

Comune di Arzachena

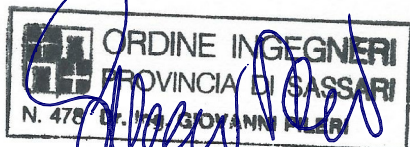
Loc. Marina di Porto Cervo

PROGETTO DI ADEGUAMENTO DELLA FLOTTA TIPO NELLA MARINA DI PORTO CERVO PER ATTRACCO DI GIGA YACHT

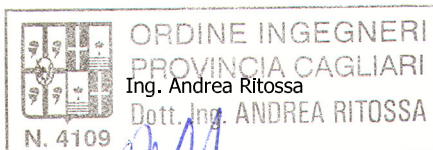
STUDIO METEO MARINO

ELAB.	AFTPCM0009	DATA			
		AGOSTO 2018			

STUDIO PILERI ING. GIOVANNI
INGEGNERIA DEL MARE
URBANISTICA - DD. LL.



Via Nazionale, 89 07021 CANNIGIONE (OT)
Tel./Fax 0789 88450 E - mail: studiopileri@virgilio.it
www.studiopileri.com



Viale Trieste, 65/1 - 09123 Cagliari - Italy
Tel. +39 070 6848202 - Fax +39 070 6404743
www.martech.it e-mail: info@martech.it

IL CONCESSIONARIO:
PORTO CERVO MARINA Srl

Indice

1	Premessa	2
2	Opere previste	3
3	Inquadramento	4
4	Dati ondametrici.....	5
4.1.1	Dati Anemometrici	11
5	Variazione del livello marino	18
6	Simulazioni numeriche sul moto ondoso	20
6.1	Introduzione	20
6.2	Batimetria	20
6.3	Wave Model SWAN	21
6.3.1	Impostazioni modello SWAN	22
6.3.1.1	Parametri fisici e numerici	24
6.3.1.2	Scelta dei dati delle forzanti d'onda.....	24
6.3.2	Maree	25
6.3.3	Risultati simulazioni	26
7	Dimensionamento sistemi di ormeggio.....	31
7.1	Descrizione generale ormeggio	31
7.2	Calcoli di resistenza del sistema di ormeggio	31

1 Premessa

La presente relazione illustra lo studio meteo-marino sviluppato ai fini dell'individuazione delle condizioni di vento e di moto ondoso ondose nell'ambito del progetto per l'adeguamento dei sistemi di ormeggio all'interno del Marina di Porto Cervo per consentire l'attracco ad una imbarcazione avente lunghezza fuori tutto pari a 156 metri nei posi barca 24-25-26-27-27 bis.

Lo studio è volto alla valutazione delle condizioni di vento moto ondoso nell'area nella quale si prevede di ormeggiare la nave ed è articolato in diverse fasi. Inizialmente sono stati considerati i dati anemometrici ed ondametrici a disposizione, e si è effettuata un'analisi statistica del clima ondoso, al fine di determinare l'onda al largo della zona di interesse con tempo di ritorno biennale e cinquantennale. Tali dati sono stati poi utilizzati per la realizzazione delle simulazioni numeriche atte a trasportare l'onda a largo verso riva utilizzando il software SWAN e valutare l'agitazione residua nel bacino interno.

Infine è stato effettuato uno studio delle azioni che la nave eserciterà sui sistemi di ormeggio ed è stato effettuato il loro dimensionamento.

2 Opere previste

Il presente progetto prevede l'ormeggio di una nave da diporto avente lunghezza pari a 156 metri all'interno del porto di Porto Cervo, Comune di Arzachena, sulla costa nord orientale della Sardegna (Figura 1)

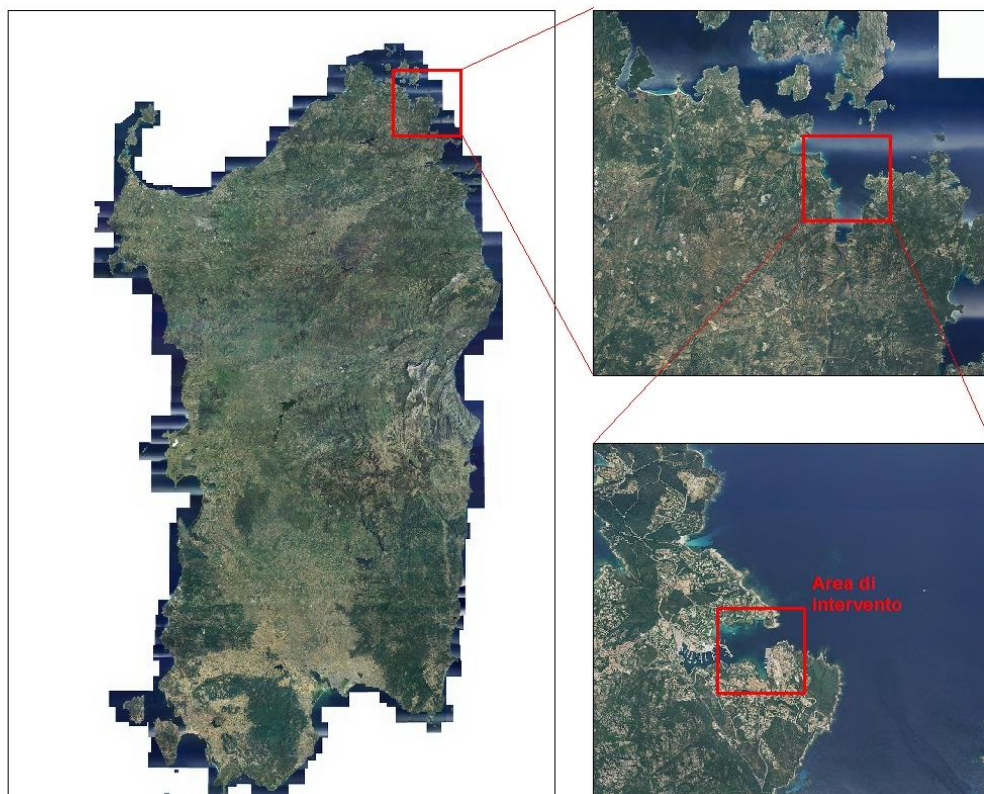


Figura 1: Inquadramento dell'area di intervento

La nave potrà avere una lunghezza pari a metri 156 circa e larghezza paria a 23 metri e le sue dimensioni impongono una revisione del piano ormeggi del marina ed il potenziamento dei sistemi di attracco mediante la posa in opera, a prua dell'imbarcazione di nuovi corpi morti, ed a poppa mediante il riempimento di parte dei cassoni costituenti la banchina con un getto in calcestruzzo subacqueo al quale sarà assicurata la nave consentendo così di non gravare sulle bitte esistenti non dimensionate per detto tipo di navi.

3 Inquadramento

La zona oggetto dello studio è situata all'interno dell'insenatura di Porto Cervo, sulla costa nord orientale sarda. Ponendosi al largo dell'area di studio, questa ha un settore di traversia massimo compreso tra 350 e 120° trguardato a nord dall'Isola di Caprera e a sud-est da Golfo Aranci. Il settore di massimo fetch¹ geografico è compreso tra i 100°N e 130°N, estendendosi per oltre 250 miglia nautiche, fino alle coste dell'Italia meridionale.

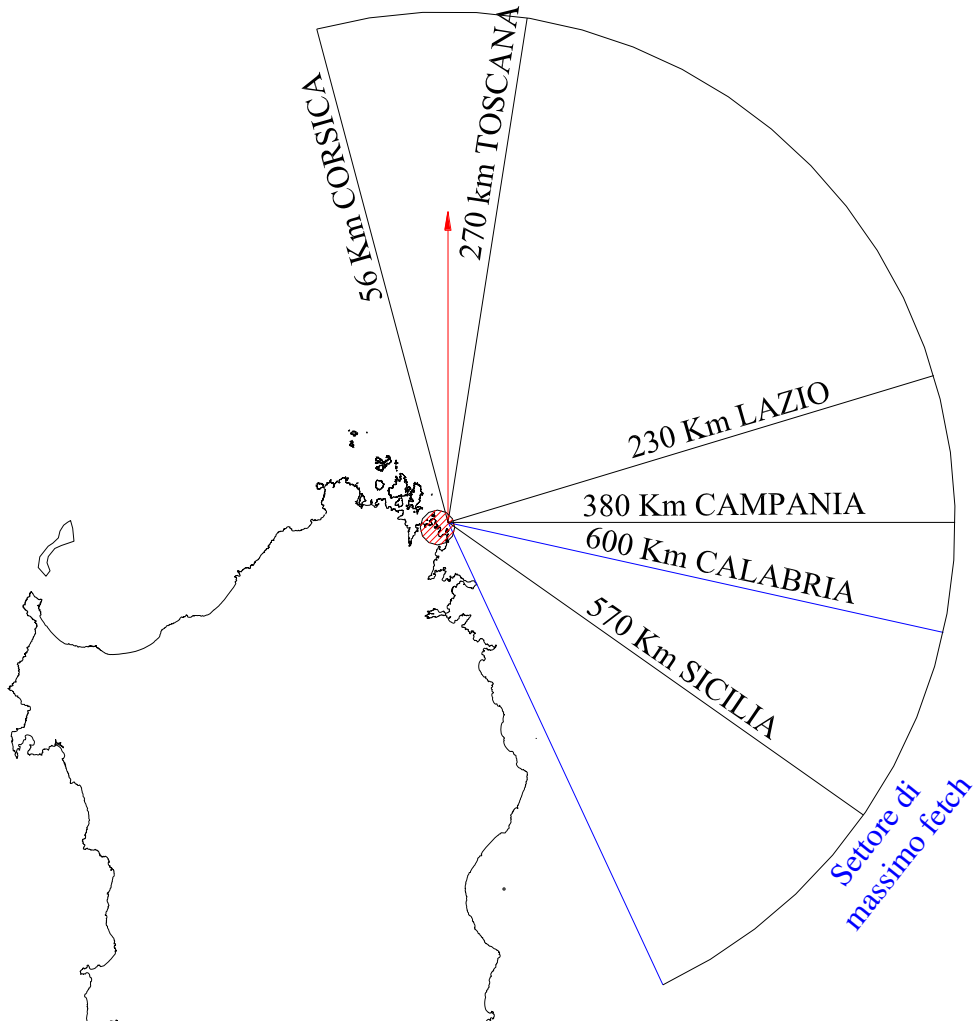


Figura 2: Inquadramento geografico e planimetria generale con ubicazione del paraggio interno

¹ Il fetch (o area di generazione), è la lunghezza della regione dove il vento mantiene caratteristiche quasi costanti, ossia, convenzionalmente, con variazioni di velocità <5 nodi (~2.5 m/s) e di direzione <45° rispetto alla direzione media. Esso, per le caratteristiche bariche del mediterraneo, come nel nostro caso, pur potendo essere geograficamente (fetch geografico) superiore è limitato a 500-600 Km.

4 Dati ondametrici

Al fine di determinare l'onda al largo della zona di interesse, è stata effettuata un'analisi statistica sulla base dei dati ondametrici rilevati dalla boa di Capo Comino², che offre dei dati diretti di moto ondoso sulla costa orientale della Sardegna. Per confermare l'attendibilità di tale analisi, sono stati considerati i dati di osservazione dello stato del mare delle stazioni semaforiche dell'Istituto Idrografico della Marina di Capo Bellavista e Capo Figari³ e gli studi effettuati dallo Studio Volta e da HR WALLINGFORD.

Le fonti dati dei due studi considerati sono diverse, in particolare lo Studio Volta cita:

- Posto semaforico MM Capo Bellavista
- Posto semaforico Capo Figari
- Campo isobarico al suolo e vento di gradiente rilevato dalle "carte del tempo" della A.M. nel Tirreno centrale;
- KNMI⁴ frequency tables of waves (39°-40°N_ 10°-10.9°E)
- STONE statistica delle onde estreme.

HR WALLINGFORD fa riferimento a registrazioni d'onda effettuate sulla scorta di osservazioni da navi effettuate dal 1960 al 1980 verosimilmente tratte dall'UKMO⁵.

Tutti i dati presi in considerazione risultano omogenei e coerenti tra loro sia in termini di caratteristiche d'onda che di distribuzione direzionale. Il clima meteo-marino risulta caratterizzato dalla presenza di correnti provenienti da N-NE e da S-SE.

Lo studio climatologico effettuato dal dott. Cicala (Studio Volta) ed i dati ondametrici raccolti, indicano gli eventi provenienti da S-SE come regnanti (ovvero più frequenti) e quelli provenienti da N-NE come prevalenti (ovvero più intensi).

² Rete Ondametrica Nazionale, ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

³ Fonte "Lo stato del vento e del mare lungo le coste italiane e dell'adriatico", Istituto Idrografico della Marina. Per Capo Bellavista, dati relativi al periodo 1934-42, 1944-52m per Capo Figari 1930-38, 1939-42, 1944, 1946-57

⁴ Ufficio Meteorologico Olandese

⁵ Ufficio Meteorologico Britannico.

I dati strumentali della boa di Capo Comino, confortati dalle osservazioni delle due stazioni IIM, mostrano inequivocabilmente un clima dominato da Grecale e Scirocco (vedi Figura 3). Le mareggiate più significative sono state registrate per il settore settentrionale.

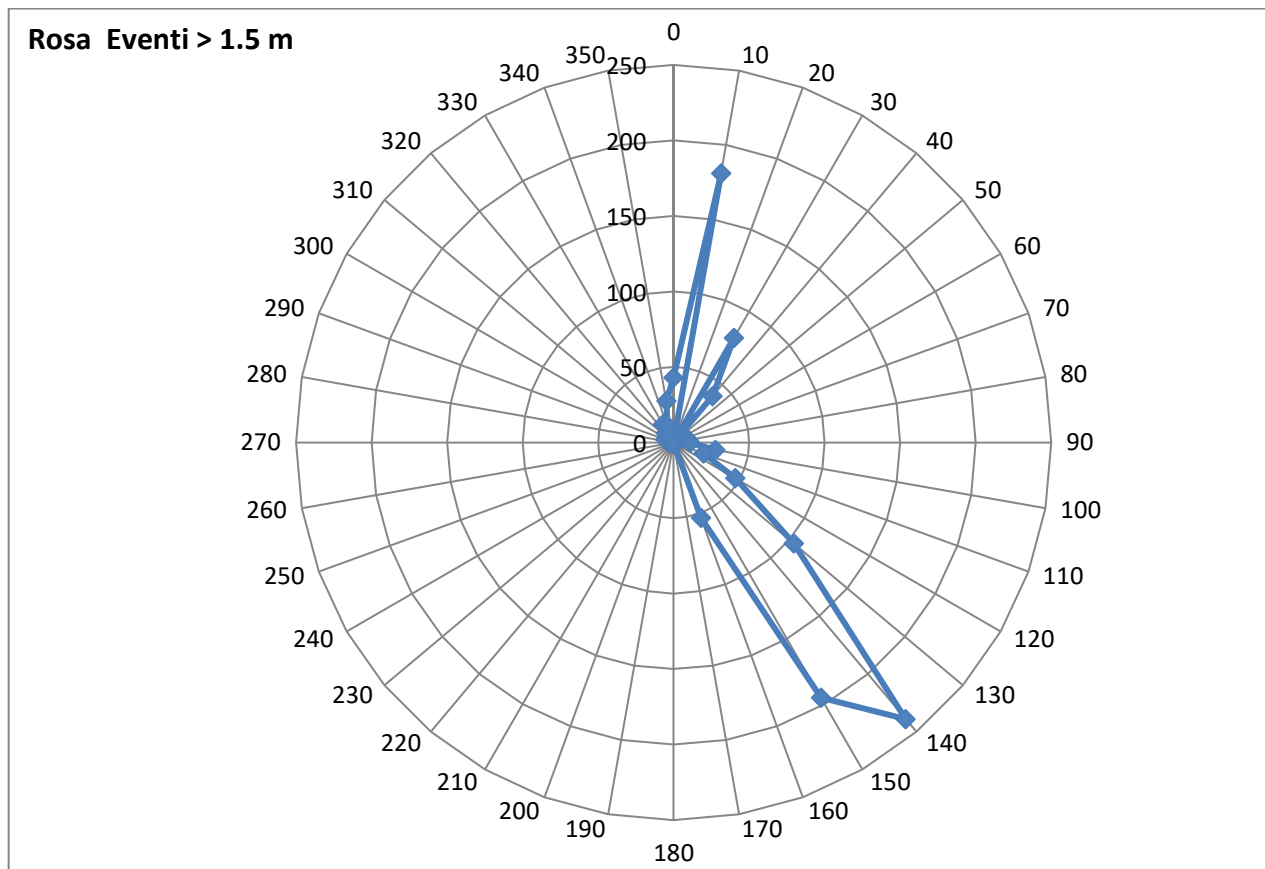


Figura 3: Distribuzione degli eventi con altezza d'onda superiore a 1.5 m rilevati dalla boa di Capo Comino dal 01/01/2004 al 12/09/2005 – fonte dati: ISPRA-IDROMARE

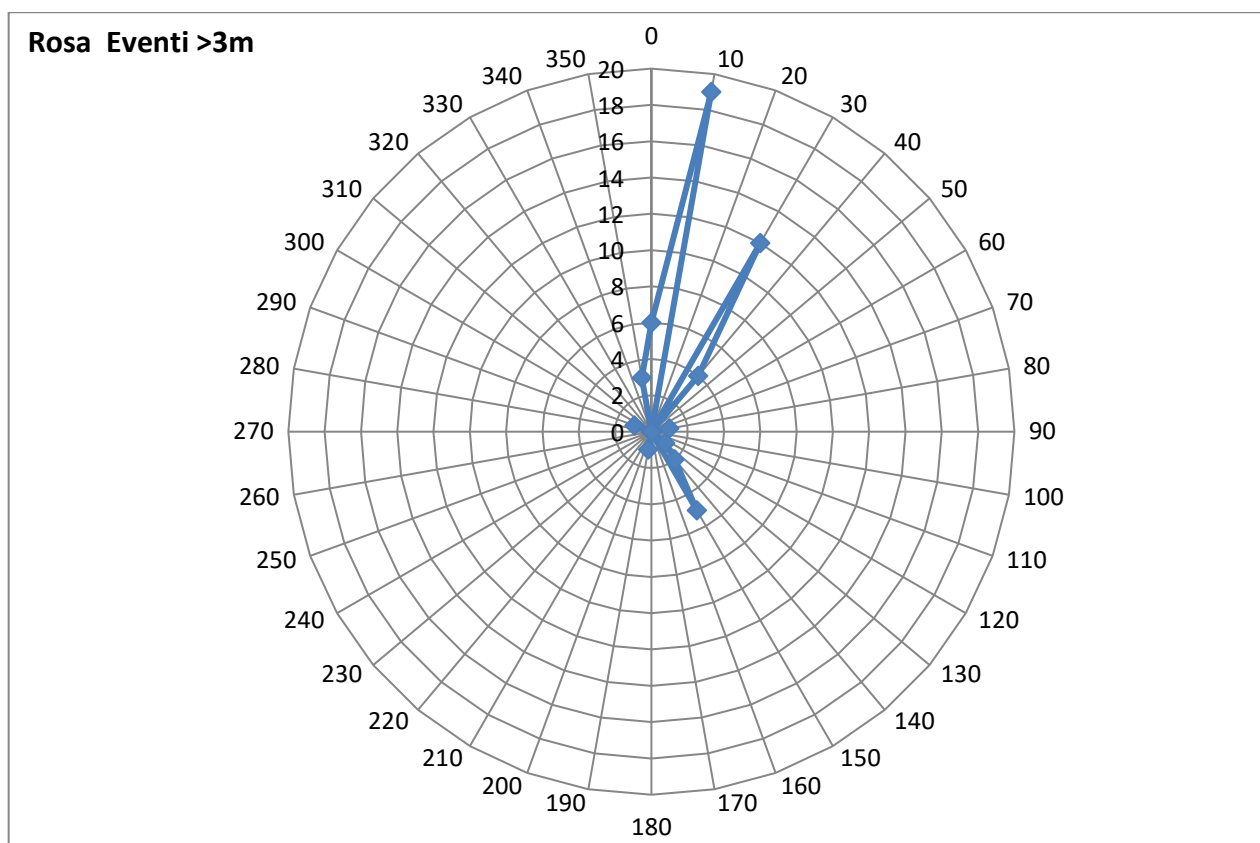


Figura 4: Distribuzione degli eventi con altezza d'onda superiore a 3 m rilevati dalla boa di Capo Comino dal 01/01/2004 al 12/09/2005 – fonte dati: ISPRA-IDROMARE

Al fine di determinare i valori d'onda estremi con tempo di ritorno cinquantennale, quinquennale e biennale (utilizzati poi come parametro di ingresso del modello numerico), sono stati considerati i dati rilevati dalla boa onda metrica di Capo Comino. La valutazione dell'onda al largo è stata effettuata utilizzando sia la distribuzione probabilistica di Gumbel che quella di Weibull.

Tempo di Ritorni [anni]	0-50°		130-150°	
	Weibull H _s [m]	Gumbel H _s [m]	Weibull H _s [m]	Gumbel H _s [m]
2	4.68	4.64	3.05	3.04
5	5.56	5.48	3.40	3.36
50	7.03	7.22	3.97	4.05

Tabella 1: condizioni d'onde estreme ricavata dai dati di Capo Comino

I calcoli effettuati con le due distribuzioni sono mostrati in Tabella 1. Per ciò che riguarda i dati relativi al settore di grecale, i risultati ottenuti sono in accordo con quelli osservati nelle stazioni semaforiche di Capo Figari e Capo Bellavista (vedi Figura 5 e Figura 6). Considerando invece le altezze d'onda relative al settore NW ottenute dall'analisi statistica, le altezze d'onda sembrano essere sottostimate, probabilmente a cause della mancanza di una estesa serie storica di dati. Tale assunzione è confortata sia dall'analisi statistica effettuata dallo Studio Volta per tale settore di provenienza. (vedi Tabella 2 e Tabella 3) che dai dati osservati nelle due stazioni IIM.

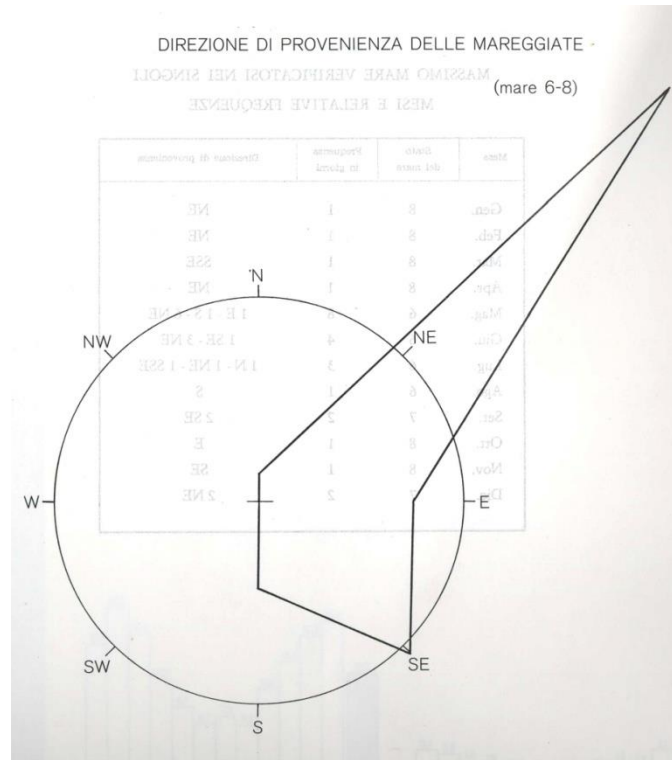
Si è quindi deciso, a favore di sicurezza, di sovrastimare del 10% i valori ottenuti dall'analisi statistica, rendendoli così omogenei a quelli ottenuti negli studi precedenti.

Condizioni estreme HR			Condizioni Estreme dello studio Volta		
Settore di direzione (°N)	Tempo di ritorno centennale		Settore di direzione (°N)	Tempo di ritorno centennale	
	H_s [m]	T_m[s]		H_s [m]	T_m[s]
55-75	5.16	8.27	40-100	5.19	8.60
115-135	6.26	9.98	100-140	6.35	9.21
155-175	5.13	9.81	140-180	5.33	8.75

Tabella 2: confronto delle condizioni d'onda estreme tra gli studi HR Wallingford e Studio Volta

Periodo di Ritorni [anni]	65°N		125°N		165°N	
	H_s [m]	T_m[s]	H_s [m]	T_m[s]	H_s [m]	T_m[s]
1	1.51	6.1	1.80	6.4	2.19	6.8
10	3.26	7.6	3.74	7.9	3.69	7.9
50	4.58	8.4	5.45	8.8	4.70	8.4

Tabella 3: condizioni d'onde estreme immesse nel modello HR WALLINGFORD

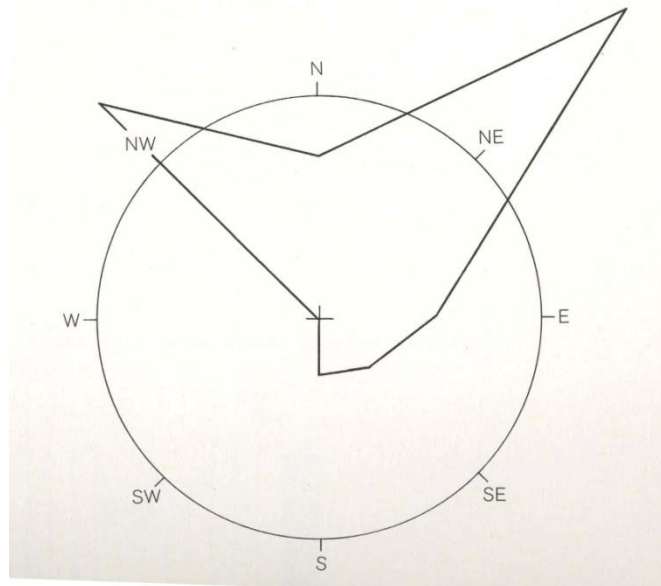


MASSIMO MARE VERIFICATOSI NEI SINGOLI MESI E RELATIVE FREQUENZE				DURATA MASSIMA DELLE MAREGGIATE (mare 6 ÷ 8)			
Mese	Stato del mare	Frequenza in giorni	Direzione di provenienza	Mese	Durata (ore)	Stato del mare	Direzione di provenienza
Gen.	8	1	NE	Dic.	55	6	E
Feb.	8	1	NE	Gen.	52	6-7	NE
Mar.	8	1	SSE	Apr.	52	6-8	NE
Apr.	8	1	NE	Ott.	48	6-7	E
Mag.	6	8	1 E - 1 S - 6 NE	Feb.	44	6	E
Giù.	6	4	1 SE - 3 NE	Mar.	44	6-8	SSE
Lug.	6	3	1 N - 1 NE - 1 SSE	Apr.	40	6	ESE
Ago.	6	1	S	Dic.	40	6-7	NE
Set.	7	2	2 SE	Gen.	38	6-7	NE
Ott.	8	1	E	Gen.	38	6	NE
Nov.	8	1	SE	Mar.	36	6	NE
Dic.	7	2	2 NE	Dic.	36	6	ENE
				Dic.	34	6	ENE
				Dic.	32	6	NE
				Gen.	28	6-8	NE
				Feb.	28	6-7	NE
				Apr.	28	6	NE
				Ott.	28	6	SE
				Nov.	28	6-7	SE
				Mar.	26	6-7	NE
				Feb.	24	6	SE
				Set.	24	6	SE
				Dic.	22	6	N

Figura 5: Osservazioni relative allo stato del mare rilevate nella Stazione Semaforica di Capo Bellavista – Fonte: Istituto Idrografico della Marina

DIREZIONE DI PROVENIENZA DELLE MAREGGIATE

(mare 6-8)



MASSIMO MARE VERIFICATOSI NEI SINGOLI MESI E RELATIVE FREQUENZE

Mese	Stato del mare	Frequenza in giorni	Direzione di provenienza
Gen.	8	3	3 N
Feb.	8	1	E
Mar.	8	1	NW
Apr.	8	1	NE
Mag.	7	1	NE
Giu.	6	3	3 NW
Lug.	7	1	NW
Ago.	7	1	SE
Set.	7	3	1 N - 1 NE - 1 NW
Ott.	7	2	2 N
Nov.	8	4	1 N - 3 NE
Dic.	8	2	2 E

DURATA MASSIMA DELLE MAREGGIATE

(mare 6 ÷ 8)

Mese	Durata (ore)	Stato del mare	Direzione di provenienza
Dic.	62	6-7	NE
Nov.-Dic.	56	6-7	N
Ott.	54	6-7	N
Ott.	54	6-7	NE
Apr.	52	6-7	NE
Dic.	50	6-7	NE
Feb.	48	6-7	S
Mar.	48	6-7	E
Feb.	40	6-8	E
Nov.	40	6-8	NE
Gen.	38	6-8	N
Gen.	38	6-7	NE
Feb.	38	6-7	E
Nov.	38	6-8	N
Nov.-Dic.	38	6-7	NE
Dic.	38	6-8	E
Gen.	36	6-7	NE
Feb.	36	6-7	NE
Dic.	36	6-7	NE
Dic.	36	6	NW
Gen.	34	6	NE
Mar.	32	6-7	SE
Mar.	32	6	S
Nov.	32	6-8	NE
Dic.	32	6	E

Figura 6: Osservazioni relative allo stato del mare rilevate nella Stazione Semaforica di Capo Figari – Fonte: Istituto Idrografico della Marina

4.1.1 Dati Anemometrici

L'analisi dei dati di vento incidente sul paraggio viene eseguito per tener conto dell'azione che il vento ha sulla superficie del mare ricaricandone l'azione generatrice e per fornire utili informazioni.

Il moto ondoso che investe il litorale oggetto di studio proviene esclusivamente dal primo e dal secondo quadrante. Appare quindi logico, oltre che assodato da una lunga pratica progettuale per studi simili effettuati in paraggi prossimi a quello di interesse, prendere come fonte dei dati anemometrici la stazione che meglio riproduce le condizioni di vento che generano il moto ondoso e che ne ricaricano l'azione.

Si sono considerate le stazioni di Capo Bellavista (32°56'00"N 09°43'00"E - UTM 32, E 567001m N 3644179m), de La Maddalena e di Olbia (aeroporto Vena Fiorita).

I dati del Capo Bellavista (Tabella 4) mettono in evidenza un regime anemometrico caratterizzato dalla prevalenza dei venti di Mezzogiorno e di Ponente. In particolare i venti più frequenti sono quelli provenienti dal settore 330°N ÷ 30°N e dalla direzione di 270°N. Per le direzioni di nostro interesse (0-50° e 130-150°), si hanno valori registrati superiori ai 17 m/s.

Dai dati relativi alla stazione di Guardiavecchia de La Maddalena, mostrati in Tabella 5, si può desumere una velocità di vento massima compresa tra 48 e 63 nodi (25-32 m/s) nel primo quadrante e di 34-47 nodi (17-24 m/s) nel secondo.

I diagrammi polari della distribuzione degli eventi per le stazioni de La Maddalena e di Olbia, mostrati in Figura 8 e Figura 9, evidenziano entrambi come venti prevalenti quelli di ponente, con una presenza rilevante di venti provenienti da levante. Dal confronto dei due diagrammi, si può notare la quasi sovrapposibilità delle rose, indice di un pressoché identico regime statistico del vento. I due diagrammi risultano leggermente disassati e ruotati ma questo dipende, presumibilmente, dal maggior dettaglio della rosa di La Maddalena e dalle inevitabili differenze legate alla collocazione del sito di rilevazione.

La rosa di La Maddalena mette in evidenza una maggior frequenza di venti di scirocco e libeccio che per la morfologia del golfo di Olbia risultano essere eventi più probanti a causa dei maggiori fetch a disposizione per la generazione delle onde. Inoltre, la mole di dati a disposizione per la stazione di Guardiavecchia è nettamente superiore. È apparso opportuno, quindi, utilizzare i dati di La Maddalena che, alla luce delle riflessioni suddette, forniscono dei risultati più attendibili e comunque a favore di sicurezza.

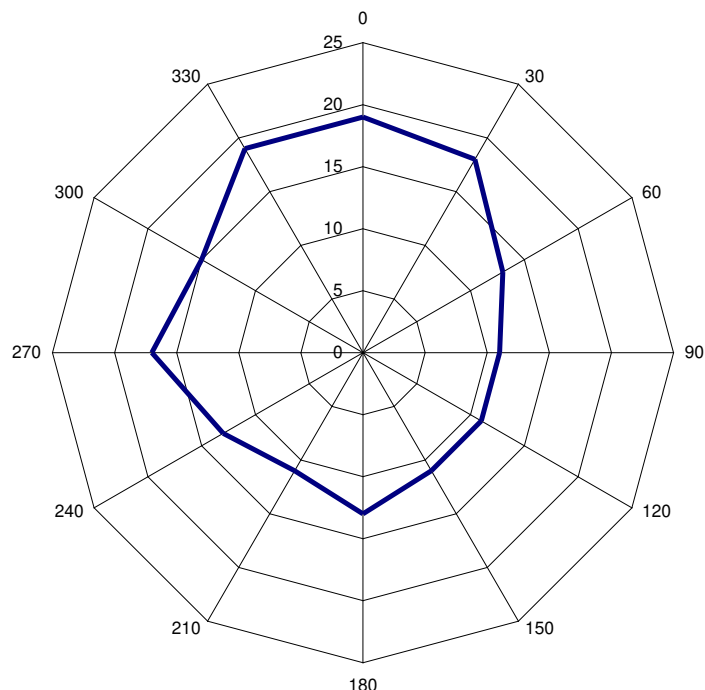


Figura 7: Elaborazione della Rosa dei venti della stazione di Capo Bellavista

Settore [°N]	Frequenza [%]	Intensità del vento [m/s]													
		<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17
0	5.7	287	85	84	83	68	46	50	46	38	59	51	44	32	27
30	7.8	210	106	98	112	72	54	53	48	40	74	48	30	29	26
60	6.4	306	139	146	117	82	44	46	38	18	29	20	6	6	5
90	6.6	315	225	184	117	58	32	19	9	4	16	12	3	4	5
120	8.2	238	174	182	170	79	41	36	24	15	19	12	5	2	1
150	7.7	271	177	139	127	72	54	41	37	20	33	13	10	3	1
180	8.8	225	156	133	121	88	67	59	50	29	38	21	8	5	0
210	7.5	244	138	145	149	91	59	49	34	27	37	16	6	2	0
240	5.3	324	118	133	117	63	52	44	39	26	50	23	8	3	2
270	11.6	171	120	151	157	99	62	47	37	21	49	29	23	16	19
300	17.1	124	99	151	169	119	79	61	45	28	48	34	20	10	12
330	7.2	247	92	101	112	89	73	48	44	30	55	33	32	19	27
totale	100%	228	133	140	136	87	58	48	38	25	43	27	17	11	11

Tabella 4: Dati di vento rilevati dalla stazione di Capo Bellavista. I dati riportati nell'area bianca della tabella sono in per mille ordinati per righe. (Fonte: European Wind Atlas, 1989).

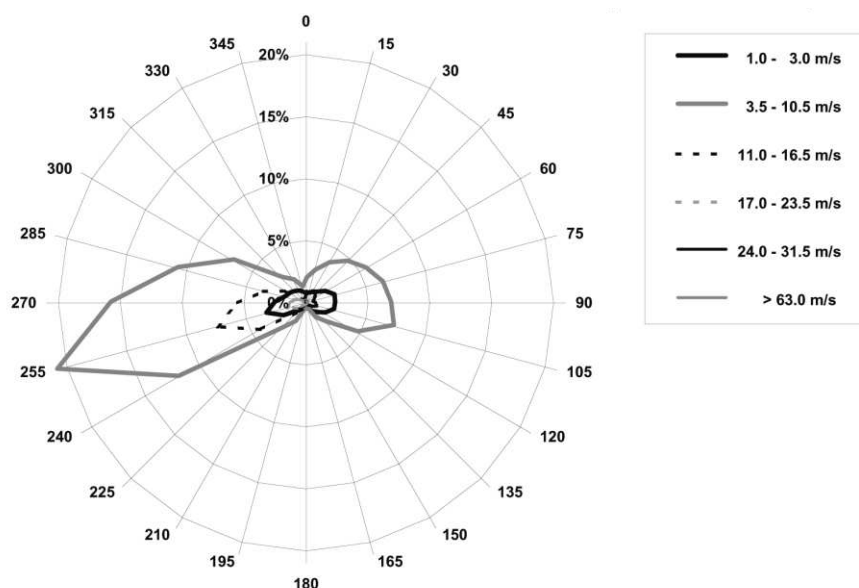


Figura 8: Rosa dei venti della stazione Guardiavecchia de La Maddalena. Periodo di rilevazione: dal 01/01/1951 al 27/12/1997. Fonte: Università degli Studi di Cagliari.

direzione di provenienza [°N]	Intensità del vento [nodi]						TOTALI
	2 - 6	7 - 21	22 - 33	34 - 47	48 - 63	>63	
0 - 30°	749	2618	840	179	15		4401
30 - 60°	1127	4585	1051	154	8		6925
60 - 90°	2259	6222	590	47	2		9120
90 - 120°	2230	7150	872	37	3		10292
120 - 150°	1156	2210	237	9	3		3615
150 - 180°	576	590	29	1			1196
180 - 210°	388	514	44	12			958
210 - 240°	926	3013	1096	176	11		5222
240 - 270°	3321	20500	7300	1535	109	1	32766
270 - 300°	1743	10589	3500	970	89	1	16892
300 - 330°	1236	2787	203	68	6		4300
330 - 360°	780	1257	361	79	2		2479
Variabile	46	19					65
TOTALI	16537	62054	16123	3267	248	2	98231
		CALME (0 - 1 nodi)					12449
		TOTALE					110680

Tabella 5: Dati di vento rilevati dalla stazione Guardiavecchia (La Maddalena) – Periodo di rilevazione: 1/01/1951 al 27/12/1997

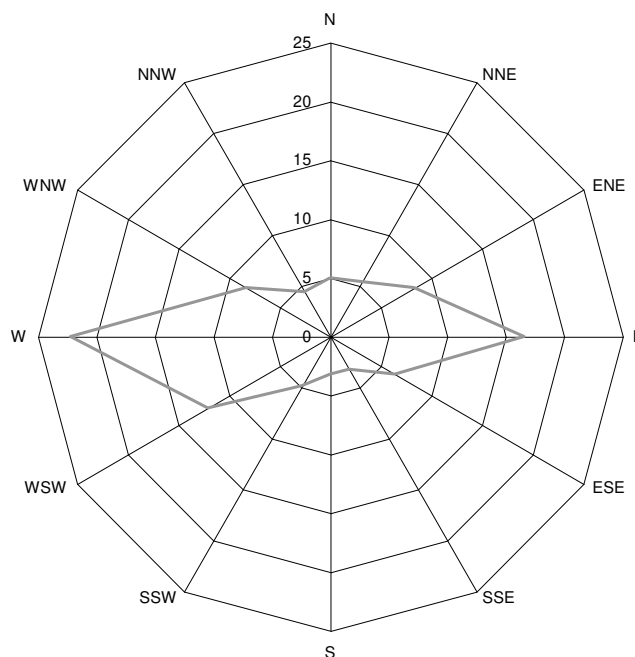


Figura 9: Rosa dei venti della stazione di Olbia dal 01/01/1958 ore 00:00 al 31/12/1968 ore 21:00. I dati riportati nell'area bianca della tabella sono in per mille ordinati per righe. (Fonte: European Wind Atlas, 1989).

Settore [°N]	Frequenza [%]	Intensità del vento [m/s]													
		<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17
0	5,9	527	17	37	45	41	53	56	44	28	75	39	18	14	4
30	5,8	511	26	53	64	62	57	53	50	23	56	29	12	3	1
60	8,1	384	44	71	104	95	93	78	49	33	34	10	3	0	0
90	16,1	191	39	85	124	130	133	112	69	38	50	19	7	2	0
120	5,9	536	47	72	71	58	49	39	36	27	41	18	4	1	0
150	3,3	928	25	20	8	5	3	4	2	0	2	2	0	0	0
180	3,7	868	41	36	29	17	4	4	1	0	1	0	0	0	0
210	5,4	599	89	127	84	39	27	17	6	4	6	2	0	0	0
240	12,4	238	69	140	128	106	75	58	54	34	58	24	7	5	2
270	21,3	147	53	86	89	74	71	81	81	59	136	67	28	16	11
300	7,5	422	65	82	81	62	60	63	34	39	53	26	7	3	0
330	4,6	674	35	67	57	36	34	26	28	7	23	10	2	2	0
totale	100%	373	49	83	88	76	71	65	51	34	63	29	11	6	3

Tabella 6: Dati di vento rilevati dalla stazione di Olbia dal 01/01/1958 ore 00:00 al 31/12/1968 ore 21:00. I dati riportati nell'area bianca della tabella sono in per mille ordinati per righe. (Fonte: European Wind Atlas, 1989).

I dati riportati precedentemente non permettono di conoscere la stagionalità degli eventi considerati, particolarmente importanti per il progetto in oggetto. Pertanto, di seguito si riportano i dati del Progetto

Finalizzato Energetica effettuato dall'IFA (Istituto di Fisica dell'Atmosfera del CNR), che ha valutato, sulla base dei dati della Stazione Meteorologica dell'Aeronautica Militare di Olbia-Costa Smeralda (periodo 1951-1970) gli eventi anemologici dell'anno tipo.

Dai dati mostrati in Figura 10 si può vedere, come è lecito aspettarsi, una maggiore frequenza degli eventi del primo e del secondo quadrante durante la stagione invernale (dicembre-febbraio).

Nella stagione turistica, è invece possibile osservare la presenza di alcuni eventi con velocità superiori ai 50 k/m (~14 m/s), con frequenza di occorrenza molto bassa.

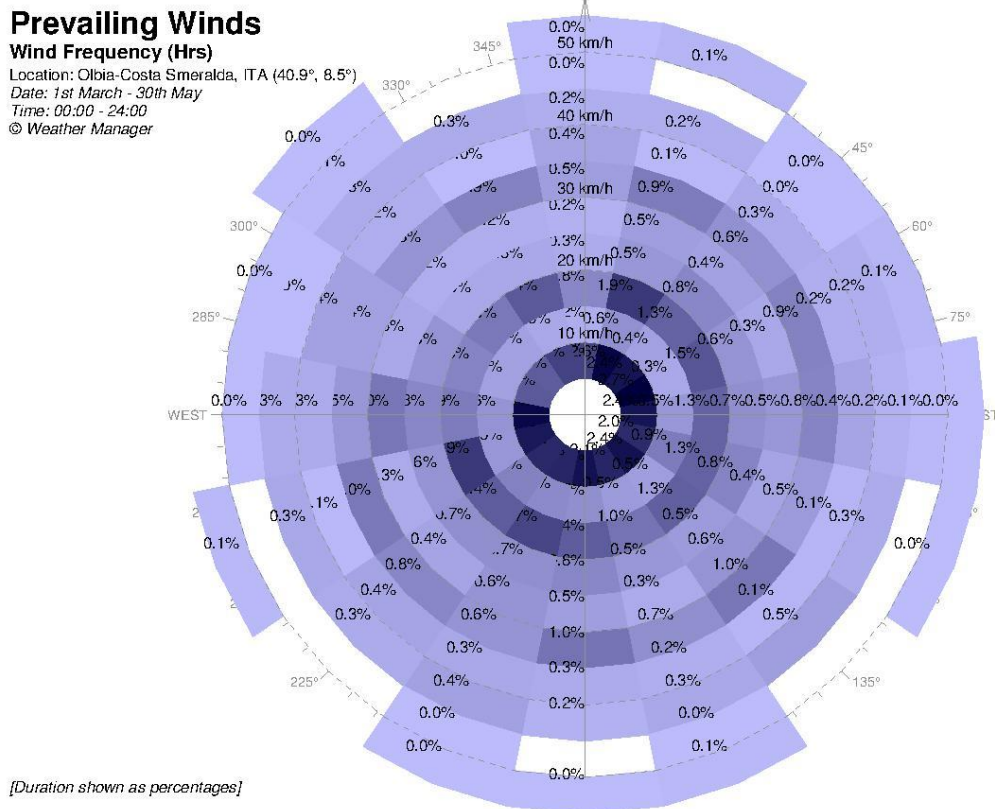
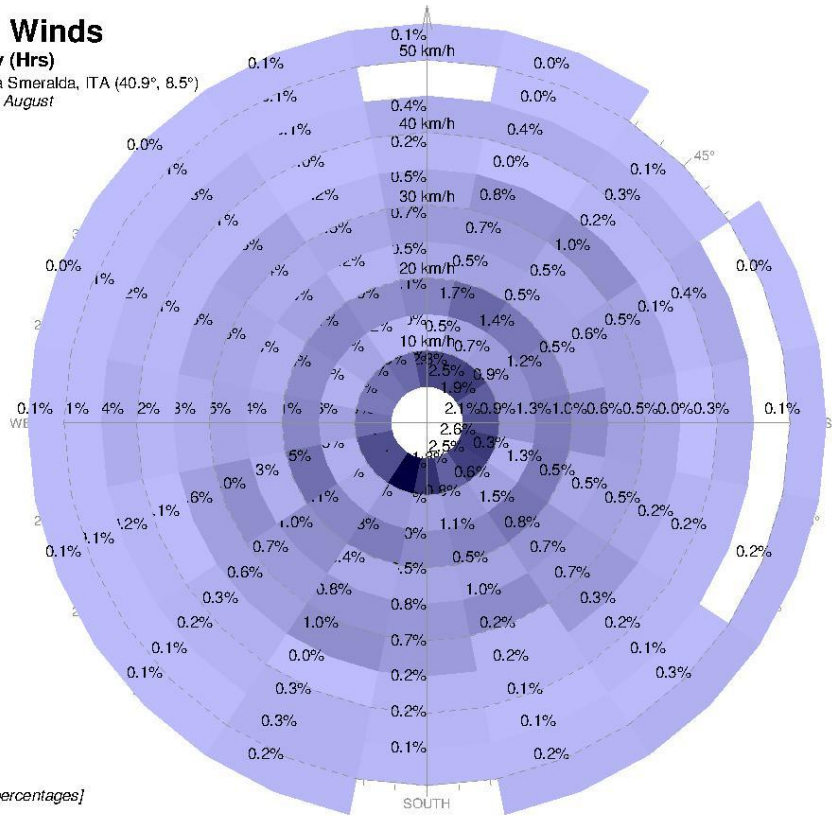


Figura 10: Rosa dei venti dell'anno tipo ricavata dai dati della stazione AM di Olbia-Costa Smeralda dal 1951 al 1971. Distribuzione degli eventi durante la stagione primaverile (1 marzo-30 maggio).

Prevailing Winds

Wind Frequency (Hrs)

Location: Olbia-Costa Smeralda, ITA (40.9°, 8.5°)
 Date: 1st June - 30th August
 Time: 00:00 - 24:00
 © Weather Manager



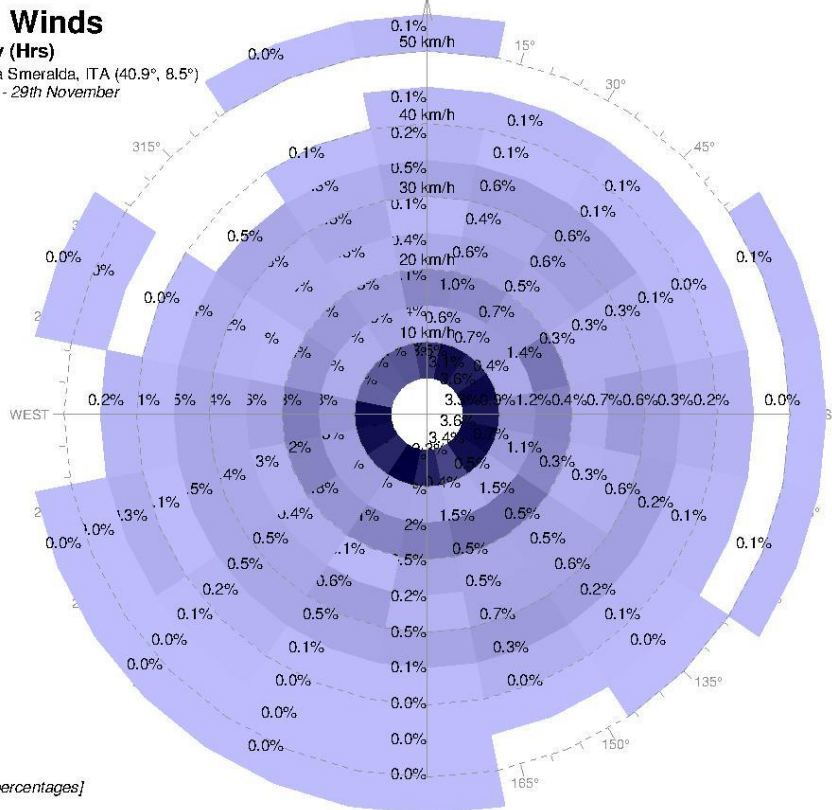
[Duration shown as percentages]

Figura 11: Rosa dei venti dell'anno tipo ricavata dai dati della stazione AM di Olbia-Costa Smeralda dal 1951 al 1971. Distribuzione degli eventi durante la stagione estiva (1 giugno-30 agosto).

Prevailing Winds

Wind Frequency (Hrs)

Location: Olbia-Costa Smeralda, ITA (40.9°, 8.5°)
 Date: 1st September - 29th November
 Time: 00:00 - 24:00
 © Weather Manager



[Duration shown as percentages]

Figura 12: Rosa dei venti dell'anno tipo ricavata dai dati della stazione AM di Olbia-Costa Smeralda dal 1951 al 1971. Distribuzione degli eventi durante la stagione autunnale (1 settembre-29 novembre).

Prevailing Winds

Wind Frequency (Hrs)

Location: Olbia-Costa Smeralda, ITA (40.9°, 8.5°)

Date: 1st December - 27th February

Time: 00:00 - 24:00

© Weather Manager

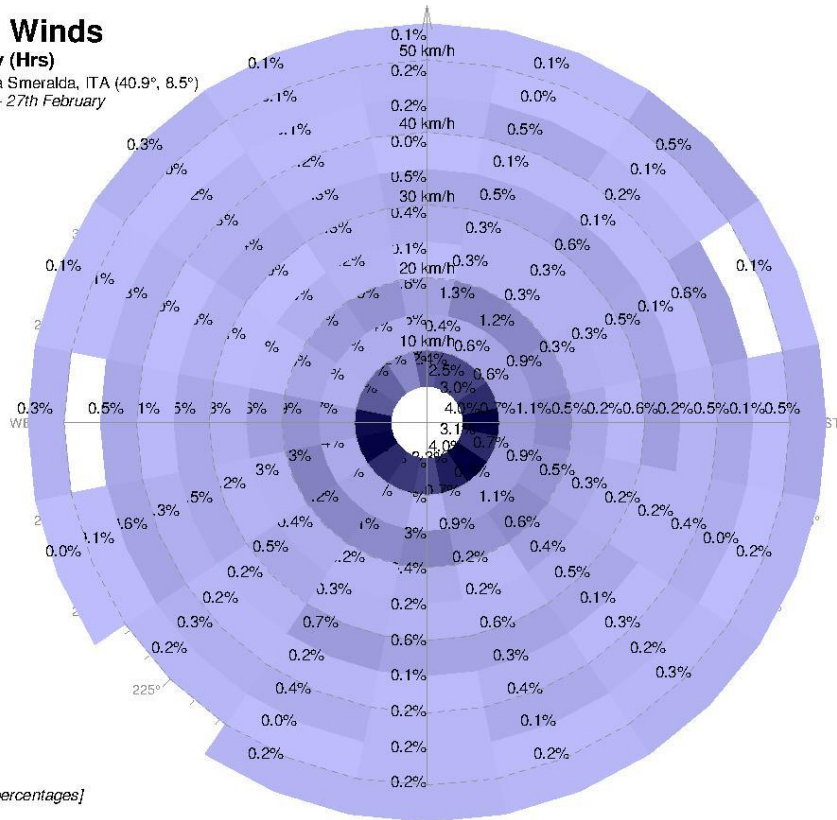


Figura 13: Rosa dei venti dell'anno tipo ricavata dai dati della stazione AM di Olbia-Costa Smeralda dal 1951 al 1971. Distribuzione degli eventi durante la stagione invernale (1 dicembre-27 febbraio).

5 Variazione del livello marino

Il massimo sovralzò, così come il minimo livello riscontrabile, deriva dalla concomitanza di più fenomeni che possono avere sia carattere periodico che carattere occasionale.

I fenomeni di carattere periodico sono la marea astronomica, le variazioni stagionali di densità dell'acqua e la pressione atmosferica; i fenomeni di carattere occasionale sono quelli legati a tempeste e variazioni locali della pressione atmosferica.

Per la determinazione della componente mareale nel paraggio della banchina, si è fatto uso delle "tavole di Marea" edite dall'Istituto Idrografico della Marina Militare facendo riferimento al Porto di La Maddalena: i valori ottenuti per tale località, data la vicinanza col paraggio in esame, considerando le lunghezze d'onda delle onde di marea sono applicabili anche al paraggio in esame. Il porto di La Maddalena è classificato come "porto secondario": è passibile, in base alle procedure proposte dalle Tavole di Marea, determinare le altezze d'Alta Marea e Bassa Marea a partire dalle caratteristiche calcolate per uno dei cosiddetti "Porti Principali". Il porto campione utilizzato è stato quello di Gibilterra. Il porto di La Maddalena presenta un livello medio pari a $Z_0 = 0.18$ m.

La massima escursione di marea, calcolata col metodo del rapporto è di A.M. = +0.28 m ; B.M. = +0.02 m. L'escursione massimo di marea astronomica è dunque di ~ 26 cm.

Il calcolo del sovralzò di tempesta (in letteratura indicato con storm surge), è stato compiuto facendo riferimento ad una formula implicita⁶ che tiene conto dei fenomeni che concorrono alla formazione di tale sovralzò, ossia la velocità del vento (U_{10}) e l'estensione della piattaforma continentale (convenzionalmente si fa coincidere tale limite con la batimetrica a -200m).

Tale calcolo ha fornito il valore di ~15 cm. Un valore più rilevante può essere fornito dai gradienti barici verificabili. Da dati riferiti ad alcune violente burrasche verificatesi al largo della costa riportati dalle carte bariche si sono desunti i valori di minimo barico di 975 mb ed un massimo di 1045 mb. Poiché come noto il valore normale di pressione atmosferica è di 1013 mb, si deduce che i massimi livelli di sovralzò dovuti a gradienti barici si attesta intorno ai 40 cm ed una massima depressione di circa 30 cm⁷.

Per tenere in conto delle variazioni attribuibili a variazioni stagionali di densità dell'acqua e della distribuzione locale della pressione atmosferica si sono assunti i valori medi mensili di escursione di livello medio marino in

⁶ formula del Manuale dell'Ingegnere Civile Nuovo Colombo 83° ed. vol. II sez. H.

⁷ il gradiente barico unitario, come riportato in tutti i manuali, comporta una differenza di livello di ~1 cm.

tabella 10⁸. Essi sono stati adottati a causa della assenza di osservazioni mareografiche riferite al paraggio interno.

Intervallo di tempo d'attribuzione	Variazioni del livello medio marino [cm]
Gennaio-Febbraio	-1
Marzo-Maggio	-3
Giugno-Settembre	-1
Ottobre-Novembre	+5

Tabella 7. Valori di variazione attribuiti per il paraggio interno al Golfo

Le variazioni del livello medio marino nel lungo periodo possono essere dovute a due fenomeni principali: eustatismo e subsidenza. Questi due fenomeni sono indipendenti dalle dinamiche marine: l'eustatismo, ossia il progressivo aumento del livello del mare, è dovuto a varie concause, non ultima lo scioglimento dei ghiacciai; la subsidenza, ossia l'innalzamento o l'abbassamento delle terre emerse è attribuibile a processi geologici ancora in atto.

La fenomenologia della subsidenza è del tutto trascurabile per quanto concerne la nostra isola, diverso discorso, ovviamente, riguarda l'eustatismo. Esso è riferibile a tutto il globo acqueo ed è calcolabile esclusivamente in base a tendenze registrate fino ad oggi. L'innalzamento procede da alcuni decenni al ritmo di ~ 1.6 *mm* annui, si deduce quindi un valore d'innalzamento per i prossimi 50 anni (vita utile calcolata per il futuro porto turistico), di ~ 8 *cm*.

Sommando tutti i contributi dovuti ai sovralti si ottiene un sollevamento complessivo di ~95 *cm* che tuttavia difficilmente si verificherà a causa della improbabile concomitanza di tutti questi eventi. Si è proceduto ad una decurtazione di tale valore al 60% della base iniziale ottenendo come risultato finale **55 *cm***. Ripetendo il ragionamento per la massima depressione del livello medio marino di è ottenuto un risultato di **28 *cm*** al netto della decurtazione.

⁸ Tali valori sono stati assunti in base ad osservazioni compiute nell'ambito dello studio Modimar per Edilnord

6 Simulazioni numeriche sul moto ondoso

6.1 Introduzione

In questo capitolo sono esposti i risultati dello studio di modellazione numerica, effettuato utilizzando il Wave Model SWAN sviluppato dalla Technical University di Delft (Olanda), al fine di trasportare l'onda al largo (ottenuta come precedentemente esposto) verso riva tenendo in considerazione gli effetti di shoaling, rifrazione e riflessione a cui è soggetta l'onda durante l'avvicinamento alla costa, e con il software, PHAROS, utilizzato per simulare i fenomeni di penetrazione di moto ondoso all'interno dei porti e in prossimità di strutture costiere.

6.2 Batimetria

La batimetria dell'intero golfo (mostrata in Figura 14:) è stata ottenuta sulla base delle carte nautiche a disposizione

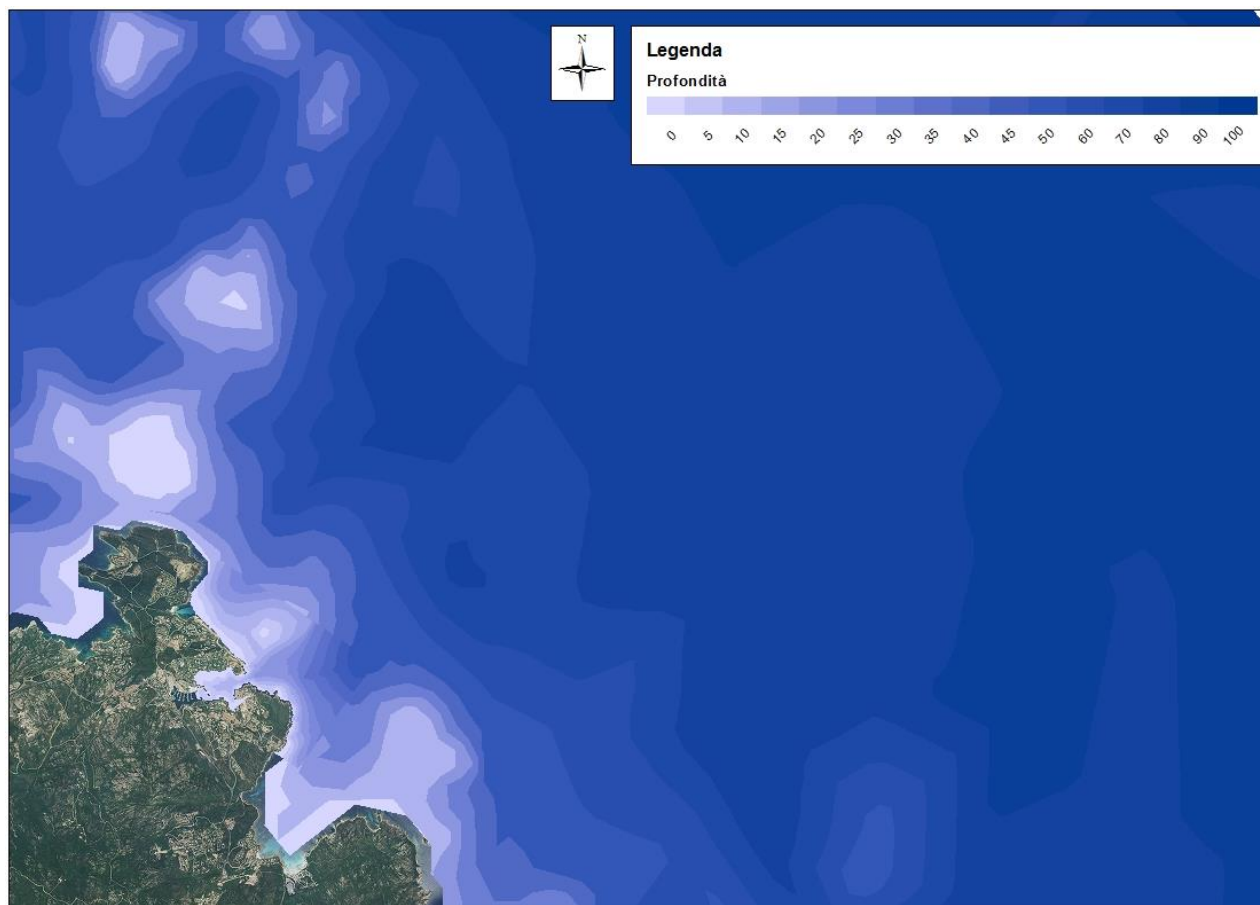


Figura 14: Batimetria

6.3 Wave Model SWAN

Per il trasporto dell'onda a largo verso riva è stato utilizzato il Wave Model SWAN

Il Modello SWAN, denominato con l'acronimo di **S**imulation **W**aves **N**earshore, è un modello spettrale di terza generazione⁹ sviluppato dalla Università Tecnologica di Delft (Olanda). Esso ha il grande vantaggio, rispetto ai suoi predecessori, che i fenomeni fisici sono rappresentati esplicitamente grazie a formulazioni di stato dell'arte e che il modello risulta molto più stabile (schemi completamente impliciti). Un altro suo grande vantaggio è che le simulazioni possono avvenire anche su griglie curvilinee (che si accoppiano meglio con i moduli idrodinamici di Delft3D), e può, per esempio, generare risultati sotto forma di spettri mono e bidimensionali. Per maggior completezza, le forze delle onde sono calcolate dal modello sulla base del gradiente del tensore di "radiation stress" (invece che del tasso di dissipazione come nei precedenti modelli); questo può essere utilizzato come forzante per il calcolo delle correnti indotte dalle onde ed il *set-up* nel modello idrodinamico.

Il modello SWAN è basato su una discretizzazione dell'equazione di equilibrio dinamico che per le coordinate cartesiane assume la forma:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

Dove $N(\sigma, \theta)$ è lo spettro di densità dinamica piuttosto che lo spettro di densità di energia $E(\sigma, \theta)$ dal momento che la presenza di correnti, la densità di moto è conservata mentre la densità d'energia non lo è.

Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa σ (come osservata in un istante da un osservatore in moto con la velocità di moto di propagazione) e la direzione d'onda θ (la direzione normale alla cresta dell'onda di ogni singola componente spettrale). La densità di moto (*action density*) è uguale alla densità d'energia divisa per la relativa frequenza:

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma}$$

Il primo termine dell'equazione rappresenta il tasso di variazione locale nel tempo, il secondo ed il terzo rappresentano la propagazione del moto nello spazio geografico (con i termini di velocità di propagazione c_x e c_y). Il quarto termine rappresenta l'avanzamento della frequenza relativa dovuta alle variazioni di fondale e di correnti (con la velocità di propagazione c_σ nello spazio σ). Il quinto termine rappresenta la rifrazione indotta da variazioni di fondale e di corrente indotta (con velocità di propagazione c_θ nello spazio θ). Le espressioni

⁹ Vedi Holthuijsen ed al. 1993; Ris, 1997.

per queste velocità di propagazione sono state prese dalla teoria lineare delle onde¹⁰. I termini $S (= S(\sigma, \theta))$ alla destra dell'equazione di bilancio del moto è il termine sorgente in termini di densità di energia rappresentante gli effetti di generazione, dissipazione e interazione onda-onda.

L'equazione è completamente spettrale (in tutte le direzioni e frequenze). Questa ultima caratteristica implica che possono essere calcolati i campi d'onda delle onde di vento propagatisi simultaneamente da differenti direzioni.

Il modello SWAN consente di calcolare l'evoluzione e la trasformazione delle onde di vento (*short crested random waves*) in regioni costiere ed in acque profonde, di transizione e basse ed in aree soggette a correnti.

Il modello SWAN tiene in considerazione l'effetto di rifrazione e rappresenta i fenomeni rigenerativi del vento, la dissipazione di potenza d'onda dovuta al cappucciamento, all'attrito sul fondo ed al frangimento delle onde, nonché dell'interazione onda-onda.

Per evitare eccessivi tempi computazionali ed ottenere un modello robusto per applicazioni pratiche sono state utilizzati schemi completamente impliciti.

Il modello SWAN è stato validato con successo e verificato in parecchi casi di laboratorio ed in complessi campi.

Il modello SWAN tiene conto solo parzialmente dell'effetto diffrattivo.

Le aree di applicazione del modello, comprese tra i 4 ed i 2500 Km², sono molto varie e vanno dal supporto alla progettazione di marine, porti ed installazioni offshore.

6.3.1 Impostazioni modello SWAN

La prima indispensabile impostazione precipua a qualsiasi altra azione è stata quella di definire delle griglie rettangolari adattate alla batimetria ed alla linea di costa entro la quale il modello ha compiuto i calcoli.

Sono state create tre griglie con diversa orientazione e dimensione delle maglie.

Per eseguire le simulazioni si è utilizzata una procedura chiamata "nesting". Tale procedura consiste nel svolgere i calcoli al largo su una griglia che copre una vasta area e con una spaziatura tra le maglie larga, e di utilizzare poi i risultati ottenuti con tale simulazione come condizioni al contorno su una griglia di dimensioni minori e con una spaziatura tra celle inferiore, in modo da ottenere dei risultati più accurati nell'area in esame. Sono state utilizzate tre diverse griglie, (visualizzate in Figura 15), una a largo, estesa fino alla batimetria dei 100 m, con spaziatura tra le maglie di circa 250 m, e composta da 6400 celle, una all'argo dell'area di studio,

¹⁰ Whitman, 1974; Mei, 1983; Dingemans, 1997.

composta da 10000 celle, con spaziatura tra le maglie di circa 100 m, e una di dettaglio nell'area di interesse (vedi Figura 16), composta da 15625 celle con distanza tra le maglie di circa 15 m.

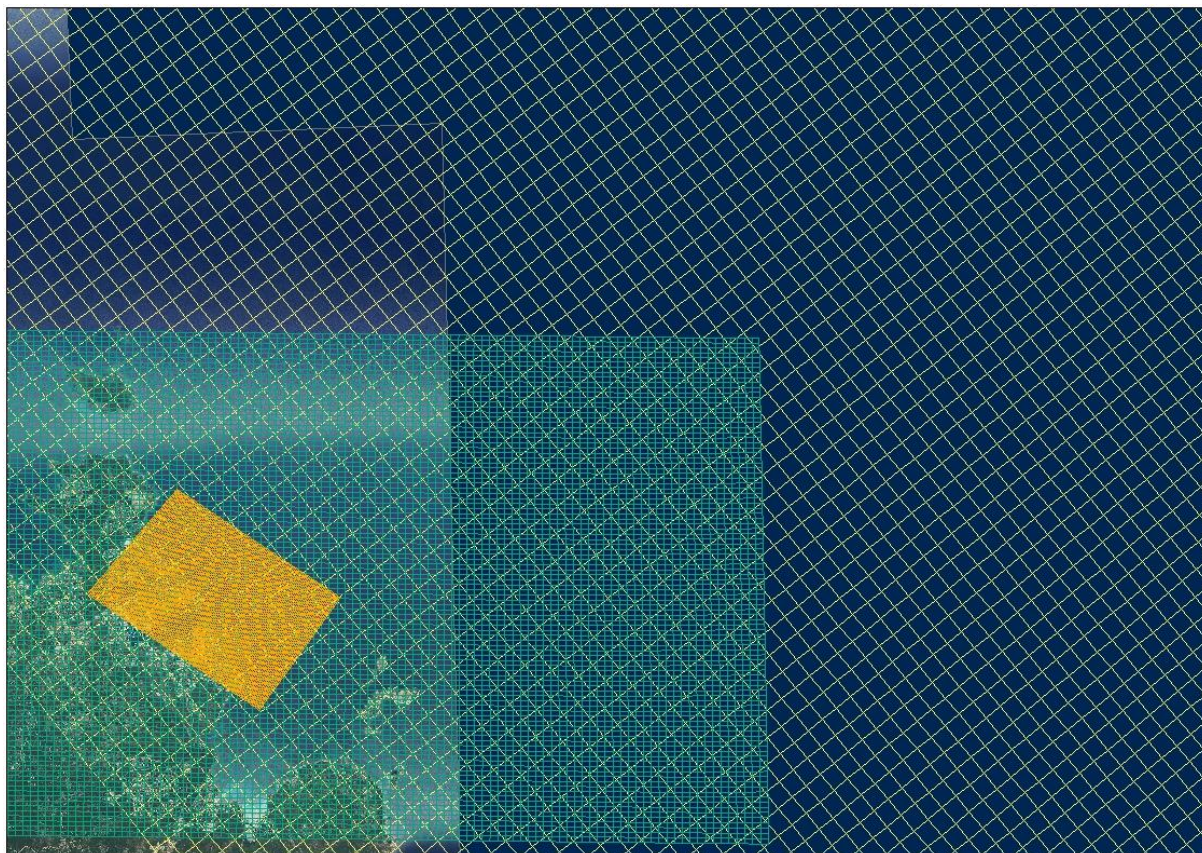


Figura 15: Griglie utilizzate nelle simulazioni SWAN

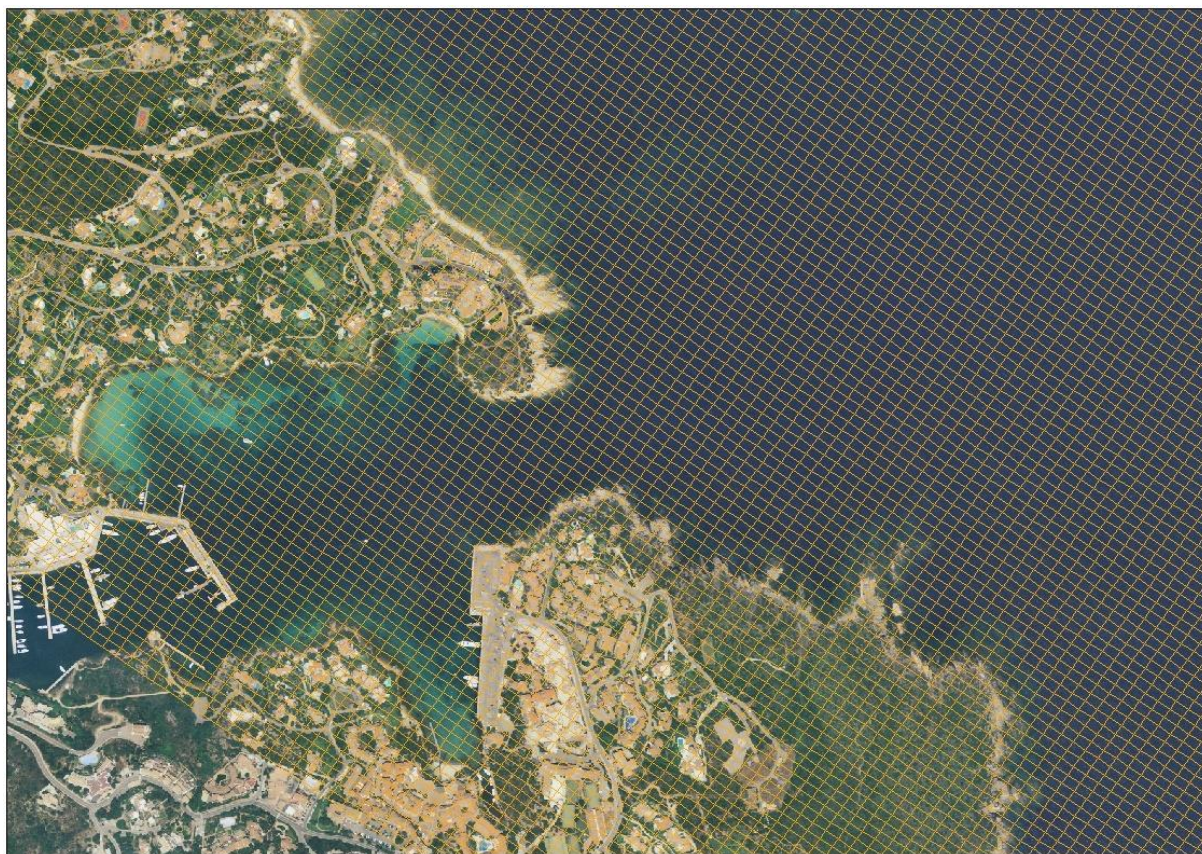


Figura 16: Griglia di dettaglio in prossimità dell'area di studio

6.3.1.1 Parametri fisici e numerici

I parametri fisici e numerici assegnati di input al modello sono mostrati in Tabella 8.

Parametri	Valori
Gravity	9.81 m/s ²
Water density	1025 kg/m ³
Generation of formulations	Third generation
Bottom friction	Jonswap formulation, coefficient 0.067
Depth-induced breaking	B&J model, $\alpha=1$, $\gamma=0.73$
Non-linear triad interactions	LTA, $\alpha=0.1$, $\beta=2.2$
Bottom friction	JONSWAP, coeff=0.067
Diffraction	Coef. 0.2 – steps=5
Wind growth	Activated
White-capping	Activated
Quadruplets	Activated
Refraction	Activated
Frequency shift	Activated
Directional space	0.5
Frequency space	0.5

Tabella 8: Parametri fisici e numerici considerati nelle simulazioni con il modello SWAN

6.3.1.2 Scelta dei dati delle forzanti d'onda

Numerose simulazioni sono state effettuate considerando i risultati dell'analisi statistica fatta precedentemente. Le condizioni inserite nel modello in termini d'altezze, periodi e direzioni d'onda, e diverse intensità del vento

sono mostrati in Tabella 9. Per le considerazioni fatte prima, nelle simulazioni relative gli eventi provenienti dal secondo quadrante, le altezze d'onda ottenute dall'analisi statistica sono state incrementate del 10% in modo da porsi in condizioni di sicurezza. Per quelle relative agli eventi provenienti da NE, non si è invece ritenuto necessario tale incremento.

Oltre agli eventi statistici estremi, si sono effettuate due simulazioni che hanno considerato gli eventi con altezze d'onda maggiori registrate dalla boa ondometrica di Capo Comino durante la stagione estiva (giugno-agosto), in modo da valutare l'agitazione ondosa in prossimità del pontile durante la stagione turistica. Gli eventi considerati sono relativi all'estate del 2004, e più precisamente al 19/08/2004 per l'evento da scirocco e al 26/07/2004 per l'evento da grecale.

Tempo di ritorno	Direzione		Hs	Tp	Vento
50	Scirocco	130	4.5	9.55	17
2	Scirocco	130	3.35	8.24	13
50	Grecale	50	7	11	22
2	Grecale	50	4.68	9	17
Stagione estiva	Scirocco	130	1.15	6.67	6
Stagione estiva	Grecale	57	0.81	9	57

Tabella 9: Caratteristiche di onda e di vento per le simulazioni effettuate

6.3.2 Maree

La variazione dei livelli d'acqua in seguito al fenomeno di marea¹¹, è compresa tra i 10 ed i 30 cm. La Figura 17 mostra le variazioni di livelli d'acqua ottenuti da stime di marea ottenuti dall'Istituto Idrografico della Marina. In tutte le simulazioni eseguite, le condizioni di marea sono state considerate trascurabili. Come è noto, il mare Mediterraneo presenta infatti delle escursioni di marea di circa 30 cm, con degli effetti trascurabili sul moto ondoso.

¹¹ Si fa riferimento allo studio di marea effettuato e riportato nella relazione relativa allo studio meteo-marino.

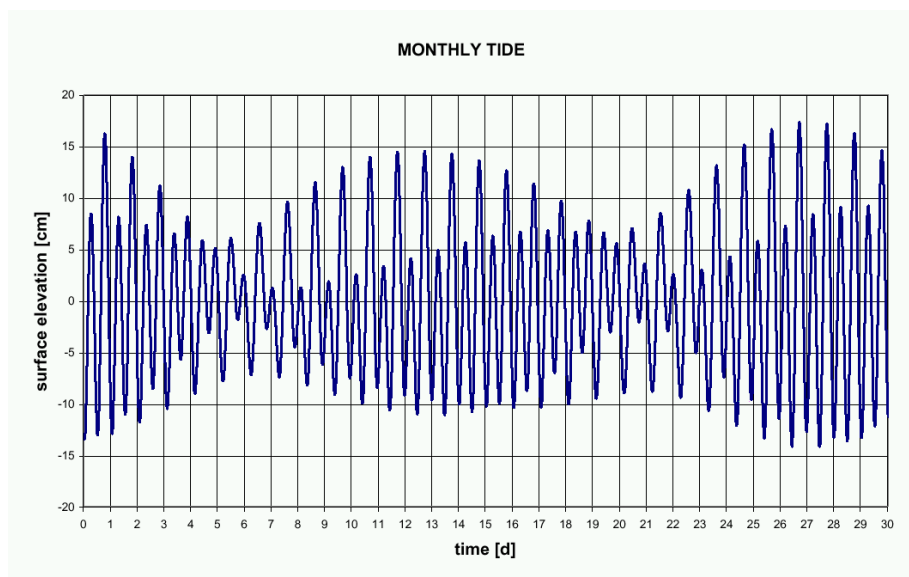


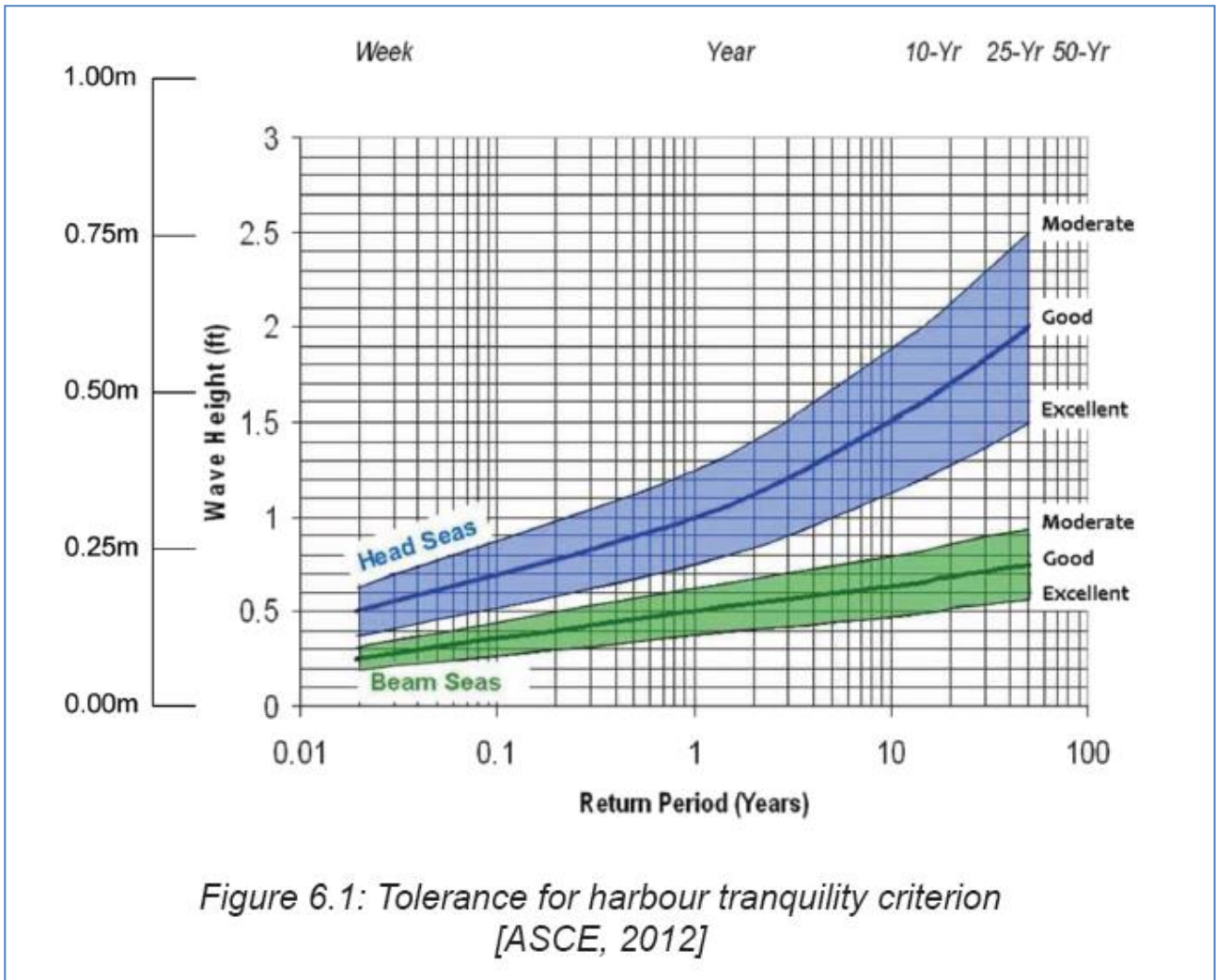
Figura 17: livelli di marea ottenuti da analisi armonica con metodo di Lord Kelvin

6.3.3 Risultati simulazioni

Le simulazioni hanno evidenziato come gli eventi caratterizzati da altezza d'onda maggiori al largo dell'insenatura di Porto Cervo siano provenienti da grecale. Di seguito sono riportate le restituzioni grafiche delle simulazioni SWAN.

Come si evince dai risultati riportati in via grafica nel punto in cui sarà ormeggiata la nave le altezze d'onda non superano mai i 50 cm di altezza con eventi da scirocco mentre con eventi da grecale durante l'estate l'altezza d'onda è contenuta entro i 0,25 cm e si attesta tra i 0,5 – 1,00 metro durante le stagioni invernali (eventi statistico 50 anni ed evento statistico 2 anni).

Si ritiene che le caratteristiche dell'onda residua consentano di poter ormeggiare la nave in condizioni di sicurezza e confort sia nei mesi estivi che nei mesi invernali anche in considerazione delle indicazioni riportate nella pubblicazione "Design and Operational Guidelines for Superyacht Facilities" dell'AIPCN PIANC (World Association for Waterborne Transport Infrastructure) dalla quale è stato tratto il grafico sotto riportato.



Di seguito si riportano i risultato grafici delle simulazioni.

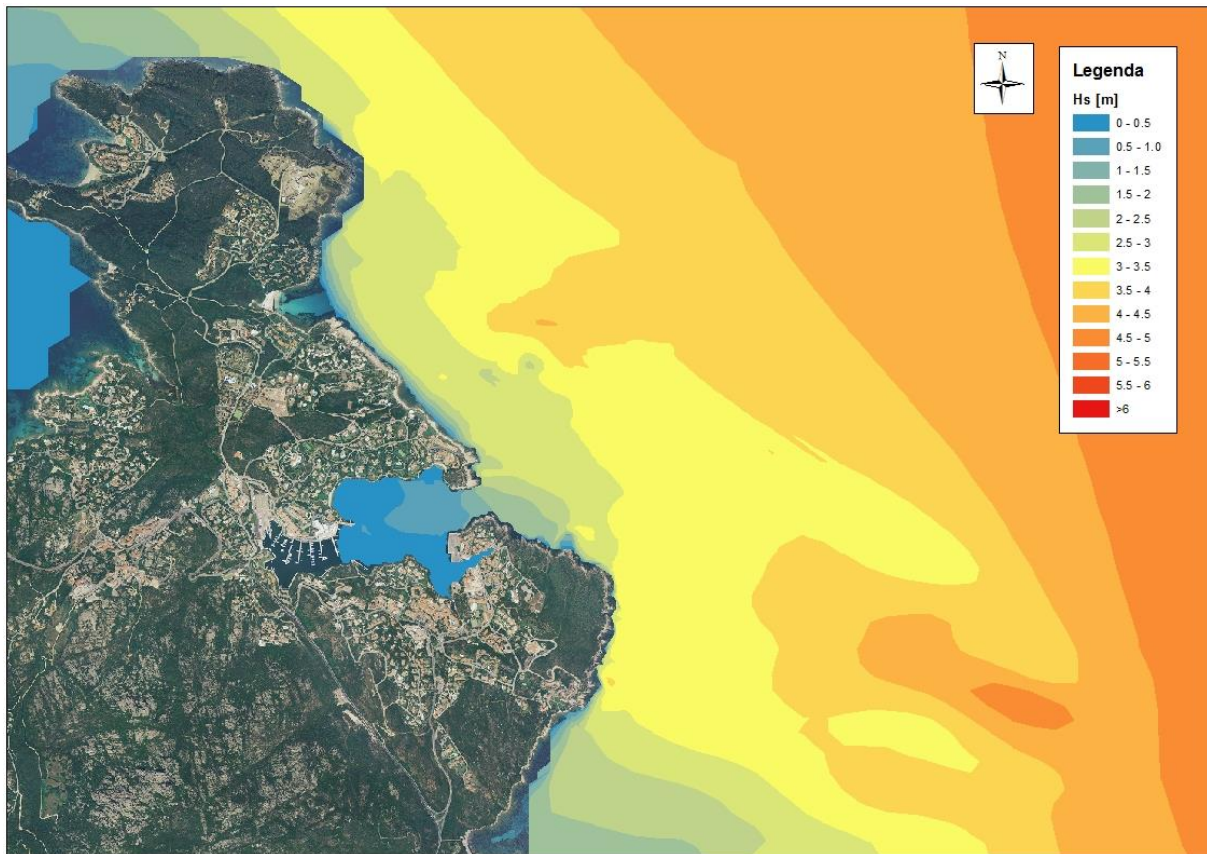


Figura 18: Evento estremo da scirocco
Tr=50 anni; Hs=4.5 m; Tp=9.55 s; dir=130°N; vento v=17 m/s

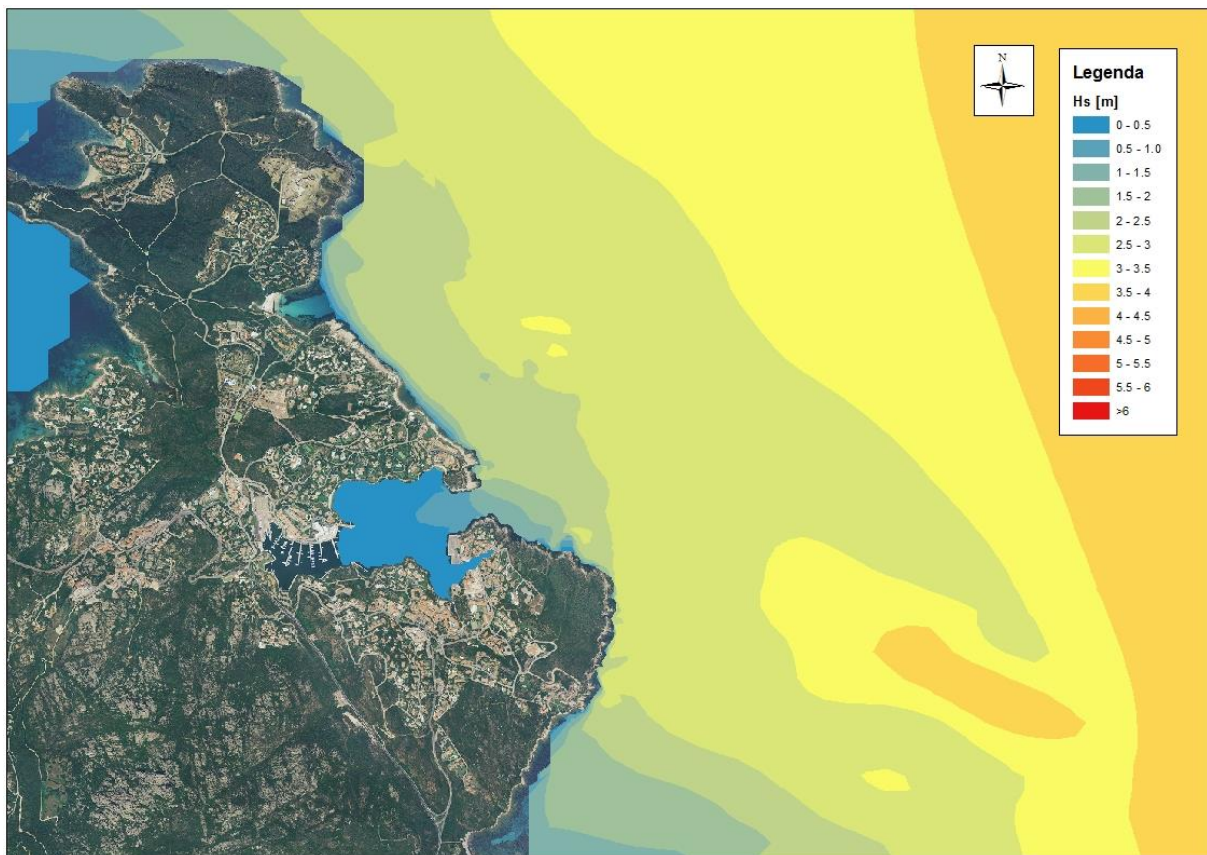


Figura 19: Evento biennale da scirocco
Tr=2 anni; Hs=3.35 m; Tp=8.24 s; dir=130°N; vento v=13 m/s

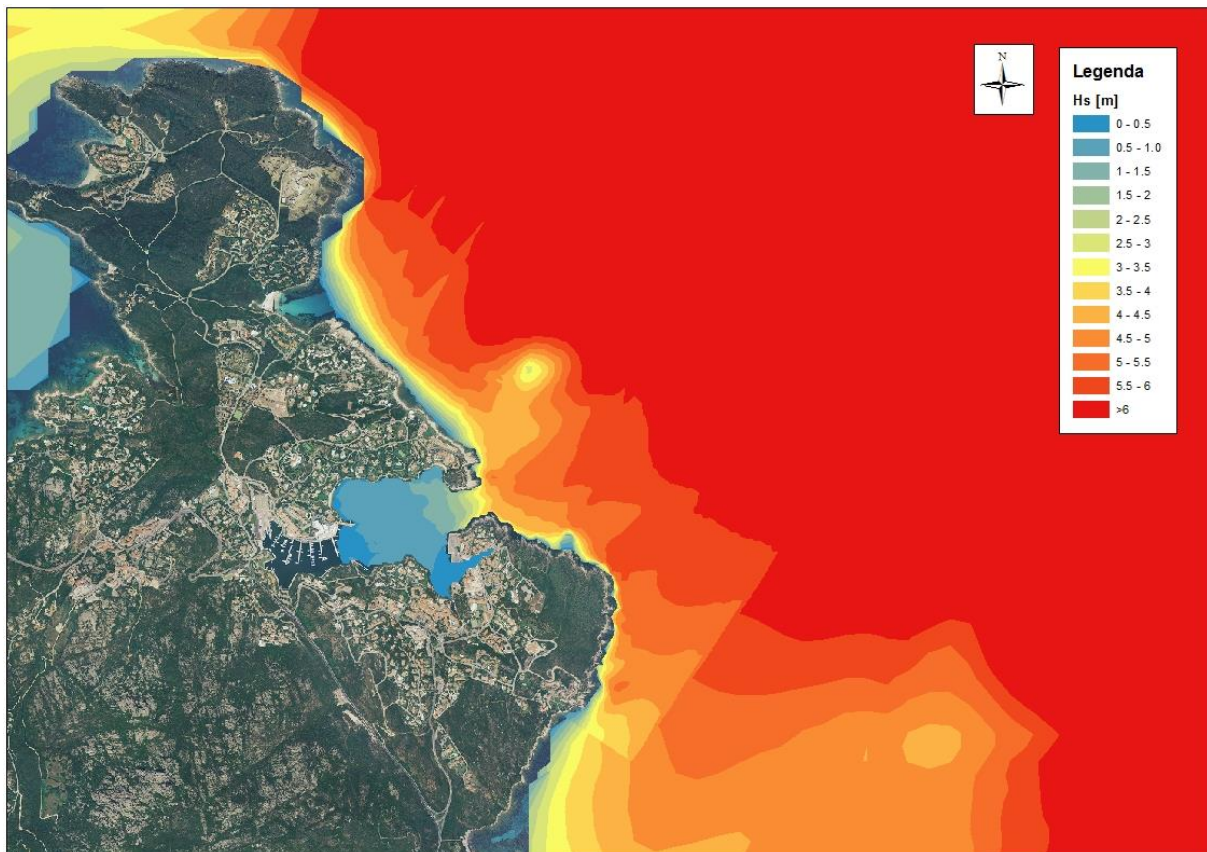


Figura 20: Evento biennale da grecale
Tr=2 anni; Hs=4.68 m; Tp=9 s; dir=50°N; vento v=17 m/s

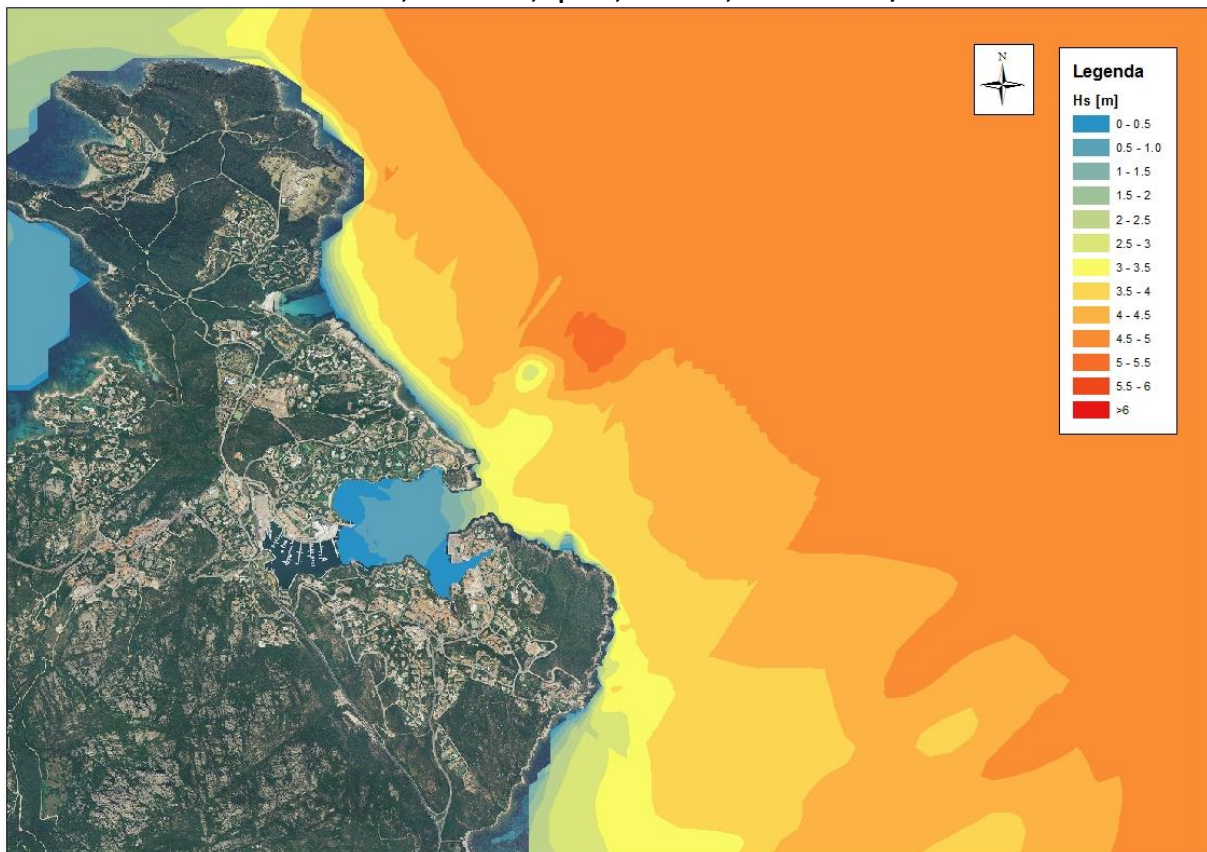


Figura 21: Evento estremo da grecale
Tr=50 anni; Hs=7.0 m; Tp=11 s; dir=50°N; vento v=22 m/s

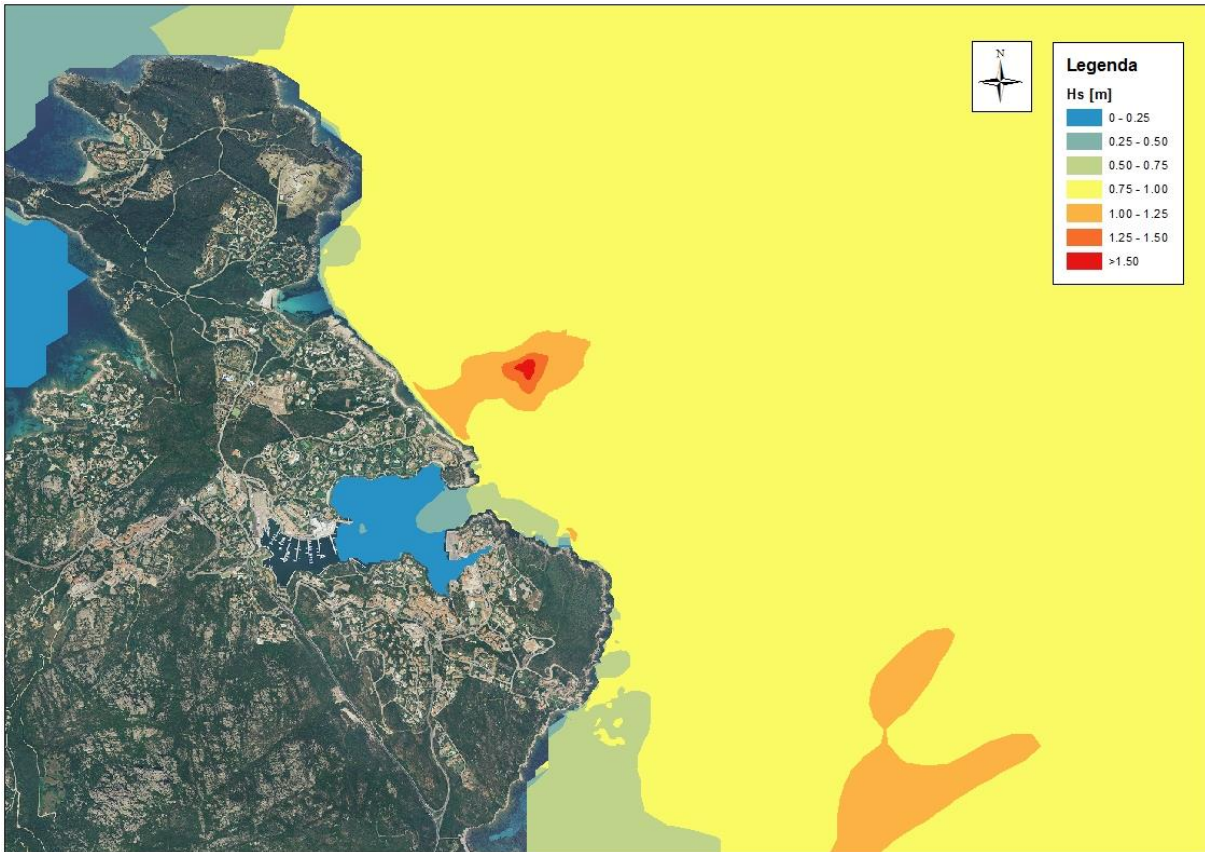


Figura 22: Evento estivo da grecale
Hs=0.81 m; Tp=9 s; dir=50°N; vento v=5 m/s

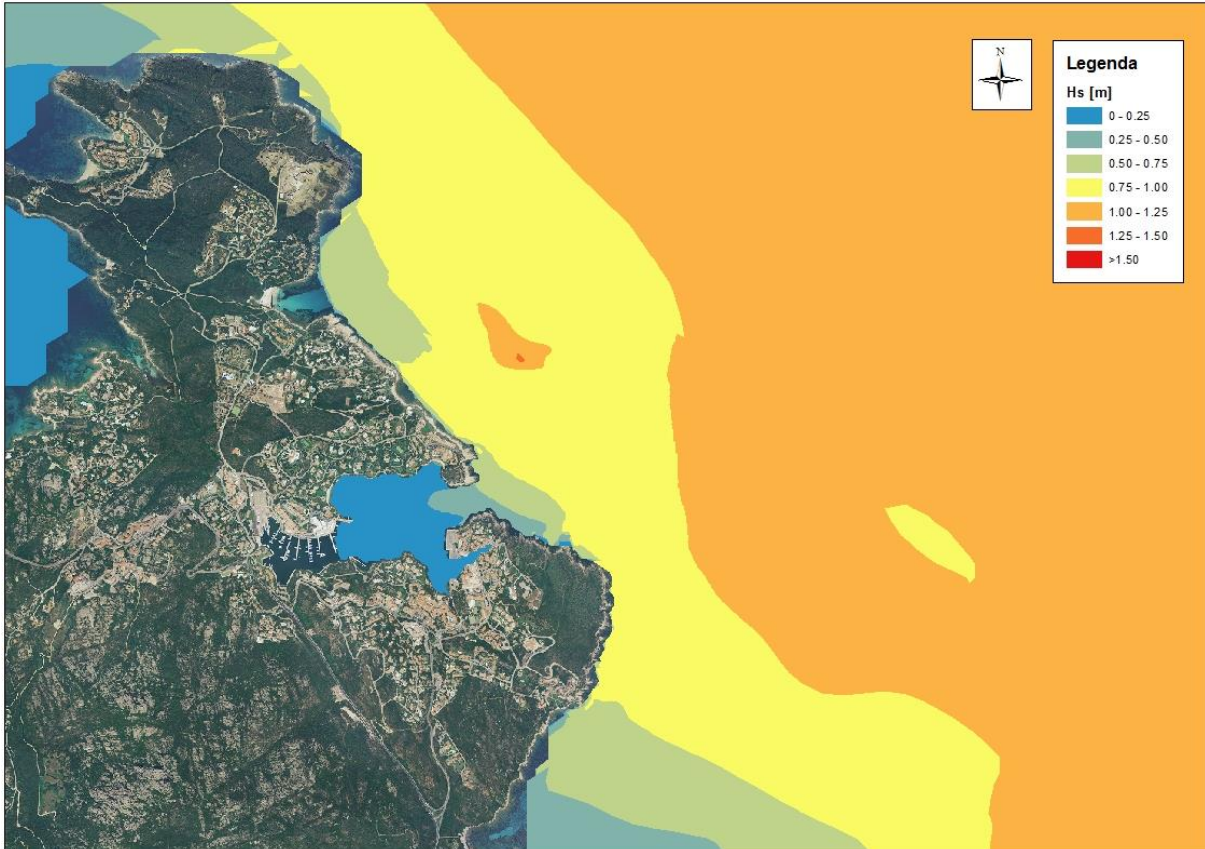


Figura 23: Evento estivo da scirocco
Hs=7.0 m; Tp=6.67 s; dir=130°N; vento v=6 m/s

7 Dimensionamento sistemi di ormeggio

7.1 Descrizione generale ormeggio

La nave ha una lunghezza pari a metri 156 circa e larghezza paria a 23 metri e le sue dimensioni impongono una revisione del piano ormeggi del marina ed il potenziamento dei sistemi di attracco mediante la posa in opera a prua dell'imbarcazione di 4 nuove boe d'ormeggio ancorate a corpi morti aventi peso in acqua pari a 200t ed a poppa mediante il riempimento di 5 celle dei cassoni costituenti la banchina con un getto in calcestruzzo subacqueo per un'altezza di 8,00 m al fine di poter posizionare 5 nuove bitte aventi un tiro pari a 100 t. L'ormeggio potrà anche essere effettuato posizionando, in luogo delle bitte, degli anelloni sul paramento verticale della banchina, anch'essi aventi un tiro garantito pari a 100 t.

La nave utilizzerà una imbarcazione d'appoggio per ormeggiare alle boe, a cui porgerà i cavi in apposita sequenza, secondo le normali pratiche e manovre nautiche.

Ciascuna boa sarà ormeggiata ad un proprio corpo morto, giacente sul fondale marino, a cui sarà collegata una catena di idonea sezione, munita di giunto di rotazione

7.2 Calcoli di resistenza del sistema di ormeggio

Forze dovute al vento

Considerando vento spirante a 63 nodi, pari a 115 Km/ora la pressione sulla superficie esposta della nave risulta:

$$Pv = 0.0128 * V^2 * K * = 66 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Di prua } 66 * 616 = 40.656 \text{ Kg (40,65 t)}$$

$$\text{Di lato sulla fiancata } 66 * 2.414 = 159.324 \text{ Kg (159,32 t)}$$

Considerando la spinta di lato, tenendo conto che la nave è trattenuta da due cavi il tiro:

$$159,32 / 2 = 79,6 \text{ t}$$

Forze laterali dovute alle correnti

Le forze dovute alle correnti, sulla chiglia della nave, sono composte da due parti:

-Pd spinta dinamica della corrente, che investe la proiezione verticale della parte sommersa della chiglia stessa

-Pf resistenza per attrito della zona perimetrale bagnata

Applicando i dati relativi al nostro caso, con una corrente stimata di 0,50 nodi (l'ormeggio risulta all'interno di un fiordo con correnti trascurabili ma si è voluto considerare anche il possibile apporto dato dalle correnti generate durante le manovre di accosto delle navi ai lati) , i risultati sono i seguenti:

tiro dovuto al carico dinamico 6 t

tiro dovuto alla resistenza frizionale 4 t

tiro complessivo dovuto alla corrente 10 t

Questo tiro si ripartisce almeno su due cavi quindi consideriamo 5 t per cavo.

Forze dovute alle al movimento delle onde

Queste forze risultano trascurabili in quanto l'onda con altezza da 0,5 a 1,00 m produce tiri trascurabili sui cavi d'ormeggi e i movimenti della nave da essa generati vengono compensati dalla flessibilità del sistema di ormeggio.

Tiro totale su di una boa

Il tiro laterale su di un cavo di ormeggio risulta pertanto (nel caso più gravoso) uguale a $79,6+5=84,6$ t.

Tutto il sistema (boa, gancio d'ormeggio, catena di ancoraggio della boa al corpo morto) vengono dimensionati per un tiro di 200 t e pertanto con un coefficiente di sicurezza pari a 2,36.

Dimensionamento corpo morto

Sistema Boa 200 t

Materiale: calcestruzzo armato

Dimensioni: 10 m x 10 m x 1,5 m

Volume: 150 mc

Peso specifico calcestruzzo: 2.400 kg/mc

Peso totale del corpo morto (in aria): 360 t

Peso totale del corpo morto (in acqua): 200 t

Riempimento delle cassette banchina

Si realizzerà un ripentimento parziale della cella con un getto all'interno di una paratia metallica su un area di 25 mq per un'altezza di m. 8 andando a realizzare un blocco avete peso in acqua pari a 480 t.

All'interno del getto verrà inghisata una bitta da 100 t ed eventualmente un tirafondo di un anellone al quale sarà collegata una cima di ormeggio della nave.

L'ormeggio a poppa sarà garantito, come indicato negli elaborati grafici, con almeno due linee per ogni lato dell'imbarcazione.