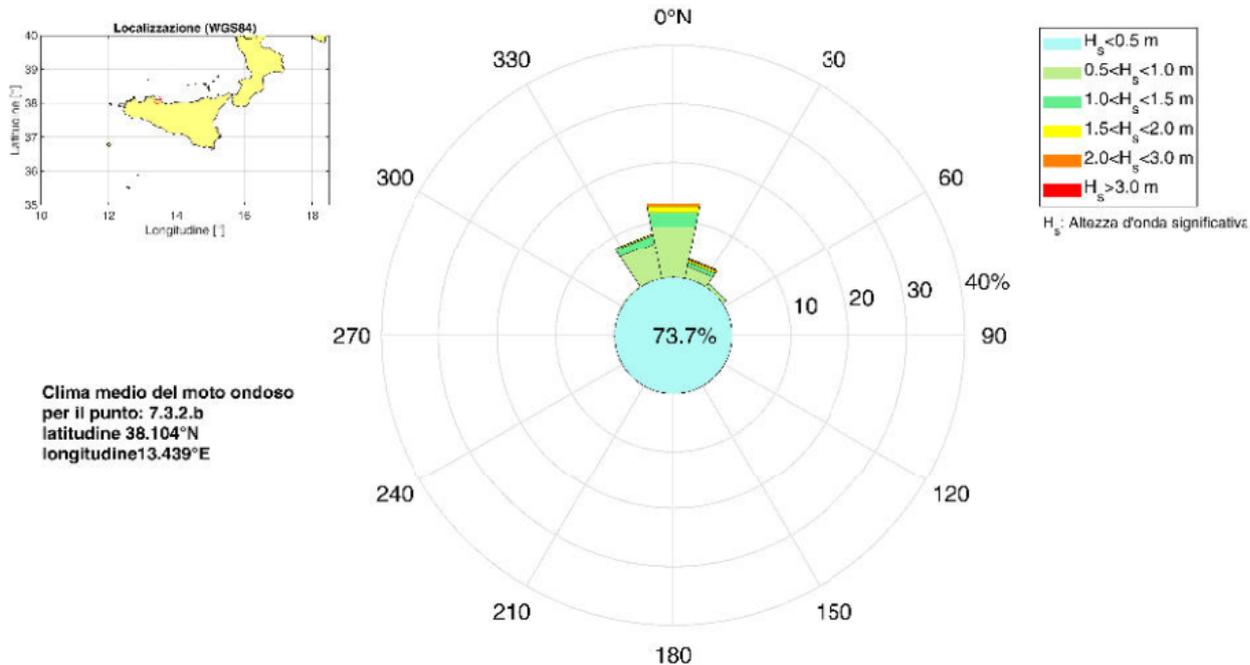


Figura 8: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5–1.0 m	1.0–1.5 m	1.5–2.0 m	2.0–3.0 m	>3.0 m
0.0	31.48	9.26	2.57	1.05	0.48	0.06
22.5	10.80	2.10	0.69	0.44	0.24	0.01
45.0	8.39	0.71	0.13	0.01	-	-
67.5	2.08	0.03	-	-	-	-
90.0	0.22	-	-	-	-	-
112.5	0.28	-	-	-	-	-
135.0	0.28	-	-	-	-	-
157.5	0.35	-	-	-	-	-
180.0	0.49	-	-	-	-	-
202.5	0.32	-	-	-	-	-
225.0	0.18	-	-	-	-	-
247.5	0.14	-	-	-	-	-
270.0	0.14	-	-	-	-	-
292.5	0.28	0.02	-	-	-	-
315.0	0.95	0.33	-	-	-	-
337.5	17.30	6.34	1.55	0.26	0.02	-

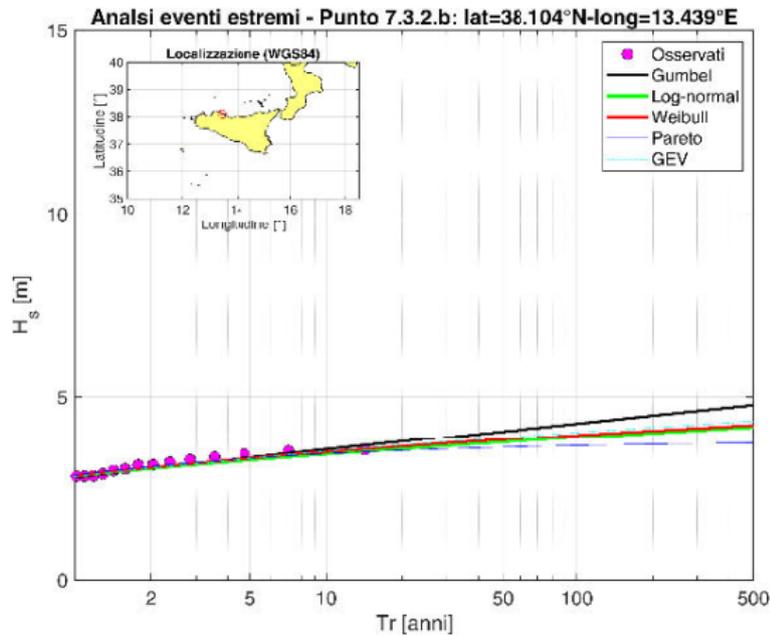


Figura 9: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	65	4.643	2.511	0.407	3.53
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	$\alpha=20\%$	$\alpha=15\%$	$\alpha=10\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$
D_n^*	0.13055	0.13857	0.14915	0.16568	0.19877
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10868	0.08193	0.10583	0.08453	0.09885

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.153	2.328	0.832	1.773	1.886	0.908	0.156	2.000	0.732	-0.408	2.336	0.348	0.079

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.02	3.05	3.01	3.07	3.03
5	3.32	3.30	3.24	3.30	3.30
10	3.54	3.47	3.40	3.42	3.49
50	4.06	3.82	3.74	3.60	3.88
100	4.28	3.95	3.88	3.65	4.03
500	4.79	4.24	4.18	3.72	4.35

4 Stima della deriva dei sedimenti

La morfodinamica delle spiagge basse è fortemente influenzata dalle correnti litoranee generate dal moto ondoso e dalla conseguente deriva dei sedimenti. In particolare, al fine di valutare la direzione media della deriva dei sedimenti in corrispondenza dell'unità fisiografica di III ordine è stata condotta un'analisi dell'energia associata al moto ondoso. Tale analisi è stata condotta sulla base del flusso di energia stimato da SWAN mediante le seguenti relazioni:

$$P_x = \rho_w g \iint c_x E(\sigma_w, \theta_w) d\sigma_w d\theta_w$$

$$P_y = \rho_w g \iint c_y E(\sigma_w, \theta_w) d\sigma_w d\theta_w$$

dove:

ρ_w è la densità dell'acqua, assunta pari a 1025 kg/m³

g è l'accelerazione di gravità

c_x e c_y sono le componenti rispettivamente in x e y della velocità di gruppo

σ_w è la frequenza angolare

θ_w è la direzione dell'onda.

Assunta l'assenza di correnti, per il flusso di energia si è considerata la stessa direzione del moto ondoso. Il sistema di riferimento è caratterizzato dall'asse x orientato verso Est e l'asse y orientato verso Nord.

Le analisi energetiche sono state condotte per il punto caratteristico ad una profondità prossima a 20 m. Per il punto selezionato è stata valutata la percentuale degli eventi per classe di flusso di energia e per classe di direzione di provenienza del moto ondoso.

Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°. In particolare, sono stati considerati i settori centrati nelle direzioni: 0°N, 22.5°N, 45°N, 67.5°N, 90.0°N, 112.5°N, 135.0°N, 157.5°N, 180.0°N, 202.5°N, 225.0°N, 247.50°N, 270.0°N, 292.5°N, 315.0°N e 337.5°N.

La direzione media del flusso di energia del moto ondoso è stata stimata mediante la seguente relazione:

$$\overline{Dir} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Dir_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

dove P è il flusso di energia associato allo i-esimo stato di mare e Dir è la direzione di propagazione del moto ondoso.

La convenzione adottata per descrivere la direzione media del flusso di energia del moto ondoso, la direzione media della linea costa e la direzione media della deriva dei sedimenti è illustrata in Figura 4-1.

In particolare, analogamente alla definizione della direzione del moto ondoso, la direzione del flusso di energia medio annuo è indicata attraverso la direzione di propagazione.

La direzione della linea di costa è rappresentata dall'angolo tra il Nord e il segmento OA dove il punto A è convenzionalmente sempre posto a destra della direzione del flusso di energia medio annuo. In funzione del valore che assume l'angolo tra la linea di costa e il flusso di energia medio annuo del moto ondoso, la direzione media della deriva dei sedimenti è uguale alla direzione della linea di costa (Figura 4-1 a) oppure alla direzione opposta a quella della linea di costa (Figura 4-1 b).

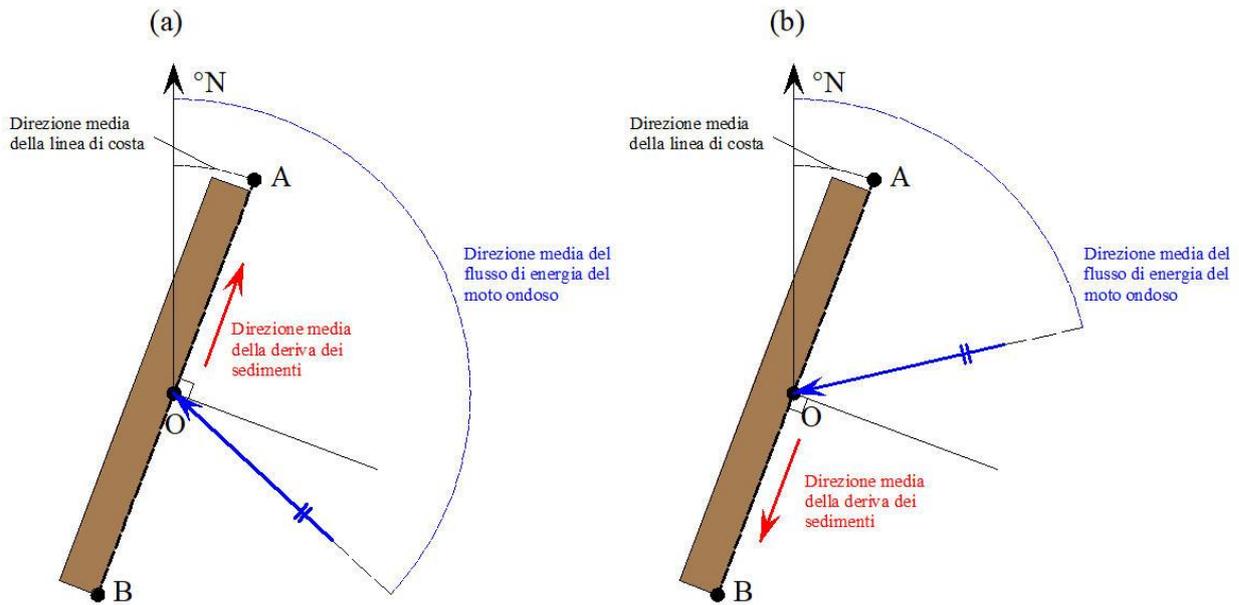


Figura 4-1: Definizione della direzione media del flusso di energia del moto ondoso, della direzione media della linea costa e della direzione media della deriva dei sedimenti: a) direzione della deriva concorde con la direzione della linea di costa; b) direzione della deriva opposta alla direzione della linea di costa

Nella figura di sintesi delle elaborazioni si riporta la distribuzione direzionale del flusso di energia, la direzione media della linea di costa in prossimità del punto selezionato, l'ortogonale alla linea di costa, della direzione media della deriva dei sedimenti. Il cerchio centrale indica il numero di eventi caratterizzati da un flusso di energia inferiore o uguale a 1 kW/m. In grigio sono indicate le direzioni lato terra.

Identificati del punto	Direzione media del flusso di energia [°N]	Direzione media della linea di costa [°N]	Direzione media della deriva dei sedimenti [°N]
7.3.2.a	36.22	344.54	164.54
7.3.2.b	358.80	271.92	91.92

Tabella 4-1: Indicazioni sulla deriva dei sedimenti

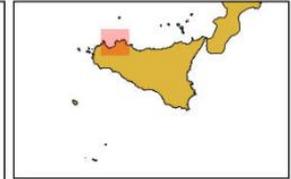
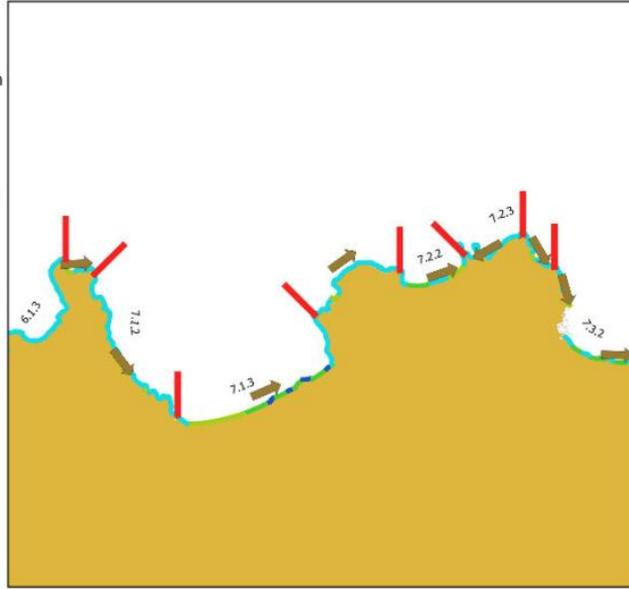


Legenda

Limite UF di III ordine
Direzione media delle deriva

Tipologia di costa

- Costa alta ciottolosa
- Costa alta rocciosa
- Costa bassa ciottolosa
- Costa bassa rocciosa
- Costa bassa sabbiosa
- Costa bassa sabbiosa-ciottolosa
- Costa calcarenitica bassa
- Costa calcarenitica bassa e sabbiosa
- Irridita



COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



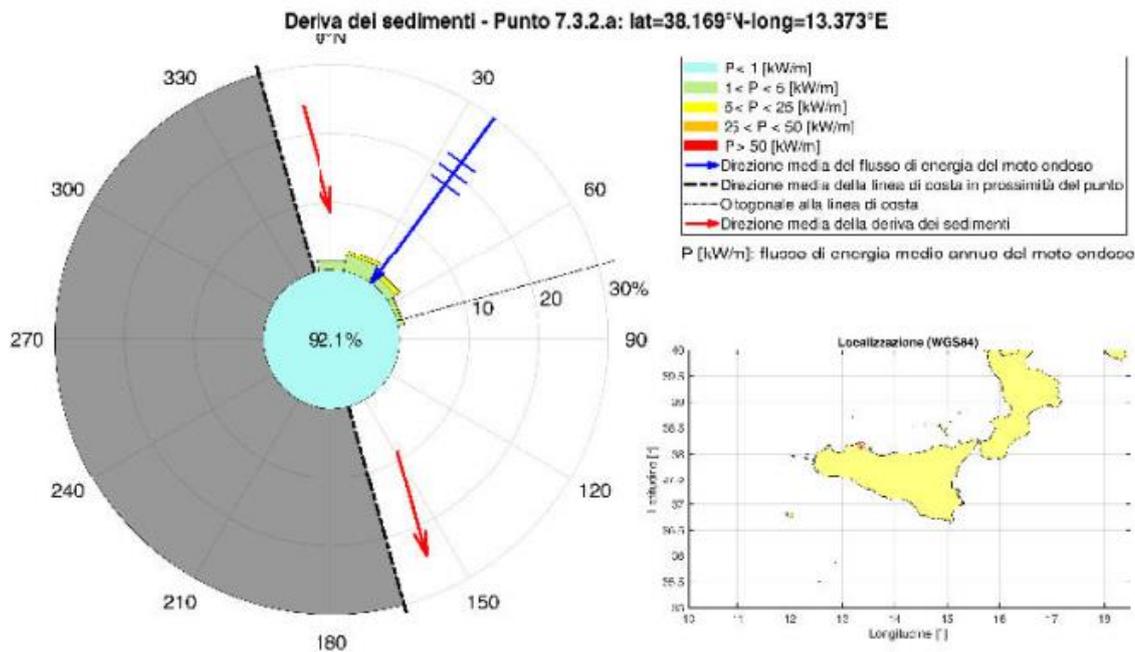


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Figura 10: Deriva dei sedimenti.

5 Considerazioni sedimentologiche

5.1 Granulometria

Nell'Unità Fisiografica gestionale di riferimento le spiagge sono caratterizzate da sabbie medie e sabbie grosse, probabilmente fatta eccezione per quella di Campofelice di Roccella dove la frazione granulometrica più sottile risulta completamente erosa, lasciando il posto a una spiaggia relitta ghiaioso – ciottolosa, solo raramente sabbiosa.

Le spiagge della provincia di Palermo, da Capo Rama a Cefalù, si presentano alquanto disomogenee, nella spiaggia emersa si riscontrano sedimenti che variano da sabbie fini a ciottoli medio grossolani, anche se i sedimenti più rappresentativi sono prevalentemente le sabbie medie e secondariamente le sabbie grossolane (Cfr. Figura 5-1). Variano da ben classificati a moderatamente classificati e con valori di asimmetria che variano da simmetriche ad asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa).

I sedimenti di battigia variano da sabbie medie a ciottoli medio grossolani, da ben classificati a pochissimo classificati.

I campioni di spiaggia sommersa (-1 m lmm) variano da sabbia media a ciottoli medio-fini, da ben classificati a pochissimo classificati. Ci sono tratti in cui sono presenti massi.

Una buona informazione maggiormente pregnante proviene dalla base dati costituita col progetto BESS, che ha incluso la spiaggia di Vergine Maria tra quelle studiate.

Di seguito si riportano le schede con le analisi granulometriche per:

- Campionamenti di spiaggia (sigla SP)
- Campionamenti di battigia, sia in periodo estivo che in periodo invernale (sigla BT)
- Campionamenti a profondità -1 m lmm (sigla -1)

L'ubicazione dei campionamenti è riportata nella Figura 6-9 a pag. 52.

5.2 Composizione

L'analisi composizionale evidenzia la variazione composizionale dei sedimenti che è legata alla geodiversità locale.

La composizione delle spiagge è ascrivibile alla presenza di successioni carbonatiche costituenti le Unità Panormidi che caratterizzano i Monti di Palermo e di San Vito.

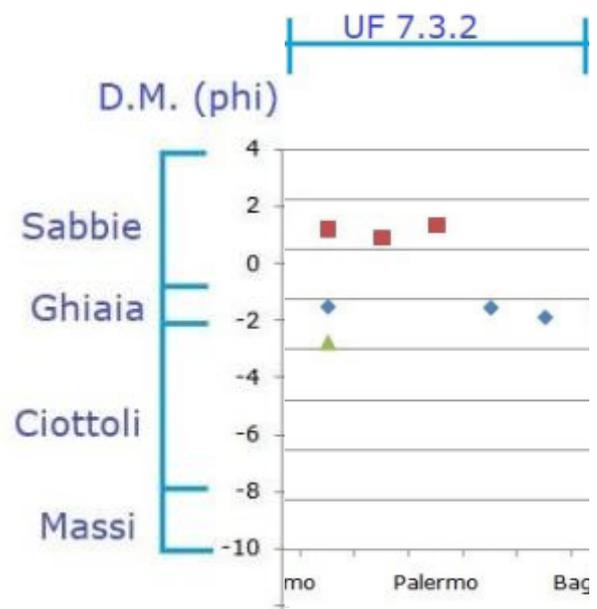


Figura 5-1: Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m

Codice	SIC24PA11
Posizione	SP
Transetto	CX
Sigla	SIC24PA11_SP_CX
Diametro Medio ϕ	0.80
Diametro Medio	Sabbia Grossa
Deviazione Standard	0.78
Deviazione Standard	Sedimento moderatamente classato
Ciottoli Grossolani %	0.00
Ciottoli Medi %	0.00
Ciottoli Fini %	0.82
Ghiaie %	0.52
Sabbia Grossolana %	55.84
Sabbia Media %	38.42
Sabbia Fine %	4.37
Passante %	0.03
Skewness ϕ	-0.06
Kurtosis ϕ	0.87
Moda ϕ	1.50
Mediana ϕ	0.83
Data	2019-05-08
Provincia	PALERMO
Comune	PALERMO
Località	PALERMO VERGINE MARIA



Figura 5-2: Vergine Maria - Caratterizzazione granulometrica – Spiaggia, estate

Codice	SIC24PA11
Posizione	BT
Transetto	CX
Sigla	SIC24PA11_BT_CX
Diametro Medio ϕ	-2.30
Diametro Medio	Ciottoli Fini
Deviazione Standard	0.92
Deviazione Standard	Sedimento moderatamente classato
Ciottoli Grossolani %	0.00
Ciottoli Medi %	4.63
Ciottoli Fini %	37.79
Ghiaie %	57.50
Sabbia Grossolana %	0.08
Sabbia Media %	0.00
Sabbia Fine %	0.00
Passante %	0.00
Skewness ϕ	-0.59
Kurtosis ϕ	0.91
Moda ϕ	-1.41
Mediana ϕ	-1.91
Data	2019-05-08
Provincia	PALERMO
Comune	PALERMO
Località	PALERMO VERGINE MARIA



Figura 5-3: Vergine Maria - Caratterizzazione granulometrica – Battigia, estate

Codice	SIC24PA11
Posizione	BT
Transetto	CX
Sigla	SIC24PA11_BT_CX
Diametro Medio ϕ	-1.33
Diametro Medio	Ghiaie
Deviazione Standard	0.71
Deviazione Standard	Sedimento moderatamente classato
Ciottoli Grossolani %	0.00
Ciottoli Medi %	0.00
Ciottoli Fini %	14.24
Ghiaie %	59.57
Sabbia Grossolana %	25.40
Sabbia Media %	0.53
Sabbia Fine %	0.26
Passante %	0.00
Skewness ϕ	0.31
Kurtosis ϕ	1.11
Moda ϕ	-1.41
Mediana ϕ	-1.45
Data	16/01/2020
Provincia	PALERMO
Comune	PALERMO
Località	PALERMO VERGINE MARIA



Figura 5-4; Vergine Maria - Caratterizzazione granulometrica – Battigia, inverno

Codice	SIC24PA11
Posizione	-1
Transetto	CX
Sigla	SIC24PA11_-1_CX
Diametro Medio ϕ	-3.71
Diametro Medio	Ciottoli Medio Fini
Deviazione Standard	1.36
Deviazione Standard	Sedimento poco classato
Ciottoli Grossolani %	0.00
Ciottoli Medi %	50.57
Ciottoli Fini %	35.62
Ghiaie %	8.61
Sabbia Grossolana %	2.20
Sabbia Media %	0.99
Sabbia Fine %	2.01
Passante %	0.00
Skewness ϕ	0.52
Kurtosis ϕ	1.01
Moda ϕ	-4.25
Mediana ϕ	-4.26
Data	2019-05-08
Provincia	PALERMO
Comune	PALERMO
Località	PALERMO VERGINE MARIA



Figura 5-5: Vergine Maria - Caratterizzazione granulometrica – -1 m Imm, estate

6 Morfologia costiera

Come già esposto l'unità fisiografica relativa al Porto di Palermo è delimitata dai promontori di Punta di Priola a Nord Ovest e Capo Mongerbino a Est per una falcatura di circa 15 km.

All'interno si possono individuare tre diversi orientamenti principali della costa (A, B, C vedi Figura 6-1): un primo a Nord Ovest con normale orientata a 85°N che va da Punta Priola al porto di S.Erasmo per una lunghezza di circa 7.5 km, il secondo con normale a 20°N e lungo circa 4.7 km che va dal Porto di S. Erasmo al promontorio in corrispondenza di Porto Bandita, il terzo orientato con normale a 350°N e lungo 6 km.

Il primo tratto (tratto A) si presenta prevalentemente occupato dalle strutture del porto con un fondale antistante che ha una pendenza di circa il 0.1-0.15%. caratterizzato da isobate che seguono regolarmente il profilo della riva, la isobata -10 è a circa 100-140 m da riva. La costa, laddove non è presente alcuna struttura portuale, è prevalentemente rocciosa ad eccezione del tratto più a Nord tra la località Vergine Maria e il radicamento del molo di sopraflutto dell'Arenella.

Il secondo (B) così come anche il terzo tratto (C) sono prevalentemente con fondale sabbioso, le pendenze sono di circa 0.02% e morfologicamente presenta isobate regolari. L'isobata dei 10 m è distante circa 500 ÷ 600 m dalla riva.

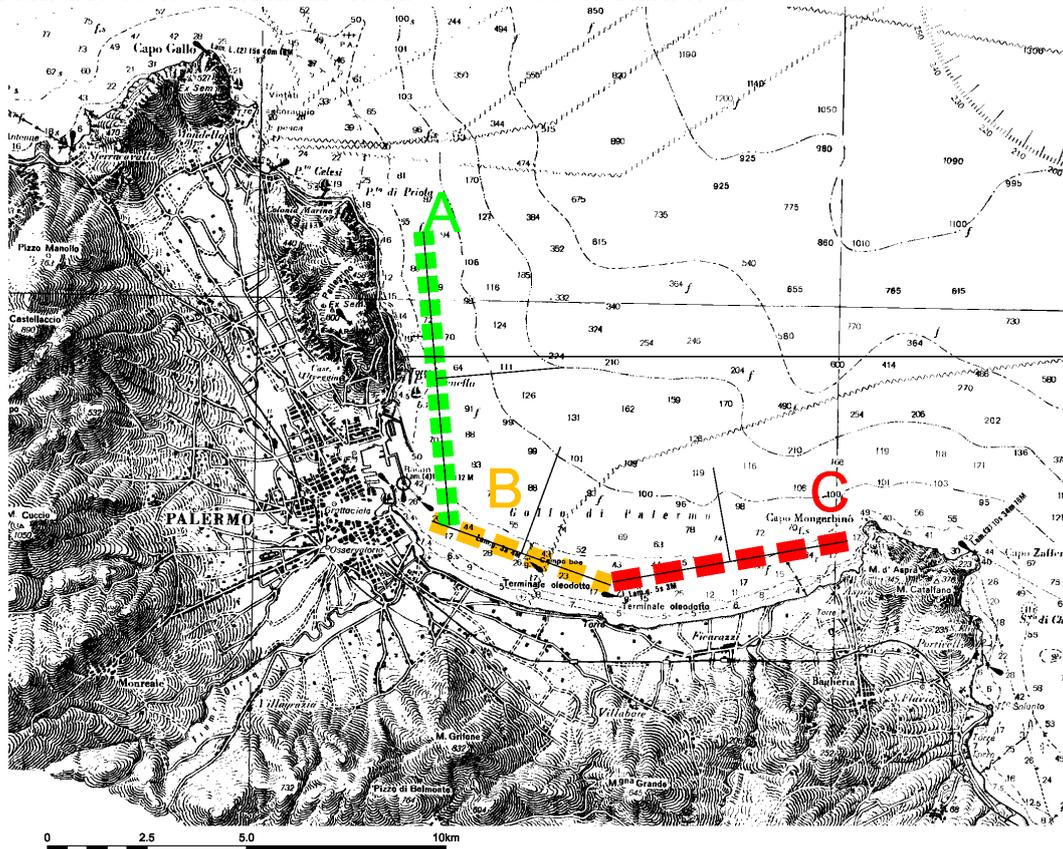


Figura 6-1: Individuazione dei tratti costieri del paraggio

La Figura 3-4 a pag. 28 mostra le spiagge insistenti nell'unità fisiografica gestionale di riferimento (7.3.2).

All'interno dell'U.F. insiste il complesso portuale dell'Arenella e di Palermo che con le loro opere foranee che si aggettano ben oltre le profondità di chiusura dell'U.F. di I livello, costituiscono barriera al vettore traspedeponzionale locale.

6.1 Stato delle coste registrato

6.1.1 Il PAI coste

Con il Piano per l'Assetto Idrogeologico viene avviata, nella Regione Siciliana, la pianificazione di bacino, intesa come lo strumento fondamentale della politica di assetto territoriale delineata dalla legge 183/89, della quale ne costituisce il primo stralcio tematico e funzionale.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, denominato anche P.A.I., redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dell'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000, ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.

Come già detto le competenze oggi sono transitate all'Autorità di bacino del Distretto Idrografico della Sicilia.

6.1.2 Il Progetto Coste

La pianificazione sull'assetto idrogeologico ha visto la piena attuazione nei primi anni del 2000 e ha rappresentato la svolta nell'uso del territorio finalizzata contemporaneamente a ridurre il rischio idrogeologico e a non generarne altro. Sulla base di questa esperienza si innesta la prima iniziativa del Ministero dell'ambiente in materia di difesa delle coste, avvenuta nel 2006 ad opera della Direzione Generale per la Difesa del suolo, da cui è derivato un prodotto certamente preliminare, ma che ha dato modo di esaminare lo stato di dissesto e di potenziale rischio delle coste italiane, di raccogliere le prime esperienze maturate direttamente dalle Regioni e Autorità di bacino, di impostare le basi per la definizione delle regole generali necessarie alla pianificazione di settore.

Le prime elaborazioni del 2006 hanno consentito di ottenere un inquadramento generale della problematica dell'erosione costiera a scala nazionale attraverso la quantificazione di macrodati relativi alla variazione della linea di costa, ai tratti a potenziale rischio di erosione e alle unità fisiografiche principali costiere.

Le nuove elaborazioni a scala nazionale del 2016, aggiornate al marzo 2017, effettuate anch'esse con tecniche GIS e ponendo a confronto le linee di riva del 1960 (derivate dalla cartografia IGMI 1:25.000) e quelle del 1994 e 2012 (ricavate dalle ortofoto presenti sul Geoportale Nazionale), hanno fornito nuovi elementi di analisi dei fenomeni di variazione della costa bassa. Infatti, il periodo 1994-2012 è significativo in quanto rappresenta la fase temporale corrispondente alle prime regolamentazioni sulla gestione dei sedimenti lungo i corsi d'acqua principali e ai primi interventi di ripascimento artificiale lungo alcuni tratti di spiagge italiane. Le elaborazioni hanno riguardato solo l'Italia peninsulare, la Sicilia e la Sardegna, sono escluse quindi tutte le isole minori.

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



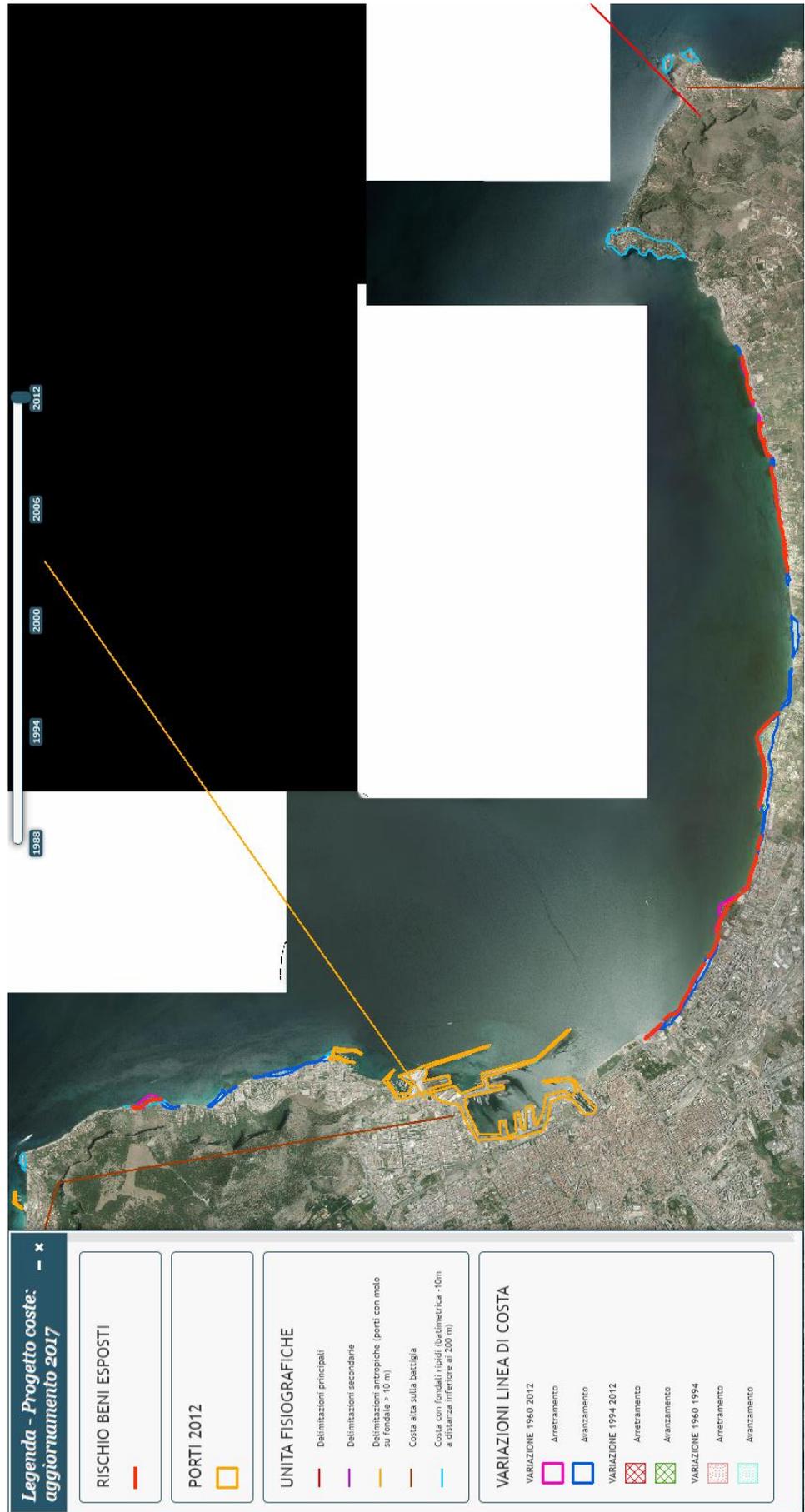


Figura 6-2:
 Elaborazione di sintesi
 dal Progetto Coste
 (Fonte: PCN)

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
 del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



Progetti
 e opere
 CONTRACTING
 SUSTAINABLE IDEAS LAB

envitek
 environmental technologies
 www.envitek.eu



6.2 Considerazioni per il proseguimento dello studio

Dovendo trattare gli effetti del progetto a cui la presente relazione si riferisce, ovvero di completamento dell'opera di sopraflutto del Porto dell'Arenella, dalle analisi svolte risulta evidente che gli effetti potrebbero verificarsi solo sottoflutto, ovvero verso sud.

Tuttavia in quella direzione non vi sono spiagge fino al Porto dell'Acquasanta e quindi al Porto di Palermo, che con le sue imponenti opere foranee sovrasta gli effetti del Porto dell'Arenella e che ha già manifestato e storicizzato le sue influenze sulla costa.

Si è voluto tuttavia analizzare con dettaglio maggiore quanto accaduto negli anni anche nelle spiagge a nord, Arenella e Vergine Maria.

6.3 Analisi diacronica

6.3.1 Spiagge della costa a sud dei siti portuali di Arenella e Palermo

È possibile avere un'idea di tipo qualitativo generale dell'evoluzione della linea di riva nell'U.F. gestionale di riferimento osservando le differenti fotografie aeree dell'area per gli anni 1994, 2000, 2006 e 2012, oltre alle più aggiornate immagini satellitari pubblicate da Google Earth.

La comparazione delle immagini non mostra evidenti segni di erosione o di deposito in zone particolari. Globalmente sembra quindi che non vi siano significativi spostamenti di sedimento o nel qual caso sono caratteristici di un equilibrio dinamico.

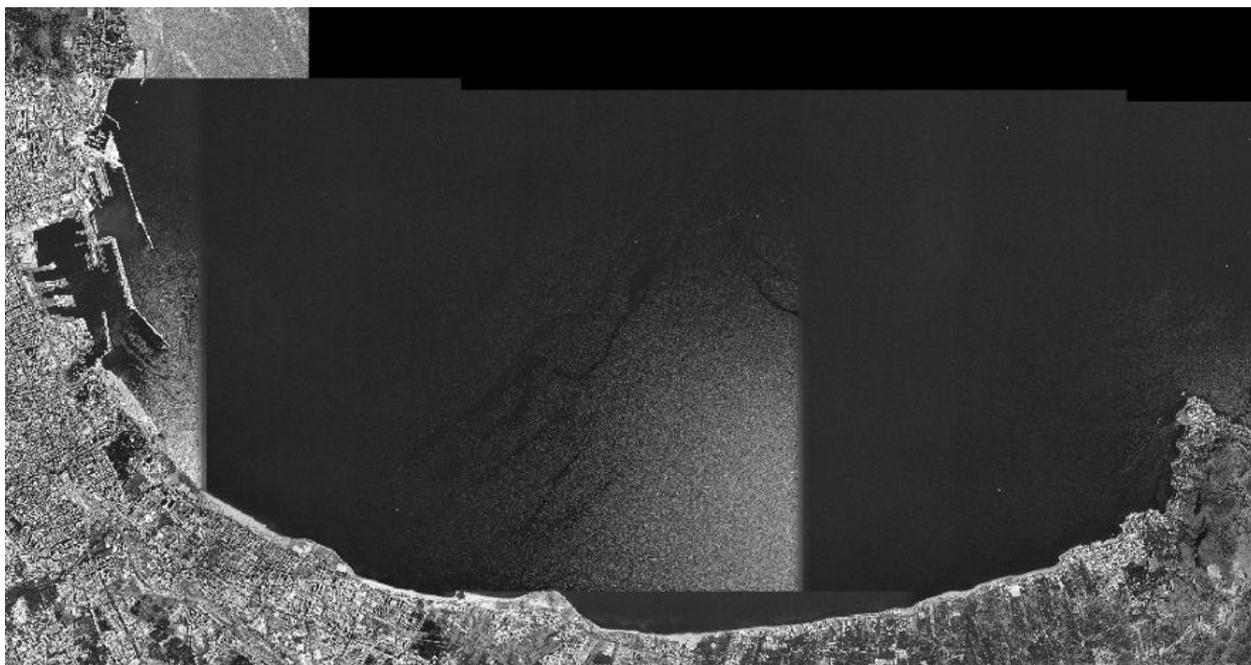


Figura 6-3: Ortofotopiano dell'area oggetto di studio dal Porto dell'Arenella a Punta Mongerbino del 1994

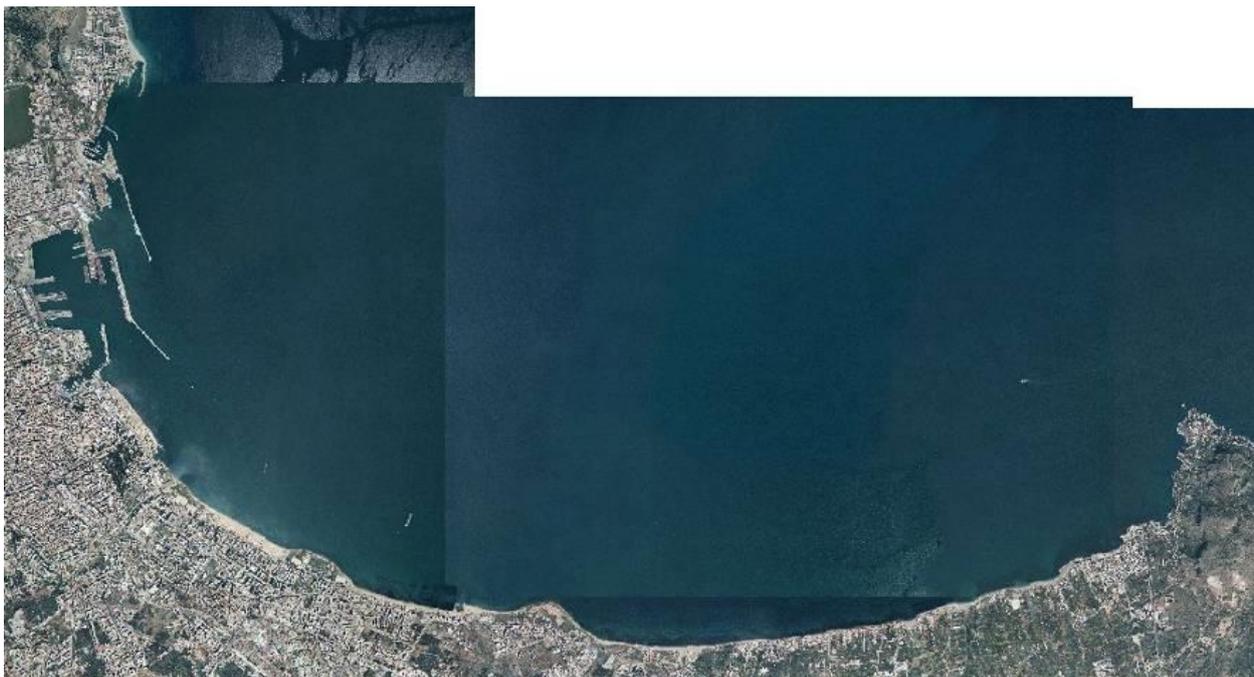


Figura 6-4: Ortofotopiano dell'area oggetto di studio dal Porto dell'Arenella a Punta Mongerbino del 2000



Figura 6-5: Ortofotopiano dell'area oggetto di studio dal Porto dell'Arenella a Punta Mongerbino del 2006

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



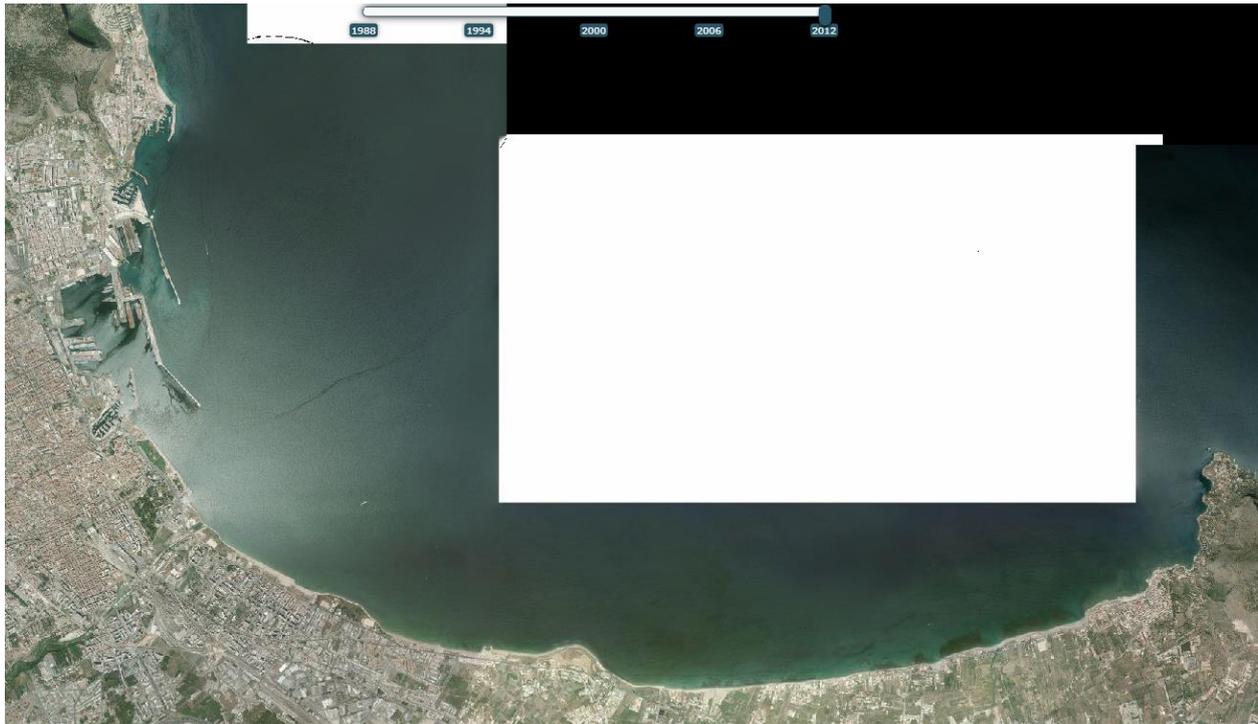


Figura 6-6: Ortofotopiano dell'area oggetto di studio dal Porto dell'Arenella a Punta Mongerbino del 2012

6.3.2 Spiaggia dell'Arenella

La spiaggia dell'Arenella si è formata di recente a seguito degli interventi antropici sulla costa, ovvero la costruzione del molo foraneo del Porto dell'Arenella e il dissolvimento di accumuli di risulta posizionati sulla costa a nord a seguito della Seconda Guerra Mondiale.

Intorno al 2009 viene costruita, senza apparente motivazione, una scogliera soffolta per 233 m. Questa non ha comportato alcun effetto se non alle casse dell'erario.

Si riporta di seguito l'analisi diacronica qualitativa basata su immagini satellitari (Fonte Google Earth).

Non si rilevano particolari tendenze se non una probabile regressione a seguito della costruzione della scogliera soffolta.



Figura 6-7: Spiaggia dell'Arenella - Analisi diacronica - la scogliera fu costruita intorno al 2009

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE





Figura 6-8: Spiaggia dell'Arenella, Confronto linea di riva 2005 MAG - 2020 MAG

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



6.3.3 Vergine Maria

Anche la spiaggia di Vergine Maria è di recente formazione a seguito dell'intervento di costruzione del pennello a protezione della omonima tonnara. La spiaggia è stata inserita nel Progetto BESS, riconoscendole implicitamente le caratteristiche della *pocket beach*. Anche per il caso dei Vergine Maria si riconosce un sostanziale stato di equilibrio dinamico della linea di riva.



Figura 6-9: Descrizione visuale della spiaggia e ubicazione dei campionamenti sedimentologici (Fonte: Progetto BESS)



Figura 6-10: Spiaggia di Vergina Maria - Analisi diacronica

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



Progetti
CONTRACTING
e opere
SUSTAINABLE IDEAS LAB

envitek
environmental technologies
www.envitek.eu



EO 9001



Figura 6-11: Spiaggia di Vergine Maria - Confronto linea di riva 2005 MAG - 2020 MAG

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



Progetti
CONTRACTING e opere
SUSTAINABLE IDEAS LAB

envi**tekk** environmental technologies
www.envitek.eu



ISO 9001

7 Verifica di stabilità della spiaggia dell'Arenella

Al fine di approfondire l'analisi che confermi quanto già rilevato sia dalle considerazioni precedenti che dall'analisi diacronica, in merito all'influenza delle opere in progetto e sull'equilibrio dinamico raggiunto è stato calcolato il flusso netto di energia che insiste nella spiaggia a Nord dell'Arenella. Il calcolo è stato fatto considerando le onde trasformate con il codice STWAVE ed estratte nel punto 1. Si ottiene che la risultante delle onde ha una inclinazione pressoché uguale alla normale a riva (circa 45°N) e pertanto il flusso netto risulta nullo a conferma del fatto che la spiaggia è in equilibrio dinamico.

Il flusso long shore è calcolabile come:

$$P_l = (EC_g)_b \operatorname{sen} \alpha_b \cos \alpha_b$$

Dove E è l'energia dell'onda; C_g è la celerità di gruppo, α è l'angolo che la direzione dell'onda forma con la normale a riva e il pedice "b" indica la condizione di frangimento dell'onda.

$$E_b = \frac{1}{8} \rho g H_b^2$$

con ρ peso di volume dell'acqua (1.027 t/m³); g accelerazione di gravità (9.806 m/s²) e H_b altezza d'onda al frangimento e

$$C_{gb} = \sqrt{g d_b} = \sqrt{g \frac{H_b}{\kappa}}$$

dove κ è l'indice di frangimento pari a 0.78.

Sviluppando l'espressione del flusso di energia si ha:

$$P_l = \frac{1}{16} \rho g^{3/2} \kappa^{-1/2} H_b \operatorname{sen} 2\alpha_b$$

L'espressione è fornita per la condizione di frangimento ma è possibile risalire all'altezza H_b e alla direzione α_b tramite le seguenti formulazioni:

$$H_b = H_1^{4/5} \left[\frac{C_{g1} \cos \alpha_1}{\sqrt{g/\kappa} \cos \alpha_b} \right]^{2/5}$$

$$\operatorname{sen} \alpha_b = \sqrt{g \frac{H_b}{\kappa} \frac{\operatorname{sen} \alpha_1}{C_1}}$$

Per maggiori dettagli teorici si rimanda al testo del Coastal Engineering Manual al capitolo 2 della parte III.

Applicando le formule sopra citate senza entrare nel dettaglio delle portate solide, in quanto non si hanno sufficienti informazioni di carattere sedimentologico, si ottiene il seguente grafico in cui è riportato il calcolo del flusso di energia per le direzioni relative alla normale a riva.

Si nota dal diagramma che il flusso di energia positivo (calcolato per le onde che arrivano da destra rispetto alla normale a riva da 320 a 45°N) è circa uguale al flusso di energia negativo (calcolato per le onde che arrivano da sinistra rispetto alla normale da 45 a 120°N).

In conclusione il flusso netto di energia è nullo rispetto alla direzione di 45°N che è praticamente coincidente con la normale alla riva.

Ne deriva che a prescindere dalla granulometria del sedimento e dalla batimetria del fondale (sempre che si consideri una zona di prossimità della spiaggia in parola, la

forzante media di moto ondoso non può essere causa di fenomeni erosivi o di deposizione che possano introdurre dei cambiamenti importanti alla configurazione dell'attuale battigia.

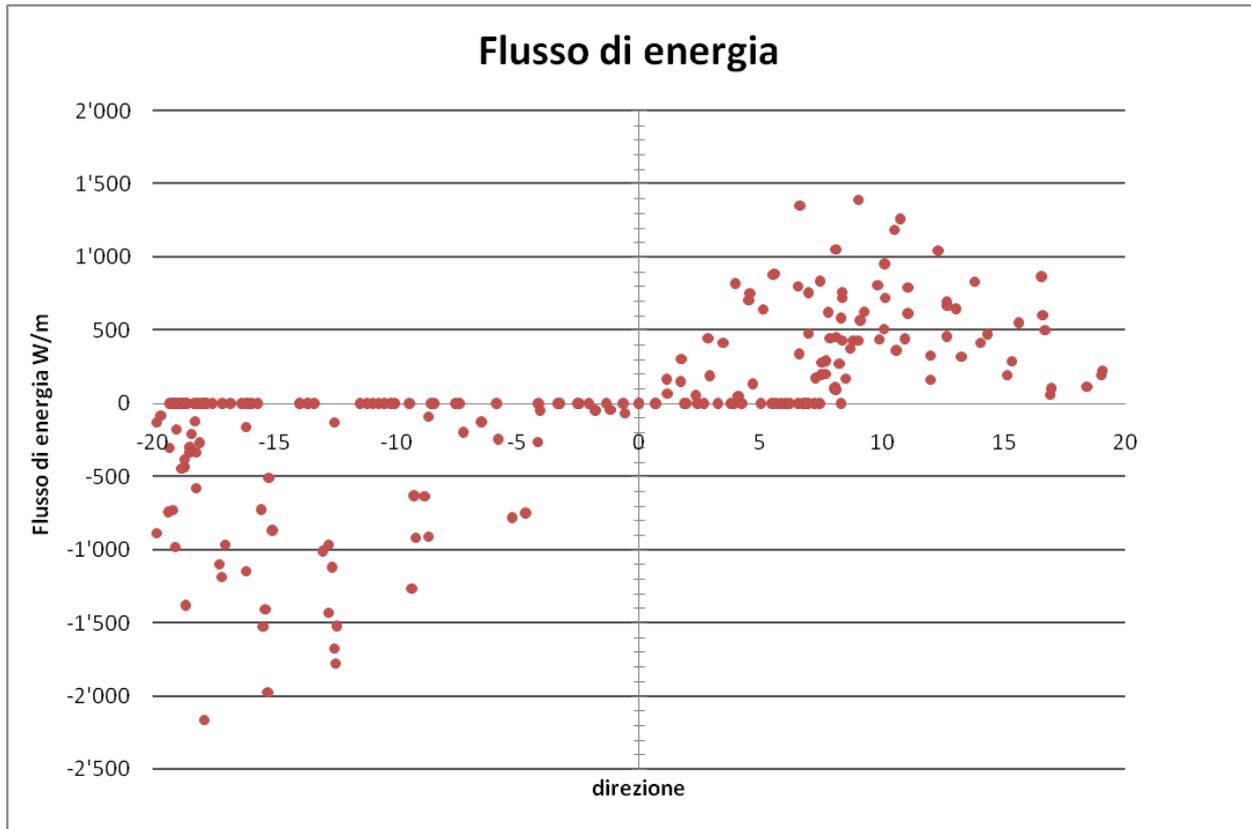


Figura 7-1: Analisi di bilanciamento del flusso di energia per la spiaggia dell'Arenella

8 Considerazioni sull'insabbiamento del bacino

All'interno del porto, a ridosso del molo di sopraflutto, a circa metà del braccio orientato verso Sud è possibile notare un accumulo di materiale che limita la possibilità di ormeggio delle imbarcazioni. Tale accumulo che è stato oggetto di interventi di dragaggio in passato non si trova in una tipica posizione di un porto che normalmente tende all'insabbiamento. Generalmente si ha infatti un accumulo immediatamente dietro alla testata del sopraflutto con la formazione di spit o frecce litoranee che arrivano addirittura a chiudere l'imboccatura.

Sembra invece che in questo caso il fenomeno possa essere innescato in fasi successive, ovvero che possa esserci una fase in cui le mareggiate dai settori settentrionali trasportano del materiale nella zona compresa tra l'imboccatura di Arenella e il sopraflutto di Aquasanta che risulta essere una trappola sedimentaria visto che è limitata da strutture che aggettano fino a profondità dell'ordine dei 10 m, e una seconda fase che si verifica con onde dal settore orientale e sudorientale che permette il trasporto dei sedimenti verso l'interno del porto.

L'allungamento del molo di sopraflutto dell'Arenella contribuirà a mitigare il fenomeno dell'insabbiamento permettendo di deflettere parte dei sedimenti che transitano da Sud a Nord verso mare aperto e non verso il bacino portuale.



COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE





Figura 8-2: Fenomeno di insabbiamento della darsena dell'Arenella



Figura 8-1: Mitigazione dell'interrimento del bacino di Arenella grazie al completamento del sopraflutto

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



9 Conclusioni

Le analisi del presente studio sulla dinamica litorale locale, finalizzate alla valutazione delle eventuali influenze delle nuove opere di completamento del molo di sopraflutto del Porto dell'Arenella sul vettore traspedeoposizionale sono state condotte al livello dell'Unità Fisiografica gestionale (di III livello)

Tale approccio viene raccomandato dalle "Linee guida nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici", elaborate dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera (TNEC) – MATTM – Regioni (2018), con il coordinamento tecnico dell'ISPRA e dal Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC, 2020).

Le analisi condotte hanno dimostrato con chiarezza:

- la condizione di sostanziale equilibrio dinamico dei litorali sedimentari insistenti nell'U.F. gestionale di riferimento;
- la deriva naturale dei sedimenti, a seguito dell'azione motrice del moto ondoso e delle correnti da Nord verso Sud;
- per la suddetta ragione:
 - o la sostanziale ininfluenza delle opere in progetto sulle spiagge a nord del Porto dell'Arenella (Vergine Maria e Arenella)
 - o l'impossibilità di influire sulle spiagge della costa sud stante la presenza dello schermo costituito dalle opere foranee del Porto di Palermo, fondate ben al di sotto della profondità di chiusura centennale.

Per le ragioni suddette le analisi condotte possono essere ritenute cautelativamente adeguate, rendendo del tutto superflue ulteriori elaborazioni, che, stante gli impliciti margini di incertezza, non potrebbero aggiungere null'altro al giudizio esperto.

