

**FSC**Fondo per lo Sviluppo
e la CoesioneUnione dei Comuni
"ALTA GALLURA"**UNIONE COMUNI ALTA GALLURA**

PROVINCIA DI SASSARI

**RIPRISTINO E COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI DIFESA E DI ACCOSTO
DEL PORTO DI ISOLA ROSSA NEL COMUNE DI TRINITA' D'AGULTU****PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA - DEFINITIVO**

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Dott.ssa Jeanne Francine Murgia

R.T.P. tra:

Mandataria

Sede Operativa
Via Francavilla, 99 - 98039 Taormina (ME)
tel +39-0942.620071 - fax +39-090.9582054
www.artecassociati.comDIRETTORE TECNICO
Ing. Francesco Barbitta

Mandanti:

PROGETTI E OPERE S.r.l.Viale delle Magnolie n.36, 90144 Palermo (PA)
P.IVA 03955900828**ARKSA INGEGNERIA Soc. Coop.**Via Olbia n.7, 07026 Olbia (SS)
P.IVA 02721750905**ARCH. MARCO TERZITTA**Via N.Sauro n.3, 07038 Trinità d'Agultu (SS)
P.IVA 01618500902

RESPONSABILE PROGETTAZIONE:

Ing. Francesco BARBITTA (ARTEC Associati S.r.l.)

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE
Studio meteo-marino

ELABORATO N°:

REL05

		ELABORATO		CONTROLLATO	APPROVATO		
SIGLA		-		-	-		
REVISIONE	N	DATA	DESCRIZIONE	RED.	VER.	APP.	
	A	A	15/12/2021	1^ Emissione	-	-	
	B	B		Revisione			
	C	C		Revisione			

NOME FILE:
PD_REL05DATA:
Dicembre 2021SCALA:
-

Sommario

1	INTRODUZIONE	2
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	3
3	INQUADRAMENTO DEL PARAGGIO COSTIERO	4
4	REGIME DEL VENTO E DATI ANEMOMETRICI.....	5
4.1	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.....	5
4.2	Elaborazioni dati Università di Cagliari	8
4.3	Stazione semaforica della Marina Militare dell'isola dell'Asinara.....	11
5	REGIME ONDAMETRICO.....	12
5.1	Ex Stazioni Semaforiche Istituto Idrografico della Marina	12
5.2	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.....	13
5.2.1	Valori estremi d'altezza d'onda al largo utilizzati per il sito di Isola Rossa.	15
6	EVENTI ESTREMI DI LIVELLO MEDIO.....	17
7	LA PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI CON IL MODELLO SWAN	18
7.1	Configurazione delle simulazioni	19
7.1.1	Dati batimetrici.....	21
7.1.2	Punti di osservazione.....	23
7.2	riepilogo dei risultati.....	24

1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato descrive lo studio meteomarinario effettuato nell'ambito del progetto di "Riconfigurazione e potenziamento scogliera molo di sopraflutto nel Porto dell'isola Rossa Comune di Trinità d'Agultu e Vignola" per arrivare a valutare le caratteristiche del moto ondoso al piede della struttura su cui si vuole intervenire.

Lo studio meteo marino (SMM), dopo un breve inquadramento dell'area di interesse, provvederà a caratterizzare il paraggio dal punto di vista meteo-marino discutendo le varie fonti di dati a disposizione per la determinazione delle caratteristiche anemometriche e ondometriche a largo dell'area di studio.

Seguirà a questo la descrizione dei modelli numerici utilizzati per la trasformazione del moto ondoso da largo verso riva, ed infine una descrizione dei risultati degli stessi.

A tale scopo è stato utilizzato il modello numerico sviluppato dai laboratori di idraulica olandesi Deltares denominato *Delft3D* ed in particolare è stato utilizzato il modulo WAVE mediante il quale è possibile rappresentare la generazione, la propagazione e le trasformazioni del moto ondoso dal largo sino alla costa. Mediante l'applicazione di questo modello è stato possibile valutare, per diversi tempi di ritorno, le caratteristiche del moto ondoso al piede della struttura.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area di interesse è localizzata nella borgata marina di Isola Rossa, Comune di Trinità d'Agultu e Vignola. Nello specifico, l'intervento riguarda il molo di sopraflutto dell'omonimo porto.

L'area in esame è rappresentata topograficamente nel foglio n° 167-168 della carta d'Italia I.G.M. alla scala 1:100.000 ed è localizzata nella nuova cartografia a scala 1:25.000 nella sezione 426-II.



Figura 1: Localizzazione dell'intervento

3 INQUADRAMENTO DEL PARAGGIO COSTIERO

Il paraggio costiero considerato è esposto ai venti provenienti dal quarto quadrante e dal primo quadrante, e in modo residuale a quelli provenienti dal terzo quadrante.

Il settore principale è quello di maestrale, che mostra il massimo fetch geografico tra 285°N e 310°N; il settore di traversia secondario, quello di Grecale, mostra un fetch molto inferiore, compreso tra 50 e 60 km.

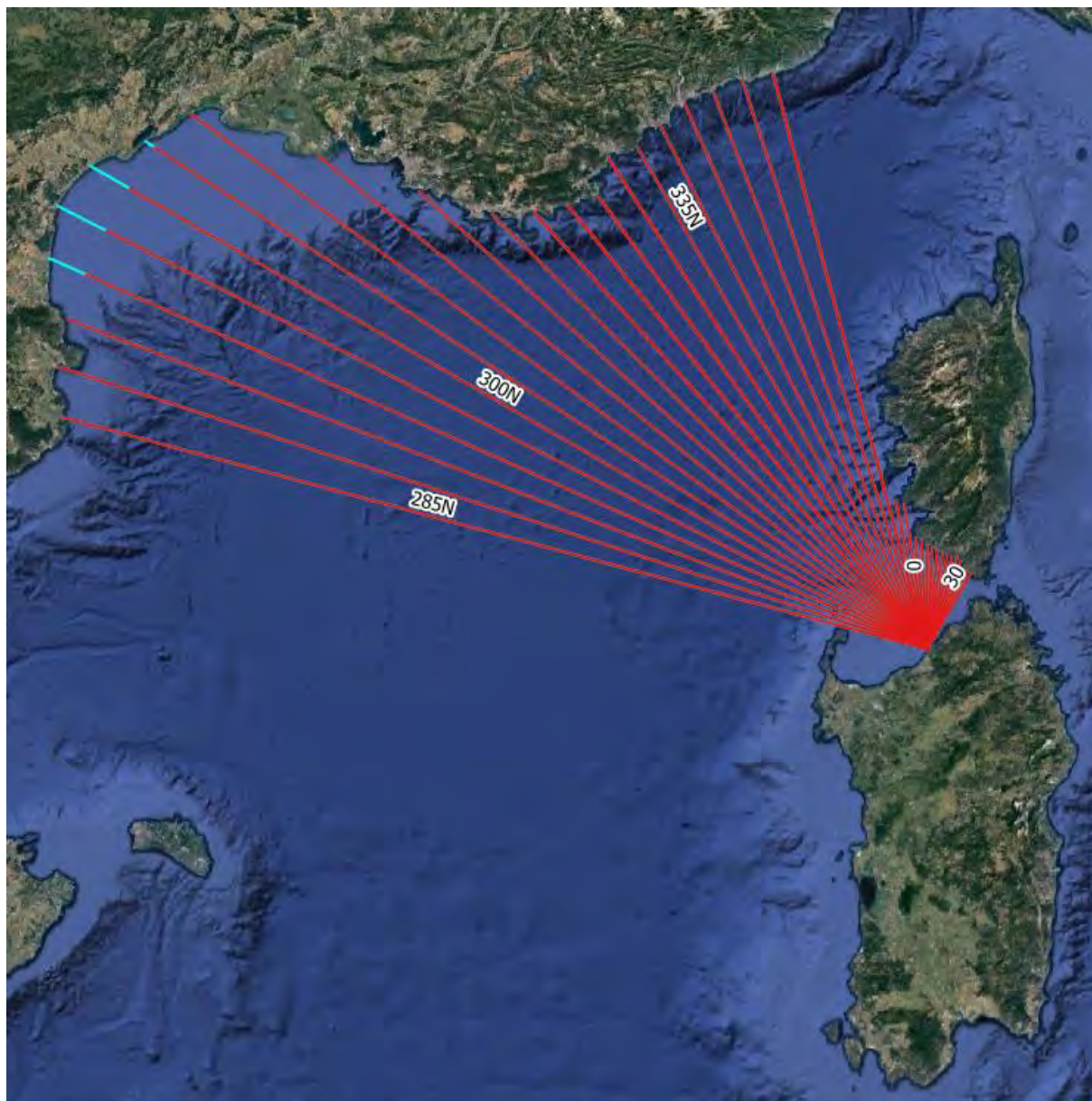


Figura 2: Fetch geografico (in celeste) e fetch efficace (in rosso).

4 REGIME DEL VENTO E DATI ANEMOMETRICI

L'analisi dei dati di vento incidente il paraggio viene eseguito per tener conto dell'azione che il vento ha sulla superficie del mare ricaricandone l'azione generatrice. La conoscenza del regime del vento risulta essere di fondamentale importanza laddove non si possiede una precisa serie storica di dati ondometrici. Si può, infatti, determinare il clima ondoso del paraggio a partire dai dati di vento registrati in prossimità dello specchio acqueo d'interesse in particolar modo qualora questo sia generato da fetch di limitata estensione. Per la caratterizzazione anemometrica del paraggio sono state considerate varie fonti di dati sinteticamente riportate in Tabella 1.

Fonte dei dati	Dato	Periodo di rilevamento
<i>Piano di Gestione del Rischio Alluvioni</i>	Dato misurato Stazione costiere Aeronautica Militare di Alghero	1975-2013
<i>Università di Cagliari</i>	Dato misurato Stazione costiere Aeronautica Militare di Alghero Fertilia	1951-1997
<i>Il vento e lo stato del mare. Vol. II</i>	Dato rilevato Ex stazione semaforica Marina Militare Isola dell'Asinara	1930-42; 1945-57; 1959-64

Tabella 1: Fonte dei dati anemometrici

L'analisi mostra come gli eventi più intensi siano quelli legati a maestrale e grecale.

4.1 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni¹ (PGRA) della Regione Autonoma della Sardegna ha effettuato uno studio del clima anemometrico ed ondometrico esteso a tutta la Sardegna, arrivando a definire 19 diversi domini per i quali si sono definite delle forzanti d'onda e di vento per l'applicazione successiva di modelli numerici similari a quelli utilizzati nel presente studio.

Le analisi anemometriche sono effettuate a partire dalle serie storiche registrate presso le stazioni costiere dell'Aeronautica Militare; la posizione delle stazioni di misura è riportata in Figura 5.

Tra quelle a disposizione, quella più rappresentativa per l'area di studio risulta la Stazione di Alghero; la cui posizione è mostrata in Figura 3; in Figura 4 è mostrata la rosa dei venti ricavata dalle misure effettuate in tale stazione.

¹ *Relazione metodologica sulle inondazioni costiere* – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Regione Autonoma della Sardegna approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 15/03/2016 e con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27/10/2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale serie generale n. 30 del 06/02/2017

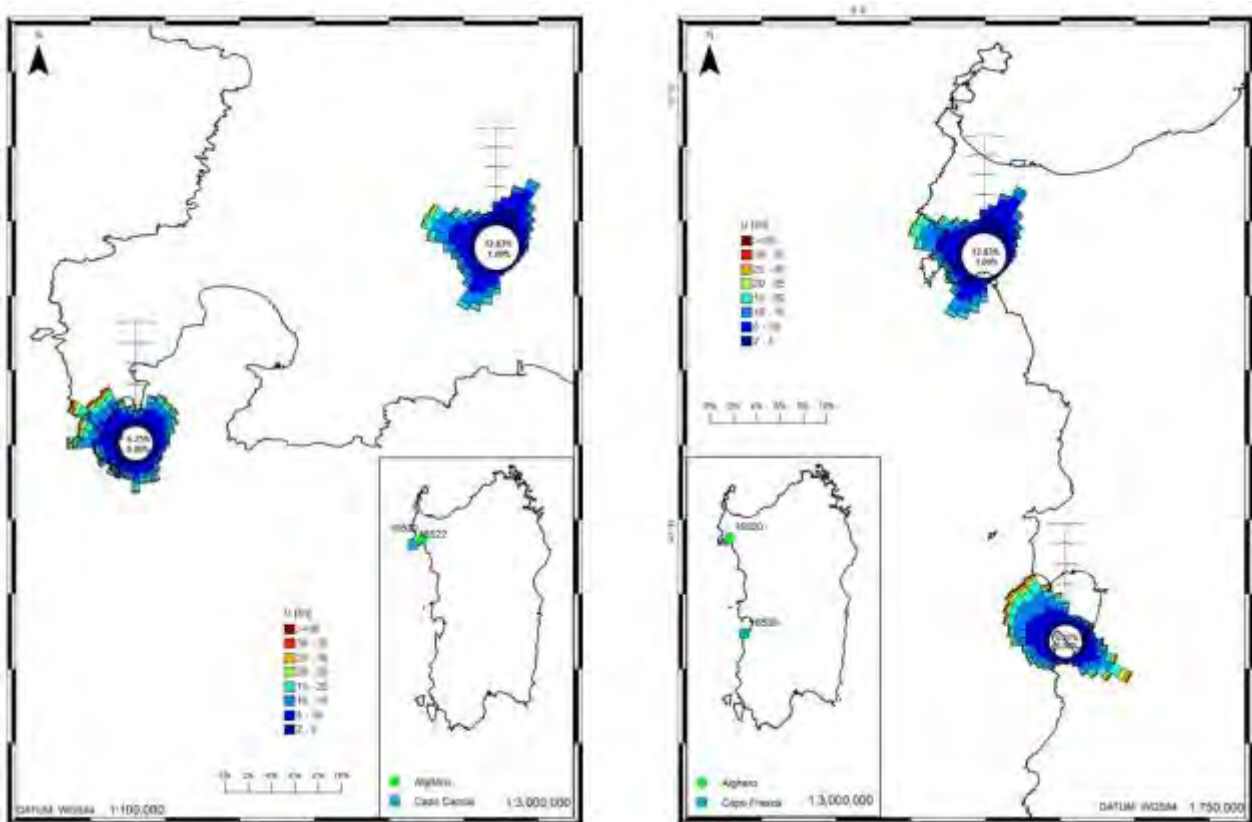


Figura 3: Analisi anemometrica del PGRA per la sezione nord-occidentale della Sardegna. Fonte: PGRA

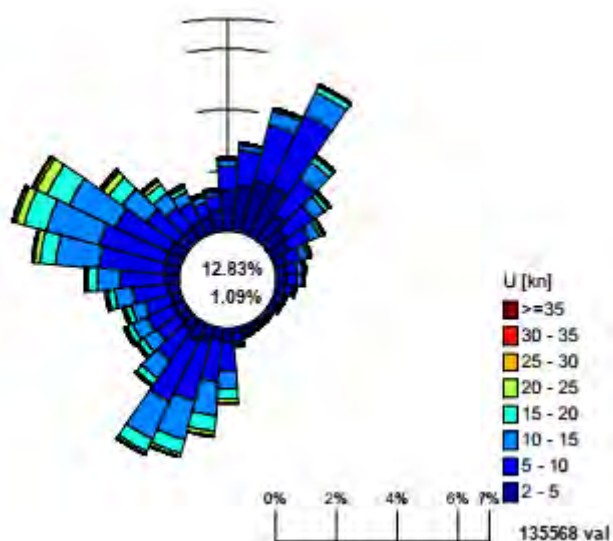


Figura 4: Rosa dei venti, stazione anemometrica di Alghero (fonte PGRA). Periodo di osservazione: 1951-2013

Tr (anni)	160-220	220-275	275-335	335-30	30-90	0-360
1	10.03	9.97	13.20	7.95	9.59	14.02
2	10.96	11.22	14.73	9.62	10.50	15.63
5	12.33	12.86	16.91	12.14	11.88	17.97
10	13.46	14.08	18.65	14.19	13.03	19.87
20	14.65	15.31	20.46	16.32	14.25	21.86
50	16.31	16.91	22.93	19.24	15.96	24.61
100	17.61	18.13	24.86	21.52	17.31	26.78
200	18.97	19.34	26.83	23.84	18.70	29.02
500	20.81	20.93	29.50	26.98	20.61	32.07
SOGLIA (m/s)	8.53	8.10	10.57	7.41	8.55	11.14

Tabella 2: Valori estremi di intensità del vento in m/s misurato alla stazione di Alghero Fertilia (fonte PGRA). Periodo di osservazione: 1951-2013



Figura 5: Localizzazione delle fonti di dati meteomarinari utilizzati nel PGRA: boe RON (indicatori celesti), punti dei reticoli dei dataset ERA-interim (dischi verdi) e NOAA (indicatori rossi); mareometri RMN (dischi fucsia), stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare (triangoli gialli). Fonte: PGRA

4.2 Elaborazioni dati Università di Cagliari

Relativamente alla stazione di Alghero Fertilia è inoltre presente un'elaborazione dei dati dell'Università di Cagliari relativa alla distribuzione direzionale anemometrica dal 1951 al 1997, che fornisce oltre ad un'analisi dell'intero periodo di rilevazione anche delle analisi del clima ondoso stagionale.

Direzione di provenienza [°N]	Intensità del vento [nodi]						Totali
	2-6	7-21	22-33	34-47	48-63	>63	
0-30	6.89	4.06	0.08	0.01	0.01		11.06
30-60	3.32	3.45	0.14	0.01			6.92
60-90	1.23	1.45	0.05	0.01			2.73
90-120	0.71	0.40	0.02	0.00			1.13
120-150	0.48	0.20	0.00	0.00			0.68
150-180	1.37	2.05	0.10	0.00			3.53
180-210	3.57	8.03	0.21	0.01	0.00		11.82
210-240	2.36	4.01	0.15	0.01			6.53
240-270	2.37	4.63	0.17	0.02	0.00		7.19
270-300	3.41	10.97	0.75	0.04	0.00		15.16
300-330	2.28	4.70	0.47	0.06	0.02		7.53
330-360	3.05	1.46	0.08	0.02	0.00		4.61
Variabile	0.61	2.76	0.05	0.00			3.42
Totale	31.66	48.16	2.26	0.19	0.04		
	Calme (0-1 nodi)						17.69
	Totale						100.00

Tabella 3: Stazione di Alghero Fertilia. Distribuzione direzionale anemometrica. Periodo di rilevazione dal 1/01/1951 al 27/12/1997. Fonte: Università di Cagliari

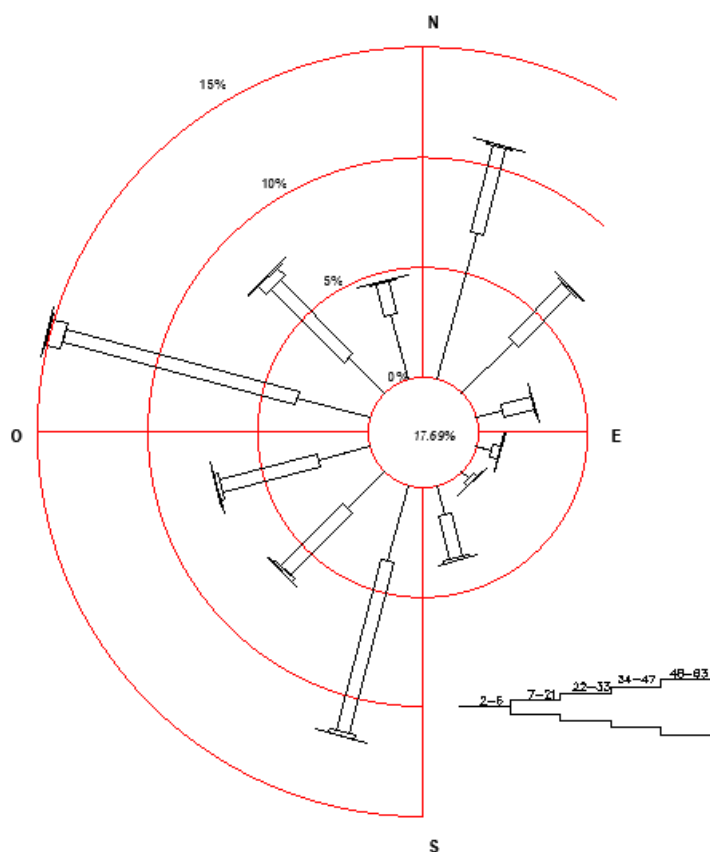


Figura 6: Stazione di Alghero Fertilia. Percentuale di occorrenza media annua. Periodo di rilevazione dal 1/01/1951 al 27/12/1997. Fonte: Università di Cagliari

		INVERNO						
		Intensità del vento [nodi]						
Direzione di provenienza [°N]		2-6	7-21	22-33	34-47	48-63	>63	Totali
	0-30	6.94	3.21	0.16	0.02	0.01		10.34
	30-60	3.18	4.46	0.32	0.00			7.97
	60-90	1.50	2.17	0.05	0.03			3.75
	90-120	0.96	0.62	0.02	0.00			1.61
	120-150	0.57	0.42					0.99
	150-180	1.08	2.59	0.18	0.00			3.85
	180-210	2.61	8.44	0.37	0.05	0.01		11.48
	210-240	2.08	5.06	0.33	0.01			7.49
	240-270	2.22	5.53	0.44	0.05	0.00		8.24
	270-300	2.33	8.19	1.38	0.08	0.01		11.98
	300-330	1.86	5.03	1.04	0.19	0.05		8.17
	330-360	2.99	1.72	0.18	0.07	0.01		4.98
	Variabile	0.42	2.03	0.09	0.00			2.55
Totali	28.75	49.47	4.57	0.51	0.09			
Calme (0-1 nodi)							16.61	
Totale							100.00	

Tabella 4: Stazione di Alghero Fertilia. Distribuzione direzionale anemometrica eventi in periodo invernale. Periodo di rilevazione dal 1/01/1951 al 27/12/1997. Fonte: Università di Cagliari

		PRIMAVERA						
		Intensità del vento [nodi]						
Direzione di provenienza [°N]		2-6	7-21	22-33	34-47	48-63	>63	Totali
	0-30	6.43	5.05	0.06	0.01	0.00		11.55
	30-60	3.22	3.54	0.07				6.84
	60-90	1.17	1.65	0.09				2.90
	90-120	0.50	0.45	0.04	0.00			0.98
	120-150	0.39	0.12	0.00				0.51
	150-180	1.51	2.02	0.09	0.00			3.63
	180-210	4.04	9.34	0.19				13.58
	210-240	2.70	4.86	0.14	0.01			7.71
	240-270	2.32	5.19	0.12		0.00		7.64
	270-300	3.04	10.94	0.91	0.02			14.92
	300-330	2.27	4.40	0.38	0.04	0.02		7.10
	330-360	2.74	1.40	0.07				4.21
	Variabile	0.54	2.62	0.06				3.22
Totali	30.88	51.58	2.22	0.08	0.02			
Calme (0-1 nodi)							15.22	
Totale							100.00	

Tabella 5: Stazione di Alghero Fertilia. Distribuzione direzionale anemometrica eventi in periodo primavera. Periodo di rilevazione dal 1/01/1951 al 27/12/1997. Fonte: Università di Cagliari

		ESTATE						
		Intensità del vento [nodi]						
Direzione di provenienza [°N]		2-6	7-21	22-33	34-47	48-63	>63	Totali
	0-30	6.65	4.53	0.05	0.00	0.01		11.25
	30-60	2.91	2.40	0.04				5.35
	60-90	0.74	0.38	0.00				1.12
	90-120	0.42	0.10	0.00				0.52
	120-150	0.35	0.08		0.00			0.43
	150-180	1.59	1.57	0.00				3.16
	180-210	4.30	7.11	0.05				11.46
	210-240	2.35	2.51	0.03				4.90
	240-270	2.52	3.92	0.02				6.46
	270-300	4.54	15.33	0.18	0.01			20.05
	300-330	2.58	4.82	0.09	0.01			7.50
	330-360	2.97	1.37					4.33
	Variabile	0.90	3.60	0.00				4.51
Totali	32.83	47.69	0.48	0.03	0.01		18.96	
		Calme (0-1 nodi)						18.96
		Totale						100.00

Tabella 6: Stazione di Alghero Fertilia. Distribuzione direzionale anemometrica eventi in periodo estivo. Periodo di rilevazione dal 1/01/1951 al 27/12/1997. Fonte: Università di Cagliari

		AUTUNNO						
		Intensità del vento [nodi]						
Direzione di provenienza [°N]		2-6	7-21	22-33	34-47	48-63	>63	Totali
	0-30	7.62	3.34	0.07	0.03	0.01		11.06
	30-60	4.01	3.41	0.12	0.03			7.58
	60-90	1.55	1.59	0.04	0.00			3.18
	90-120	0.99	0.42	0.00	0.00			1.42
	120-150	0.60	0.21	0.00				0.81
	150-180	1.29	2.04	0.13				3.45
	180-210	3.28	7.11	0.20	0.00			10.59
	210-240	2.29	3.51	0.09	0.00			5.90
	240-270	2.42	3.79	0.11	0.01			6.34
	270-300	3.78	9.30	0.50	0.03			13.61
	300-330	2.43	4.55	0.37	0.02	0.02		7.38
	330-360	3.57	1.35	0.05				4.97
	Variabile	0.57	2.81	0.03				3.41
Totali	34.40	43.42	1.72	0.14	0.03		20.29	
		Calme (0-1 nodi)						20.29
		Totale						100.00

Tabella 7: Stazione di Alghero Fertilia. Distribuzione direzionale anemometrica eventi in periodo autunnale. Periodo di rilevazione dal 1/01/1951 al 27/12/1997. Fonte: Università di Cagliari

4.3 Stazione semaforica della Marina Militare dell'isola dell'Asinara

Un'ulteriore fonte di dati che permette unicamente un'analisi strettamente qualitativa è la serie di dati osservati della stazione semaforica della Marina Militare dell'isola dell'Asinara. La stazione fornisce infatti dati osservati e non rilevati; inoltre, la stazione non è più in esercizio dal 1964. Tali dati, mostrati in Figura 7, indicano Ponente-Maestrale come direzione principale di provenienza delle burrasche di vento, con importanti contributi anche da Grecale.

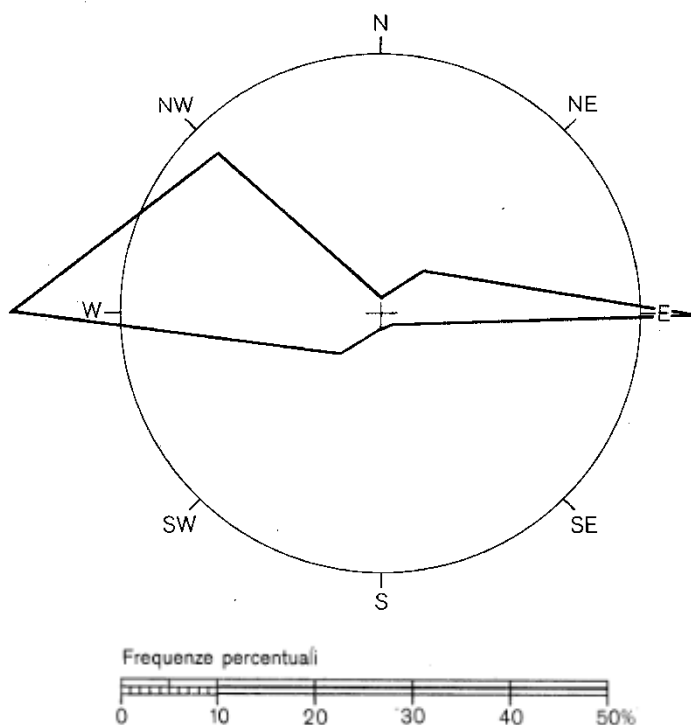


Figura 7: Direzione di provenienza delle burrasche di vento (forza 7-12 scala Beaufort) come osservati dalla stazione semaforica dell'Isola dell'Asinara. Fonte: Tavole di Marea e delle correnti di marea. Istituto Idrografico della Marina.

5 REGIME ONDAMETRICO

Per l'area di interesse sono presenti svariate fonti di dati ondametrici, alcune delle quali permettono una valutazione unicamente qualitativa del clima ondoso (ex stazioni semaforiche), mentre altre hanno effettuato un'analisi statistica del clima ondometrico (PGRA).

Fonte dei dati	Dato	Periodo di rilevamento
<i>Piano di Gestione del Rischio Alluvioni</i>	Misura Rete Ondametrica Nazionale (RON)	2007-2014
	Ricostruzione NOAA-NCEP	1979-2013
	Ricostruzione ERA Interim	1979-2007
<i>Il vento e lo stato del mare. Vol. II</i>	Dato rilevato Ex stazione semaforica Marina Militare Isola dell'Asinara	1930-1964

Tabella 8: Fonte dei dati di moto ondoso

5.1 Ex Stazioni Semaforiche Istituto Idrografico della Marina

I dati raccolti dall'IIM comprendono oltre che le misurazioni anemometriche, anche delle osservazioni sullo stato del mare, I dati sullo stato del mare forniti dall'Istituto Idrografico della Marina per tali stazioni costiere sono:

- rappresentazione grafica delle frequenze medie percentuali dello stato del mare costiero;
- tabella delle frequenze assolute del massimo mare verificatosi in ogni mese dell'anno;
- tabella delle massime durate delle mareggiate (grado del mare 6,8);
- rappresentazione grafica direzionale delle frequenze percentuali di provenienza delle mareggiate.

È comunque da tenere presente che, mentre per il vento i dati osservati derivano da misure strumentali e, come tali, rivestono un elevato grado di attendibilità, per lo stato del mare (costiero) i relativi dati sono stati rilevati unicamente mediante stime delle osservazioni a vista. Questi ultimi, pertanto, vanno necessariamente considerati, in generale, qualitativamente più approssimativi dato che risentono non solo dei fattori soggettivi di valutazione propri dei diversi osservatori, ma anche dell'ubicazione delle stazioni rispetto al mare e specie della loro altitudine. Inoltre, tali stime di moto ondoso si riferiscono ovviamente alle condizioni del mare visibile da terra, quindi pur sempre sottocosta, anche se non proprio a riva, e così non riguardano le condizioni ondose indisturbate di mare aperto in acque profonde. Essi rivestono, comunque, una indicazione di notevole importanza in quanto si tratta di rilevazioni delle condizioni del mare con cadenza abbastanza fitta e particolarmente estese negli anni in grado di fornire indicazioni che risultano molto utili per individuare il regime ondoso nei relativi siti costieri.

Le direzioni dei mari indicate dall'IIM sono quelle di provenienza e sono suddivise per cadenze fisse in settori di 45° di ampiezza secondo le direzioni e le sottodirezioni cardinali della rosa dei venti. I dati presentati dall'Istituto Idrografico sono ordinati secondo la scala Douglas dello stato del mare.

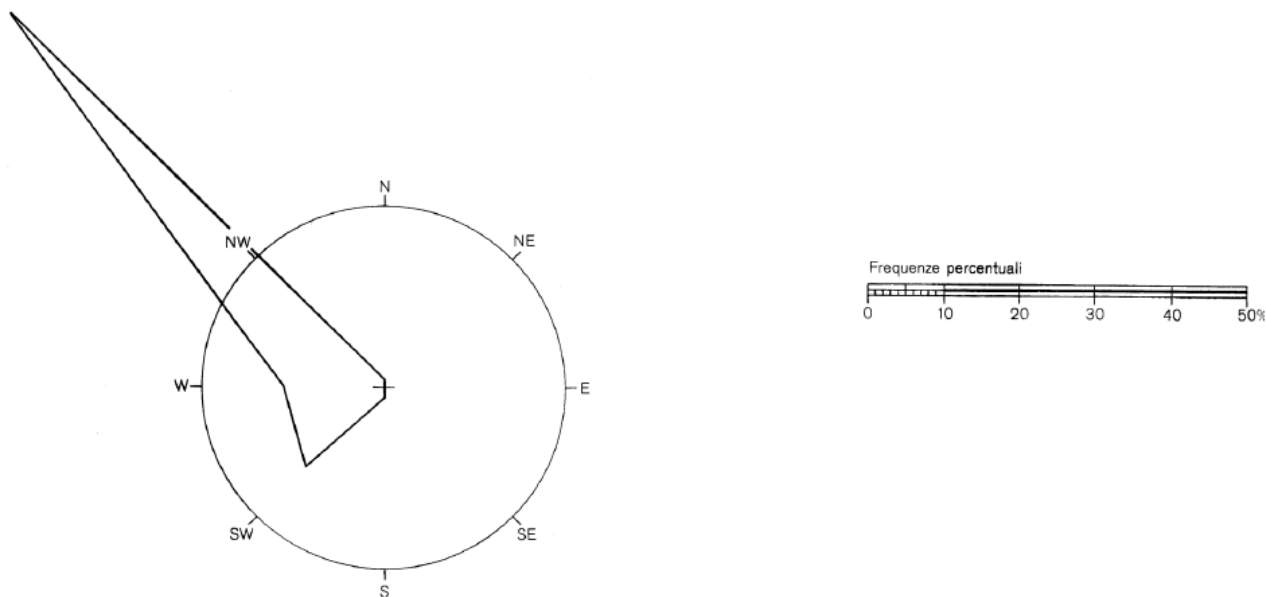


Figura 8: direzione di provenienza delle mareggiate come osservate dalla stazione semaforica di Capo Caccia. Fonte: Istituto Idrografico della Marina "Il vento e lo stato del mare".

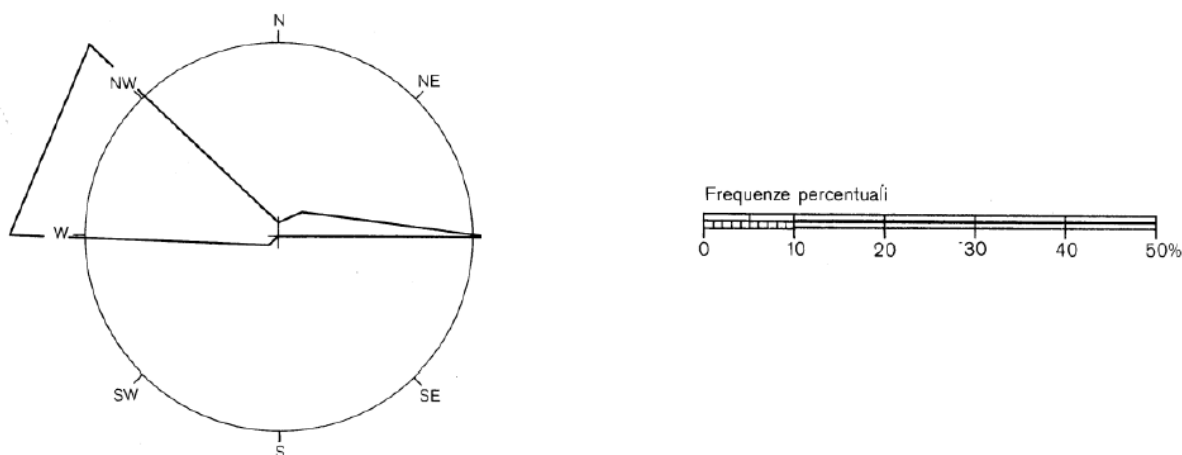


Figura 9: direzione di provenienza delle mareggiate come osservate dalla stazione semaforica dell'Isola dell'Asinara. Fonte: Istituto Idrografico della Marina "Il vento e lo stato del mare".

5.2 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

Al fini dell'analisi degli eventi estremi ondametrici sono stati utilizzati sia misure di campo della Rete Ondametrica Nazionale (RON), sia dati ottenuti da rianalisi mediante modelli numerici di circolazione atmosferica e di generazione e propagazione del moto ondoso. In Figura 5 sono riportate le posizioni delle boe RON, dei punti di ricostruzione del moto ondoso dei due diversi dataset, ERA-Interim e NOAA-NCEP, prodotti e resi di pubblico dominio rispettivamente dal ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecast) e dal NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), nonché dei mareometri RMN e delle stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare.

Da quanto mostrato, il numero, la disposizione, e la lunghezza delle serie storiche delle boe RON non consentono di rappresentare in maniera esauriente il clima ondoso su un perimetro costiero della vastità e articolazione di quello sardo. In particolare, soltanto la boa di Alghero, che può ritenersi rappresentativa del clima ondametrico della costa nordoccidentale e del Golfo dell'Asinara limitatamente alla traversia da

maestrale, è stata in attività per un periodo sufficientemente lungo da fornire una serie storica utilizzabile per una analisi di eventi estremi.

Per questo motivo, per la caratterizzazione del regime ondometrico estremo sull'intero perimetro costiero sardo è stato indispensabile utilizzare anche serie storiche ricostruite.

Le tecniche di rianalisi utilizzate sia dal ECMWF che dal NOAA, sono basate su modelli numerici operativi per le previsioni meteo-marine, in grado di rappresentare la distribuzione spazio-temporale dei venti in mare e delle temperature. Inoltre, le tecniche di rianalisi si avvalgono sistematicamente di procedure di assimilazione dei dati osservati di vario tipo e da molteplici fonti, che consentono una ricostruzione dei campi delle grandezze fisiche di interesse coerente con le misure e con le leggi fisiche dei singoli processi, entro determinati margini di incertezza.

Tuttavia, i risultati dei modelli di rianalisi possono essere sensibilmente influenzati dall'orografia dei territori circostanti, come è il caso del Mare Mediterraneo, con conseguenti sottostime dei campi di vento e, di conseguenza, dei campi di altezza d'onda. Per questo motivo le serie ricostruite sono state sottoposte a una procedura di calibrazione in funzione dei dati RON, che ha consentito di ottenere una caratterizzazione affidabile del regime ondometrico sull'intero perimetro costiero.

In generale, la procedura di calibrazione dei dati di rianalisi NOAA sulla base dei dati ondometrici RON è stata eseguita mediante regressione lineare fra serie di dati puntuali. Per ciascuna delle tre boe RON è stato preventivamente individuato il punto NOAA maggiormente rappresentativo, inteso come punto la cui serie storica fornisce la migliore regressione con la serie della boa RON. Successivamente, è stata eseguita la regressione fra i dati di ciascuno dei punti NOAA aventi la medesima esposizione del punto NOAA scelto come rappresentativo della boa con i dati di quest'ultimo, entrambi non calibrati, quindi omogenei.

Per i punti NOAA della costa occidentale è stata eseguita la trasposizione delle altezze d'onda estreme calcolate per regolarizzazione dei dati della serie RON di Alghero. Dalle analisi effettuate è risultato che il punto di coordinate 40,50°N 8,00°E presenti la migliore regressione con i dati della boa, pertanto la serie di tale punto è stata assunta per le regressioni con le serie dei punti NOAA della costa occidentale. Gli studi analizzati mostrano, come logico aspettarsi, un clima ondosso dominato dagli eventi del quarto quadrante.

5.2.1 Valori estremi d'altezza d'onda al largo utilizzati per il sito di Isola Rossa.

Il sito di Isola Rossa ricade all'interno del Dominio n.15 Castelsardo – Punta Li Francesci, individuato dal PGRA (Figura 12).

Le mareggiate più intense che arrivano su questa costa sono quelle di Maestrale. Il punto NOAA più rappresentativo per quest'area è quello di coordinate **41°17' N, 8°17' E** (Figura 13). I dati relativi a questo punto sono stati desunti da Tabella 15 del PGRA. Questi dati sono mostrati in forma grafica e tabulare in Figura 10.

Per una caratterizzazione più completa del moto ondoso al paraggio si è scelto di simulare anche alcuni eventi estremi con direzione di provenienza da Grecale. I valori estremi di altezza d'onda per queste simulazioni sono stati ricavati dal punto di coordinate **41°17' N, 8°33' E** (Figura 13). I dati relativi a questo punto sono stati desunti da Tabella 21 del PGRA. Questi dati sono mostrati in forma grafica e tabulare in Figura 11.

Tr (anni)	Hs (m)
1	7.29
2	7.83
5	8.48
10	8.94
20	9.38
50	9.94
100	10.34
200	10.73
500	11.24

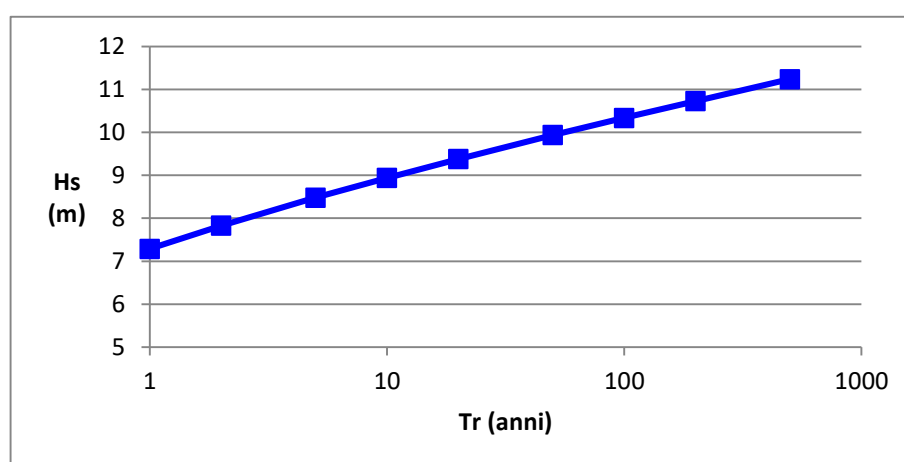


Figura 10: Valori estremi di altezza d'onda significativa relativi al punto NOAA di coordinate 41°17' N, 8°17' E. Fonte: Tabella 15 del PGRA.

Tr (anni)	Hs (m)
1	1.75
2	1.81
5	2.42
10	2.67
20	2.87
50	3.08
100	3.23
200	3.36
500	3.53

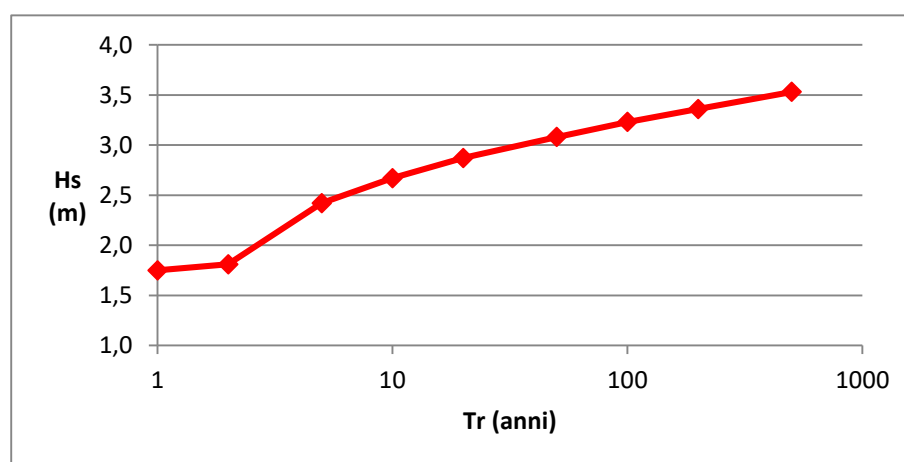


Figura 11: Valori estremi di altezza d'onda significativa relativi al punto NOAA di coordinate 41°17' N, 8°33' E. Fonte: Tabella 21 del PGRA.

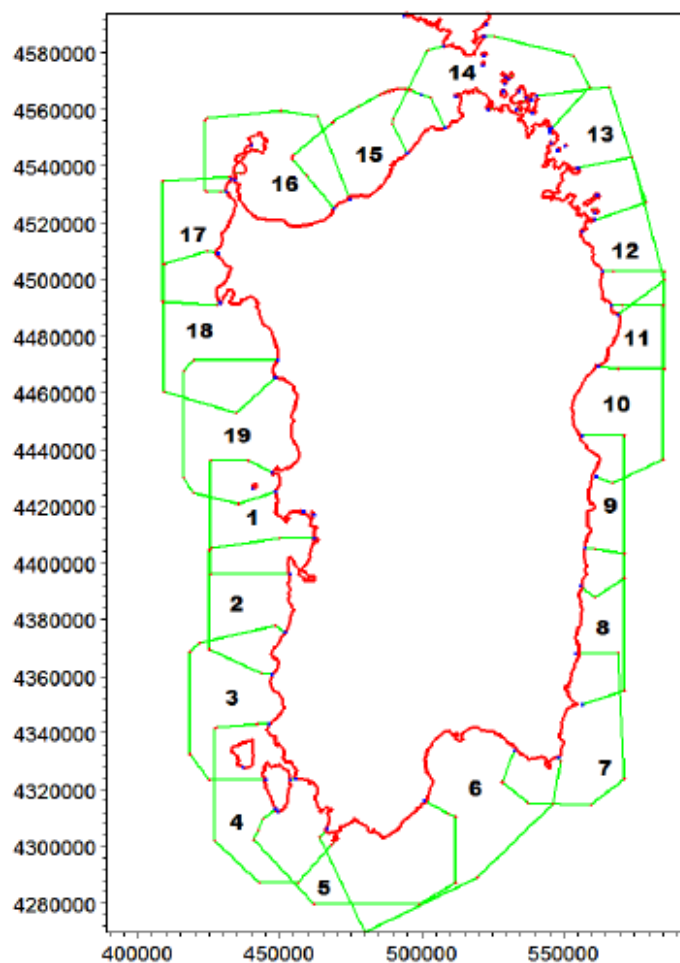


Figura 12: Domini definiti dal PGRA per la scelta delle forzanti d'onda in ingresso al modello

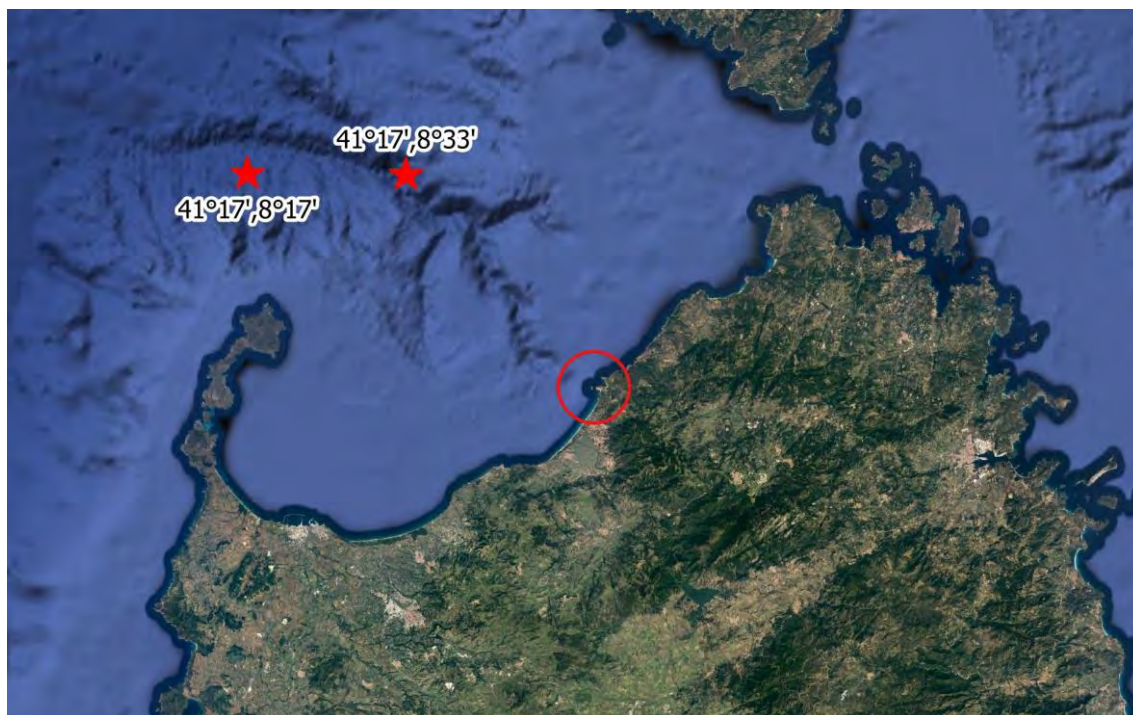


Figura 13: Posizione dei punti da cui sono stati ricavati i valori estremi di altezza d'onda.

6 EVENTI ESTREMI DI LIVELLO MEDIO

In generale, per simulare correttamente il campo di altezze d'onda, sia per poter valutare le portate di tracimazione della struttura, occorre conoscere il cosiddetto *Still Water Level (SWL)*, ovvero il livello medio del mare, comprensivo degli effetti di marea astronomica e marea meteorologica.

In questo caso, essendo interessati ad analizzare eventi estremi, devono essere valutati i valori estremi del SWL. Tali valori sono stati dedotti dalle elaborazioni del PGRA, eseguite a partire dalle misure di livello della stazione mareografica di Porto Torres, relative al periodo dal 22/05/1985 al 15/12/2014. In Figura 14 è riportata la serie storica mareografica misurata alla stazione RMN di Porto Torres. In Figura 15 sono riportati in forma tabulare e forma grafica i valori estremi ricavati dalla relazione del PGRA.

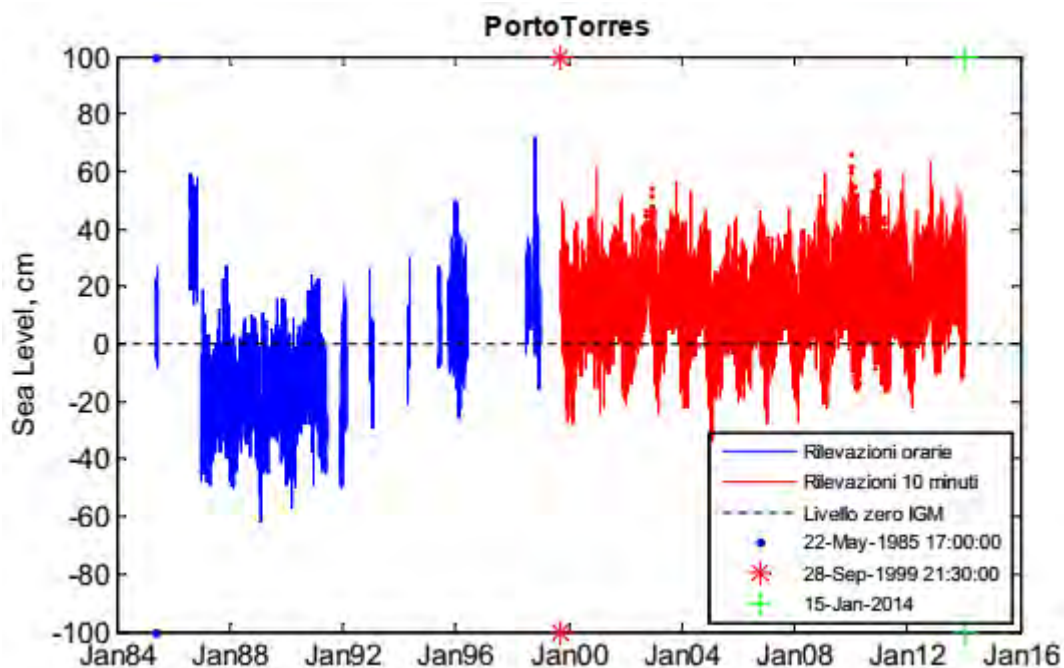


Figura 14: Serie storica mareografica misurata alla stazione RMN di Porto Torres (fonte: PGRA).

Tr (anni)	η (m slm)
2	0.61
20	0.70
50	0.74
100	0.76
200	0.79
500	0.82

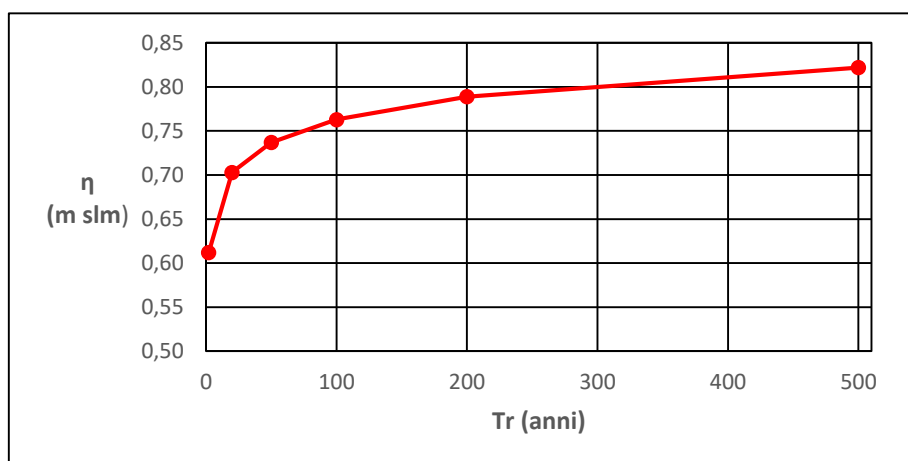


Figura 15: Valori estremi di livello medio, comprensivo di marea astronomica e meteorologica (elaborazioni eseguite partendo dai risultati del PGRA).

7 LA PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO CON IL MODELLO SWAN

SWAN (acronimo di *Smulating WAVes Nearshore*) è un modello spettrale di terza generazione che permette di simulare la propagazione del moto ondoso dal largo sino alla fascia di mareggiata.

Il modello è in grado di rappresentare i seguenti processi di propagazione:

- Propagazione nello spazio
- Rifrazione e shoaling dovuti alla variabilità spaziale della batimetria e delle correnti
- Diffrazione
- Attenuazione e riflessione causate da correnti opposte alla propagazione del moto ondoso
- Trasmissione e riflessione contro gli ostacoli.

I processi di generazione e dissipazione rappresentati sono i seguenti:

- Generazione da vento
- Dissipazione per *whitecapping*
- Dissipazione per frangimento indotto dalla profondità
- Dissipazione per attrito al fondo
- Interazioni tra onde, sia in acque profonde, sia in acque basse.

SWAN permette di realizzare simulazioni stazionarie o non stazionarie, e può lavorare sia con coordinate piane, cartesiane o curvilinee, sia in coordinate geografiche.

Il modello si basa sull'equazione di bilancio dell'azione dell'onda:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot [(\vec{c}_g + \vec{U})N] + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma}$$

dove $N = \frac{E}{\sigma}$ è l'azione dell'onda, definita come rapporto tra la densità di energia e la frequenza angolare relativa, \vec{c}_g è la celerità di gruppo, \vec{U} è la velocità della corrente, c_σ e c_θ sono le velocità di propagazione nel dominio spettrale (σ, θ) . La parte destra dell'equazione contiene il termine S_{tot} che rappresenta il termine sorgente che tiene conto di tutti quei processi fisici che forniscono, dissipano o redistribuiscono l'energia del moto ondoso.

Il termine S_{tot} viene ricavato come somma di sei contributi:

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br}$$

Questi termini rappresentano, rispettivamente, l'input di energia fornita dal vento, il trasferimento non-lineare di energia dovuto alle triplette e alle quadruplette, e le perdite di energia dovute al *whitecapping*, allo sforzo al fondo e al frangimento indotto dalla profondità.

7.1 Configurazione delle simulazioni

Le simulazioni sono state impostate utilizzando la tecnica del *nesting* su tre livelli. La prima griglia, la più ampia, ha una maglia quadrata 200x200 m, la seconda, intermedia, ha maglie quadrate 50x50 m, la terza, la più fitta, ha maglie quadrate 10x10 m. Le griglie di calcolo sono mostrate da Figura 16 a Figura 18.

Le simulazioni sono state condotte per i tempi di ritorno di 2, 20 e 100 anni. Quello di 100 anni è il tempo di ritorno di progetto scelto per il dimensionamento della mantellata.

Il periodo di picco corrispondente a ciascun evento estremo è stato valutato mediante la relazione

$$T_p = \sqrt{\frac{H_s}{0.049}}$$

valida nell'ipotesi di spettro di frequenza JONSWAP medio, adatto per mare di estensione limitata.

In Tabella 9 e Tabella 10 sono riportati i dati di moto ondoso, di vento, e di sovrizzo del livello medio forniti in input al modello nelle diverse simulazioni.

Tr (anni)	Moto ondoso			Vento		Livello
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	V (m/s)	Dir (°N)	η (m slm)
2	7.83	12.64	300	14.73	300	0.61
20	9.38	13.84	300	20.46	300	0.70
100	10.34	14.53	300	24.86	300	0.76

Tabella 9: Dati di input per le simulazioni degli eventi con direzione di provenienza pari a 300°N.

Tr (anni)	Moto ondoso			Vento		Livello
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	V (m/s)	Dir (°N)	η (m slm)
2	1.81	8.40	30	9.62	30	0.61
20	2.87	9.60	30	16.32	30	0.70
100	3.23	9.70	30	21.52	30	0.76

Tabella 10: Dati di input per le simulazioni degli eventi con direzione di provenienza pari a 30°N.

Da Figura 16 a Figura 18 sono mostrate le tre griglie di calcolo.

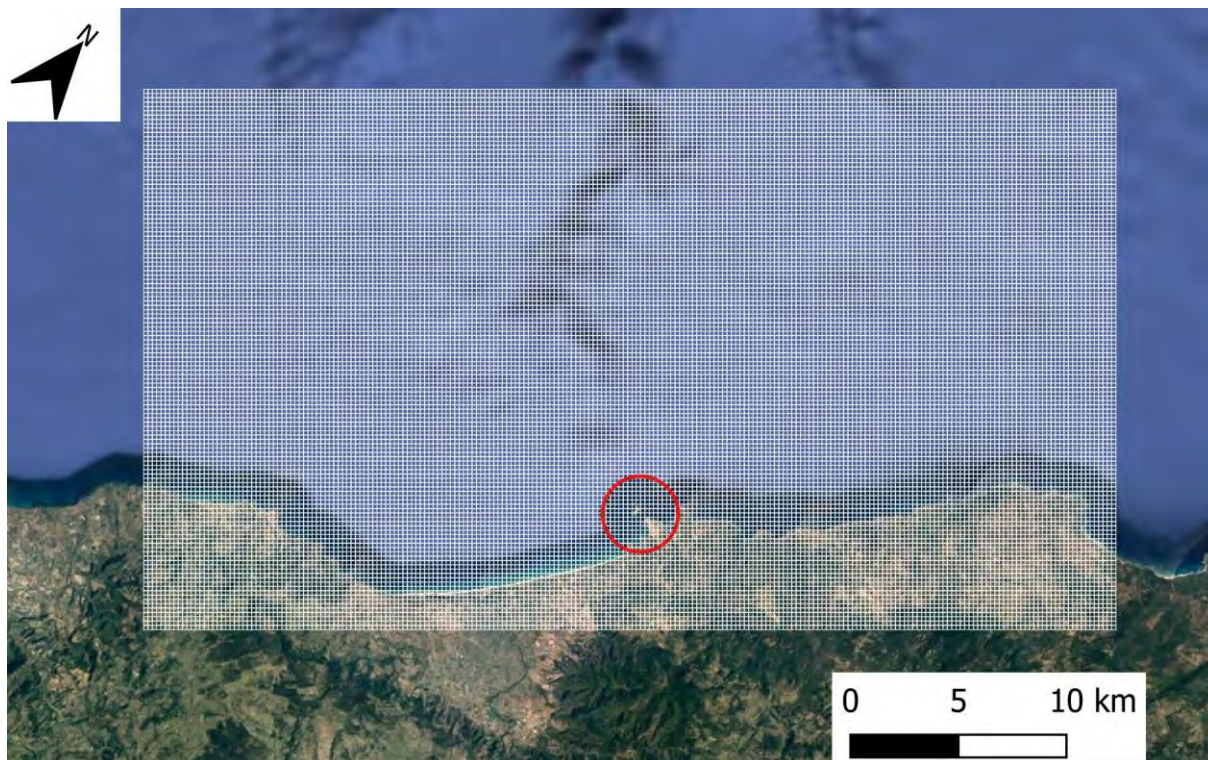


Figura 16: Prima griglia di calcolo, risoluzione 200x200 m.



Figura 17: Seconda griglia di calcolo, risoluzione 50x50 m.

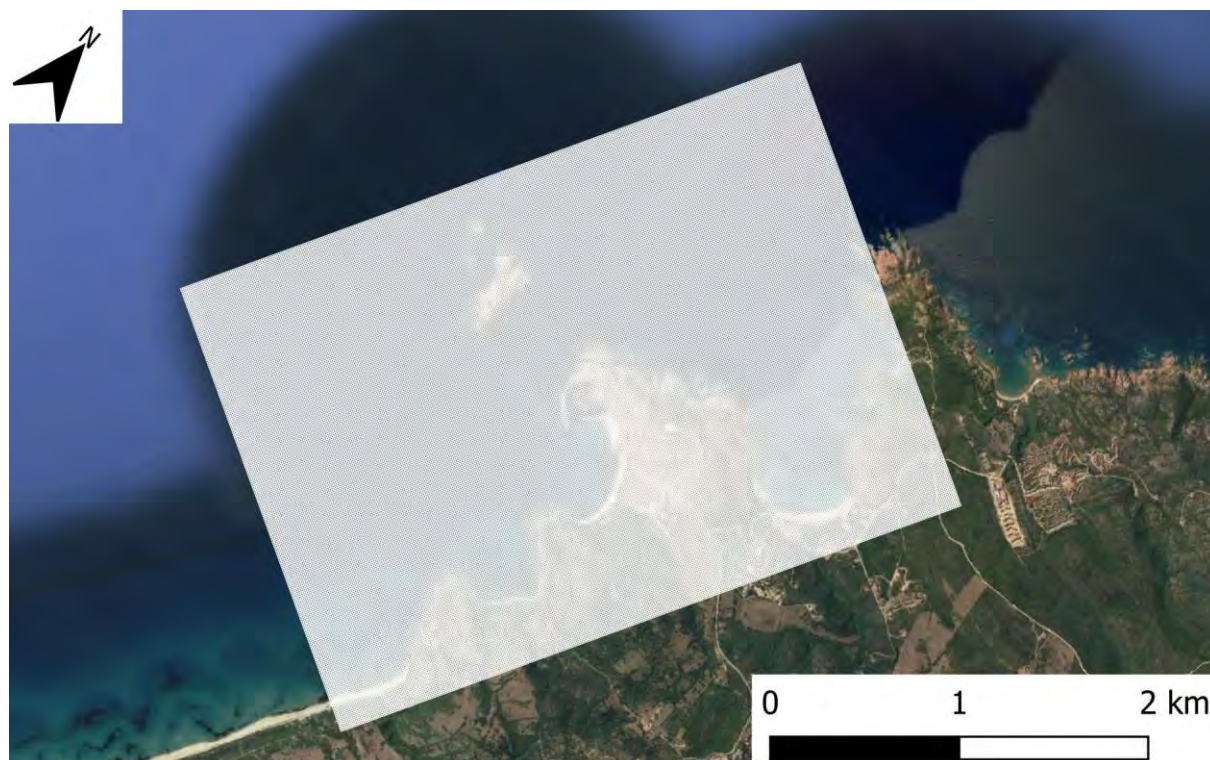


Figura 18: Terza griglia di calcolo, risoluzione 10x10 m.

7.1.1 Dati batimetrici

La batimetria utilizzata nello studio è stata ricostruita sulla base delle carte nautiche ufficiali, integrata mediante un rilievo batimetrico di dettaglio in prossimità dell'area di intervento eseguito appositamente per le finalità del presente progetto. In Figura 19 è mostrata la batimetria dell'intero dominio di calcolo. In Figura 20 è mostrata la batimetria ottenuta dal rilievo di dettaglio eseguito nei pressi dell'area d'intervento.

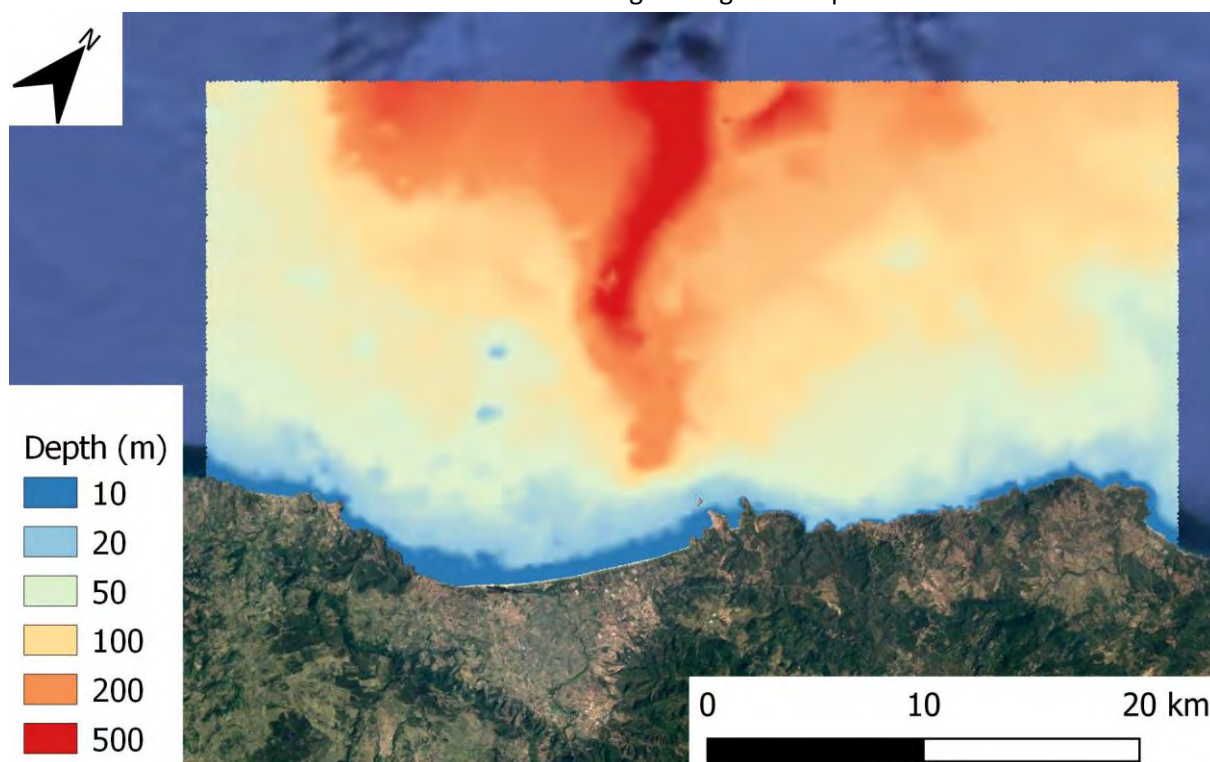


Figura 19: Batimetria dell'area di studio



Figura 20: Batimetria ricavata da rilievo di dettaglio eseguito nei pressi dell'area d'intervento.

7.1.2 *Punti di osservazione*

I risultati del modello sono stati estrapolati in corrispondenza di svariati punti di osservazione, localizzati in prossimità del piede dell'opera. Tali risultati sono stati utilizzati quali condizioni di ingresso per il dimensionamento della mantellata e la valutazione della portata di tracimazione. In Tabella 11 sono riportate le coordinate dei punti di osservazione; la loro posizione è mostrata in Figura 21.

Punto di osservazione	Xp [m]	Yp [m]	Punto di osservazione	Xp [m]	Yp [m]
1	489075	4540223	8	489112	4540064
2	489075	4540201	9	489132	4540044
3	489074	4540176	10	489150	4540029
4	489074	4540151	11	489173	4540015
5	489075	4540126	12	489193	4540002
6	489084	4540104	13	489214	4539989
7	489094	4540080			

Tabella 11: Coordinate dei punti di osservazione

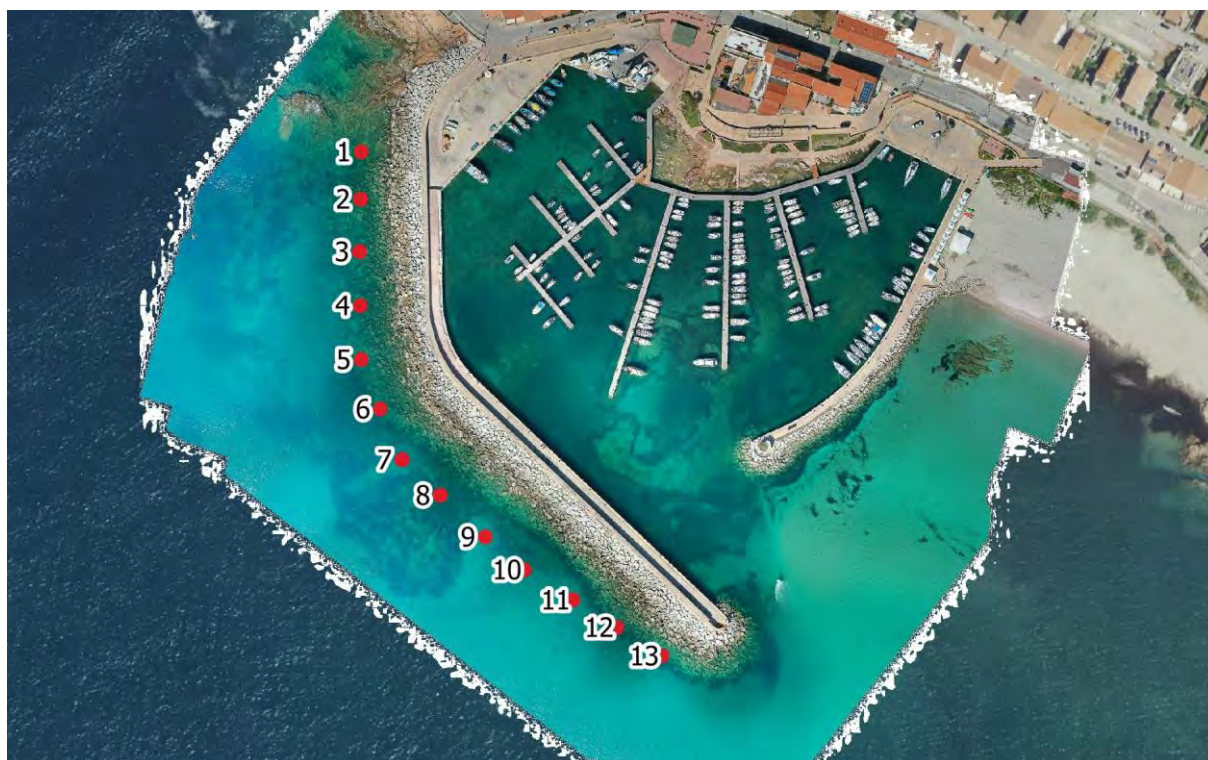


Figura 21: Punti di osservazione

7.2 riepilogo dei risultati

Da Figura 22 a Figura 24 sono mostrate le mappe di altezza d'onda significativa ricavate con le simulazioni degli eventi provenienti da Maestrale per i tempi di ritorno di 2, 20 e 100 anni; da Figura 25 a Figura 27 sono invece mostrate le mappe di altezza d'onda ricavate con le simulazioni degli eventi provenienti da Grecale. Come si può vedere il paraggio oggetto di intervento è caratterizzato da una intensità maggiore degli eventi di maestrale che raggiungono altezze d'onda in prossimità della struttura superiori ai 4 m. Il paraggio è meno esposto, come logico aspettarsi, agli eventi da grecale.

Nella Tabella 12 che segue sono riportati i valori di altezza d'onda significativa ricavati in corrispondenza dei punti di osservazione per i diversi tempi di ritorno.

N punto	Maestrale Dir=300°N			Grecale Dir=30°N		
	Tr			Tr		
	2	20	100	2	20	100
1	2.72	3.00	3.11	0.33	0.64	0.81
2	3.29	3.66	3.83	0.55	1.07	1.41
3	3.59	4.01	4.20	0.61	1.20	1.58
4	3.86	4.31	4.51	0.60	1.16	1.51
5	3.91	4.41	4.63	0.63	1.19	1.54
6	3.92	4.40	4.61	0.57	1.08	1.39
7	4.05	4.49	4.68	0.51	0.94	1.21
8	4.23	4.58	4.70	0.47	0.87	1.11
9	4.17	4.44	4.52	0.43	0.80	1.02
10	3.71	3.96	4.05	0.41	0.75	0.97
11	3.69	3.90	4.01	0.38	0.71	0.92
12	3.84	4.05	4.14	0.35	0.68	0.88
13	3.88	4.08	4.14	0.34	0.66	0.88

Tabella 12: Altezza d'onda significativa in corrispondenza dei punti di osservazione per i diversi tempi di ritorno.

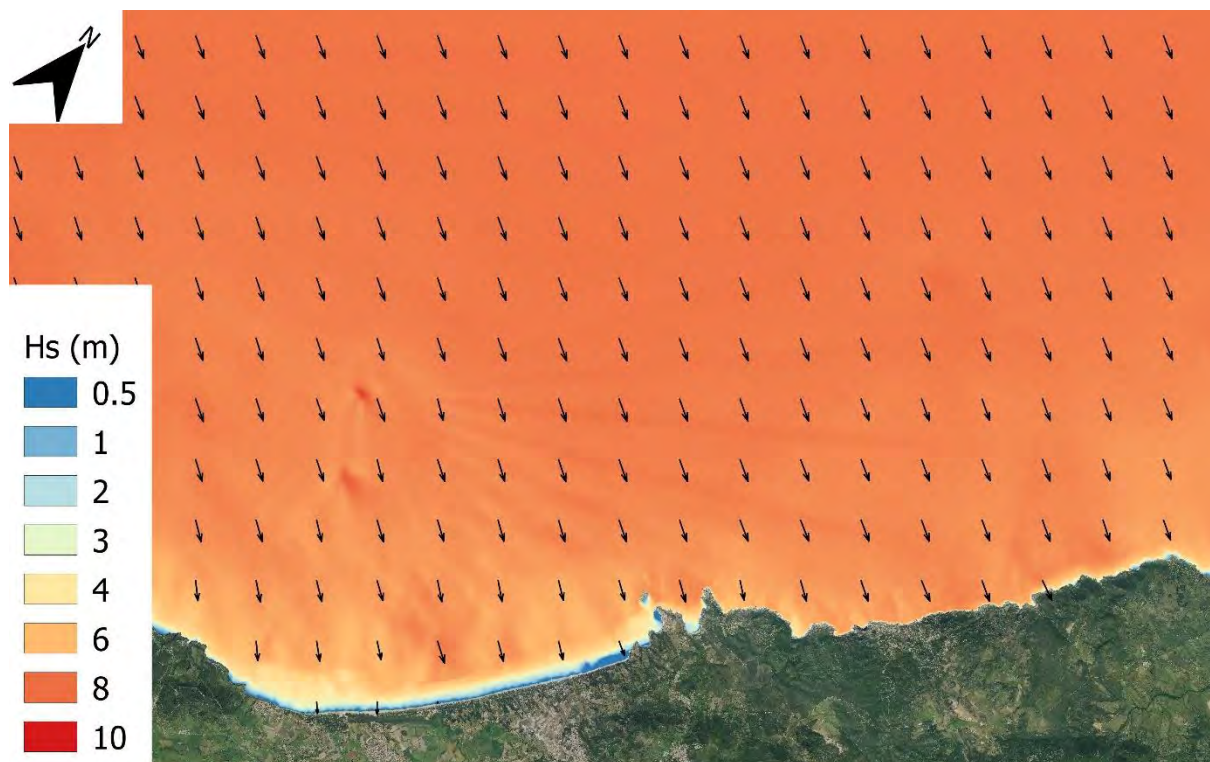


Figura 22: Trasformazione del moto ondoso dal largo verso la costa. Tr=2 anni. Direzione 300°N.

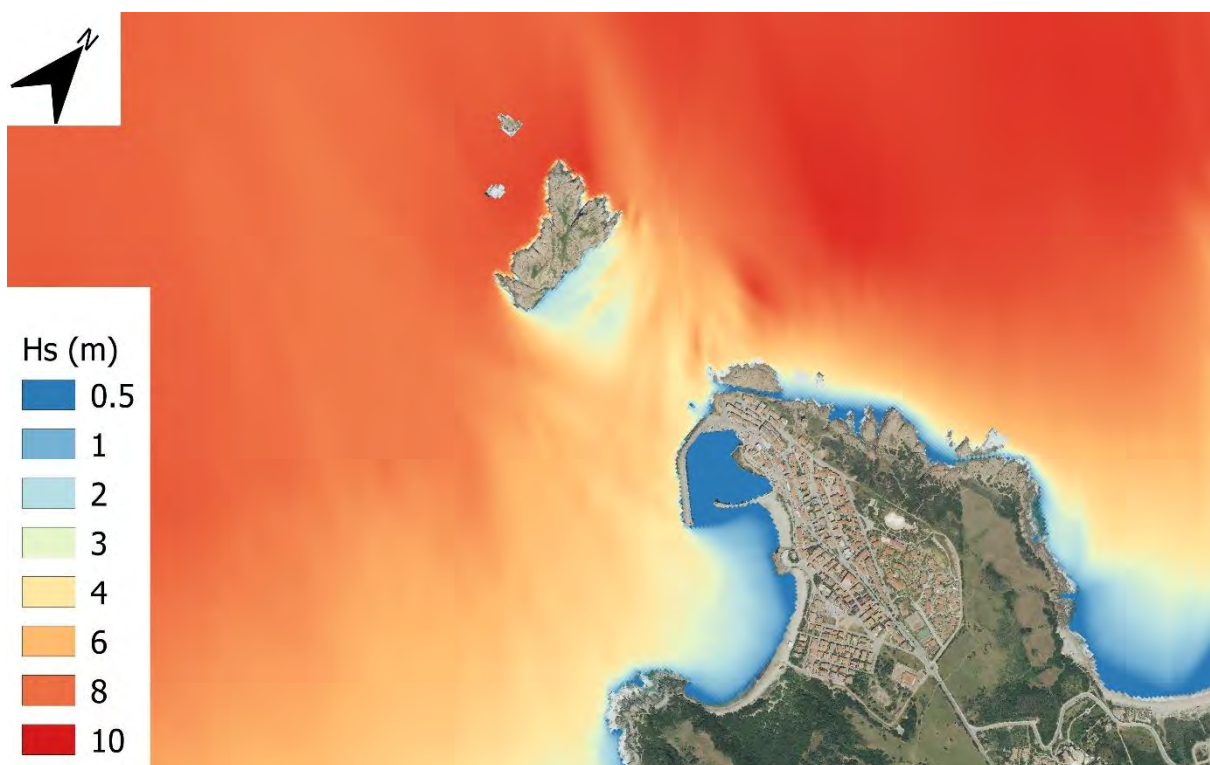
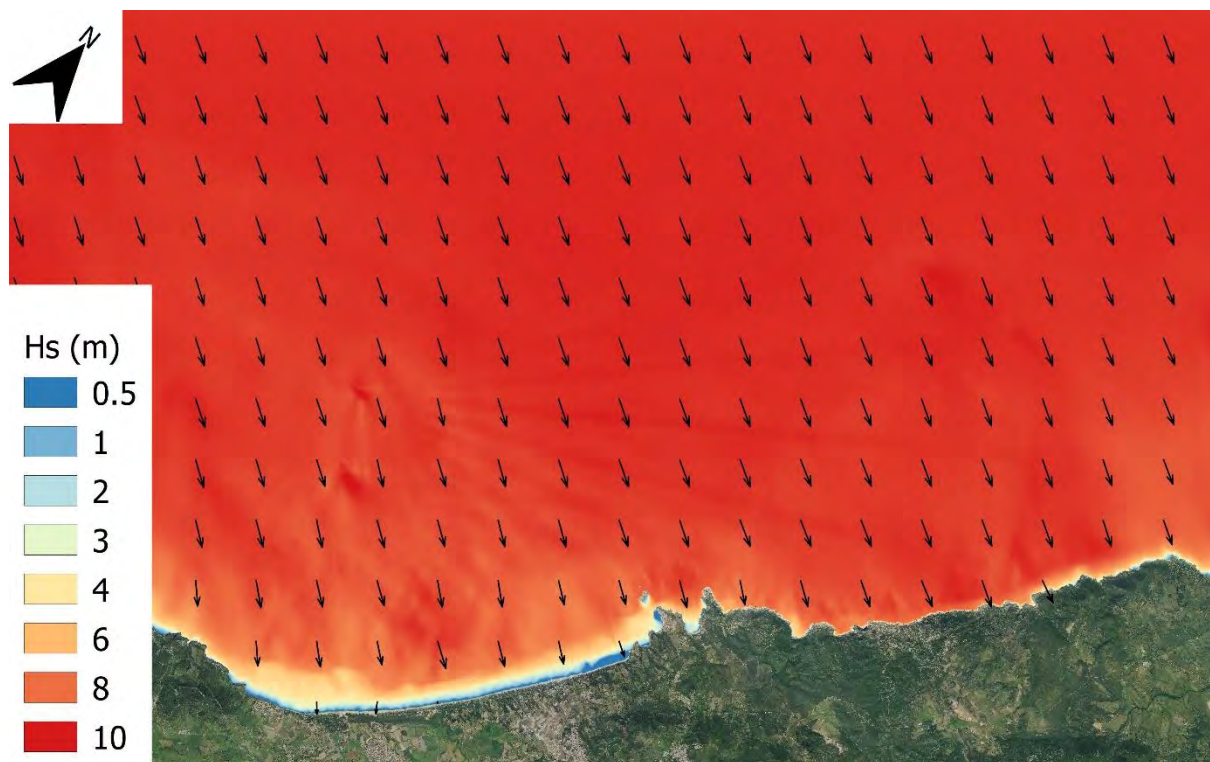


Figura 23: Trasformazione del moto ondoso dal largo verso la costa. Tr=20 anni. Direzione 300°N.

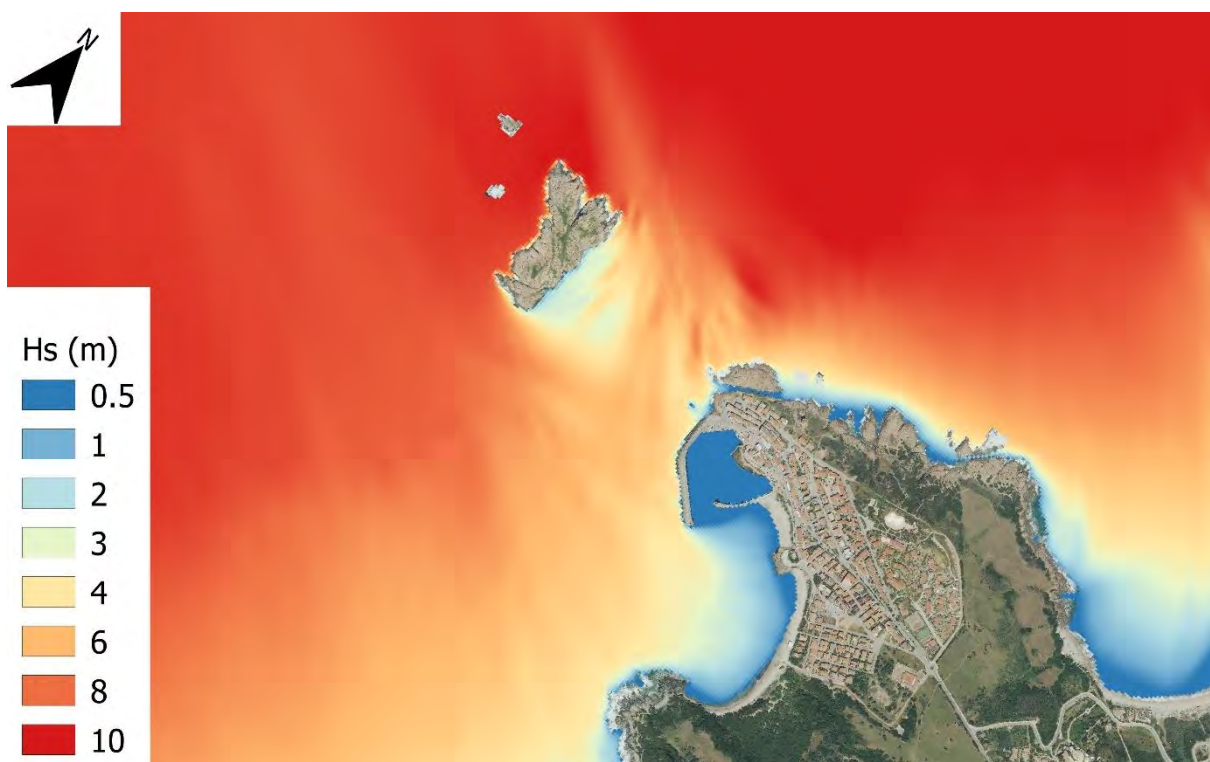


Figura 24: Trasformazione del moto ondoso dal largo verso la costa. Tr=100 anni. Direzione 300°N.

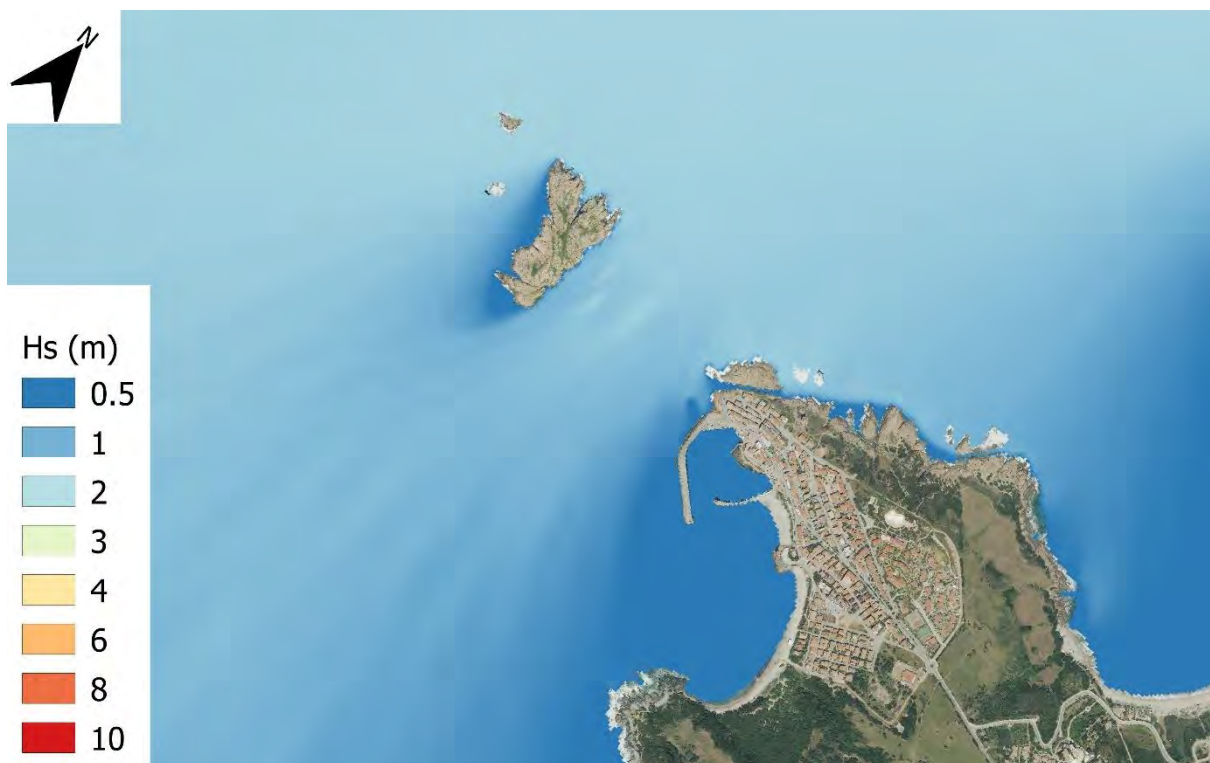


Figura 25: Trasformazione del moto ondoso dal largo verso la costa. Tr=2 anni. Direzione 30°N.



Figura 26: Trasformazione del moto ondoso dal largo verso la costa. Tr=20 anni. Direzione 30°N.



Figura 27: Trasformazione del moto ondoso dal largo verso la costa. Tr=100 anni. Direzione 30°N.