



R.T.P.



enser

ASSOCIATO

oice

Associazione delle organizzazioni di ingegneria,
di architettura e di consulenza tecnico-economica



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

COMUNE DI PALAU
UNIONE COMUNI GALLURA



COMUNE DI PALAU 2016
UNIONE COMUNI GALLURA

COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE
DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU
CIG: 67348058E5 - CUP: H14B15001080002

INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

C) RAPPORTO METEOMARINO

Codice S16141-PP-RE003-0

Rev.	Data	Redatto	Controllato	Approvato
0	31.03.2021	A. Ruju	M. Bernardi	G. Musinu



Sede Principale:
Viale Baccarini, 29
48018 FAENZA (RA)
Tel. 0546 663423/56
Fax 0546 663428

Sede di Bologna:
Via Zacconi, 16
40127 BOLOGNA (BO)
Tel. 051 245663
Fax 051 242251

Sede di Santarcangelo:
Via Andrea Costa, 115 47822
SANTARCANGELO DI ROMAGNA (RN)
Tel. 0541 1832933
Fax 0541 1832936

CERT-16254-2005-AQ-BOL-SINCERT
Mod 2 Rev.1 01/02/2011

C.F./P.IVA/Registro Im-
prese RA 02058800398

CAPITALE SOCIALE
€ 105 000,00 i.v.

Web: www.enser.it
E-Mail: enser@enser.it

RTP: ENSER s.r.l.

ING. ANTONIO RUJU

ING. FRANCESCO BOSINCU

ING. ELENA DEMARTIS - DOTT.SSA ELISABETTA ALBA

AGR. CANDIDO MAODDI - ARCH. SILVIA SUSSARELLU

ENSER s.r.l.
SOCIETÀ DI INGEGNERIA
www.enser.it



ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI**INTERVENTO DI POTENZIAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU – P.F.T.E.****RAPPORTO METEO MARINO - SULLA PRATICABILITÀ DEL SISTEMA PORTUALE - VALUTAZIONE SULLA POSSIBILITÀ DI RICADUTE DELL'INTRODUZIONE DELLE NUOVE OPERE SUGLI EQUILIBRI COSTIERI****PREMESSE - IDENTIFICAZIONE DELLE FINALITÀ E PROBLEMATICHE****VALUTAZIONI PRELIMINARI CON IDENTIFICAZIONE DEGLI EVENTI METEOMARINI DI RILEVANZA SIGNIFICATIVA**

Preliminarmente, al fine di completezza, stato svolto un primo studio di approccio volto a valutare le entità dei livelli di penetrazione, all'interno dell'arcipelago della Maddalena degli eventi meteo marini interessanti le bocche di Bonifacio.

A tal fine, acquisita la batimetria generale è dalla piattaforma emodnet (<http://www.emodnet.eu/>), con risoluzione 115 m (un sedicesimo di primo di latitudine cfr. Figura 1 seguente).

Come elementi di valutazione ampiamente significativi per quanto attinente la valutazione precisata¹, sono stati quindi stati acquisiti i parametri significativi degli gli eventi estremi registrati nel periodo 2006-2017 dalla base dati "copernicus" (<https://www.copernicus.eu/en>) nei punti di coordinate:

B1	41.3125 N, 9.04167 E,	Hs=7.6m, Tp=12.3s,	direzione di provenienza 286.4°
B2	41.3125 N, 9.5 E,	Hs=6.4m, Tp=9.2s,	direzione di provenienza 23.3°

¹ Data la configurazione dell'arcipelago gli eventi di tempesta assunti rappresentano adeguatamente le condizioni di massima capacità di penetrazione all'interno della zona di studio

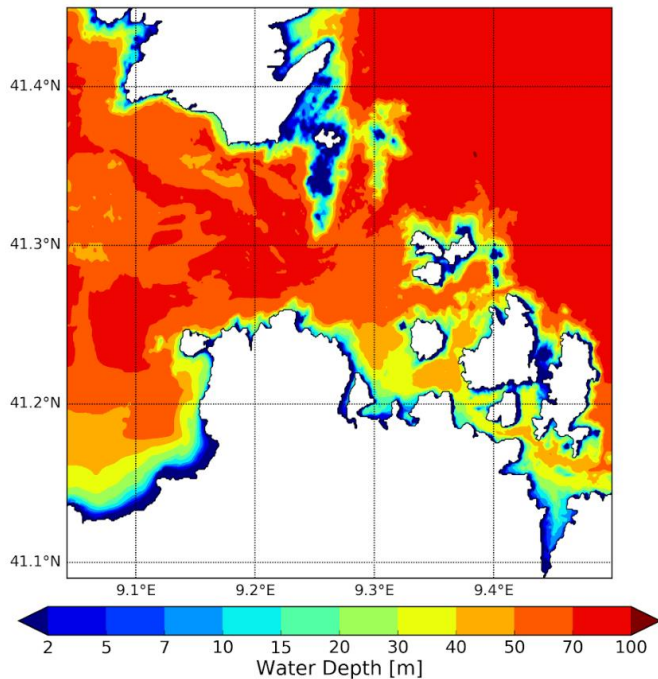


Figura 1 - Batimetria dell'area delle bocche di Bonifacio

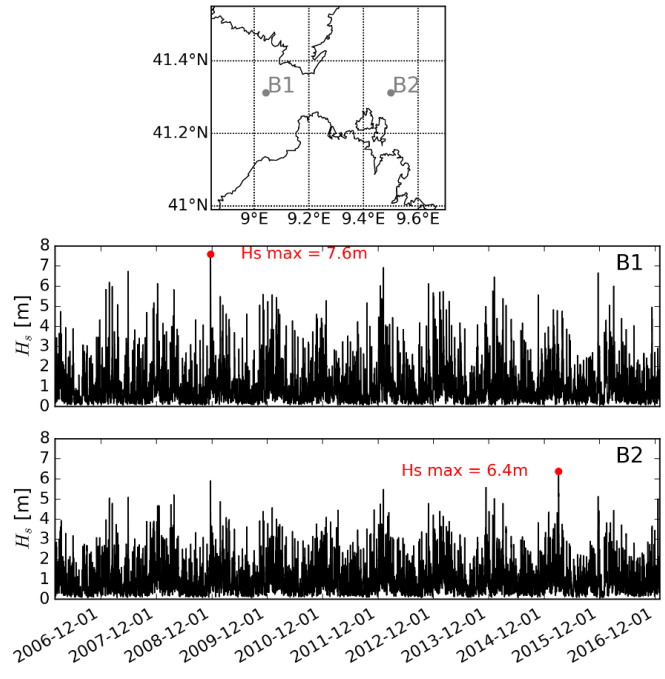


Figura 2 - rilevazioni ondamiche nell'arco temporale 2006 - 2017

I valori energetici così acquisiti sono quindi stati estesi, con l'impiego del codice numerico SWAN, fino all'interno dell'arcipelago di La Maddalena

L'output delle elaborazioni numeriche sono descritti nelle due immagini di Figura 3 e Figura 4, nelle quali le progressive variazioni delle rispettive altezze d'onda dai valori di picco ricavati nei punti di rilevazione risultano agevolmente leggibili con il raffronto con le sottostanti legende..

Dalla lettura delle immagini, che evidenziano come le mareggiate interessanti le Bocche di Bonifacio vengano intercettate e dissipate dalla protezione naturale rappresentata dalle isole dell'arcipelago, producendo un grande porto naturale al centro del Mediterraneo occidentale, emerge con evidenza la principale giustificazione dell'originaria competizione fra la Francia e l'Inghilterra per accaparrarsi il porto naturale² formato dall'arcipelago (Napoleone nel 1783) e l'ammiraglio Horatio Nelson (novembre 1803 a gennaio 1805).

Dalla Figura 3 e Figura 4 che seguono rappresentanti gli output delle analisi numeriche degli eventi di picco registrate negli intervalli temporali considerati (Figura 2) si evidenzia infatti come la

² In grado, grazie alle sue caratteristiche di naturale ridosso, ampiezza e posizione strategica, di fornire massima idoneità ad ospitare una flotta di unità navali in grado di controllare l'intera parte occidentale del Mediterraneo.

penetrazione degli eventi ondosi foranei significativi non determini ripercussioni di rilevanza alcuna su una notevole estensione di specchi acquei., tra i quali quelli oggetto del presente studio.

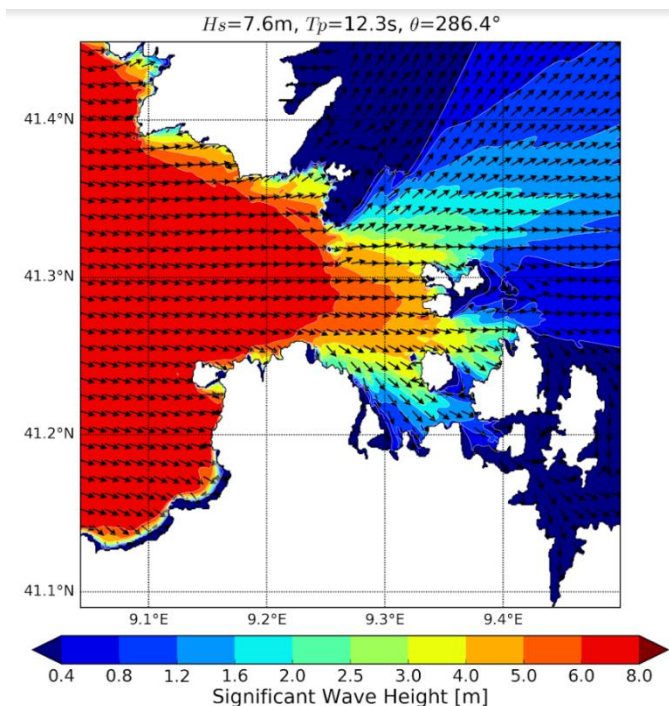


Figura 3 - propagazione della burrasca da W (B1) nelle bocche di Bonifacio e arcipelago La Maddalena

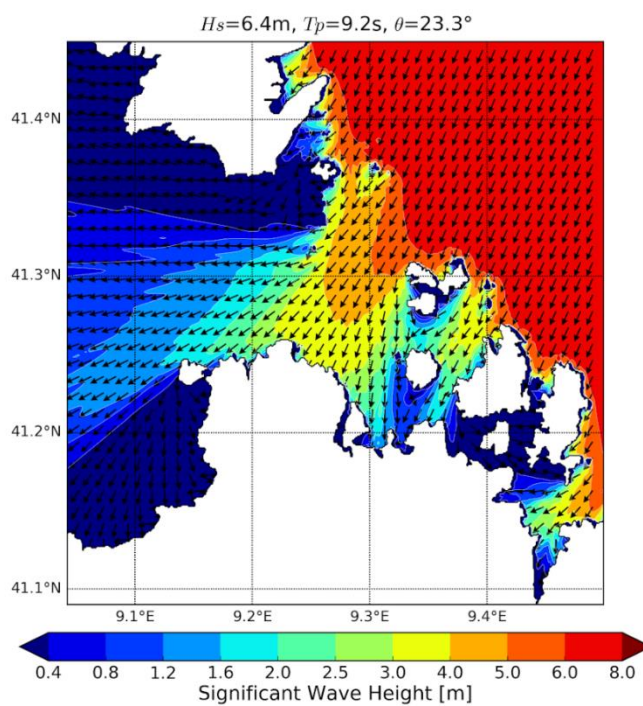


Figura 4 - propagazione della burrasca da NE (B2) nelle bocche di Bonifacio e arcipelago La Maddalena

A ulteriore approfondimento si è spinta la ricostruzione numerica delle caratteristiche dei moti ondosi residui (provenienti da penetrazione delle agitazioni foranee) interessanti gli specchi acquei di interesse per manovre di accosto e attracco alle opere portuali di studio

L'elaborazione ha consentito di ottenere conferma del fatto che, gli specchi acquei interessati dalle manovre di accosto e attracco delle unità navali adibite al servizio traghetti non risultano in alcun modo interessate da agitazioni residue comunque provenienti dagli ambiti marini esterni all'arcipelago.

Si dovrà pertanto tener conto unicamente dei moti ondosi prodotti nell'ambito degli specchi acquei confinati dall'arcipelago e la costa sarda.

Infatti, assunto come punto di misura il punto identificato con "P1" nella seguente Figura 9 di coordinate geografiche:

latitudine 41°12'42.23"N longitudine 9°24'37.21"E



Figura 5 - evidenziazione dell'ubicazione di P2

I dati forniti dal modello numerico, per la posizione di misura P1, sono risultati, come indicato nelle seguenti Figura 6 e Figura 7, di valore sostanzialmente trascurabile:

A - Agitazioni residue associate alla provenienza ~NW ($\theta = 286,4^{\circ}$) - Figura 6

$$H = 0,16 \text{ [m]} - T^3 = 9,9 \text{ [s]} - \theta^4 = 352^{\circ}$$

B - Agitazioni residue associate alla provenienza NNE ($\theta = 23,3^{\circ}$) - Figura 7

$$H = 0,07 \text{ [m]} - T = 8,5 \text{ [s]} - \theta = 357$$

I parametri di agitazione residua così ottenuti possono dunque venir considerati ininfluenti e di nessun disturbo sulle operazioni di accosto e attracco .

Le uniche agitazioni da prendere in considerazione resteranno dunque quelle generate dall'azione dei venti spiranti dalle coste prospicienti secondo quanto descritto alla successiva Figura 9

Da quanto sopra si ritiene, con sufficiente evidenza che gli eventi meteo marini che si possono produrre all'esterno dell'arcipelago non determinano, all'interno degli specchi acquei oggetto del presente studio, riverberazioni di moti ondosi di alcun interesse ai fini dei dimensionamenti e scelte progettuali.

Ai fini della definizione dei moti ondosi e le conseguenti valutazioni inerenti le manovre e lo stazionamento delle unità navali, andranno quindi presi in considerazione le sole agitazioni riconducibili agli effetti dei venti agenti sui limitati specchi d'acque definiti dalla costa sarda prospiciente e dalle

³ Periodo caratteristico

⁴ Direzione d'avanzamento dei fronti d'onda

interazioni tra le isole.

Questo anche in considerazione delle insignificanti entità delle agitazioni residue, generate all'esterno dell'arcipelago, che possono interessare gli specchi acquei interni, nonché delle macroscopiche discordanze di fase tra le due tipologie di onde.

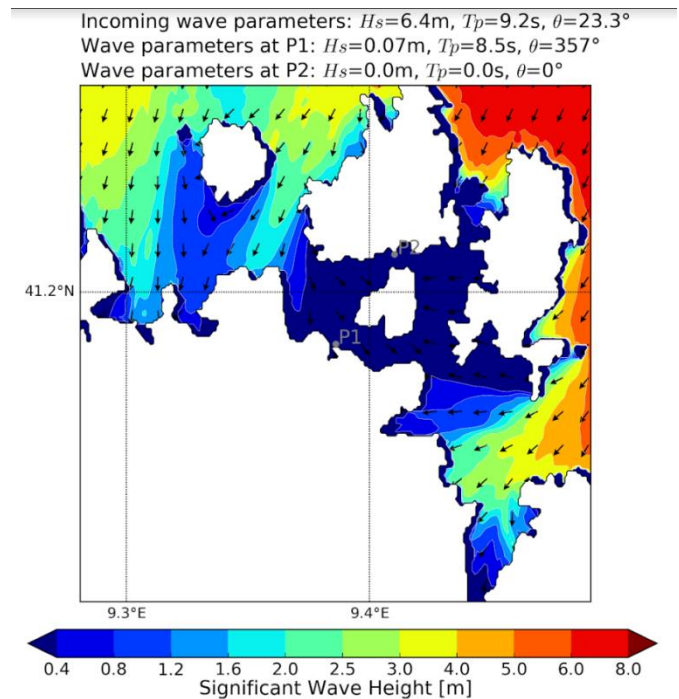
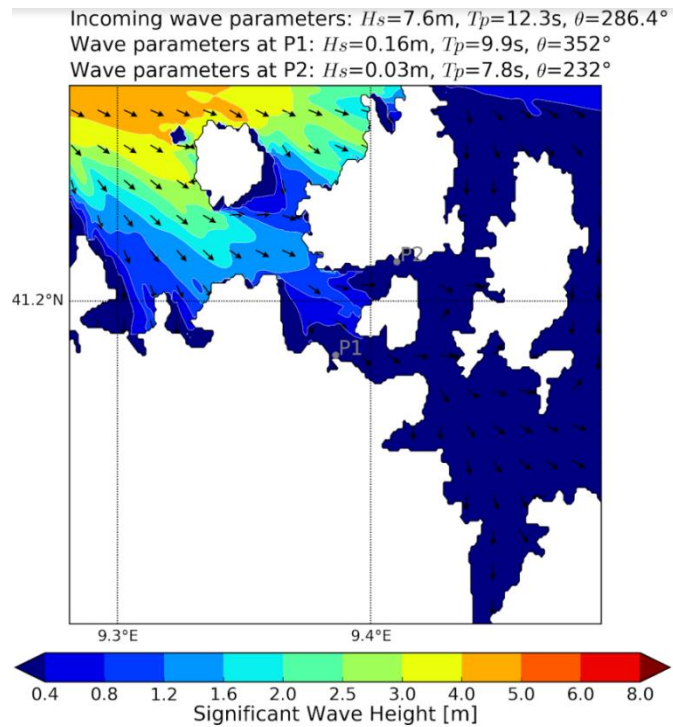


Figura 6 – penetrazione mareggiate NW - P1 e P2

Figura 7 - penetrazione mareggiate NE P1 e P2

Su queste conclusioni si incentreranno dunque i successivi approfondimenti

ORIENTAMENTI DELLA PRESENTE INDAGINE

Sono disponibili e sono stati studiati e acquisiti al fine della formazione del presente rapporto, recenti lavori di analisi e approfondimento concernenti le condizioni meteo marine degli specchi acquei prospicienti l'area maddalenina.

In particolare:

“studio meteomarinario e dell'agitazione ondosa” redatto in funzione del progetto per la “realizzazione del porto turistico di Cala Balbiano”⁵ da parte della società EIS – Environmental Investigation & Solutions di Cagliari

⁵ Il e III intervento – progetto di completamento – Il stralcio

Studio meteomarinario per le zone ex Arsenale e Punta Chiara in relazione alle attività di bonifica dello specchio acqueo prospiciente l'ex arsenale militare di La Maddalena, redatto da "1 S A T Università' degli Studi di L'Aquila - Facoltà' di Ingegneria" e sottoscritto dall'ing. Paolo de Girolamo.

Sono pertanto disponibili dunque la gran parte degli elementi conoscitivi concernenti i regimi e i fenomeni meteomarini, di due paraggi ubicati nella vicina isola di La Maddalena in prospicienza al paraggio in studio ad una distanza di circa 5 Km da quest'ultimo.

Possono dunque venire senz'altro acquisite, dai lavori citati, le risultanze sul regime anemometrico, restando, per il paraggio in parola, da analizzare e valutare le condizioni di agitazione che possono prodursi negli specchi acquei interessati dall'attracco, stazionamento e partenza delle unità navali in servizio.

A tal fine, come esposto al punto precedente, è stato fatto una valutazione su modello numerico orientata ad identificare le entità di energia residua, derivante dalle burrasche interessanti l'area delle bocche di Bonifacio, che possano accedere alle aree marine comprese nell'arcipelago.

Quote di energia risultate irrilevanti e pertanto prive di significatività.

Si può quindi assumere che le agitazioni da prendere in considerazione si producano esclusivamente nell'ambito dell'arcipelago ad opera dell'azione del vento sulla superficie del mare.

Poiché, come noto, in mari chiusi e in presenza di distanze limitate, il fetch sia geografico che efficace risultano sostanzialmente coincidenti (salvo tener conto per il secondo di una certa fascia di ridosso fornita dalla costa sopravvento, il valore efficace può correttamente approssimarsi alla distanza tra la costa sopravvento e quella sottovento depurata di una fascia di ridosso da valutare, a seconda dei casi, in funzione dell'orografia di quest'ultima.

Per stimare le perturbazioni ondosa di un paraggio, in mancanza di serie storiche di misurazioni, si deve necessariamente ricorrere ad uno dei vari algoritmi disponibili in letteratura (Iribarren, Sverdrup & Munk Bretschneider, Airy, ecc.) ampiamente verificati sperimentalmente ed efficaci in differenti condizioni.

Da attenta valutazione del contesto emerge che il paraggio oggetto di studio (specchio acqueo interessato dalle manovre di attracco e partenza, nonché dallo stazionamento delle unità di traghetto in servizio, risulta godere oggettivamente di buona condizione di ridosso. Resta comunque interessato dalle agitazioni associate alla visuale dell'isola di Spargi (circa 6,5 Km.) , a quella della prospiciente isola di La Maddalena (3,0 km) e a quella della parte più meridionale dell'isola di Caprera (circa 6,5 km.)

In appresso, ai fini della definizione delle geometrie e delle prestazioni delle opere portuali, con si-derate anche le disparità dei rispettivi periodi di fase, dovranno pertanto venir considerate unica-mente le agitazioni che possono prodursi all'interno degli specchi acquei definiti dalle visuali citate

CLIMA ANEMOLOGICO DEL PARAGGIO

Per l'inquadramento del clima anemologico vigente nello specchio acqueo interessato dall'intervento, si è fatto riferimento ai dati elaborati desumibili dal lavoro citato al punto "A".

Questi vengono assunti dunque a base delle considerazioni che seguono. Per memoria si riprodu-cono in appresso, nella Tabella 1, gli elementi conclusivi ulteriormente riassunti nella successiva Figura 8:

Tabella 1 – ricorrenze percentuali degli eventi anemometrici da elaborazione delle osservazioni della stazione di Geardia Vecchia (1980 – 1997) aggregate per intervalli di velocità

Intervalli di velocità [kn]	<5	5+10	10+20	20+30	30+40	40+50	>50	TOTALI
Direzioni di provenienza [gradi]	Ricorrenze prcentuali [%]							
0,000	0,991	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,006	1,999
10,000	0,115	0,164	0,201	0,081	0,027	0,013	0,032	0,633
20,000	0,112	0,368	0,547	0,206	0,043	0,007	0,016	1,299
30,000	0,122	0,462	0,744	0,341	0,066	0,009	0,009	1,752
40,000	0,127	0,519	0,995	0,411	0,104	0,010	0,012	2,178
50,000	0,111	0,634	1,302	0,430	0,081	0,013	0,003	2,573
60,000	0,154	0,770	1,689	0,439	0,062	0,007	0,001	3,121
70,000	0,154	0,945	1,650	0,296	0,045	0,006	0,007	3,103
80,000	0,157	1,123	1,939	0,365	0,019	0,006	0,003	3,612
90,000	0,250	1,286	2,209	0,397	0,045	0,007	0,012	4,206
100,000	0,232	1,051	1,979	0,335	0,023	0,001	0,004	3,626
110,000	0,286	1,076	1,922	0,429	0,045	0,007	0,012	3,776
120,000	0,256	0,938	1,382	0,429	0,032	0,013	0,007	3,057
130,000	0,230	0,626	0,649	0,222	0,027	0,004	0,000	1,758

Intervalli di velocità [kn]	<5	5+10	10+20	20+30	30+40	40+50	>50	TOTALI
Direzioni di provenienza [gradi]	Ricorrenze prcentuali [%]							
140,000	0,181	0,387	0,387	0,104	0,023	0,003	0,001	1,086
150,000	0,145	0,331	0,255	0,085	0,019	0,001	0,001	0,837
160,000	0,141	0,280	0,207	0,047	0,007	0,001	0,001	0,686
170,000	0,092	0,227	0,138	0,036	0,009	0,000	0,001	0,503
180,000	0,132	0,288	0,173	0,046	0,009	0,003	0,000	0,650
190,000	0,109	0,270	0,164	0,045	0,012	0,003	0,001	0,604
200,000	0,108	0,245	0,260	0,050	0,006	0,000	0,001	0,670
210,000	0,122	0,327	0,357	0,049	0,020	0,000	0,003	0,877
220,000	0,115	0,394	0,545	0,187	0,026	0,003	0,004	1,274
230,000	0,158	0,587	0,990	0,423	0,091	0,020	0,003	2,271
240,000	0,194	0,900	1,923	0,932	0,255	0,037	0,010	4,252
250,000	0,181	0,975	3,351	1,887	0,424	0,092	0,014	6,926
260,000	0,171	0,988	4,092	2,408	0,673	0,128	0,026	8,487
270,000	0,180	1,266	5,137	3,285	1,017	0,279	0,043	11,207
280,000	0,152	0,972	3,652	2,068	0,957	0,188	0,050	8,041
290,000	0,134	0,797	2,683	1,507	0,587	0,209	0,046	5,962
300,000	0,144	0,702	1,369	0,502	0,272	0,083	0,010	3,082
310,000	0,125	0,629	0,820	0,160	0,102	0,036	0,001	1,873
320,000	0,122	0,634	0,525	0,091	0,032	0,004	0,006	1,414
330,000	0,099	0,462	0,362	0,070	0,020	0,016	0,003	1,033
340,000	0,089	0,275	0,178	0,056	0,014	0,006	0,001	0,620
350,000	0,128	0,298	0,342	0,144	0,035	0,003	0,003	0,952
TOTALI	7,321	22,197	45,118	18,564	5,224	1,220	0,355	100,000

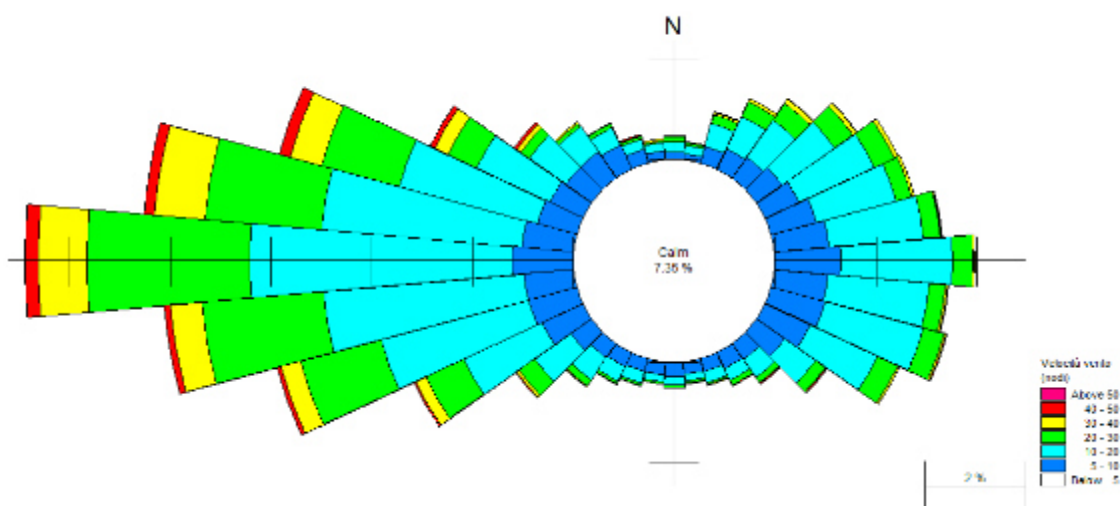


Figura 8 - intensità, direzione e ricorrenze degli eventi ventosi rilevati alla stazione di Guardiavecchia nel periodo (1980+1997) (rappresentazione dati Tabella 1)

SETTORI DI TRAVERSIA - FETCHS

Definito con sufficiente confidenza il regime dei venti, si evidenzia come l'ubicazione degli specchi acquei del sito, grazie alla particolare collocazione e alle condizioni di ridosso garantite dalla conformazione della costa sarda prospiciente e dalla vicina isola di Santo Stefano, risulti interessata da settori di possibile provenienza di moti ondosi ridotte sostanzialmente a due settori di traversia caratterizzati da fetchs di pochi chilometri (oltre a un terzo orientato verso l'isola di San Pietro).

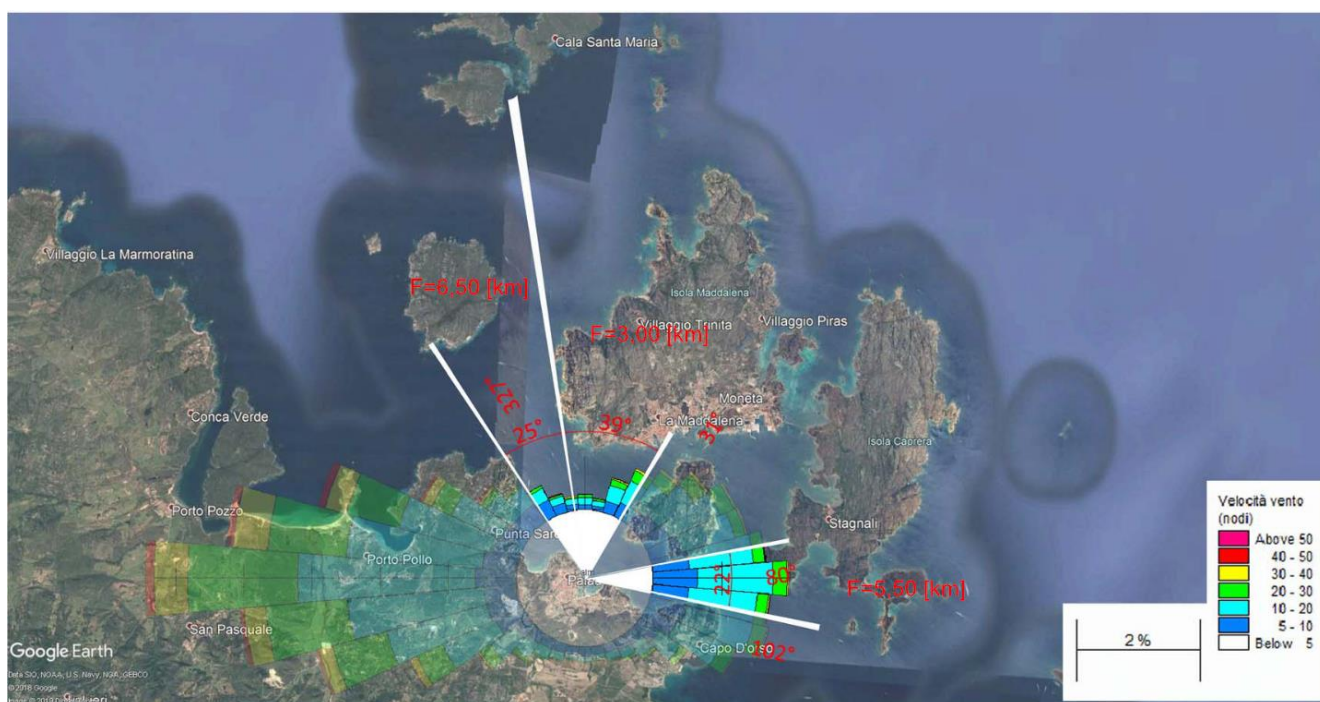


Figura 9 - Identificazione dei settori di traversia del paraggio con evidenziazione delle ricorrenze degli eventi anemologici associati

Infatti, come evidenziato Figura 9 precedente, sono identificabili i seguenti settori di traversia:

Settore di traversia A caratterizzato da un'apertura di 25 gradi, compreso tra le visuali di porto punta Sardegna (327°N) e l'estremità meridionale di "cala Francese" (352°N) con un fetch utile di circa Km. 6,35.

Settore di traversia B, compreso tra le visuali dell'estremità meridionale dell'isola di Santo Stefano (80°N) e Capo d'Orso (102°N) che presenta un fetch efficace valutabile in circa 6,5 km.

Settore di traversia secondario (apertura circa 12° , compreso tra le visuali dell'estremità meridionale di "cala Francese" (213°N) (110°N) e l'estremità meridionale dell'isola di Santo Stefano con un fetch di circa km. 3,00

Soprapponendo al diagramma di Figura 8 rappresentante il clima anemometrico della zona con i settori di traversia come sopra definiti si può notare come questi risultano interessante settori caratterizzati da ridotte frequenze di venti di intensità significative. Ciò rimarcato si procede nel seguente capitolo all'identificazione degli elementi caratterizzanti della agitazioni che potranno interessare gli specchi acquei prospicienti le aree di previsto intervento.

DETERMINAZIONE DEI VALORI DEI PARAMETRI DI PICCO DELLE PIÙ GRAVOSE AGITAZIONE PRODUCIBILI NELL'AREA DI STUDIO

Richiamato quanto precisato circa l'ottimale condizione di ridosso dell'area in attenzione rispetto agli eventi meteo-marini esterni all'arcipelago, e date le modeste entità delle superfici di mare aperto cui può avvenire la generazione del moto ondosi da parte di venti spiranti con direzione e intensità costanti, si può preliminarmente affermare che le possibili agitazioni, pur generate da venti di intensità notevole o eccezionale, risulteranno comunque caratterizzate da modesti livelli energetici e interessanti pertanto limitati tiranti d'acqua fatto questo che fa divenire trascurabile la valutazione degli effetti di rifrazione sui fondali dell'area in studio.

Il Fetch F , insieme alla velocità del vento U e la durata T dello stesso, come noto, è una delle grandezze fondamentali da cui dipendono le dimensioni del moto ondoso marino generato dal vento.

Data la modestia dei fetch in gioco nel caso di specie, risulta evidente come il tempi necessari al raggiungimento delle condizioni di regime risultano limitatissimi e non richiedono quindi particolari determinazioni.

Per la valutazione delle caratteristiche limite dei moti ondosi generabili nelle condizioni identificate si utilizzeranno i criteri, certamente validi per situazioni di piccola estensione come quelle in studio, forniti dalla teoria di Airy⁶ (o lineare) assumendo ipotesi di eventi anemometrici corrispondenti alle soglie di picco desumibili dalle registrazioni.

⁶ I parametri che si ottengono risultano d'altronde sostanzialmente coincidenti con quelli ottenibili attraverso altre formule empiriche in uso: SMB (Sverdtup Munk Bretschneider) ecc.

Il criterio consente di ottenere in modo ampiamente affidabile i parametri delle onde medie di uno stato del mare esterno alla “surfzone”. Oltre ai dati⁷ di periodo caratteristico e altezza si ottengono la lunghezza d'onda media, la sua velocità d'onda, la profondità relativa, e il flusso di energia.

Tabella 2 - parametri caratteristici delle agitazioni di picco⁸ associate ai settori di traversia del paraggio

	F = FETCH [km]	T = DURATA [ore]	U = VELOCITÀ VENTO [Kn]	Teoria lineare di AIRY	
Settore di traversia A (Spargi)	6,5	2	50	H = 1,59 [m] T 3,89 = [s] L = 17,45 [m] V = 5,22 [m/s]	Flusso di energia 4.177,00 [W/m]
Settore di traversia B (Capo d'Orso)	5,5	2	50	H = 1,46 [m] T 3,68 = [s] L = 15,64 [m] V = 4,94 [m/s]	Flusso di energia 3305,00 [W/m]
Settore di traversia secondario	3	2	50	H = 1,08 [m] T = 3,01 [s] L = 10,46 [m] V = 4,04 [m/s]	Flusso di energia 1.478,00 [W/m]

Il settore di traversia secondario, associato alla visuale dell'isola di Santo Stefano non risulta in grado di generare, nel concreto già sulla base di valutazioni empiriche, fenomeni di interesse: sia per quanto riguarda la loro l'entità che per quanto attiene la possibile ricorrenza degli eventi producibili.

Le considerazioni di approfondimento sono quindi focalizzate unicamente sui due settori identificati come principali (Spargi e Capo d'Orso) in quanto potenzialmente associati a eventi maggiormente suscettibili di incidere sulle agitazioni della superficie liquida che ospiterà il terminale oggetto dell'intervento.

SULLA PRATICABILITÀ DEL TERMINALE TRAGHETTI

Tenuto conto della configurazione di progetto preliminarmente identificata, le valutazioni che seguono sono riferite allo specchio acqueo interessato dal previsto attracco e dalle manovre di accosto.

⁷ Riferiti alla media del terzo maggiore dei dati d'onda registrabili

⁸ Riferiti al terzo di onde di maggior altezza

Ai fini della valutazione dell'agibilità del terminale vengono identificate le condizioni di agitazione che si possono verificare in corrispondenza delle diverse condizioni di ventosità.

Mettendo i risultati in relazione con le percentuali di ricorrenza dei venti medesimi.

Si assumono come normali agitazioni con onde entro gli 90÷100 cm. di altezza, per valori eccedenti si considerano connotate da un certo grado di criticità le agitazioni fino a $H = 1,30$ m, e al limiti della praticabilità quelle con altezze d'onda superiori.

Riguardo ai range così definiti vale rimarcare la precisazione che i valori di agitazione esposto nelle seguenti Tabella 3 e Tabella 4 risultano finalizzati alla determinazione dei parametri delle agitazioni incidenti sull'are di studio in quanto risultanti da una generazione interamente sviluppata in mare aperto libero da ostacoli.

Nelle successive fasi di progettazione, con la valutazione su modello numerico dell'incidenza dell'effettiva configurazione della costa e delle opere portuali, potranno stabilirsi valori caratterizzati da maggior rigore, e certamente, in qualche misura ridotti rispetto a quelli prefigurati allo stato attuale, ottenuti in assenza delle dissipazioni di energia dovuti alle particolari configurazioni della costa e delle opere portuali.

Tabella 3 - agitazioni di picco associate al settore di traversia Spargi determinate con teoria lineare

Intervalli di velocità del vento [kn]	<5	5÷10	10÷20	20÷30	30÷40	40÷50	>50
Ricorrenza [%]	0,32	1,10	1,00	0,28	0,08	0,03	0,01
Altezza H [m]	--	0,13	0,38	0,70	1,02	1,40	1,59
Periodo T [s]	--	1,6	2,35	2,9	3,35	3,7	3,89

Sulla base dei dati esposti in Tabella 3, per quanto riguarda gli eventi meteo marini associati al settore di Spargi, si può dunque identificare la ricorrenza di condizioni meteo marine caratterizzate da sensibile criticità in: $24 \cdot 365 \cdot (0,03 + 0,01) / 100 = 3,50$ [ore/anno]

Tabella 4 - agitazioni di picco associate al settore di traversia capo d'Orso determinate con teoria lineare

Intervalli di velocità del vento [kn]	<5	5÷10	10÷20	20÷30	30÷40	40÷50	>50
Ricorrenza [%]	0,64	3,46	6,13	1,10	0,09	0,01	0,02
Altezza H [m]	--	0,13	0,33	0,62	0,94	1,28	1,46

Periodo T [s]	--	1,5	2,2	2,8	3,2	3,5	3,68
---------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Sulla base dei dati esposti in Tabella 4, per quanto riguarda gli eventi meteo marini associati al settore di Capo d'Orso, si può dunque identificare la ricorrenza di condizioni meteo caratterizzate da un contenuto grado di criticità: $24 \cdot 365 \cdot (0,01 + 0,02) / 100 = 2,63$ [ore/anno]

Si chiarisce comunque che, pur nelle condizioni di picco identificate, le unità ferry boat in servizio non incontrerebbero difficoltà alcuna nella navigazione, per quanto attiene le manovre di avvicinamento e accosto questa tipologia di unità dispone, di norma, di ausili di propulsione e manovra in grado di assicurare la sicurezza delle manovre di accosto e attracco.

Anche lo stazionamento all'ormeggio non pone particolari problemi.

Dai dati esposti con finalità, si può preliminarmente affermare che, la soluzione progettuale adottata assicura condizioni di agibilità per tutti gli accosti in ogni situazione meteo prevedibile, ivi comprese condizioni di burrasca con valori di intensità del vento eccedenti i 40 nodi.

Per quanto riguarda le condizioni di limitata criticità verificate per eventi anemometrici caratterizzati da velocità superiore ai 40 Kn si espongono le seguenti considerazioni:

in appresso, a supporto dell'affermazione, vengono esposti gli sviluppi delle penetrazioni ondose ottenuti su modellazione numerica di dettaglio, estese all'intero ambito portuale.

La considerazione del sistema di interazione dei moti ondosi generati dall'azione eolica con le attrezzature e opere a mare, insieme con la morfologia della costa (diffrazioni dei fronti d'onda, dissipazioni energetiche determinate da attriti o assorbimenti su strutture porose ecc.), condurrà alla determinazione di ulteriori riduzioni, rispetto a quanto speditivamente determinato in primo approccio, dei parametri caratteristici di agitazione ricavati in condizioni di mare libero da qualunque ostacolo.

Giungendo in prossimità di costa e/o di opere artificiali l'agitazione subisce riduzioni energetiche che verranno meglio identificate dalle citate specifiche elaborazioni su modello.

Venti di intensità eccedenti il valore evidenziato sono inoltre generalmente di breve durata in quanto associati al passaggio di fronti perturbati (durata di norma contenuta in un'ora o poco più).

Come evidenziato in corrispondenza delle tabelle, le ricorrenze delle situazioni di effettiva criticità, mediamente, si riducono, in fin dei conti, a non più 6÷7 ore all'anno considerando ogni possibile direzione di provenienza.

Già nella presente fase preliminare di analisi può ragionevolmente affermarsi che la proposta progettuale risponde risulta fattibile e in grado di offrire le dovute garanzie all'esigenza circa la continuità del servizio traghetti.

.

PENETRAZIONE DEI MOTI ONDOSI NEGLI SPECCHI ACQUEI PORTUALI ED ESITI DELLE SOLUZIONI COSTRUTTIVE PREVENTIVATE

Per gli approfondimenti sulle condizioni di agitazione degli specchi acquei interessati dal traffico portuale, partendo alle caratteristiche di picco delle agitazioni determinate alle pagg. 11 e 12 producibili sulle superfici liquide prospicienti l'area in studio, sono stati elaborati specifici modelli numerici che hanno consentito di pervenire con sufficiente livello di confidenza, alle rappresentazioni dell'evoluzione di queste ultime sugli specchia acquei prossimi alle opere portuali e comunque interessati dalle manovre di accosto e stazionamento.

Per consentire utili valutazioni i modelli prodotti risultano riferiti sia alla situazione delle opere portuali nella configurazione attuale (*inseguito senza intervento*), sia alla situazione risultante a valle della realizzazione delle opere contemplate nello studio di fattibilità (*inseguito con intervento*).

In entrambi gli scenari, i campi di modellazione numerica adottati prendono origine dai valori di agitazione di picco determinati con lo studio meteo-marino.

Gli algoritmi di elaborazione consentono di pervenire alla soddisfacente definizione delle distribuzioni energetiche sull'area di studio, tenendo conto degli effetti di diffrazione, rifrazione, shoaling e riflessione dei moti ondosi sulle opere e la costa.

Le condizioni al contorno sono rappresentate:

dai parametri dell'agitazione ai confini dei campi numerici

della distribuzione piano altimetrica delle opere emergenti e degli associati coefficienti di riflessione attribuibili ai vari tratti del perimetro immerso della medesima,,

della batimetria dell'area di studio,

A valle delle rispettive processazioni numeriche, i codici di elaborazione dei software forniscono, nell'ambito dei rispettivi domini numerici, in output:

Lo schema di avanzamento dei fronti d'onda valutando gli effetti di diffrazione sulle emergenze, rifrazione sul fondo e shoaling

La mappa di distribuzione delle altezze d'onda.

In appresso vengono dunque riportati i seguenti grafici di riferimento:

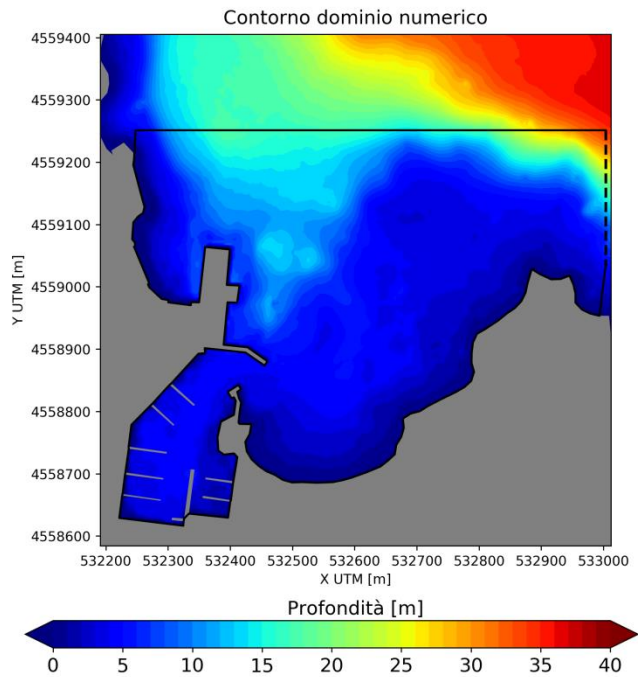


Figura 10 - batimetria e confine del campo numerico per elaborazioni degli eventi associati alla traversia est (Capo d'Orso)

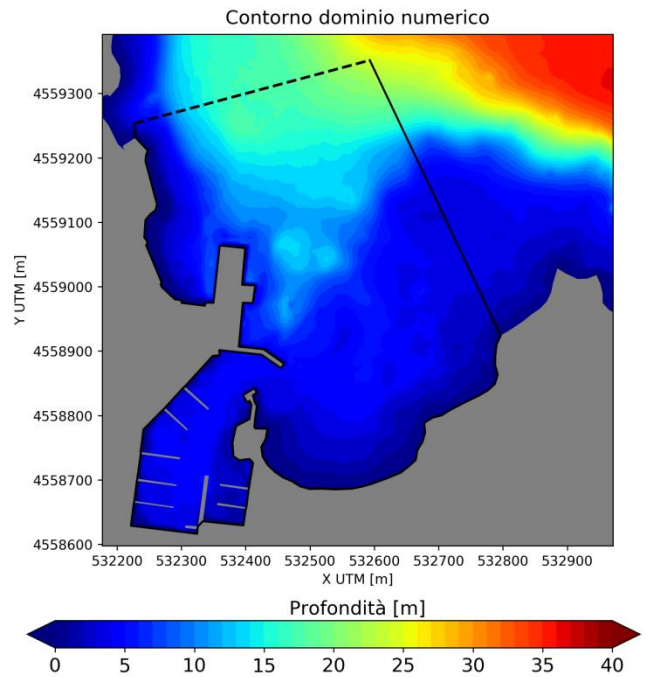


Figura 11 - batimetria e confine del campo numerico per elaborazioni degli eventi associati alla traversia nw (Spargi)

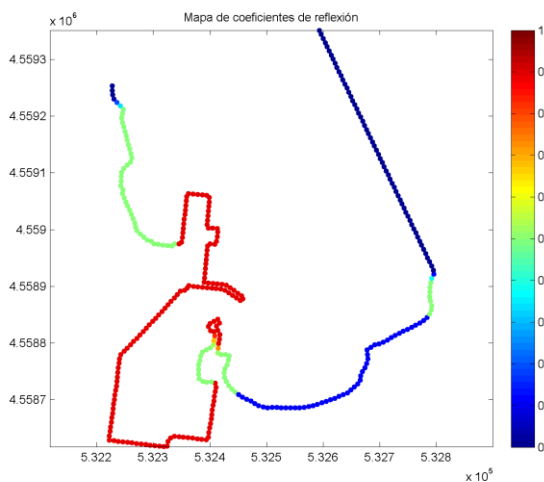


Figura 12 - distribuzione del coefficienti di riflessione dei moti incidenti nella condizione "senza intervento"

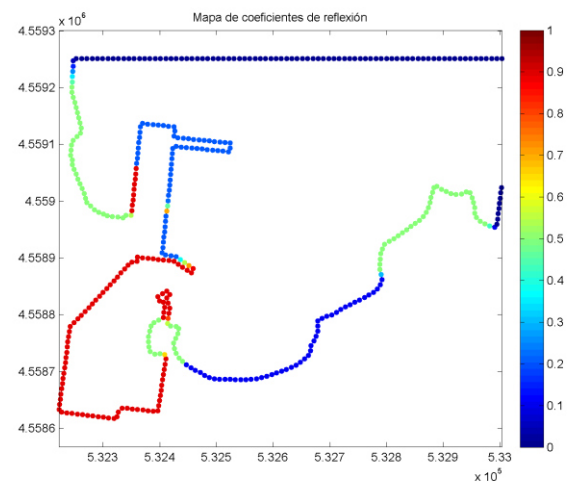


Figura 13 - distribuzione del coefficienti di riflessione dei moti incidenti nella condizione "con intervento"

Le elaborazioni rappresentate in appresso sono state ottenute partendo dai valori di agitazione di picco esposti, unitamente ai rispettivi valori di ricorrenza, alle **Tabella 3** e **Tabella 4** alla precedente pag. 12.

In appresso vengono preliminarmente rappresentati e commentati i piani di avanzamento dei fronti d'onda nell'ambito in studio, sia nella condizione "senza intervento" che in quella "con intervento" e rispettivamente associati alla traversia NW (Spargi) ed E (Capo d'Orso).

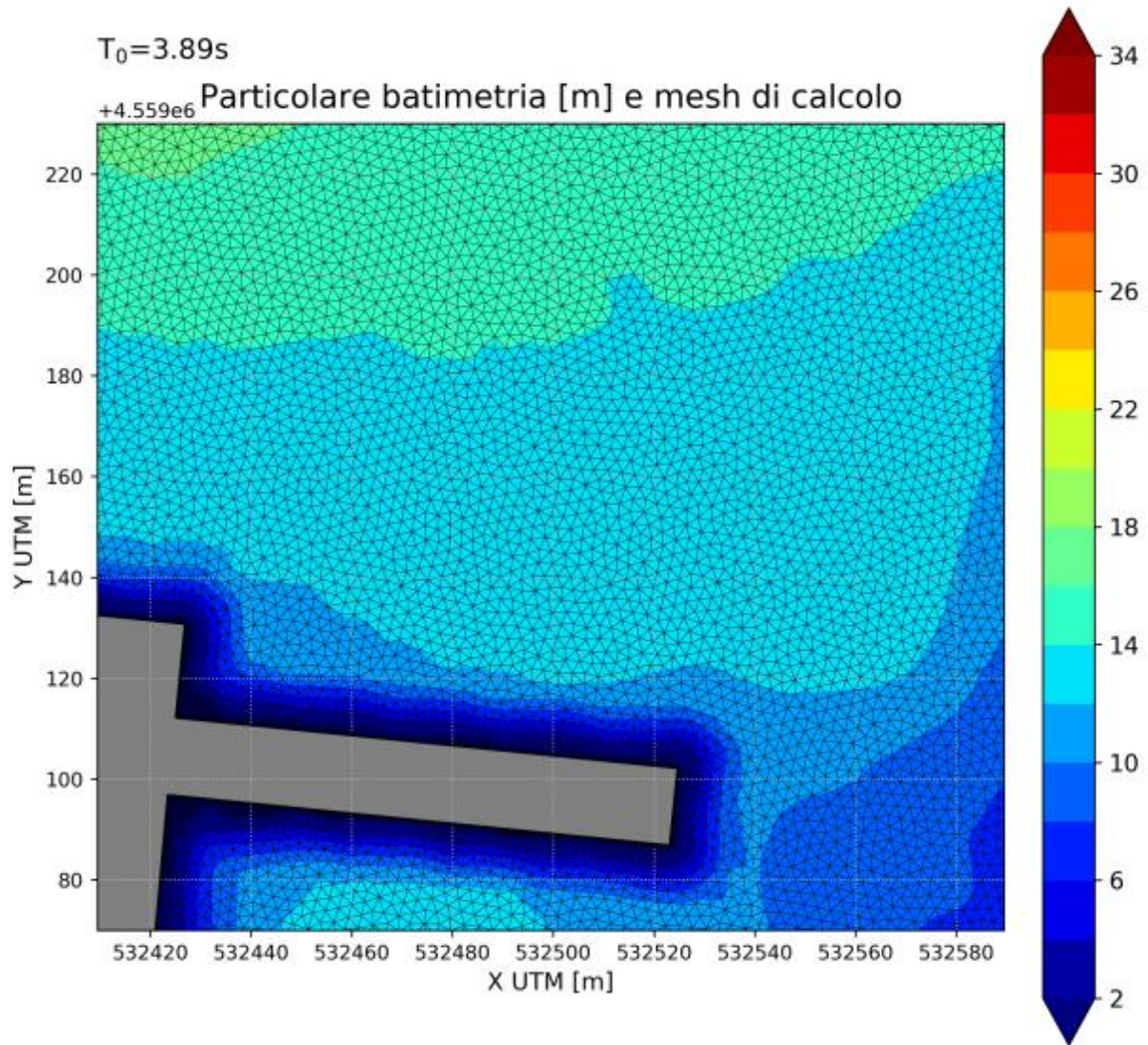


Figura 14 - dettaglio stralcio della batimetria e mesh di calcolo generata dal codice numerico

E più precisamente:

pag

Figura 15 - Situazione senza intervento -piano d'avanzamento dei moti ondosi associati alla traversia NW (Spargi)

18

Figura 16 - Situazione con intervento -piano d'avanzamento dei moti ondosi associati alla traversia NW (Spargi)

19

Figura 17 - Situazione senza intervento –altezze d'onda sugli specchi acquei in studio prodotte da eventi mete marini di picco associati alla traversia NW (Spargi).i. . (Scala di lettura della barra laterale in $[H_i/H_0]$)

20

Figura 18 - situazione con intervento - altezze d'onda sugli specchi acquei in studio prodotte da eventi mete marini di picco associati alla traversia NW (Spargi) . (Scala di lettura del-

22

la barra laterale in $[H_i/H_0]$.)

Figura 19 - situazione senza intervento - altezze d'onda sugli specchi acquei in studio prodotte da eventi meteo marini di picco associati alla traversia E (Capo d'Orso) . (Scala di lettura della barra laterale in $[H_i/H_0]$).

Figura 20 - situazione con intervento - altezze d'onda sugli specchi acquei in studio prodotte da eventi meteo marini di picco associati alla traversia NW (Capo d'Orso) . (Scala di lettura della barra laterale in $[H_i/H_0]$).

N.B. In appendice viene allegata relazione descrittiva con i dovuti riferimenti sui codici di modellazione numerica adottate e sui procedimenti di calcolo

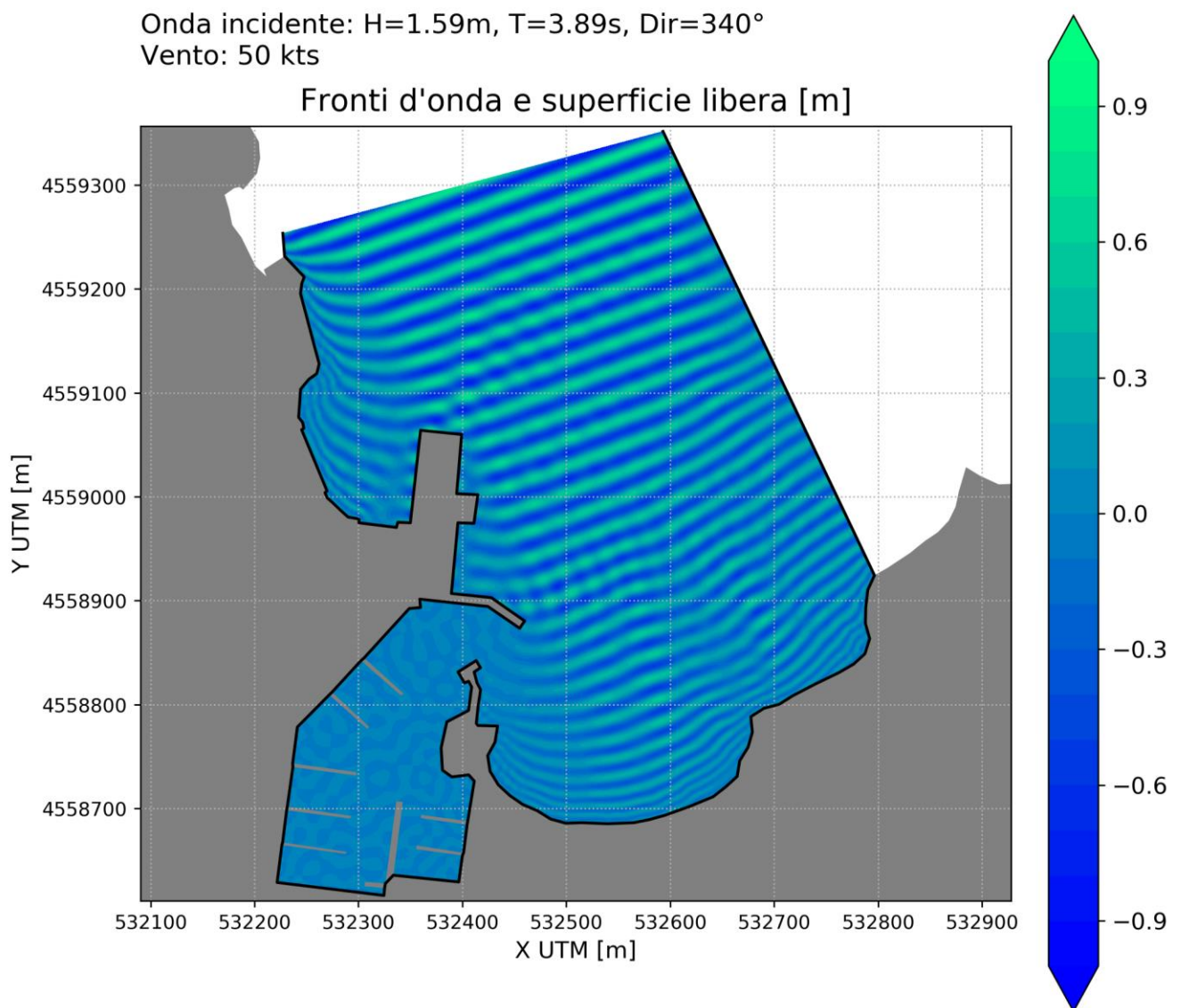


Figura 15 - Situazione senza intervento - piano d'avanzamento dei moti ondosi associati alla traversia NW (Spargi)

Dalla lettura dell'immagine a Figura 15, si nota la pur limitata penetrazione dell'agitazione all'interno della darsena ovest, e l'interessamento degli specchi acquei a nord e a est dell'attuale piazzale banchinato.

L'aspetto di maggior rilievo è comunque rappresentato alla vistosa presenza di onde riflesse a causa della presenza dei paramenti di banchina, attualmente perfettamente verticali.

Questi, interferendo con i fronti in avanzamento e riflettendoli, sostanzialmente in assenza di dissipazione energetica, generano rilevato stato di agitazione disordinata (ribollio) delle superfici liquide prospicienti.

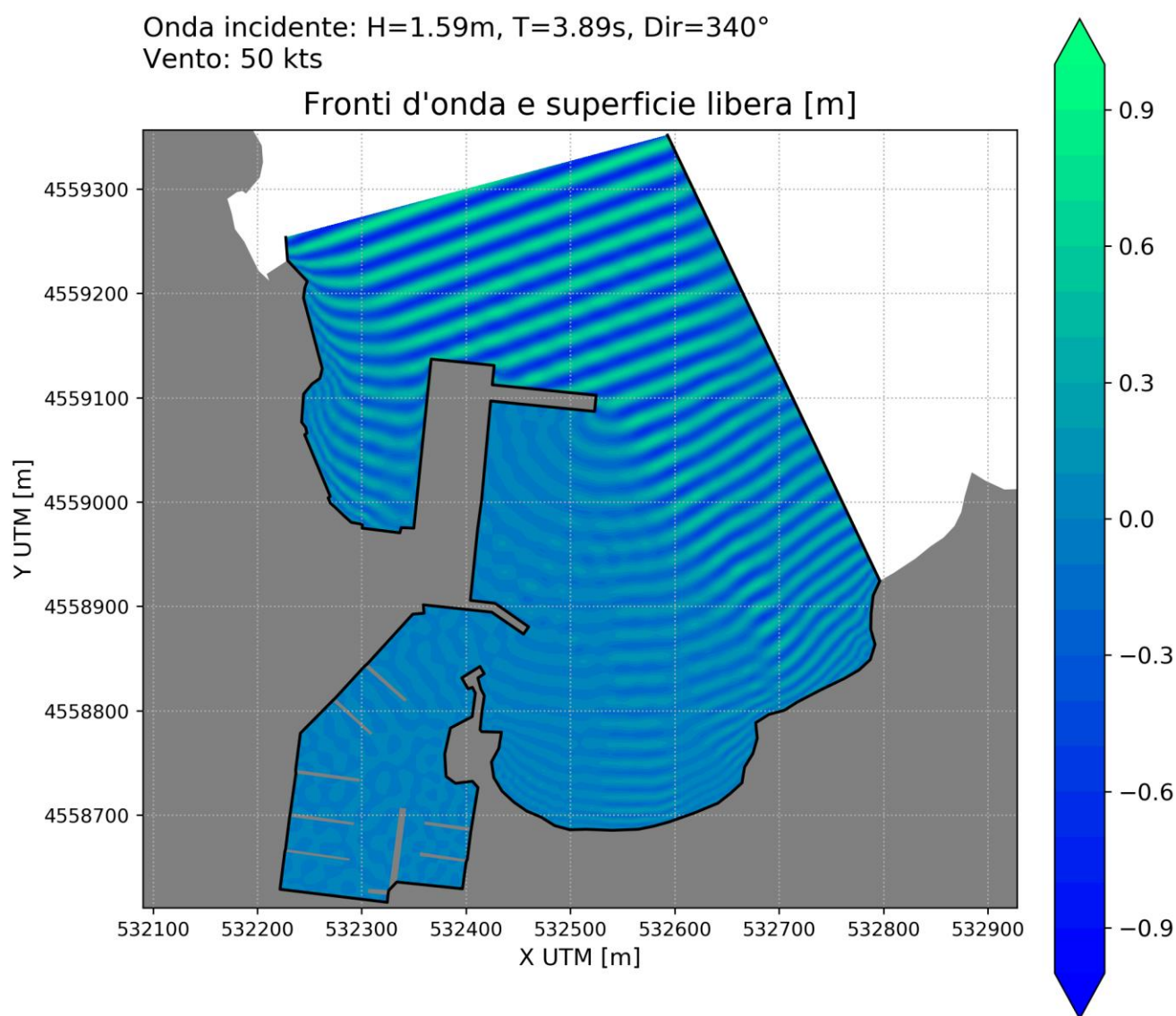


Figura 16 - Situazione con intervento -piano d'avanzamento dei moti ondosi associati alla traversia NW (Spargi

La Figura 16 evidenzia, oltre alla sostanziale riduzione della penetrazione delle agitazioni associate al IV quadrante sia a ovest sugli specchi acquei confinato della costa, che a est dello sporgente banchinato e, la desiderata sostanziale eliminazione di onde riflesse grazie alla struttura porosa a scogliera assorbente prevista lungo i nuovi fronti banchinati delle nuove opere in estensione previste.

Si noti inoltre l'andamento della diffrazione dei fronti d'onda generata dal nuovo banchinamento orientato a EST.

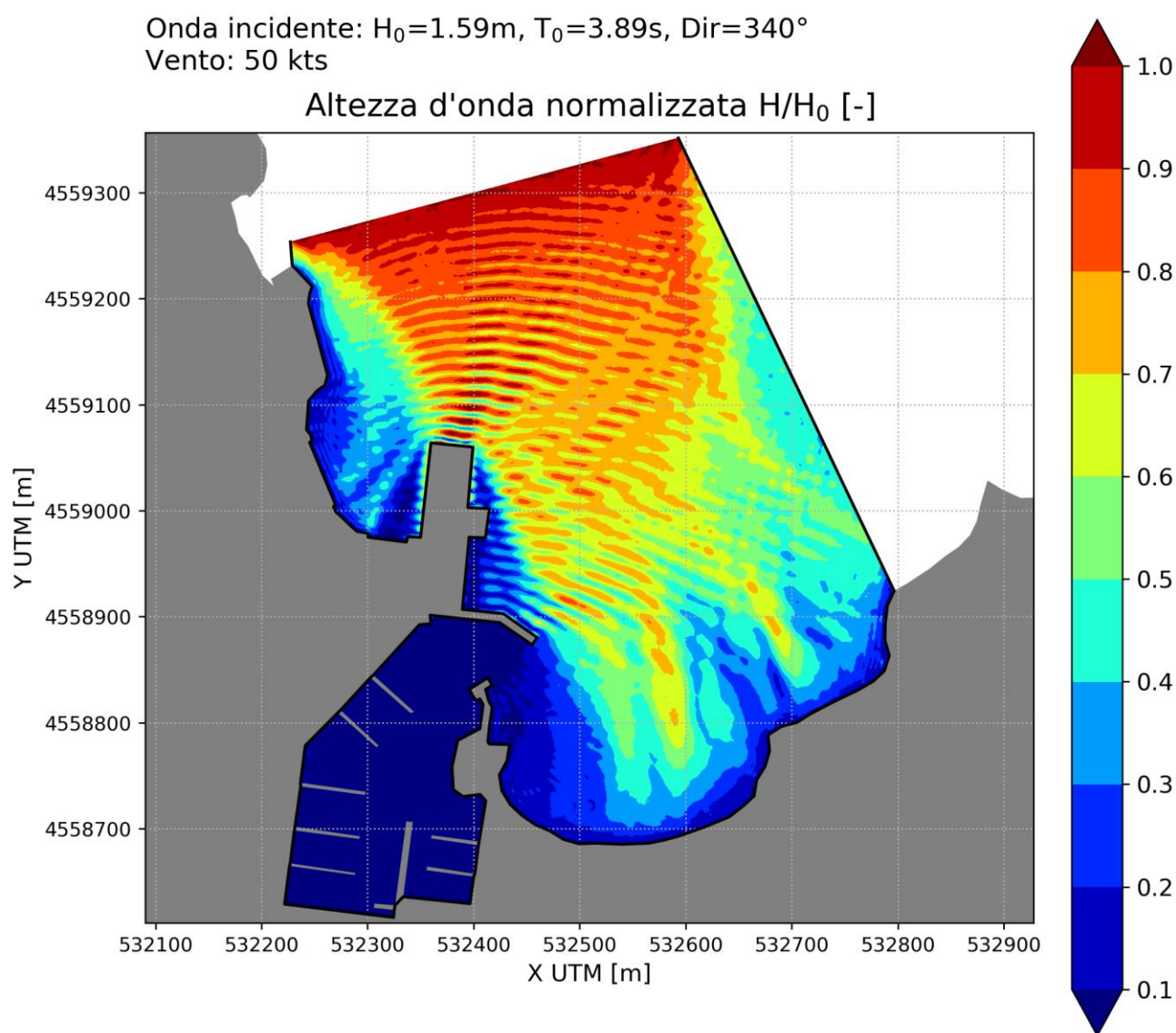


Figura 17 - Situazione senza intervento –altezze d'onda sugli specchi acquei in studio prodotte da eventi mete marini di picco associati alla traversia NW (Spargi). . (Scala di lettura della barra laterale in $[H_i/H_0]$)

Dalla Figura 17 si può leggere la distribuzione delle altezze d'onda sull'ambito in studio nell'attuale condizione in corrispondenza di un evento di picco associato alla visuale del IV quadrante (onda in ingresso nel dominio numerico con caratteristiche $H=1,59$; $T= 3,89$; $\text{dir. } 340^\circ$)

Richiamando la Tabella 3 a pag12 le agitazioni di picco associate a questo settore di traversia risultano caratterizzate, secondo gli intervalli di intensità del vento, dalle ricorrenze in appresso:

Intervalli di velocità del vento [kn]	<5	5÷10	10÷20	20÷30	30÷40	40÷50	>50
Ricorrenza [%]	0,32	1,10	1,00	0,28	0,08	0,03	0,01
Altezza H [m]	--	0,13	0,38	0,70	1,02	1,40	1,59
Periodo T [s]	--	1,6	2,35	2,9	3,35	3,7	3,89

Per consentire una completa e agevole interpretazione delle rappresentazioni grafiche, le scale di lettura delle immagini sono state rapportate ai valori d'ingresso.

Di modo che l'altezza delle onde possa venire sempre leggibile, in assenza di sensibili errori, in tutte le condizioni e ricorrenze determinate sia in **Tabella 3** che in **Tabella 4** (per le agitazioni successivamente analizzate concernenti gli aventi associati alla visuale di Capo d'Orso) a seconda dei coefficienti desumibili dalle colorazioni della paletta a scala cromatica a lato.

Ovvero, data l'altezza d'ingresso $H_{0i} = 1$ ml. e il coefficiente η_y , rilevato a lato in funzione del punto che si intende verificare, l'altezza dell'onda risulterà: $H_i = H_{0i} \cdot \eta_y$ (η_y dalla Tabella 3).

Questo vale in considerazione del fatto che, dati i modesti valori energetici delle agitazioni in esame (periodi T prossimi ai 3 s.) e le conseguenti le ridotte lunghezze d'onda in relazione alla quasi totalità dei tiranti d'acqua⁹ del campo numerico di studio, risultano nulli o comunque trascurabili gli effetti di rifrazione e shoaling.

P.e. dalla precedente Figura 18 possiamo p.e. ricavare:

onda d'ingresso per vento $V = 50$ Kn: $H_{max} = 1 \cdot 1,59 = 1,59$ m.

onda d'ingresso per vento $V = 30$ Kn $H_{max} = 1 \cdot 1,02 = 1,02$ m-

ecc.

⁹ L'energia del moto ondoso si spinge infatti fino a una profondità con buona approssimazione pari a $(1/4) L_{max} \cong (1/4) \cdot 17,40 = 4,35$ ml.. Nel caso di specie i tiranti d'acqua risultano quasi ovunque maggiori.

Come noto, sia l'effetto di shoaling che quello di rifrazione sono entrambi prodotti in presenza di interferenza dei moti orbitali delle onde sul fondale.

Onda incidente: $H_0=1.59\text{m}$, $T_0=3.89\text{s}$, $\text{Dir}=340^\circ$

Vento: 50 kts

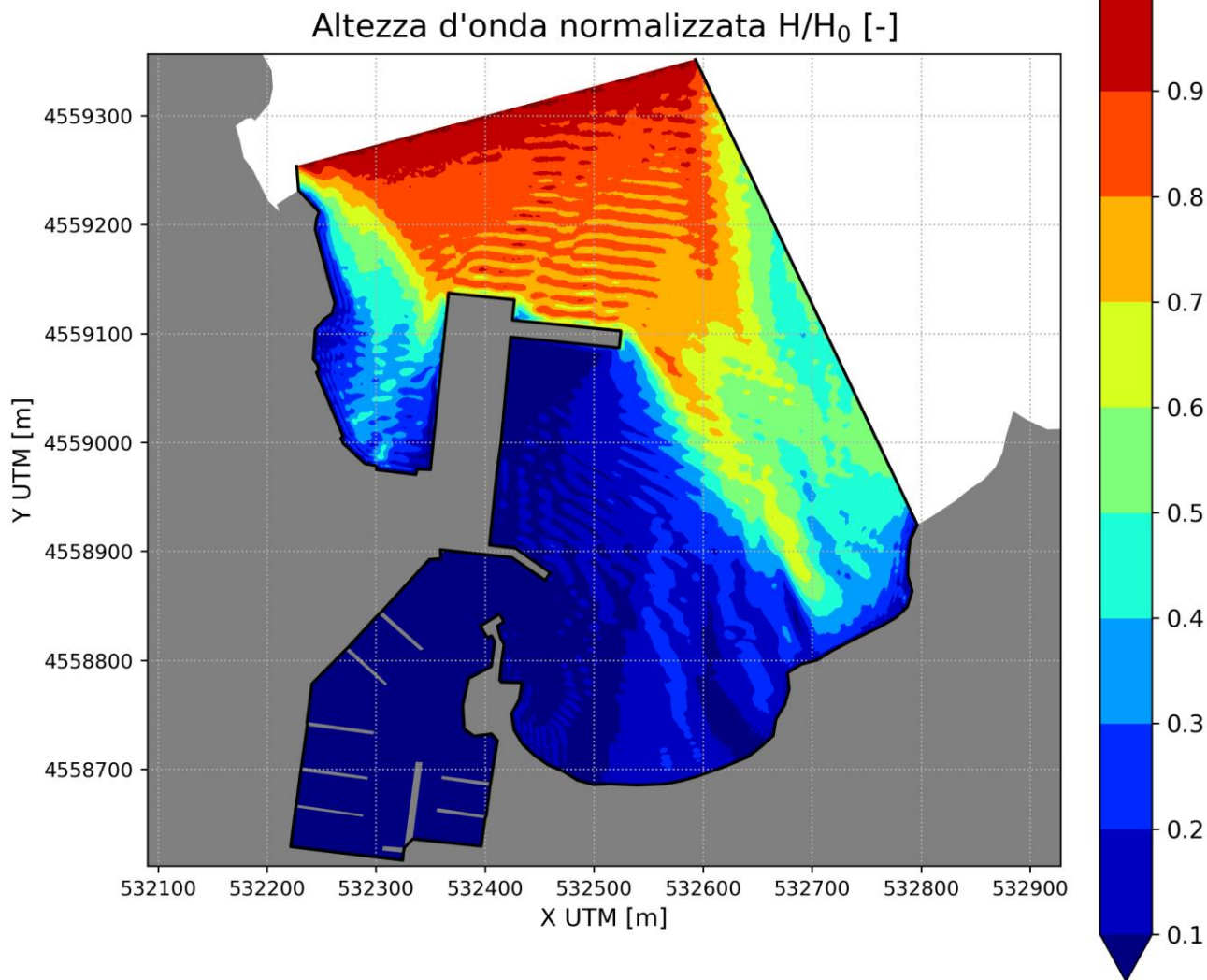


Figura 18 - situazione con intervento - altezze d'onda sugli specchi acquei in studio prodotte da eventi mete marini di picco associati alla traversia NW (Spargi) . (Scala di lettura della barra laterale in $[H_i/H_0]$.)

Ciò posto, la precedente Figura 18 elaborata per la determinazione dell'altezza d'onda all'interno del dominio numerico con le opere in configurazione di progetto, pone in evidenza lo stato di agitazione in corrispondenza degli attracchi "B", "C" e "D" ubicati all'estremità settentrionale del piazzale banchinato, i primi due in affianco al pontile a giorno radicato in mezzeria dell'estremità N del piazzale banchinato, e il terzo affiancato sul lato esterno della banchina di 100 ml. orientata a E.

Tabella 5 - verifica dell'altezza d'onda sui fronti Nord per eventi meteo marini associati alla traversia NW

V. vento [kn]	H_0 onda in ingresso [m]	Coeff. η_y [..]	H_i onda ormezzio [m]	Ricorrenza [%..]	Ricorr. Annuale [ore/anno]
≥ 50	1,59	0,90	1,43	0,01	0,90
40÷50	1,40	0,90	1,26	0,03	2,60
30÷40	1,02	0,90	0,92	0,08	7,00

V. vento [kn]	H ₀ onda in ingresso [m]	Coeff. η_y [..]	H _i onda ormeggio [m]	Ricorrenza [%..]	Ricorr. Annuale [ore/anno]
20÷30	0,70	0,90	0,63	0,28	24,50
10÷20	0,38	0,90	0,34	1,00	87,60

La precedente Tabella 5 fornisce, in ragione di quanto precisato sopra circa l'assenza di effetti di rifrazione e shoaling.

Le altezze d'onda massime che possono prodursi in corrispondenza agitazioni delle condizioni di ventosità significative che possono, statisticamente, prodursi nello specchio acqueo prospiciente il fronte nord delle opere in progetto interessato dalle manovre di attracco.

Si rileva in particolare come condizioni caratterizzate da contenute criticità¹⁰, comunque non tali da impedire manovra, accosto e stazionamento delle unità in servizio, possono verificarsi per non più di circa 3,5 ore /anno.

Vale inoltre evidenziare come il raffronto tra la Figura 17 e la successiva Figura 18 pone ulteriormente in risalto il beneficio prodotto dalle caratteristiche assorbenti delle opere in scogliera assorbente che perimetreranno tutte le nuove opere d'accosto.

Nella prima si evidenzia infatti il maggior livello di agitazione prodotto dalla riflessione di quote di energia in concordanza di fase con l'agitazione incidente.

Parallelo analogo beneficio può venir osservato dalle Figura 19 e Figura 20 seguenti dove, nella seconda, risulta evidente il residuo effetto prodotto dalle riflessioni dovute al fatto che l'opera in scogliera, sottostante all'allargamento del piazzale attuale, risulterà necessariamente interrotta dalla preesistenza dell'attuale dente d'attracco traghetti realizzato in calcestruzzo con paramento verticale perfettamente riflettente e che l'attuale molo di sopraflutto della darsena turistica, pur provvisti di un sistema di celle assorbenti, conserva comunque un coefficiente di riflessione significativo.

¹⁰ Non particolarmente dissimili da quelle che attualmente si verificano in corrispondenza dell'attuale accosto (cfr. Figura 17)

Onda incidente: $H_0=1.46\text{m}$, $T_0=3.68\text{s}$, $\text{Dir}=91^\circ$
Vento: 50 kts

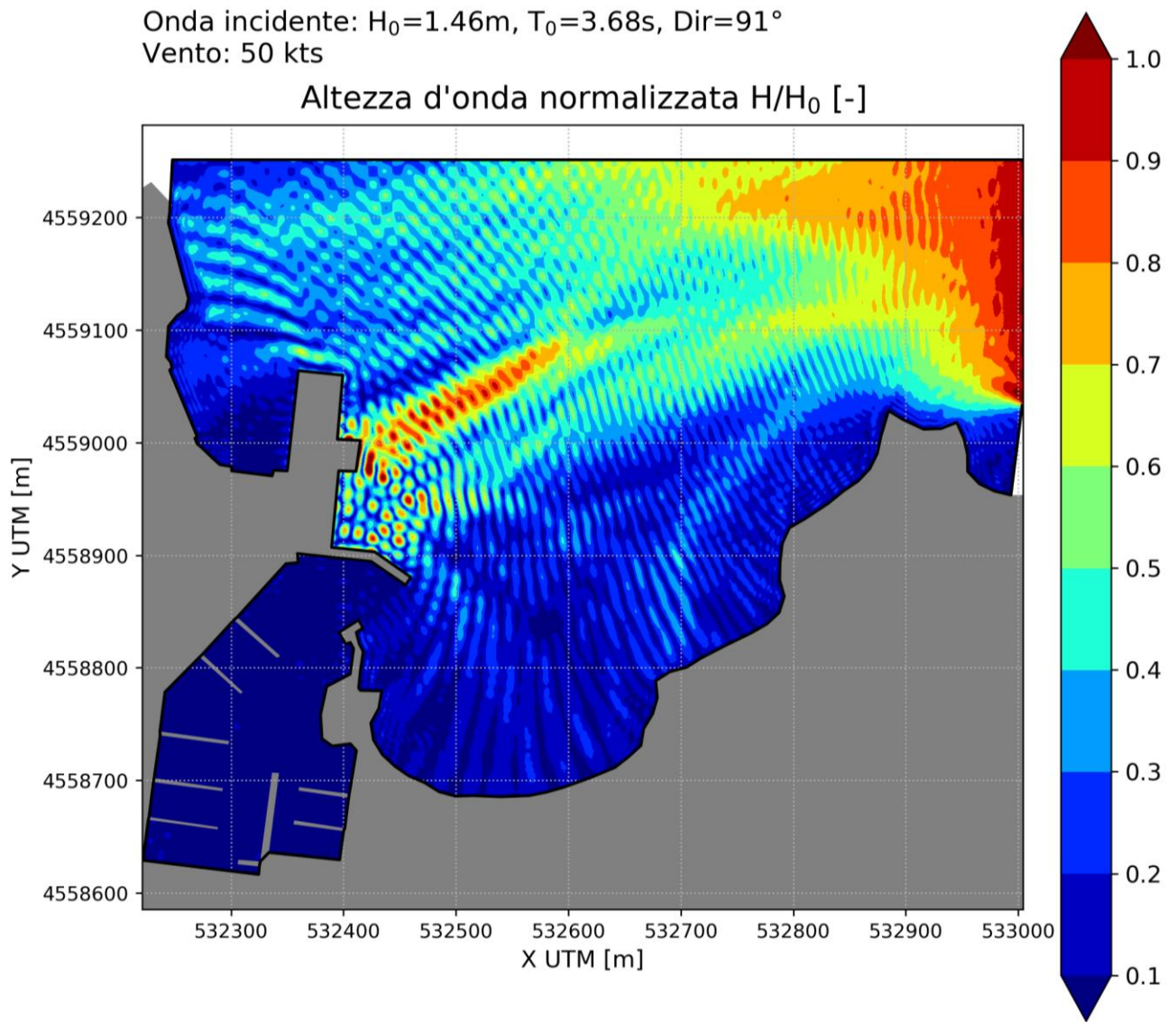


Figura 19 - situazione senza intervento - altezze d'onda sugli specchi acquei in studio prodotte da eventi meteo marini di picco associati alla traversia E (Capo d'Orso) . (Scala di lettura della barra laterale in $[H_i/H_0]$).

Onda incidente: $H_0=1.46\text{m}$, $T_0=3.68\text{s}$, $\text{Dir}=91^\circ$
 Vento: 50 kts

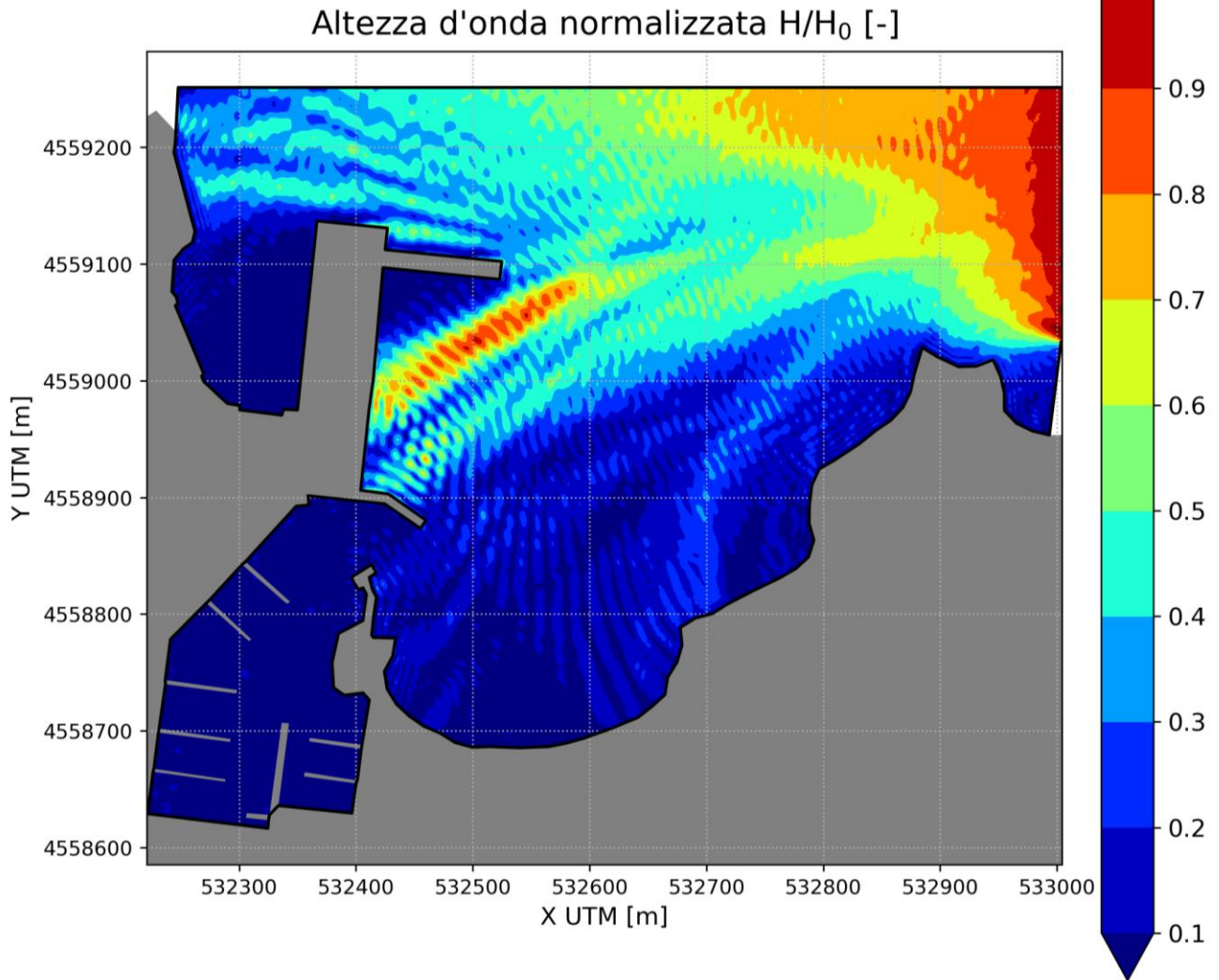


Figura 20 - situazione con intervento - altezze d'onda sugli specchi acquei in studio prodotte da eventi mete marini di picco associati alla traversia NW (Capo d'Orso) . (Scala di lettura della barra laterale in $[H_i/H_0]$).

Parallelamente a quanto già argomentato riguardo alla traversia NW, si richiama la Tabella 4 a pag 12, dove le agitazioni di picco associate al settore di traversia risultano caratterizzate, secondo gli intervalli di intensità del vento, dalle ricorrenze in appresso:

Intervalli di velocità del vento [kn]	<5	5÷10	10÷20	20÷30	30÷40	40÷50	>50
Ricorrenza [%]	0,64	3,46	6,13	1,10	0,09	0,01	0,02
Altezza H [m]	--	0,13	0,33	0,62	0,94	1,28	1,46
Periodo T [s]	--	1,5	2,2	2,8	3,2	3,5	3,68

Ciò posto, la precedente Figura 20, elaborata per la determinazione dell'altezza d'onda all'interno del dominio numerico con le opere in configurazione di progetto, pone in evidenza lo stato di agi-

tazione in corrispondenza degli attracchi “B”, “C” e “D” ubicati all’estremità settentrionale del piazzale banchinato, i primi due in affianco al pontile a giorno radicato in mezzeria dell’estremità N del piazzale banchinato, e il terzo affiancato sul lato esterno della banchina di 100 ml. orientata a E.

Tabella 6 - verifica dell'altezza d'onda sui fronti Nord per eventi meteo marini associati alla traversia NW

V. vento [kn]	H ₀ onda in ingresso [m]	Coeff. η_y [..]	H _i onda or-meggio [m]	Ricorrenza [%..]	Ricorr. Annuale [ore/anno]
≥ 50	1,46	0,45	0,66	0,02	1,80
40÷50	1,28	0,45	0,58	0,01	0,90
30÷40	0,94	0,45	0,42	0,09	7,90
20÷30	0,62	0,45	0,28	1,10	96,40
10÷20	0,33	0,45	0,15	6,13	537,00

Da ciò emerge come gli eventi da quadranti orientali ($45^\circ \div 135^\circ$) associati alla visuale di Capo d’Orso (Est) non sono mai, statisticamente, prevedibili restando pertanto le condizioni più gravose limitate ad eventi oltre 40 kn. associati alle visuali NW (Spargi) la cui ricorrenza è stata identificata in $\cong 3,5$ ore /anno.

La distribuzione dei restanti livelli di agitazione può agevolmente venire dedotta secondo quanto a pag 22.

Si evidenzia, dalle Figura 19 e Figura 20 dove, nella seconda, risulta evidente l’effetto prodotto dal fatto che l’opera in scogliera, sottostante all’allargamento del piazzale attuale, risulterà interrotta dalla preesistenza dell’attuale dente d’attracco traghetti il corrispondente segmento di paramento caratterizzato da elevate capacità riflettenti genera una risposta all’agitazione incidente in concordanza di fase con quest’ultima. Analogamente, il molo foraneo del porticciolo turistico produce effetto analogo, anche se di evidenza più contenuta.

Rispetto alla situazione senza intervento queste evidenze, già presenti, risultano comunque in quella con intervento notevolmente ridotte grazie all’azione della struttura in scogliera introdotta.

Ne risultano le anomalie rimarcate dalle strisce orientate a NE caratterizzate da onde localizzate di altezza maggiore rispetto alle zone circostanti (coefficienti pari a circa 0,70 e 0,40 cui corrispondono altezze d’onda pari a circa 1,02 e 0,58 [ml]).

Bisogna tuttavia tener conto del fatto che questa particolarità, prodotta dal modello, risulta da una simulazione in assenza di unità all'ormeggio. Si evidenzia che, in condizioni di esercizio, la flotta di caratteristiche medio-grandi disposte in andana è in grado di ridurre drasticamente gli effetti da riflessione dei moti ondosi incidenti.

Quest'ultima osservazione garantisce in definitiva, lungo il fronte d'accosto E, condizioni di stazionamento assolutamente rassicuranti caratterizzati da coefficienti, riferiti alle caratteristiche delle onde all'ingresso del campo di modellazione numerica normalmente comprese tra 0,30 e 0,15 ($0,44 < H_{\max} < 0,22$ [m]).

PREMESSA

In esito una riunione convocata dall'Assessorato dei Lavori Pubblici 14/01/2020 presso i propri Uffici, presenti l'Autorità Marittima competente e il Comune di Palau sono stati richiesti alcuni approfondimenti e modifiche sul documento di fattibilità tecnico economica del progetto¹¹.

A integrazione della documentazione prodotta, in appresso vengono dunque trattate le questioni riconducibili agli aspetti meteo marini e di idraulici del progetto.

In particolare, preso atto delle indicazioni dell'Autorità Marittima la quale ha espressamente richiesto il mantenimento in servizio dell'accosto attualmente in servizio, ubicato in prossimità della Stazione ferroviaria sul lato Ovest dell'attuale sporgente banchinato.

Si è ottemperato alla richiesta nell'attuale configurazione di progetto con rinuncia al preventivato riordino della darsena ovest, la quale si prevede che resti consolidata nell'attuale assetto.

GENERALITÀ

La tematica che sottende le manovre di ingresso ed uscita delle unità marittime da una struttura portuale insieme con le fasi e dinamiche di stazionamento all'ormeggio lungo i fronti d'accosto banchinati, costituisce essenziale valenza nella caratterizzazione di funzionalità di esercizio e di gestione di un sistema portuale.

La ricerca di ottimizzazione delle soluzioni va comunque condotta, segnatamente nel caso in studio, sia con riguardo ai campi specialistici dell'architettura e ingegneria navale, tecnica della navigazione, ingegneria portuale e idraulica marittima, sia, con estrema cura, alle ricadute e compatibilità dell'assetto funzionale dell'infrastruttura sulla città e ambiente urbano, entrambi marcatamente interconnessi e interdipendenti con le attività portuali vere e proprie nonché con le dinamiche delle mobilità, sia terrestre che marittima, generate da traffico commerciale, turistico e balneare.

In questo quadro è stata formulata la proposta progettuale, il proporzionamento e dimensionamento delle opere e la zonizzazione degli specchi acquei.

¹¹ Documentati nel resoconto della riunione operativa trasmesso successivamente dal competente Ufficio del medesimo Assessorato

Per il dimensionamento e la verifica dei canali di accesso e degli specchi liquidi necessari per le manovre delle imbarcazioni nelle fasi di ingresso, uscita ed accosto ai fronti d'ormeggio si è costantemente fatto riferimento alle linee guida e raccomandazioni redatte dai gruppi di lavoro e dal comitato tecnico del PIANC¹²

Tenuto naturalmente conto del fatto che la localizzazione del porto in attenzione risulta a sua volta ricompresa nell'originaria base militare di "La Maddalena" definita dalla costa sarda e delle isole di La Maddalena e S. Stefano; con accessi a ovest tra la Maddalena e Punta Sardegna - e al est da tra S. Stefano e Capo d'Orso, superficie questa che può, a buon titolo, a sua volta, venir considerata come un porto naturale.

L'ambiente marino negli spazi di approccio, come risultante dell'analisi meteo marina, risulta, come peraltro previsto nella prima parte dello studio meteo-marino, interessato unicamente da agitazioni di modesto contenuto¹³ energetico in quanto generate unicamente dagli eventi anemologici agenti all'interno degli specchi acquei interni all'ambito liquido facente parte dell'ex base navale di La Maddalena, e quindi condizionati dei limitati fetch di traversia identificabili all'interno di quest'ultimo..

Nello specifico, la valutazione delle condizioni di massima gravosità nello specchio acqueo, destinato dal progetto, alla realizzazione del terminale ferry boat in servizio con l'isola di La Maddalena, ha consentito di verificare che le agitazioni di picco associate ai due principali settori di traversia identificati, determinate in corrispondenza degli specchi acquei prospicienti il previsto piazzale banchinato, in corrispondenza di venti con velocità fino a 50 Kn, risultano sempre comunque compatibili con i limiti operativi delle unità addette al servizio traghetti (della categoria Ferry Boat di lunghezza tra i $\cong 70$ e gli $\cong 80$ m.)¹² anche in assenza di particolari opere di difesa.

Ciò anche in considerazione delle insignificanti ricorrenze statistiche del verificarsi di condizioni estreme, queste ultime rinvenibili nell'arco annuale solo per poche ore ($\cong 3-4$) distribuite normalmente nei mesi di fine anno.

¹² Permanent International Association of Navigation Congress massimo organo internazionale nel settore marittimo

¹³ In quanto prodotte unicamente all'interno di un ambito già ben ridossato dagli eventi meteo marini foranei

Va comunque precisato che quanto acquisito per le unità navali in servizio traghetti, non può ragionevolmente venire esteso all'esercizio degli accosti previsti per stazionamenti di lunga durata e/o permanenti, né all'accoglienza del naviglio minore da diporto, pesca e traffico.

A questo tipo di utenza corrisponde infatti una tipologia di naviglio caratterizzata da dimensioni comprese fra i 30 e i 50 ml di lunghezza che staziona, normalmente all'ormeggio per più giorni e che richiede pertanto condizioni di stazionamento caratterizzate da costanza di accettabili livelli di confort. Questo aspetto è addirittura dirimente per l'accoglienza di unità da diporto e pesca che normalmente ospitano armatore ed equipaggio per tutta la durata del soggiorno.

Trattasi inoltre di unità certamente meno predisposte dei ferry a sopportare anomale sollecitazioni durante l'attracco o lo stazionamento.

L'agibilità portuale (Figura 21Pg. 33), intesa come numero medio di giorni dell'anno in cui il porto è in condizioni di svolgere in sicurezza le proprie funzioni di traffico marittimo, nel caso di specie risulta sensibilmente prossima al 100%.

Posto che, sulla base di quanto accertato e come verrà argomentato in appresso, l'agibilità degli accosti destinati al traffico commerciale, con riguardo alle fasi di attracco e stazionamento in banchina risulta costantemente garantita nell'arco dell'intero anno.

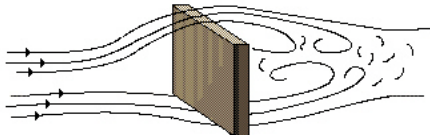
Per quanto attiene il naviglio di altre categorie (Pesca, diporto, traffico, istituzioni e casualmente ricovero unità Ferry Boat in servizio traghetto), l'agibilità dell'imboccatura portuale¹⁴ risulta adeguata e sufficiente, in relazione alle categorie di unità navali previste, sia per ampiezza, per le condizioni di esposizione meteo marina, caratteristiche geomorfologiche dei fondali e dalle capacità di manovra delle imbarcazioni.

14

FLOTTA IN SERVIZIO	LOA [m]	BEAM [m]	Draught [m]	G.T: [tsl.]
M/T ISOLA DI SANTO STEFANO	73,41	15,82	3,26	1342
M/T ISOLA DI CAPRERA	73,41	15,82	3,26	1342
M/T ENZO D	74,00	16,00	1,80	980
M/T PACE	77,74	16,52	3,51	1310
M/T AGATA	77,74	16,52	3,51	1310

A margine si ritiene doveroso fornire alcune brevi considerazioni sul ruolo che la ventosità dei luoghi sull'economia dell'accessibilità e gestione del terminale portuale.

Come noto, l'azione del vento esercitata sulla sagoma emersa del unità navale può risultare un elemento tutt'altro che trascurabile.



La semplice formula per la sua determinazione è la seguente:

$$F_T = C_R \cdot \frac{1}{2} u_\infty^2 \cdot \rho \cdot A_F$$

Dove :

- C_R coefficiente di resistenza, assunto pari a 0,8 considerando sagome assimilabili approssimativamente a forme rettangolari;
- u_∞ velocità del vento assunta pari a 93 Km/ora (50 Kts = 26 m/s)
- ρ = densità del fluido (aria)¹⁵
- A_F =area frontale

$$F_t = 0,8^{1/2} * 26^2 * 1,19 * A_f = 321,78 * A_f$$

Facendo riferimento alle unità in servizio a Palau si può rilevare che, a titolo di mero esempio, le unità gemelle Isola di S. Stefano e Isola di Caprera forniscono una superficie laterale valutabile in circa 650 mq. Mentre la sagoma in avanzamento sfiora i 280 mq.

Gli ordini di grandezza delle due azioni ,trasversale e longitudinale, risulteranno quindi rispettivamente

$$209.157 \text{ [newton]} \text{ pari a circa } 21,00 \text{ [t.]}$$

$$90.098 \text{ [newton]} \text{ pari a circa } 9,00 \text{ [t.]}$$

Risulta dunque che queste azioni, in condizioni di picco del vento, svolgano ruoli tutt'altro che trascurabili sia in fase di manovra d'accostamento che in fase di stazionamento all'ormeggio pur in presenza di moti ondosi entro i limiti preventivati.

¹⁵ La densità dell'aria si ricava dall'equazione dei gas perfetti. La massa molare dell'aria è 29 kg/kmol e, in condizioni normali di pressione e temperatura, abbiamo: $\rho = 100.000 / [(8.314/29) * 293] = 1,19 \text{ Kg/m}^3$

Possono verificarsi casi in cui l'azione eolica, investendo la nave trasversalmente renda particolarmente impegnativo l'accosto.

La situazione più favorevole, soprattutto con condizioni meteo impegnative, sia per la gestione della manovra d'accosto, che per la permanenza all'ormeggio, resta manifestamente quella nella quale la nave mantiene il suo asse il più possibile coincidente: sia con la direzione del vento che con quella d'avanzamento dei moti ondosi.

In questa ottica si ritiene utile la previsione di possibilità d'accosto lungo orientamenti differenziati (attracchi B e C oppure D) tra loro ortogonali che consentono la scelta della soluzione più confacente alle specifiche condizioni del momento.

ACCESSI AI FRONTI D'ACCOSTO DA PARTE DELLE UNITÀ FERRY BOAT

Il progetto prevede il mantenimento in servizio di n° 4 accosti dedicati al servizio traghetti, oltre a uno ulteriore che resterà disponibile per unità di dimensioni del medesimo ordine dei precedenti e, in caso di necessità per le unità traghetto medesime.

1. accosto "A": in prossimità della Stazione Marittima (attualmente in servizio) ubicato nello specchio acqueo definito dalla costa occidentale della rada di Palau (Palau Vecchia) e dell'attuale sporgente (piazzale) banchinato come esteso di ulteriori 65 ml, secondo progetto;
2. accosto "B": poppa sull'estremità settentrionale del piazzale in affianco sul lato ovest del pontile di attracco (larghezza 10 ml.) orientato a nord (in progetto) radicato in mezzeria del detto piazzale.
3. accosto "C": parallelo al precedente ("B") ma in affianco sul lato opposto (est) del medesimo pontile;
4. accosto "D": poppa perpendicolare all'estremità del fronte Est del piazzale banchinato e in affianco sul fronte nord della banchina antiriflettente di 100 ml. (larghezza 25 ml) orientata a est prevista dal progetto;
5. accosto "E": simmetrico al precedente ma sul lato interno (sud) della stessa banchina. Quest'ultimo accosto supplementare viene reso disponibile per le unità maggiori nella prospettiva di un impiego polivalente che consenta l'attracco (lunghezza fino a 80 m. e pescaggio ≤

4,00 ml) di grandi unità da diporto, traffico e in servizio istituzionale, ovvero per lo stazionamenti prolungati (in periodo invernale). di unità traghetto per interventi di manutenzione o simili.

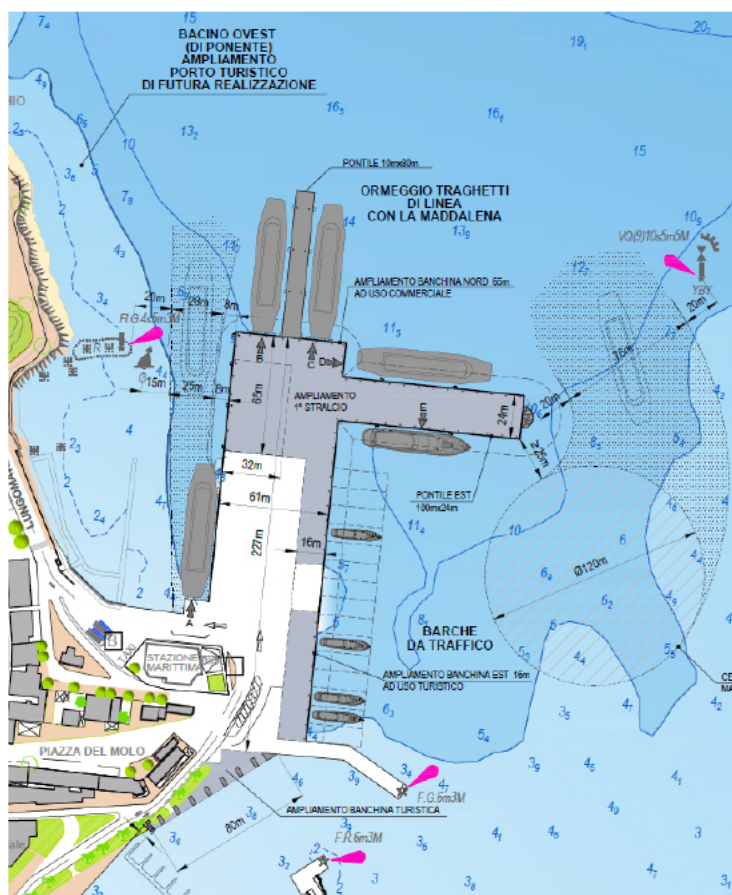


Figura 21 - schema degli accosti con intervento

L'accosto "A" ha l'evidente pregio della sua prossimità alla Stazione Marittima, aspetto che consentirà, soprattutto nella stagione più inclemente, l'imbarco/sbarco agevole dei passeggeri non autotrasportati. L'attracco resterà perciò attivo e funzionante. L'opportunità di una sua eventuale dismissione potrà venire esaminata solo dopo l'attuazione dell'intera struttura in progetto e, comunque dopo la messa in servizio di un percorso o servizio permanente di vettoriamento protetti dedicati a garantire ai privi di autoveicolo, l'agevole e comodo raggiungimento degli altri imbarchi

all'estremità nord del piazzale banchinato.

Esso occupa uno specchio acqueo caratterizzato da un buon ridosso¹⁶, oggi in parte occupato da un pontile d'ormeggio utilizzato per il mantenimento di piccole unità da diporto.

per il mantenimento di piccole unità da diporto.

L'accesso, grazie alla disponibilità della doppia rampa d'imbarco/sbarco prua poppa sulle unità in servizio, avviene in assenza necessità di particolari manovre.

L'unico elemento di criticità in fase di accosto è identificabile, nel tratto terminale (circa a 150 ml dall'accosto), in una formazione rocciosa affiorante che limita (in un solo punto) in larghezza il canale di accosto a circa 48,00 ml.

¹⁶ Destinato a ulteriore miglioramento con l'attuazione dell'estendimento a nord del piazzale banchinato

Questo conduce a prendere atto del fatto che, assunta la larghezza massima di occupazione del traghetto in manovra pari a 25 ml. (la larghezza delle unità ex SAREMAR è di 15,52 ml.), restano disponibili due franchi di sponda limitati 8 ml. sul lato banchinato e di 15 ml sul lato dell'ostacolo (cfr .Figura 21).

Pur relativamente contenuta, la larghezza complessiva disponibile risulta comunque congrua in considerazione del fatto che la criticità viene incontrata su uno specchio acqueo particolarmente ridossato e, in quanto il ferry, nella fase di accosto procede, in assenza di manovre evolutive, necessariamente a bassissime velocità e sotto il controllo dei thrusters di prua e di poppa.

Il accosti "B" e "C":- L'accosto avviene in assenza di particolari limiti o disagio. Infatti questi ultimi avvengono in sostanziale coincidenza con la rotta di navigazione, perciò in assenza di cambiamenti di rotta significativi.

In ogni caso l'ampio specchio acqueo disponibile consente, senza particolari limitazioni, eventuali manovre evolutive che venissero richieste da imprevisti o particolari contingenze.

Anche in situazioni meteo particolarmente gravose, rappresentate da burrasche associate alle visuali NW o E, caratterizzate da velocità di picco del vento anche superiori al limite dei 40 kn. di velocità (75 km/h)¹⁷, l'avvicinamento, l'accosto la partenza in sicurezza non presentano quindi particolari criticità comunque imputabili al livello di agitazione della superficie liquida.

Va inoltre ulteriormente rimarcato che, statisticamente, condizioni con venti superiori ai 40 Kn. possono verificarsi, nell'arco dell'anno, per un tempo complessivo di 5÷6 ore; con durate, per ciascun evento normalmente contenute addirittura entro frazioni di ora.

Si evidenzia dunque come, tale ricorrenza non risulta comunque in grado di arrecare sensibili compromissioni alla regolarità del servizio.

¹⁷ Cfr. rapporto meteomarinò

In definitiva, come evidenziato nel rapporto meteo marino, pur gravose, le situazioni di picco, in considerazione anche della loro trascurabile ricorrenza, non possono sensibilmente compromettere la navigazione, la manovra e/o lo stazionamento¹⁸ all'ormeggio delle unità in servizio.

Si evidenzia inoltre come, soprattutto nel corso di burrasche associate alle visuali del 1° e 2° quadrante può

risultare la convenienza dell'attracco alternativo sull'accosto "D"¹⁸ in modo da ottenere un ormeggio con l'asse della nave parallelo (o sub-parallelo) alla direzione del vento.

Della problematica, sollevata nel corso dell'incontro del 14/01/2020, riconducibile all'eventualità di interferenza alle manovre di accosto producibile dall'azionamento dei getti laterali delle unità in servizio nell'ormeggio su ambo i lati del pontile di prevista realizzazione a giorno (e pertanto non in grado di intercettare gli effetti idraulici) si fornisce puntuale conto in nel seguente riscontro idraulico esposto alla successiva xxx (Interazioni tra unità navali all'ormeggio sul pontile nord).

IV accosto "E": - come già precisato questo accosto costituisce una significativa estensione della possibilità del sistema portuale di Palau volta alla capacità di accoglienza di unità navali di dimensioni significative¹⁹. che, con il mantenimento dell'attuale assetto, attualmente non sarebbero ricevibili.

L'estensione delle prestazioni dell'organismo portuale è rivolto a unità navali da diporto, pesca e traffico nonché a quelle in servizio istituzionale. Tale capacità resta altresì a disposizione delle unità ferry boat in servizio di traghetto.

L'accosto implica considerando l'accesso oltre la congiungente la boa luminosa di segnalazione della "secca delle Piagge" e la testata della banchina orientata a est (accosti D e E) . la lunghezza della congiungente risulta poco maggiore di 110 ml.

La larghezza del passaggio risulta ampiamente adeguata al transito di unità di caratteristiche confrontabili con quelle in servizio traghetto.

¹⁸ Il periodo caratteristico di beccheggio delle unità navali in servizio non presenta alcun indice di possibile sincronia con il periodo T determinati per le possibili agitazioni di burrasca.

Il transito di un'unica unità disporrebbe infatti, assunta la corsia di manovra pari a $1,2 \cdot \text{BEAM}$ ($1,2 \cdot 16 \cong 20$ m.), di due franchi di sponda di circa 50. m. da ambo i lati, franchi questi ampiamente compatibili anche in caso di incrocio o compresenza di naviglio minore e, pur nell'improbabile eventualità di contemporaneo incrocio di unità di caratteristiche simili (soprattutto se provviste degli ormai usuali ausili di manovra) risulterebbe comunque adeguata¹⁹.

Nello specchio acqueo interno al passaggio è stata verificata inoltre la disponibilità di un cerchio di manovra soddisfacentemente adeguato all'evoluzione di unità caratterizzate dalle caratteristiche identificate precedentemente.

L'accessibilità dell'accesso allo specchio liquido interno e la manovrabilità di accosto, attracco e partenza risulta quindi garantita.

In definitiva il terminale risulta soddisfacentemente praticabile in tutte le condizioni di agitazione statisticamente preventivabili.

FRONTE D'ORMEGGIO PER GRANDI UNITÀ DA DIPORTO PESCA TRAFFICIE ISTITUZIONI IN ANDANA

Tra il la banchina E (100x25 ml. di lunghezza) radicata sul lato est dello sporgente banchinato principale e l'attuale molo di difesa foranea del porto turistico, con l'attuazione del progetto si renderà infine un fronte di accosto di lunghezza di circa 75 ml²⁰, ottenuto mediante l'estendimento con struttura a giorno dell'attuale fronte est con l'incorporamento dell'attuale sporgente di 16 ml., attualmente a servizio del secondo attracco attivo.

Il ridosso, pur parziale, garantito dalla banchina orientata ad "E". e i miglioramenti dell'agitazione prodotti dalle caratteristiche antiriflettenti del fronte medesimo assicurate dalla struttura porosa in progetto compresa nella realizzazione dell'allargamento²¹, rendono idoneo il fronte in parola all'accoglienza di unità (da diporto, pesca, traffico e istituzionali) di lunghezza superiore ai 20÷25 ml fino ai 50 e, occasionalmente, oltre.

¹⁹ Infatti, assunta la singola corsia di manovra dell'unità pari a $16+4 = 20$ ml, ritenuti congrui due franchi laterali di sponda di 25 ml. Per parte, resterebbe la distanza reciproca delle due unità pari a 30 ml.. Valori questi adeguati ai volumi di traffico comunque prevedibili per una struttura portuale quale quella in attenzione...

²⁰ L comprensivi dell'accosto "E"

²¹ Incorporamento dell'attuale sporgente di 16 ml.

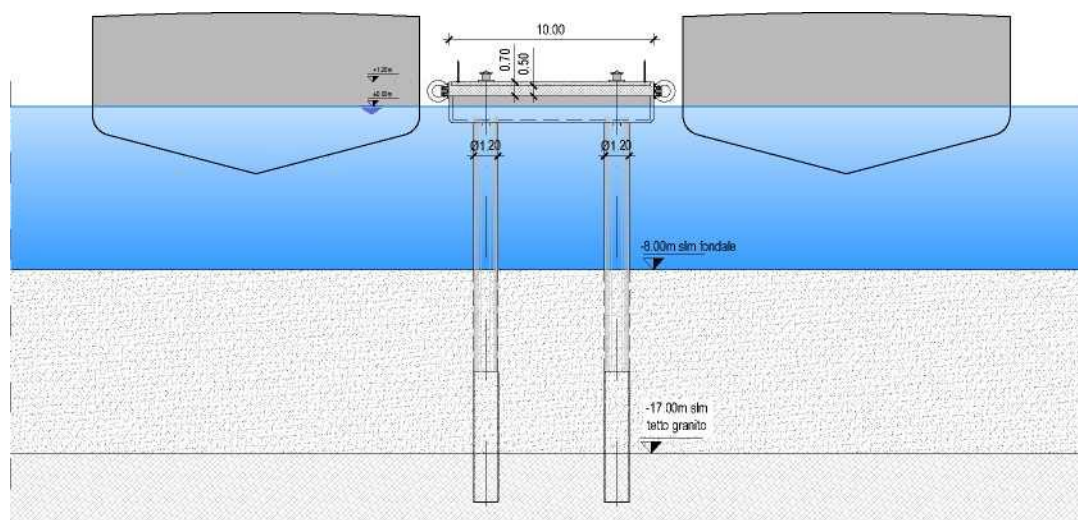
Si può quindi valutare, ipotizzando una larghezza media delle unità ospitabili di 10 m. (8÷16 m.), che il fronte in parola risulti in grado di accogliere agevolmente 7÷8 unità (comprensive dell'accosto "E") offrendo così un'ulteriore apprezzabile servizio aggiuntivo alle prestazioni offerte dalla struttura portuale di Palau.

L'agibilità dell'accosto è garantita infine dalla disponibilità di spazi di evoluzione, dalle condizioni di ridosso prodotte dalla nuova banchina e, non ultima, dal previsto orientamento E-W degli ormeggi in andana, secondo la direzione dei venti dominanti.

INTERAZIONI TRA UNITÀ NAVALI ALL'ORMEGGIO SUL PONTILE NORD

Circa le riserve su eventuali possibili inconvenienti prodotti dalle interazioni, tra due unità traghetto ormeggiati contemporaneamente ai lati del pontile Nord, delle correnti generate dall'attivazione dei rispettivi organi di manovra laterali (bow thruster) in fase di accosto e/o scostamento, ovvero delle onde passanti attraverso il pontile a giorno generate dalle unità in movimento²².

In appresso l'analisi della questione.



Relativamente agli effetti delle onde generate dalla nave in accosto o in partenza dal molo si osserva che l'altezza d'onda H dipende, secondo la formula proposta da BAW (*Bundesanstalt für Wasserbau, Merkblatt Rissbreitenbegrenzung für frühen Zwang in massiven Wasserbauwerken MPZ, 2011*), dalla velocità stessa della nave in moto ($H \propto v^{8/3}$), pertanto una nave in partenza o in accosto non può originare onde caratterizzate da caratteristiche energetiche significative.

²² Va precisate che, nelle fasi di progettazione precedenti alla riunione

Gli effetti indotti dalla corrente generata dai propulsori vengono di seguito analizzati, in accordo alla trattazione contenuta PIANC Report 180/2015 "*Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships*", tenendo conto delle seguenti dimensioni e caratteristiche della nave di progetto:

Massa (dislocamento) 1500 ton

Lunghezza fuoritutto 73.4m = 75m

Larghezza (beam) 15.8m = 16m

Pescaggio max 3.3m = 3.5m

Potenza max motori 2 x 1030 kW = 2060 kW

Eliche di propulsione 2 x Voith Schneider²³, installate in asse all'imbarcazione, una a prua ed una a poppa.

L'elica Voith Schneider (VSP) combina propulsione e governo in un'unica unità.

Questa soluzione unica di propulsione per navi è stata sviluppata 90 anni fa dall'ingegnere austriaco Ernst Schneider.

Oggi le eliche Voith Schneider sono utilizzate in tutto il mondo ovunque siano essenziali manovre precise, sicure ed efficienti. Il sistema risulta essere uno dei più performanti disponibili oggi sul mercato. Viene infatti normalmente adottato oltre che dalle unità ferry boat anche e soprattutto dai rimorchiatori portuali i quali per il supporto all'attracco di gradi unità devono disporre di un perfetto controllo di manovra.

L'entità e la direzione della spinta possono essere impostate in modo continuo e secondo necessità. Un disco circolare con pale mobili e controllabili installate ad un angolo di 90 gradi rispetto al disco ruota sul fondo della nave. L'entità della spinta è determinata dalla velocità di rotazione del disco; l'angolo della lama determina la direzione della spinta. Il sistema di propulsione è perfetto per manovre precise, anche in condizioni avverse.

Dimensioni eliche (vedi immagine seguente, tratta dalla brochure della Voith):

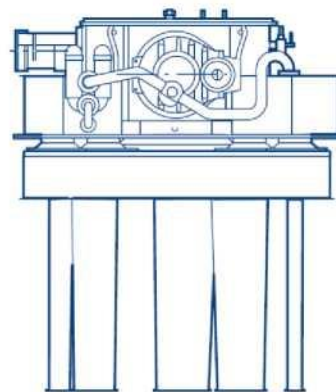
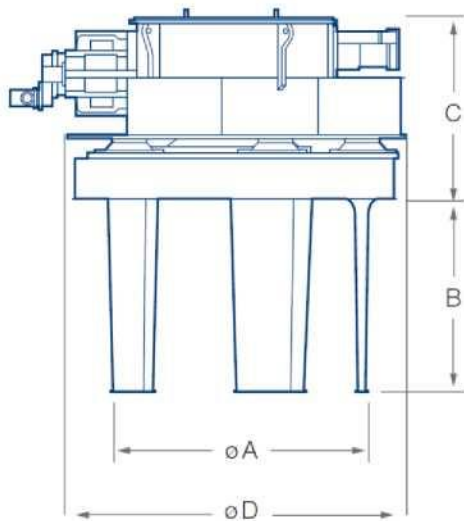
²³ È visionabile su internet ampia illustrazione del sistema (parole di ricerca "voith schneider propeller VSP")

B = 1766 mm

(VSP21)

ØD = 2815 mm

(VSP21)



La velocità del flusso in uscita dal propulsore V_0 è ottenuta in base a misure effettuate sui traghetti che collegano l'isola olandese di Texel alla terraferma, del tutto simili ai traghetti che collegano La Maddalena a Palau):

$$V_0 = 0.75 \cdot \left(\frac{f_p \cdot P}{\rho_w \cdot B \cdot \text{ØD}} \right)^{0.33} = 4.32 \text{ m/s}$$

$f_p=100\%$

percentuale di potenza massima erogabile considerata in direzione perpendicolare all'asse della nave ormeggiata;

$P=1030 \text{ kW}$

potenza massima del motore;

$\rho_w=1,025 \text{ ton/m}^3$

peso unitario dell'acqua

Nella zona di libera propagazione del getto (cioè per $x > 2.6 \cdot \text{ØD}$ e $\text{ØD}=7,3 \text{ m.}$) la velocità decresce lungo l'asse con la seguente legge (Fuehrer, Romisch, Engelke, 1981)

$$V_x = 2.6 \cdot V_0 \cdot \left(\frac{x}{\text{ØD}} \right)^{-1} = \frac{31.6}{x} \text{ m/s}$$

Considerando le dimensioni dei natanti, la larghezza del pontile e l'ingombro dei parabordo (ridotto al 50% per tener conto di un eventuale deformazione), la distanza netta tra la sezione di uscita del flusso e l'imbarcazione ormeggiata dal lato opposto del pontile risulta, con buona approssimazione, pari a: $x \cong 19,50 \text{ m}$.²⁴

²⁴ Metà larghezza nave + fender più larghezza pontile di attracco $[2 \cdot 0,8 + 16/2 + 10] = 19,50$

Se si considera una corrente di manovra perfettamente ortogonale all'asse della nave si avrebbe, sulla nave ormeggiata simmetricamente sul fronte opposto del pontile una corrente con velocità massima (cfr. Figura 22) al centro del flusso $v_{\max} = 1,6$ m/s.

Se si tiene conto del fatto che, di norma i flussi non sono perpendicolari all'asse nave, ma si sfrutta la corrente anche per l'avanzamento si ha nel caso di direzione a 45° $x = 19,50 / \cos 45^\circ = 27,60$

In tal caso la velocità massima della corrente che raggiunge l'altra nave risulterebbe:

limitata a $31,6 / 27,60 = 1,14$ m/s.

I valori determinati rappresentano il picco massimo di velocità del flusso generato dal propulsore; quest'ultima si riduce poi considerevolmente allontanandosi dalla direttrice di flusso, secondo la Figura 22 e relazione seguenti:

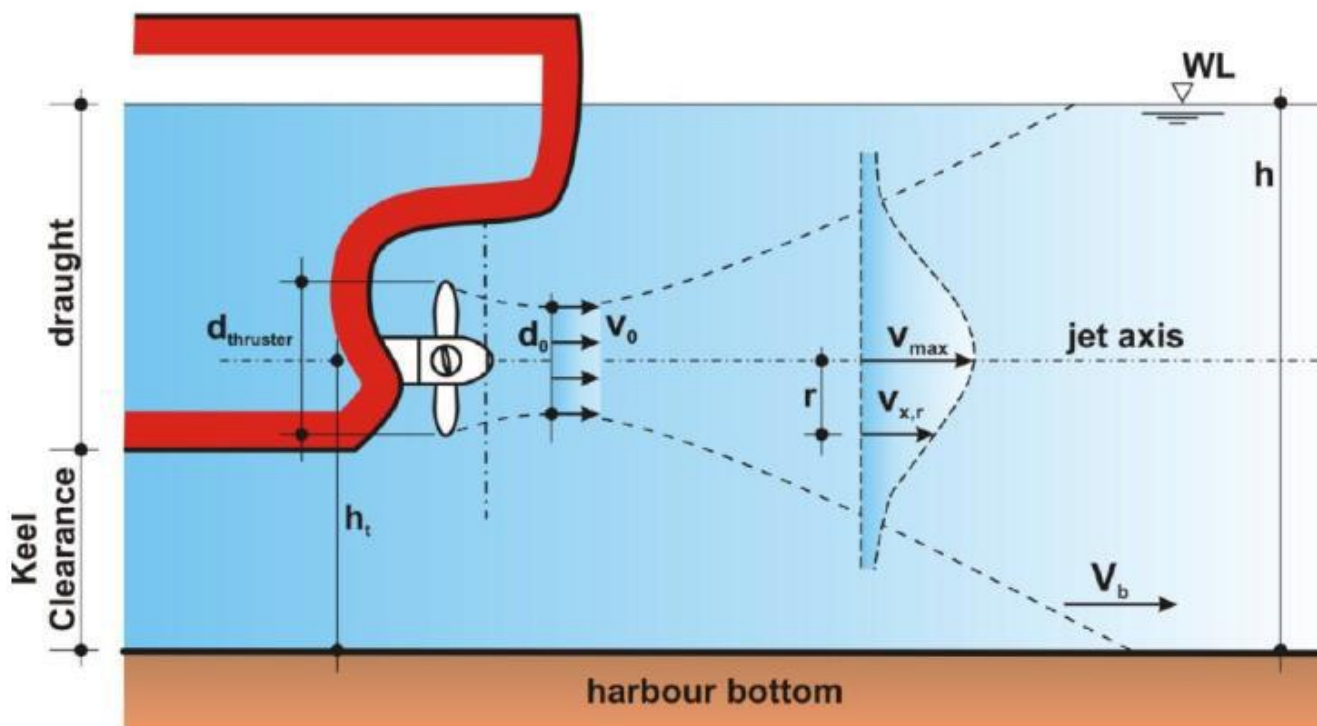


Figura 22 – identificazione dei limiti del flusso idraulico generato dal propulsore

$$V_{x,r} = V_x \cdot e^{-22.2 \frac{r^2}{x^2}}$$

Con r = distanza dall'asse x .

Considerando quindi:

le cautele adottate nella stima (potenza erogata corrispondente al limite superiore della potenza erogabile, distanza pari al limite inferiore della distanza teorica),
che tale velocità si smorza rapidamente allontanandosi dalla direttrice di propagazione (ad es. a 5 m dall'asse vale 0.20 m/s, ecc.),
che tale flusso, di effetto di per se trascurabile alla distanza imposta dalla larghezza del pontile di accosto, investe solo parzialmente e per pochi istanti l'eventuale unità navale ormeggiata sul lato opposto di quest'ultimo,
che la nave che subirebbe l'azione di trascinamento della corrente, risulta comunque vincolata al pontile mediante i propri dispositivi di ormeggio, le cui capacità superano con adeguati margini di sicurezza le massime sollecitazioni generate dalle azioni esterne (comunque potenzialmente ben più significative di quelle riconducibili agli aspetti in argomento)-
che, alla luce della transitorietà del fenomeno e del notevole franco libero sotto chiglia (underkeel clearance), non si ravvede alcun rischio che la corrente possa indurre oscillazioni di rollio per effetto "flutter" (simile all'instabilità flessione torsionale per gli impalcati dei ponti sospesi)²⁵,
si consideri infine che le performances del propulsore preso in esame sono caratterizzate da livelli di prestazione difficilmente superabili. I normali thrusters intubati sono infatti in grado di generare effetti idraulici ridotti rispetto quelli presi in esame.
In definitiva l'approfondimento svolto sopra conduce ad accantonare l'eventualità²⁶, pur presa in considerazione nelle fasi iniziali della predisposizione della proposta progettuale, della predisposizione di strutture a lastra longitudinali (lungo i le due file di pali portanti) con la funzione, grazie al sistema di luci predisposte con criterio di foronomia, di dissipare eventuali surplus di energia fluido dinamica potenzialmente suscettibili di produrre effettivo intralcio nell'esercizio dei fronti d'accosto.

²⁵ Il flutter si verifica infatti quando il braccio del momento esercitato dall'insieme delle forze esterne (vento, corrente, tiri di ormeggio, reazioni dei parabordo) rispetto al centro di gravità della nave, calcolato considerando anche la massa aggiunta, raggiunge un valore prossimo al raggio di inerzia della nave (Ottesen – Hansen, 1976).

Tale fenomeno è tuttavia di gran lunga ridotto tenuto conto nel caso in cui il franco libero sotto chiglia (underkeel clearance) sia notevole (si vedano le osservazioni riportate nel PIANC MarCom WG24 - Criteria for movements of moored ships in harbours - a practical guide, 1995). Nel caso in esame esso è superiore al pescaggio stesso dell'imbarcazione in corrispondenza degli ormeggi in questione.

²⁶ Sollevata nel corso della riunione operativa convocata dall'Assessorato dei Lavori Pubblici 14/01/2020 presso i propri Uffici, presenti l'Autorità Marittima competente e il Comune di Palau

Il pontile potrà dunque venire convenientemente realizzato perfettamente a giorno e quindi, a meno delle trascurabili interferenze prodotte dalle due palificate portanti l'impalcato di calpestio, trasparente ai flussi sia idraulici che meteo-marini.

CONSIDERAZIONI SUI POSSIBILI EFFETTI PRODUCIBILI DALLE NUOVE OPERE PORTUALI SULL'ASSETTO DEGLI ACCUMULI DETRITICI DI SPIAGGIA PRESENTI NELLA RADA DI PALAU

L'orografia del segmento costiero della Sardegna prospiciente l'arcipelago de La Maddalena, è caratterizzata da una successione di vallette che sboccano a mare formando veri e propri porti naturali (Porto Puddu, Cala di Trana, Rada di Mezzo Schifo, Rada di Palau, Cala dello Stintino, Golfo di Arzachena).

Questi porti naturali, in particolare la rada di Palau, si trovano, a loro volta all'interno di un grande ambito portuale costituito dall'ampio bacino protetto definito dal segmento costiero in parola e dal prospiciente insieme di isole costituenti appunto l'arcipelago. Tant'è, che questa caratteristica ha determinato, fin dall'epoca delle guerre napoleoniche e con alterne vicende, il costante mantenimento di una base navale militare al suo interno.

La rada di Palau, particolarmente ridossata, ospita, sia una darsena turistica che le strutture del porto commerciale interessato dall'intervento in epigrafe.

La rada risulta contornata, particolarmente nella sua parte più esterna, da roccia granitica più o meno alterata in superficie, caratterizzata da un caratteristico colore giallo rosato dovuto all'ossidazione dei minerali ferromagnesiaci in essa contenuti (biotite ed anfibolo), facente parte del basamento ercinico e pre-ercinico della Sardegna.

Al piede della formazione granitica lungo il lato orientale della rada (segmento costiero compreso tra due simboli a stella nelle seguenti Figura 23 e Figura 24) è presente, in corrispondenza delle rientranze della formazione lapidea, una successione di arenili più o meno estesi:

Questi ultimi, con ogni evidenza, risultano formati esclusivamente, grazie alla mobilitazione degli accumuli detritici prodotti dall'arenizzazione delle formazioni granitiche stesse (dovuta

all'ossidazione delle componenti ferrose, all'azione dei sali, all'umidità ecc) attraverso ruscellamenti di acque meteoriche, azione eolica, modellazione dei moti ondosi di riva, ecc..

Una secondo rilevante aspetto emerge dall'osservazione delle particelle di detrito osservabili lungo l'orlo sabbioso che, oltre alla spiccata corrispondenza petrografica con la formazione lapidea costiera, specialmente nelle zone retro battigia, sono caratterizzate da forme irregolari con mancanza di spigoli arrotondati, come dovrebbe risultare dell'azione modellatrice tipica degli effetti delle interazioni tra particelle che si producono nel caso gli accumuli siano prodotti ad opera di correnti e moti ondosi.

Tutto ciò conduce all'identificazione del fatto che le spiagge presenti non possano derivare da processi distributivi regolati da dinamiche costiere ma risultino da materiali stanziali prodotti in situ.

Anche sul lato ovest della rada è presente l'unica spiaggetta di "Palau Vecchia" alla quale possono venire applicate le medesime considerazioni già svolte.

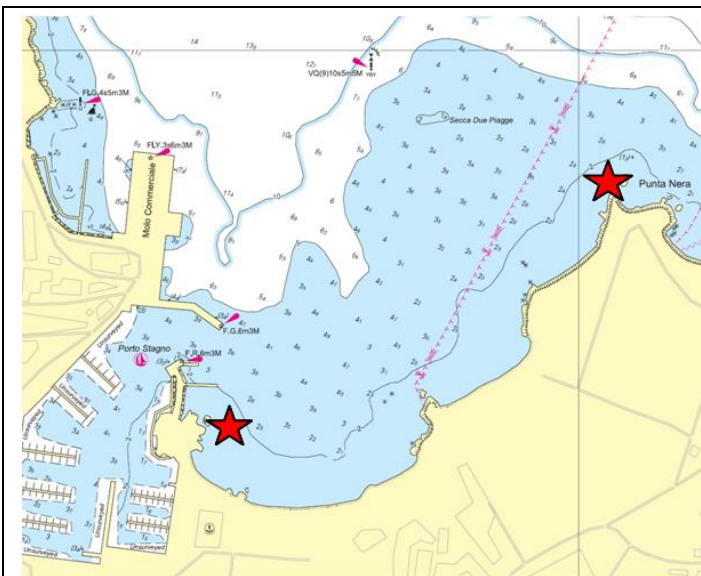


Figura 23 - assetto batimetrico della rada



Figura 24 - immagine zenitale all'attualità

MOTI ONDOSI

Ai fini del presente documento vengono presi in esame le possibili ricadute sugli equilibri costieri unicamente i regimi ondosi associati al quarto quadrante i quanto, a priori, gli unici suscettibili di incidere, pur marginalmente su questi ultimi.

La lettura delle figure da Figura 25 a Figura 28, ottenute precedentemente mediante modellazioni numeriche, consente, per quanto attinente gli eventi metrologici associati a visuali del IV quadran-

te, la valutazione delle modifiche dei moti ondosi che interverranno nella rada in dipendenza delle opere previste dal progetto

In particolare, tralasciando le considerazioni già svolte nella parte concernente il "rapporto meteo marino e sulla praticabilità del sistema portuale" si evidenzia come, nei confronti dell'ambito riguardante l'assetto fisiografico del segmento costieri di interesse risulta significativo quanto appreso:

Non vengono registrate alterazioni percettibili sull'andamento delle agitazioni incidenti a costa

Nel segmento costiero comprendente la spiaggia a E del porto turistico le nuove opere determineranno un'ulteriore contenimento dei valori di energia incidente.

Lungo la restante costa a NE della baia non si registrano variazioni significative

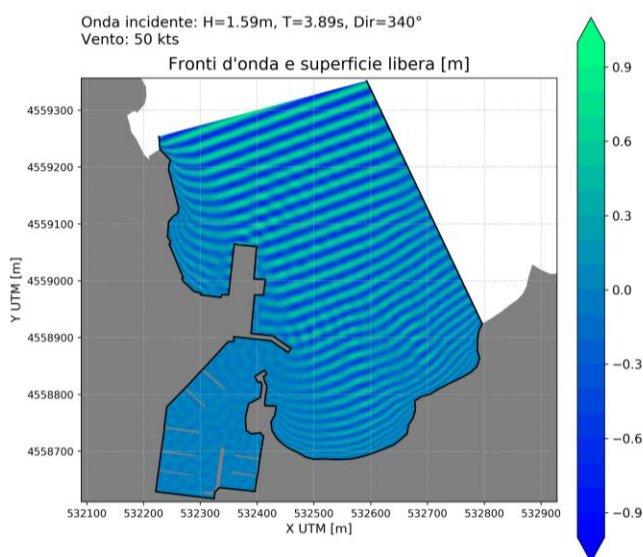


Figura 25 - senza intervento - avanzamento fronti d'onda per venti IV quadrante

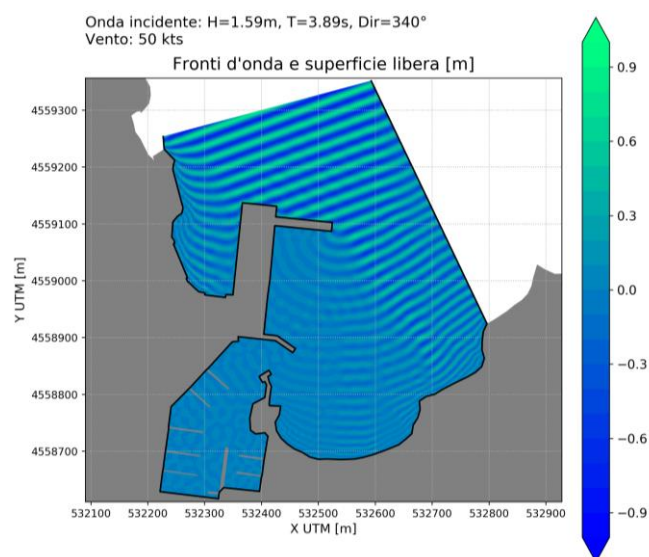


Figura 26 - con intervento - avanzamento fronti d'onda per venti IV quadrante

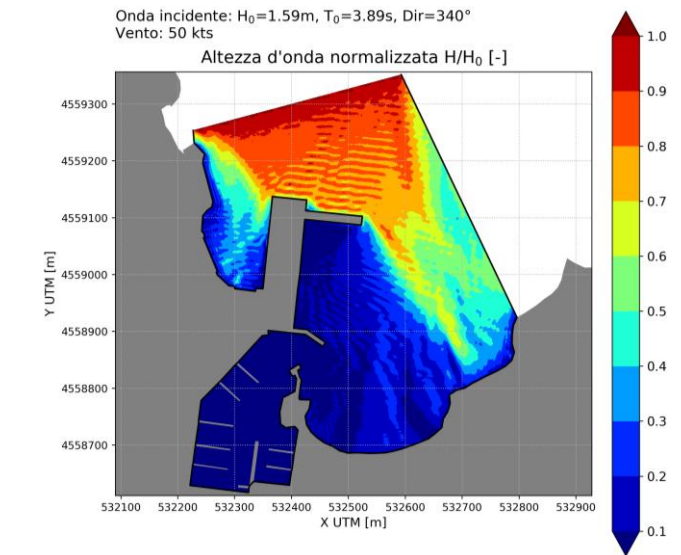
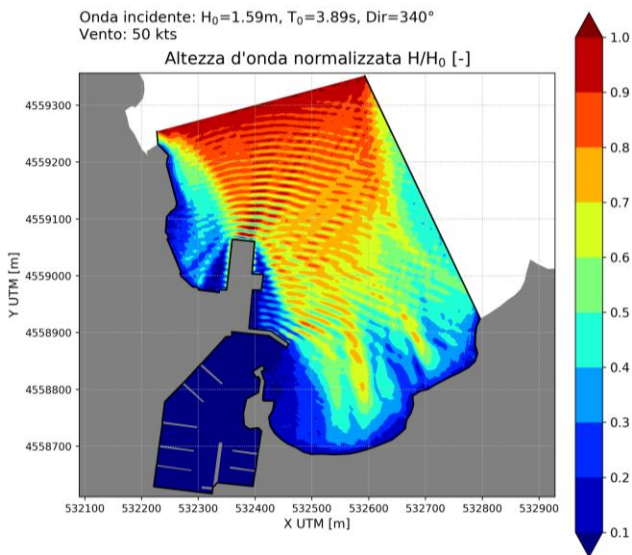


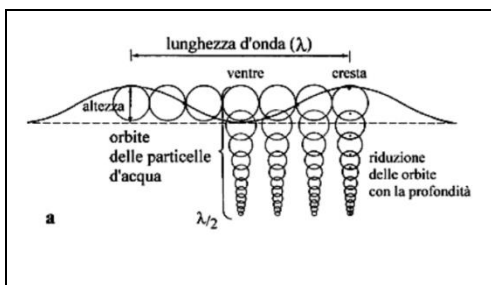
Figura 27 - Situazione senza intervento –altezze d’onda sugli specchi acquei in condizioni di picco per venti IV quadrante. . (Scala di lettura della barra laterale in $[H_i/H_0]$)

Figura 28 - Situazione con intervento –altezze d’onda sugli specchi acquei in condizioni di picco per venti IV quadrante. . (Scala di lettura della barra laterale in $[H_i/H_0]$)

Gli elementi evidenziati potrebbero venir presi in considerazione nel caso che i valori ondometrici in gioco (pre e post intervento) raggiungessero livelli di un certo rilievo.

Viceversa, nel caso di specie, i valori pre-intervento del segmento più meridionale variano da valori di picco dell’altezza d’onda di 0,60 cm a valori di picco post-intervento di una diecina di cm.

Mentre, per il secondo segmento più a NE, il regime ondoso (altezza 40÷60 cm di picco) non subisce variazioni sensibili con l’introduzione delle opere in progetto.



Ora, come noto, l’energia dei moti ondosi superficiali , si estende sotto la superficie secondo lo schema proposto nella figura a lato, riducendosi progressivamente fino ad annullarsi completamente (in caso di profondità elevate) ad una profondità pari

alla semilunghezza d’onda,

In caso tiranti d’acqua inferiore a tale ultimo valore, le interferenze con il fondale determineranno progressivamente, per attrito, una dissipazione dell’energia dell’onda e, nel caso di fondali limosi o sabbiosi e per valori energetici sufficienti, un mobilitazione del materiale di fondo.

In determinate condizioni, con il trasformarsi delle orbite delle particelle liquide da circolari ad ellittiche queste azioni potranno, con l’ulteriore riduzione dei tiranti d’acqua, dar luogo, si a selezione

dei materiali di fondo secondo le caratteristiche di forma e peso delle particelle, sia al loro trasporto e allocazione secondo meccanismi che non si ritiene utile approfondire in questa sede.

Per poter valutare la l'effettiva ricaduta degli attriti su fondo mobile dei moti ondosi, è stato identificato un parametro di riferimento definito su base statistica annuale:

Viene definita *profondità²⁷ di chiusura* il limite verso il mare dove le onde non sono più in grado di provocare mobilizzazioni sensibili del materiale detritico di fondo.

Di conseguenza, tanto più è elevata l'altezza d'onda tanto più la profondità di chiusura sarà distante da riva.

E' una grandezza che si determina, come accennato, statisticamente e su base annua, attraverso la formula di Hallermaier, che, identificata l'altezza di chiusura, con "h_c", considera H_{m0} come l'onda spettrale al largo che viene superata per almeno 12 ore l'anno.

$$\frac{h_c}{H_{m0}} = 2,28 - 68,5 \frac{H_{m0}}{g \cdot T_p^2}$$

Nel rapporto meteo marino elaborato in funzione il progetto in parola il le caratteristiche delle agitazioni in funzione del clima anemometrico del sito sono sinteticamente descritte nel prospetto che si richiama in appresso:

Tabella 6 - agitazioni di picco associate al settore di traversia Spargi determinate con teoria lineare

Intervalli di velocità del vento [kn]	<5	5÷10	10÷20	20÷30	30÷40	40÷50	>50
Ricorrenza [%]	0,32	1,10	1,00	0,28	0,08	0,03	0,01
Altezza H [m]	--	0,13	0,38	0,70	1,02	1,40	1,59
Periodo T [s]	--	1,6	2,35	2,9	3,35	3,7	3,89

Nel caso di specie un valore di prima approssimazione della profondità di chiusura, determinato, con criterio speditivo, sulla base di agitazioni corrispondenti a una classe di onde al largo con ricorrenza prossima alle 12 ore anno risulta, assunta, prudenzialmente, il range di condizioni ane-

²⁷ L'argomento, tra l'altro, è oggetto di precisazioni specifiche nell'ambito delle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici", che costituiscono "standard di settore" prodotti dall'Associazione Internazionale Permanente dei Congressi di Navigazione" (ora "Associazione internazionale di navigazione"), come riportato all'allegato 1 – punto 1 – 3° capoverso e all'allegato 2 – punto 1 – 3° capoverso del Decreto Interministeriale del 14.04.1998 "Approvazione di requisiti per la redazione di progetti da allegare ad istanze di concessione demaniale marittima per la realizzazione di strutture dedicate alla nautica da diporto".
Con voto del 27.02.2002n.212 la terza Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha espresso parere favorevole sulle raccomandazioni tecniche di che trattasi.

mometriche di 3030÷40 Kn, che si caratterizzano con ricorrenza percentuale annua pari allo 0,08% (0,08% di 365 = 7,01 [ore]), si ricava $H_{m0} = 1,02$ m con periodo caratteristico di 3,35 sec. (cfr Tabella 3).

Applicando la formula empirica proposta da Hallermeier risulta:

$$h_c = H_{m0} * [2,28 - 68,5 * (\frac{H_{m0}}{g * T^2})] = 1,02 * [2,28 - 68,5 * (\frac{1,02}{9,8 * 3,35^2})] = 1,68 \text{ m.}$$

Questo valore, consente di assumere, con ampio margine di certezza, che gli accumuli detritici costituenti gli orli sabbiosi presenti lungo la costa della rada di Palau risultano caratterizzati da capacità di spostamento o mobilità sostanzialmente nulle o, comunque limitate ad una fascia di pochi metri dalla battigia).

Ciò conferma quanto già accennato in premessa sulla base dell'esame visivo del paraggio, ovvero che gli arenili presenti, prodotti, con ogni evidenza, da prodotti di disgregazione del materiale granitico presente in sito accumulato nelle rientranze della linea di battigia grazie alle modeste agitazioni che raggiungono la fascia costiera.

Il modestissimo valore della profondità di chiusura ottenuto consente dunque, a priori, di escludere che il sistema fisiografico costiero possa venire interessato in alcun modo da fenomeni di trasporto litoraneo e, tanto meno possa subire influenza alcuna prodotta dall'inserimento, nella rada di Palau, delle opere portuali contemplate nel progetto.

Sulla base di quanto illustrato si ritiene superflua la valutazione delle ricadute correlabili con gli eventi meteo associati alle visuali orientali in quanto manifestamente insignificanti.

CORRENTI MARINE

Le correnti marine, (trascinamento, gradiente o marea) che interessano il canale compreso tra le isole dell'Arcipelago Maddalenino e la costa sarda, rappresentano un ramo secondario del più ampio meccanismo di scambio idrico tra il *mar tirreno centrale ovest* e il *mar di Sardegna*.

Il Mediterranean Operational Oceanography Network (MOON) e del Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa (GNOO), il G3O ha elaborato un servizio di monitoraggio climatologico previ-

sionale basato su modello numerico (comprendente le correnti marine) interessanti alcuni ambiti marini del Tirreno²⁸ tra i quali quelli dell'arcipelago della Maddalena.

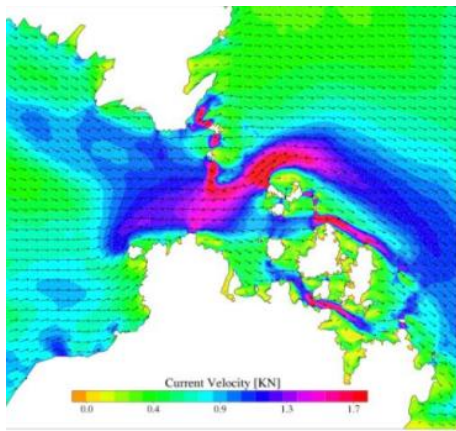


Figura 29 - esempio di distribuzione delle velocità e percorsi di trasporto delle correnti in direzione W→E

Le velocità rilevate nel canale di interesse compreso tra “Capo d’Orso” e “Punta Sardegna” (Figura 29) risultano normalmente contenute al di sotto di 0,5 Kn (pari a circa 0,25 m/s), solo in condizioni particolari si osservano valori di picco superiori che raggiungono eccezionalmente valori dell’ordine di 1,5 Kn (pari a circa 0,75 m/s).

Il flusso, transitando in corrispondenza della rada di Palau potrà, al più, generare, deviando parte della massa idrica in transito in corrispondenza dell’allargamento della sezione idraulica,

deboli correnti di ritorno con sviluppo nello specchio acqueo di quest’ultima, caratterizzate da andamento sub circolare con rotazione antioraria nel caso di corrente principale con direzione mar di Sardegna e, oraria nel caso opposto.

La velocità di trasporto di queste ultime, segnatamente lungo il perimetro della rada, non potrà necessariamente, per ragioni prettamente idrauliche, superare eventualmente valori superiori a pochi cm al secondo, a priori manifestamente insufficienti alla mobilitazione di detriti sabbiosi non in sospensione. Costituenti, questi ultimi, le frazioni limo argillose eventualmente presenti, comunque insignificanti per quanto riconducibile ad eventuali impatti sugli equilibri costieri e di spiaggia.

In definitiva, la considerazione del fatto che l’ambito costiero interessato dall’intervento in questione, risulta ridotto a una rada a sua volta ricompresa in un grande porto naturale chiuso da denso arcipelago Maddalenino e dalla prospiciente costa della Sardegna, è, come argomentato nell’epigrafe del presente documento, di per se sufficiente ad assicurare una apprezzabile esclusione, del possibile accesso alla rada di Palau di moti ondosi (anche residui) interessanti l’esterno (Bocche di Boifacio).

²⁸ Stretto di Sicilia - Mediterraneo occidentale - mari intorno alla Sardegna - Mare di Sardegna - Bocche di Bonifacio - Arcipelago di La Maddalena

Questa condizione riduce la possibile influenza dei moti ondosi sul sistema fisiografico, alle agitazioni generate all'interno dell'ambito degli specchia acquei protetti e quindi, data la limitata estensione dei fetch identificabili, caratterizzate da modesti contenuti energetici, insufficienti incidere in modo apprezzabile su dinamiche fisiografiche ed sugli assetti costieri.

Anche il regime delle correnti marine, sul quale non influisce, tra l'altro, il sistema principale delle correnti Mediterranee asservite strutturalmente ai gradienti di salinità e densità, nonché alle variazioni climatiche, risulta governato essenzialmente dalle maree e dal regime anemometrico e quindi con parametri di velocità sempre piuttosto contenuti.

Ciò posto, quanto sopra illustrato si reputa congruamente esaustivo alla dimostrazione dell'insignificante ricaduta che l'introduzione delle opere in progetto sarà suscettibile di generare sugli equilibri costieri attualmente osservabili.

CONCLUSIONI

Considerato il variegato contesto di esigenze di improrogabile rimedio, nonostante la rete di insuperabili limitazioni, che caratterizza la situazione del sistema di erogazione di sovrapposti servizi spesso tra loro configgenti dei quali Palau è ormai insostituibile titolare e responsabile.

La proposta progettuale, rappresenta una, pur non completamente risolutiva, soluzione di alleggerimento di alcuni importanti aspetti del disagio indotto dal ruolo di Palau nella sua funzione di principale porta d'accesso al sistema balneare e ambientale rappresentato dalle isole dell'arcipelago di La Maddalena e, più in generale delle Bocche di Bonifacio,

L'intervento, se parallelamente supportato dall'attivazione di un funzionale percorso viario asservito al traffico portuale e non gravante sul tessuto urbano, potrà sollevare quest'ultimo dal disagio prodotto dalle attività portuali e dall'occupazione degli spazi dell'abitato da parte degli autoveicoli esuberanti la capacità dei piazzali attualmente insufficienti.

L'allontanamento degli attracchi e dei punti d'imbarco/sbarco, insieme al potenziamento della capienza dei piazzali banchinati consentirà, conformemente agli obiettivi prefissi, una gestione delle attese degli utenti il servizio, non invasiva dagli spazi urbani con una conseguente più netta indipendenza delle attività del porto commerciale dalla vita dell'abitato.

Accanto a questo risultato il progetto produrrà un prezioso incremento delle prestazioni portuali con la creata possibilità di offrire possibilità di accoglienza a unità da diporto, pesca e traffico di caratteristiche all'attualità non sopportabili.

Sassari addì 04/03/2020



Ing. Antonio Ruju