



Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale

PORTO DI BARI

**REALIZZAZIONE DI DENTE DI ATTRACCO ALLA BANCHINA
"CAPITANERIA" NELLA DARSENA INTERNA MOLO S. VITO**

[CUP B91C18000160005]

DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO TECNICO:

Ing. Francesco DI LEVERANO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Annunziata ATTOLICO

LIVELLO PROGETTUALE:

- FATTIB. TECNICO ECONOMICA
- DEFINITIVO
- ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO:

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

STUDIO DEL CLIMA METEOMARINO, DELL'AGITAZIONE ONDOSA E DELLE CORRENTI
DI CIRCOLAZIONE ALL'INTERO E ALL'ESTERNO DEL BACINO PORTUALE

N. ELABORATO:

AMB.05

NOME FILE:

PRIMA EMISSIONE ED EVENTUALI REVISIONI:

17.01.2019

SCALA:



AUTORITA' PORTUALE DEL LEVANTE

Porti di Bari, Barletta e Monopoli



POLITECNICO DI BARI

Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica
Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC)



Definizione del clima meteomarinò del paraggio del Porto di Bari e studio, con idonei modelli matematici, dell'agitazione ondosa e delle correnti di circolazione all'interno e all'esterno del bacino portuale, sia con l'attuale configurazione delle opere che con quelle in progetto e/o in programmazione.

Responsabile scientifico: prof.ing. Antonio Felice PETRILLO

Bari, marzo 2012

CONVENZIONE

tra



e



POLITECNICO DI BARI

Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica
Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC)

Definizione del clima meteomarinario del paraggio del Porto di Bari e studio, con idonei modelli matematici, dell'agitazione ondosa e delle correnti di circolazione all'interno e all'esterno del bacino portuale, sia con l'attuale configurazione delle opere che con quelle in progetto e/o in programmazione

Bari, marzo 2012

Gruppo di Lavoro

Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica (D.I.A.C.)

Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (L.I.C.)

STUDIO DEL CLIMA METEOMARINO E DELL'AGITAZIONE ONDOSA
ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE

prof. ing. Antonio Felice Petrillo

prof. ing. Leonardo Damiani

ing. Maria Francesca Bruno

ing. Biagio Nobile

STUDIO DELLE CORRENTI DI CIRCOLAZIONE

prof. ing. Michele Mossa

ing. Francesca De Serio

INDICE

PREMESSA	5
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	7
1.1 SETTORE DI TRAVERSIA E FETCH DEL PARAGGIO	7
1.2 PIANO REGIONALE DELLE COSTE	10
1.3 ATLANTE DELLE SPIAGGE	11
2 CLIMA METEOMARINO	13
2.1 CLIMA ANEMOMETRICO	13
2.1.1 GENERALITA'	13
2.1.2 FONTE DEI DATI	13
2.1.3 LA STAZIONE ANEMOMETRICA DI BARI	15
2.1.3.1 Frequenze di apparizione annuali	17
2.1.3.2 Frequenze di apparizione stagionali	19
2.1.4 LA STAZIONE ANEMOMETRICA DI BRINDISI	25
2.1.4.1 Frequenze di apparizione annuali	26
2.1.4.2 Frequenze di apparizione stagionali	28
2.1.5 ANALISI DEI RISULTATI	34
2.2 CLIMA ONDOSI AL LARGO	36
2.2.1 LA BOA DI MONOPOLI	36
2.2.2 ANALISI DEI DATI	43
2.2.2.1 Frequenze di apparizione annuali	43
2.2.2.2 Frequenze di apparizione stagionali	48
2.2.3 RELAZIONE PERIODO – ALTEZZA	53
2.2.4 ONDE EQUIVALENTI	56
2.2.5 EVENTI ESTREMI	59
2.3 MOTO ONDOSI SOTTOCOSTA	66
2.3.1 IL MODELLO MATEMATICO SWAN	66
2.3.2 GRIGLIE DI CALCOLO	69
2.3.3 PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI	73
3 AGITAZIONE ONDOSI INTERNA	85
3.1 GENERALITA'	85
3.2 CONDIZIONI ONDOSE AMMISSIBILI	85

3.3	IL MODELLO MATEMATICO MIKE 21 BW.....	90
3.3.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO	90
3.3.2	PARAMETRI DI CALCOLO	91
3.3.3	APPLICAZIONE DEL MODELLO	99
3.3.3.1	LAYOUT 0	125
3.3.3.2	LAYOUT 1	125
3.3.3.3	LAYOUT 2.a	126
3.3.3.4	LAYOUT 3	127
3.3.3.5	Soluzioni alternative LAYOUT 2	128
4	CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA.....	144
4.1	IL MODELLO MATEMATICO MIKE 21 HD	144
4.1.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO	144
4.1.2	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO	145
4.1.3	ANALISI DEI RISULTATI.....	150
4.1.3.1	LAYOUT 0	152
4.1.3.2	LAYOUT 1	153
4.1.3.3	LAYOUT 2.a	154
4.1.3.4	LAYOUT 3	155
4.1.3.5	LAYOUT 2.b	156
4.1.4	VALUTAZIONE DELL'INDICE DI VELOCITA'	157

PREMESSA

La presente relazione è stata redatta nell'ambito della Convenzione stipulata tra l'Autorità Portuale del Levante ed il Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica del Politecnico di Bari (Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste – LIC), avente come oggetto la *“Definizione del clima meteomarinario del paraggio del Porto di Bari e studio, con idonei modelli matematici, dell'agitazione ondosa e delle correnti di circolazione all'interno e all'esterno del bacino portuale, sia con l'attuale configurazione delle opere che con quelle in progetto e/o in programmazione”*.

Il presente studio si inserisce nell'ambito delle progettazioni predisposte dall'Autorità Portuale per l'attuazione di un programma di interventi infrastrutturali nel Porto di Bari che prevedono la realizzazione di nuove opere, in parti conformi al Piano Regolatore Portuale (P.R.P.) vigente, ed in parte in variante.

Lo studio dell'agitazione ondosa residua e delle correnti di circolazione all'interno del bacino portuale è stato condotto con idonei modelli matematici in varie configurazioni dell'assetto delle opere interne portuali in cui sono stati rappresentati i seguenti interventi infrastrutturali:

LAYOUT 0:

0. configurazione attuale dei fondali e delle strutture interne portuali;

LAYOUT 1:

1. completamento della colmata di Marisabella;
2. realizzazione del nuovo molo Pizzoli;
3. realizzazione della nuova darsena della Capitaneria di Porto;
4. dragaggio dello specchio acqueo lungo il canale di accesso al nuovo molo Pizzoli fino alla batimetrica -12m;
5. dragaggio della darsena vecchia fino alla batimetrica -6m;
6. dragaggio della darsena interna fino alla batimetrica -7m.

LAYOUT 2.a:

7. realizzazione di un nuovo molo crocieristico nella darsena di Ponente (L=350m; banchina a sezione piena con celle antirisacca sui bordi esterni);
8. realizzazione di nuovi attracchi ro-ro nella darsena interna;

-
9. dragaggio in corrispondenza del bacino di evoluzione interno portuale fino alla batimetrica -12m.

LAYOUT 3:

10. realizzazione di un porto turistico sul molo San Cataldo.

Nel presente studio sono state inoltre valutate tre soluzioni costruttive alternative per la realizzazione del nuovo molo crocieristico nella darsena di Ponente; le tre ipotesi progettuali alternative in parola consistono rispettivamente in:

LAYOUT 2.b banchina a platea poggiata su moduli in cassoni cellulari con celle antirisacca sul perimetro esterno (dim = 20m x 30m; luce ~ 45m);

LAYOUT 2.c banchina a platea poggiata su piloni circolari (D = 30m; luce ~ 30m);

LAYOUT 2.d banchina a platea poggiata su pile imbasate su cassoni cellulari sommersi fino alla profondità -2.0m.

1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

1.1 SETTORE DI TRAVERSIA E FETCH DEL PARAGGIO

Il paraggio di Bari è ubicato lungo il versante adriatico della costa pugliese (figura 1.1.1).

A partire da un punto fissato al largo sono stati tracciati i fetch geografici, dove per fetch geografico si intende la distesa di mare libero entro cui il vento spira con velocità e direzione costanti; il fetch geografico, quindi, rappresenta la porzione di mare, nella direzione del vento, sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso ad opera dell'azione esercitata dal vento. Il settore di traversia geografico del paraggio di Bari comprende tutte le direzioni comprese tra 285°N e 125°N (figura 1.1.2).

Il fetch efficace viene introdotto invece per considerare sia l'effetto della larghezza del fetch, sia



Figura 1.1.1 – Inquadramento territoriale.

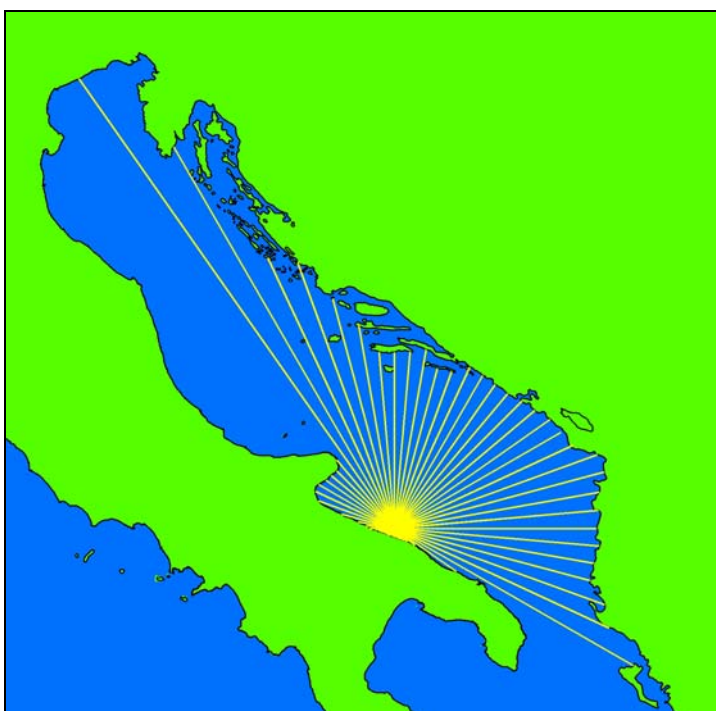


Figura 1.1.2 - Distribuzione dei fetch geografici.

l'effetto della dispersione direzionale dell'energia dell'onda sullo sviluppo e propagazione dell'onda. L'uso dei fetch efficaci è particolarmente appropriato nei mari di dimensioni ridotte sottoposti a perturbazioni ondose di lunga durata.

I fetch efficaci $F_{e,w}$ sono stati calcolati ogni 5 gradi, utilizzando la relazione:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)} \quad (1.1.1)$$

in cui:

- $F_{e,w}$ è la lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w ;
- F_i è la lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima ϕ_i ;
- ϕ_w è la direzione media (riferita al Nord geografico) di possibile provenienza del vento;
- $\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$ è la direzione i-esima (riferita al Nord geografico) relativa ad un settore di ampiezza 2θ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w ;
- θ è l'ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta = \pm 45^\circ$, mentre Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta = \pm 90^\circ$;
- n è un termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume $n = 2$).

L'equazione (1.1.1) deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup 1954, Seymour 1977, Smith 1991). Detto procedimento di fatto impone che la distribuzione dello spettro di energia del moto ondoso abbracci un settore di $\pm 90^\circ$ rispetto a ciascuna direzione del vento considerata e che ogni direzione, compresa in tale settore, fornisca un contributo energetico proporzionale al quadrato del coseno dell'angolo che essa forma con la direzione in cui spira il vento.

In tabella 1.1.1 sono riportati i valori dei fetch geografici misurati e dei fetch efficaci calcolati con la relazione (1.1.1); nel grafico di figura 1.1.3 sono rappresentati tutti i dati acquisiti.

dir (°N)	fetch geografico (km)	fetch efficace (km)	dir (°N)	fetch geografico (km)	fetch efficace (km)	dir (°N)	fetch geografico (km)	fetch efficace (km)
0	172	227	120	294	139	240	11	16
5	190	227	125	81	124	245	12	19
10	194	225	130	28	110	250	13	23
15	177	213	135	19	97	255	15	27
20	179	202	140	17	83	260	17	32
25	187	199	145	15	70	265	20	36
30	189	197	150	14	58	270	25	41
35	188	196	155	13	46	275	30	46
40	188	197	160	12	35	280	39	65
45	193	199	165	10	24	285	58	85
50	196	202	170	10	14	290	86	102
55	203	204	175	10	11	295	93	119
60	209	206	180	9	10	300	94	135
65	207	209	185	9	10	305	90	150
70	231	213	190	9	10	310	88	164
75	232	217	195	8	10	315	87	177
80	222	215	200	7	9	320	96	189
85	219	211	205	7	9	325	500	199
90	217	204	210	8	10	330	472	208
95	220	197	215	9	10	335	319	215
100	216	187	220	10	10	340	303	220
105	216	177	225	10	11	345	255	223
110	239	165	230	10	12	350	220	226
115	272	152	235	11	13	355	190	227

Tabella 1.1.1 - Fetch geografici ed efficaci nel paraggio del porto di Bari.

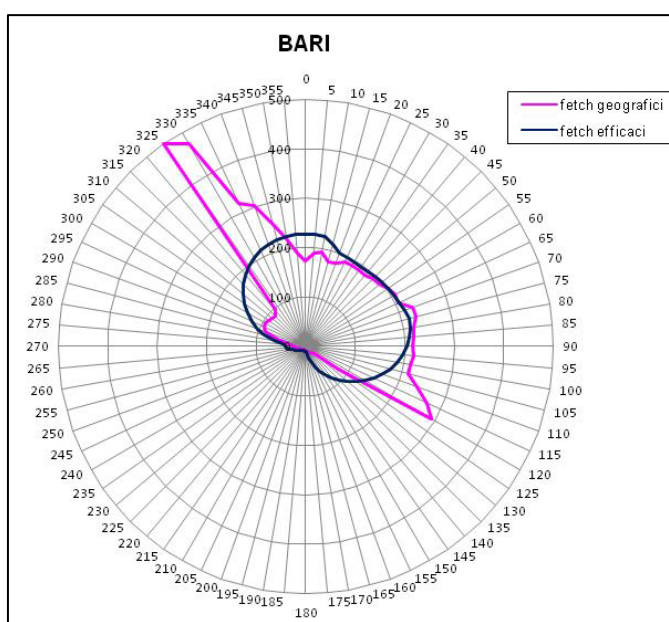


Figura 1.1.3 - Fetch geografici (magenta) ed efficaci (blu).

L'estensione del fetch è maggiormente pronunciata verso le direzioni interessate da venti di Levante (Est) e Maestrale (NO), arrivando fino a circa 500 km di lunghezza per la direzione di 325°N. Tra le direzioni 130°N e 280°N i fetch sono meno estesi in quanto intercettano le coste della stessa Puglia; le componenti di mare libero provenienti dal primo quadrante non sono trascurabili e possono dare origine ad eventi di moto ondoso molto importanti.

Dalla distribuzione planimetrica dei fetch efficaci calcolati si deduce un settore di traversia efficace, considerando un valore minimo del fetch pari a 100km, compreso tra le direzioni 290°N e 130°N.

1.2 PIANO REGIONALE DELLE COSTE

Nell'ambito del *Piano Regionale delle Coste (PRC)*, approvato dalla Regione Puglia in base alla Delibera di Giunta Regionale n. 2273 del 13/10/2011 (Boll. Uff. n. 174 del 09/11/2011), il porto di Bari segna il confine tra l'Unità Fisiografica principale denominata "U.F. 2" (Testa del Gargano- porto di Bari, L = 179km), e l'Unità Fisiografica "U.F. 3" (porto di Bari – Punta Penne, L = 184km).

Nel *PRC* sono stati individuati su tutta la fascia demaniale della costa pugliese differenti livelli di criticità all'erosione dei litorali sabbiosi e differenti livelli di sensibilità ambientale associata alle peculiarità territoriali del contesto.

La criticità all'erosione è stata definita in funzione di tre indicatori che individuano la tendenza evolutiva storica del litorale, la tendenza evolutiva recente e lo stato di conservazione dei sistemi dunali; la criticità all'erosione viene distinta in elevata, media e bassa (C1, C2 e C3). La sensibilità ambientale è stata definita in funzione di una molteplicità di indicatori che rappresentano lo stato fisico della fascia costiera (comprendente l'area demaniale e il suo contesto territoriale di riferimento) in relazione al sistema delle norme di tutela che ne sottolineano la valenza ambientale; la sensibilità ambientale viene distinta in elevata, media e bassa (S1, S2 e S3).

In base alle definizioni precedentemente richiamate il tratto di litorale nelle immediate vicinanze del porto di Bari (figura 1.2.1) è stato classificato come litorale di bassa criticità all'erosione (C3) e bassa sensibilità ambientale (S3), a meno di un breve tratto a nord della foce della Lama Basile con elevata sensibilità ambientale (S1).

Si ricorda qui che gli studi preliminari per la redazione del *PRC* si conclusero nel 2007 e per la definizione della criticità all'erosione dei vari tratti sabbiosi furono prese in considerazione la linea di riva del 1992 e l'ultima disponibile, ossia quella ricavata dalle ortofoto del 2005.



Figura 1.2.1 - Classificazione del litorale riportata nel Piano Regionale delle Coste.

1.3 ATLANTE DELLE SPIAGGE

Uno strumento ampiamente utilizzato per l'inquadramento geomorfologico dei litorali italiani è l'*Atlante Italiano delle Spiagge* (1997), redatto da ricercatori afferenti a diverse sedi universitarie e con il finanziamento del CNR.

L'*Atlante Italiano delle Spiagge* dà un quadro omogeneo di tutti i litorali italiani; esso è costituito da 108 fogli in scala 1:100.000 compilati in un intervallo temporale che va dal 1981 al 1995; il litorale limitrofo al porto di Bari è riportato nei fogli n. 177 e n 178 dell'*Atlante* (figura 1.3.1; dettaglio dell'area di intervento in figura 1.3.2).

Dall'analisi delle figure si evidenzia che il litorale in prossimità del porto di Bari è caratterizzato da costa rocciosa, a tratti arretrata rispetto alla battigia con formazione di spiagge sabbiose o ciottolose.

La spiaggia sommersa ha una pendenza media compresa tra 0.2 ÷ 1.0% lungo il litorale a Nord del porto, e 1.0 ÷ 1.8% lungo il versante a Sud. La costa risulta

difesa con numerose opere di protezione costituite da barriere emergenti distaccate o da sistemi di difesa radenti. Il verso del trasporto solido è indicato da Nord verso Sud.



Figura 1.3.1 - Inquadramento geomorfologico – Atlante delle Spiagge Italiane (CNR 1997).

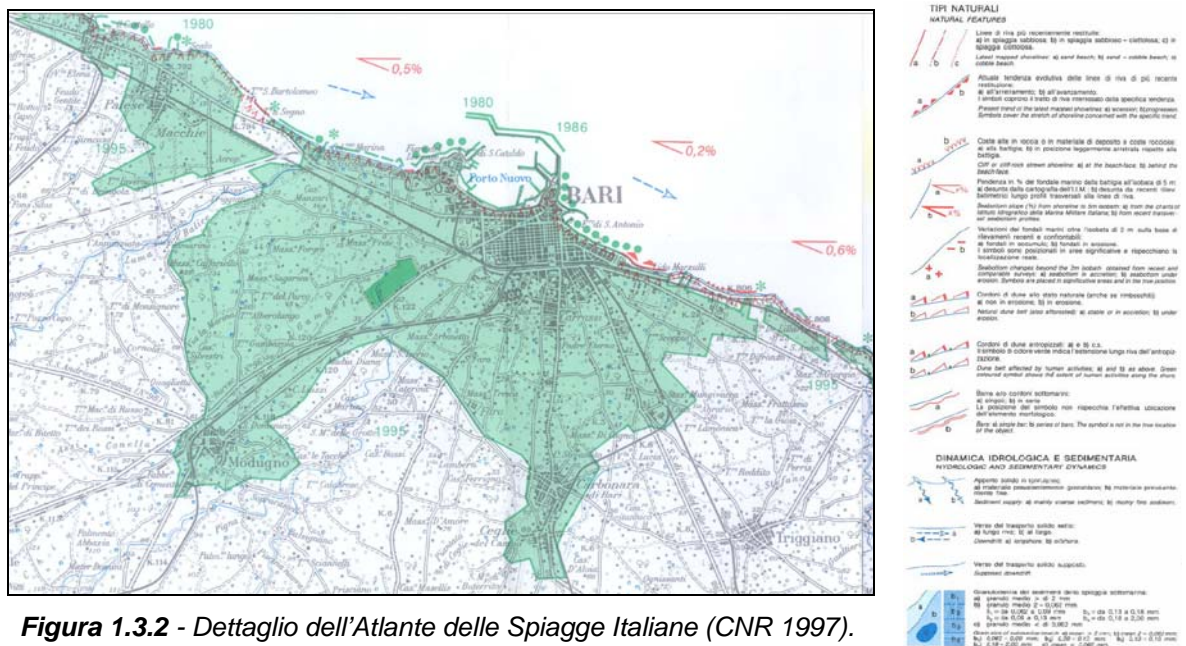


Figura 1.3.2 - Dettaglio dell'Atlante delle Spiagge Italiane (CNR 1997).

2 CLIMA METEOMARINO

La definizione del clima ondoso in un paraggio ha sostanzialmente due obiettivi: la ricostruzione del clima meteomarinario medio al largo e la determinazione della probabilità di occorrenza delle onde estreme.

Il calcolo delle onde estreme si effettua elaborando statisticamente le caratteristiche delle mareggiate di maggiore intensità che si sono verificate nel paraggio, giacché quelle di altezza più bassa non influenzano le previsioni effettuate.

Per quanto riguarda la ricostruzione del clima meteomarinario al largo, in letteratura sono presenti diverse metodologie sia con metodi indiretti (a partire dai dati di vento), sia con metodi diretti (a partire da misure sullo stato ondoso).

In entrambi i casi è necessario disporre di serie storiche piuttosto lunghe per conferire affidabilità alle procedure di tipo statistico necessarie per la previsione degli eventi estremi e per la ricostruzione del clima ondoso medio.

2.1 CLIMA ANEMOMETRICO

2.1.1 GENERALITA'

Lo studio anemometrico è stato condotto attraverso l'analisi delle serie storiche delle stazioni di Bari-Palese e di Brindisi che sono rappresentative dei venti che interessano il litorale barese e le cui registrazioni possono essere utilizzate per raccogliere informazioni sui campi di vento in mare.

2.1.2 FONTE DEI DATI

Ai fini della ricostruzione del moto ondoso, occorre una conoscenza abbastanza accurata del campo di vento, ottenibile solo attraverso osservazioni continue nel tempo ed in posizioni che non risentano eccessivamente delle interazioni vento – superficie terrestre. Dette rilevazioni si ottengono attraverso anemometri, generalmente installati a 10m di altezza sul piano campagna, i quali forniscono direzione di provenienza e intensità dei venti, rappresentativi di un'area relativamente estesa.

Attualmente in Italia esistono diversi Enti che si occupano del rilevamento sistematico del vento, anche se i dati più affidabili, per standard di acquisizione e per

dimensione delle serie storiche disponibili, sono quelli rilevati dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare.

Esso acquisisce i dati di vento in superficie ed in quota, attraverso una rete di circa 150 stazioni dislocate sul territorio nazionale in modo opportuno e principalmente al fine di soddisfare esigenze aeronautiche (figura 2.1.2.1); in seguito alcune stazioni sono passate sotto la gestione dell'Ente Nazionale di Assistenza al Volo (ENAV).

I sensori anemometrici attualmente in uso presso le stazioni dell'Aeronautica Militare sono del tipo a tubo di Pitot e

forniscono intensità e direzione del vento; molti sensori sono stati di recente sostituiti. Essi effettuano registrazioni triorarie, alle ore 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 (il valore di ciascuna registrazione è ottenuto come media dei valori rilevati nei 10 minuti antecedenti l'ora sinottica).

La prima fase di un qualsiasi studio consiste proprio nella scelta della stazione che meglio rappresenta l'area sottoposta ad indagine. Gli elementi che inducono alla scelta sono molteplici (rendimento della stazione, esposizione, ecc.), anche se è evidente che, per la ricostruzione del clima meteomarinico, dovranno essere scelte le stazioni più prossime alla costa.

In questo studio sono state analizzate le serie storiche dei dati registrati dalle stazioni di Brindisi e di Bari dal 1951 fino al 31 dicembre 2005. La tabella 2.1.2.1 riporta i dati salienti delle due stazioni esaminate.

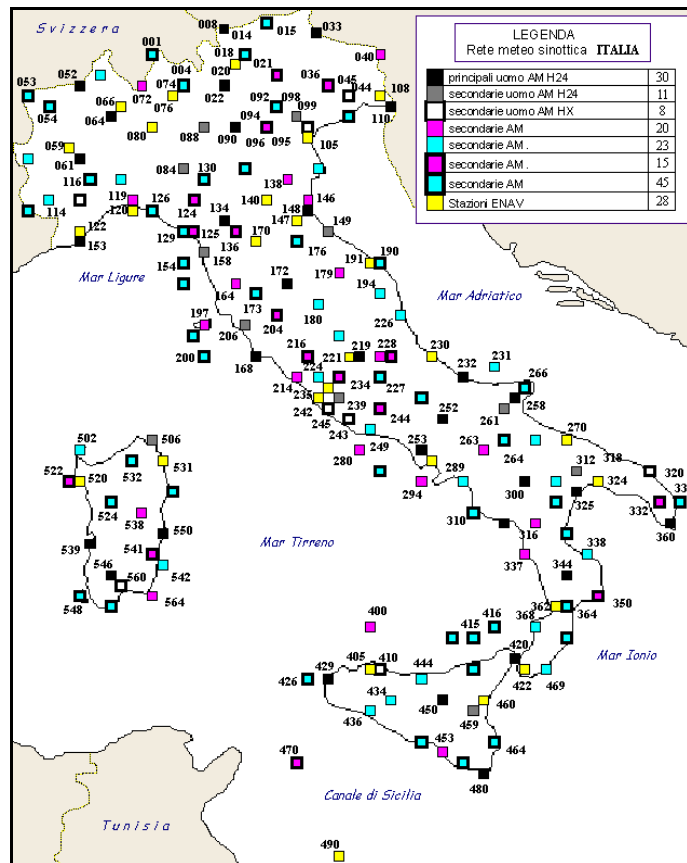


Figura 2.1.2.1 - Rete meteo - sinottica italiana.

identificativo stazione	località	periodo di osservazione	% dati validi	Lat. Nord	Long. Est	quota [m s.m.l.]
320	Brindisi	1951 - 2005	99.73	40°38'	17°56'	10
270	Bari - Palese	1951 - 2005	94.86	41°08'	16°45'	44

Tabella 2.1.2.1 - Caratteristiche delle stazioni anemometriche analizzate.

Attraverso l'analisi dei dati triorari delle serie storiche delle stazioni di Bari e di Brindisi sono state individuate le direzioni di provenienza dei venti regnanti (venti con più alte frequenze di apparizione), dei venti dominanti (venti di elevata intensità), dei venti prevalenti (venti che combinano l'alta frequenza di apparizione con le alte velocità) e le durate dei periodi di calma che si verificano durante l'anno. Sono stati anche analizzati separatamente i diversi periodi dell'anno, per definire la distribuzione di frequenza dei venti in ogni stagione.

La classificazione dei dati secondo la direzione di provenienza è stata effettuata suddividendo la rosa dei venti in settori di 30°, mentre per l'intensità dei venti si è fatto riferimento alla scala Beaufort. Per ogni settore di 30° prescelto e per ogni classe di intensità si è provveduto a valutare la frequenza di apparizione. I risultati ottenuti sono stati rappresentati in forma grafica attraverso diagrammi polari, ed in forma tabellare. Le indagini sono state effettuate inizialmente per l'intero campione di dati disponibile, ottenendo così il clima anemometrico annuale medio, quindi suddividendo il campione in stagioni, ottenendo così il clima anemometrico stagionale.

Nel seguito si riportano i risultati ottenuti per le due stazioni esaminate.

2.1.3 LA STAZIONE ANEMOMETRICA DI BARI

La serie storica analizzata comprende le registrazioni acquisite nel periodo 1951 – 2005. Come si evince dal grafico di figura 2.1.3.1 e dalla tabella 2.1.3.1, fino al 1985 la percentuale di dati mancanti risulta praticamente trascurabile, mentre dal 1986 si sono susseguite numerose interruzioni nella raccolta dati, spesso molto lunghe.

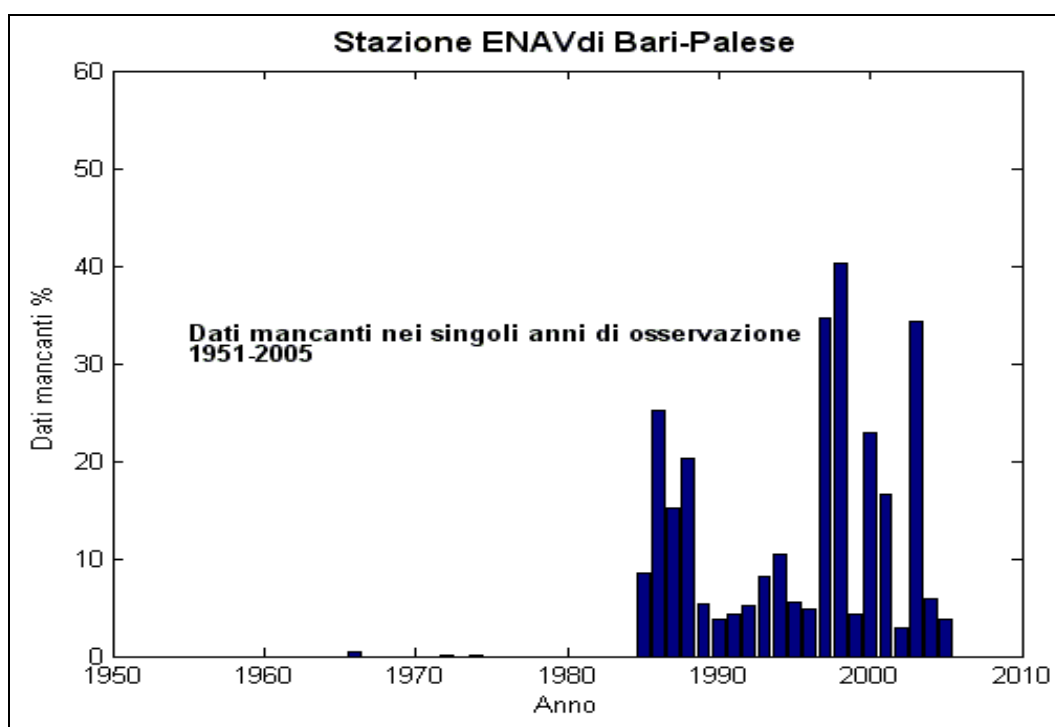


Figura 2.1.3.1 – Percentuale di dati anemometrici mancanti della stazione ENAV di Bari - Palese.

anno	n° dati attesi	% dati mancanti	anno	n° dati attesi	% dati mancanti
1951	2920	0.00	1979	2920	0.00
1952	2928	0.00	1980	2928	0.00
1953	2920	0.00	1981	2920	0.00
1954	2920	0.00	1982	2920	0.00
1955	2920	0.00	1983	2920	0.00
1956	2928	0.00	1984	2928	0.00
1957	2920	0.00	1985	2920	8.49
1958	2920	0.00	1986	2920	25.21
1959	2920	0.00	1987	2920	15.14
1960	2928	0.00	1988	2928	20.32
1961	2920	0.00	1989	2920	5.41
1962	2920	0.00	1990	2920	3.84
1963	2920	0.00	1991	2920	4.38
1964	2928	0.00	1992	2928	5.09
1965	2920	0.00	1993	2920	8.22
1966	2920	0.51	1994	2920	10.38
1967	2920	0.00	1995	2920	5.48
1968	2928	0.00	1996	2928	4.82
1969	2920	0.00	1997	2920	34.69
1970	2920	0.00	1998	2920	40.34
1971	2920	0.00	1999	2920	4.35
1972	2928	0,03	2000	2928	22.85
1973	2920	0.00	2001	2920	16.61
1974	2920	0.03	2002	2920	2.91
1975	2920	0.00	2003	2920	34.21
1976	2928	0.00	2004	2928	5.87
1977	2920	0.00	2005	2920	3.77
1978	2920	0.00			

Tabella 2.1.3.1 – Rendimento della stazione ENAV di Bari – Palese.

2.1.3.1 Frequenze di apparizione annuali

Dall'elaborazione statistica della serie completa delle registrazioni (figure 2.1.3.1.1 e 2.1.3.1.2; tabella 2.1.3.1.1) risulta che mediamente in un anno la classe delle calme è piuttosto frequente; esse, infatti, costituiscono il 15.48% dell'intera popolazione.

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da Ovest, la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione è del 13.11%. Seguono i venti provenienti dal terzo quadrante con frequenze di apparizione del 10.13% da SSO, del 9.76% da OSO, del 7.19% da Sud. I venti dal quarto quadrante fanno registrare una percentuale compresa tra il 6.96% da Nord e il 8.35% da ONO. I venti provenienti dal primo quadrante hanno frequenze intorno al 5%, mentre quelli spiranti dal secondo quadrante hanno un'incidenza ancora più esigua.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 67.02% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 32.98%.

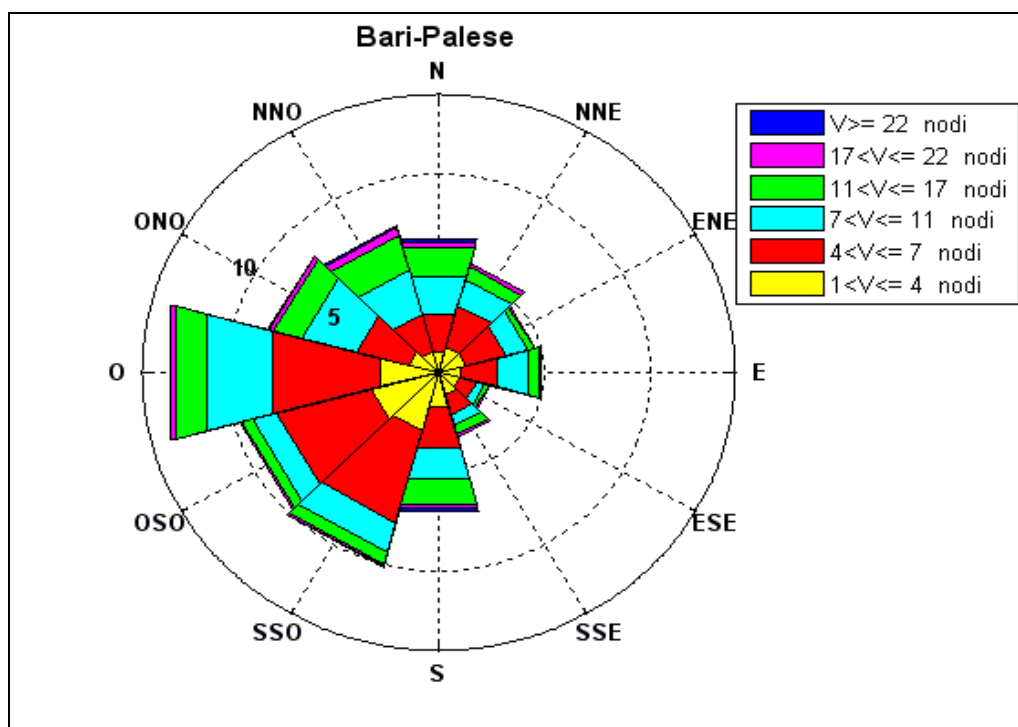


Figura 2.1.3.1.1 - Frequenze di apparizione annuali.

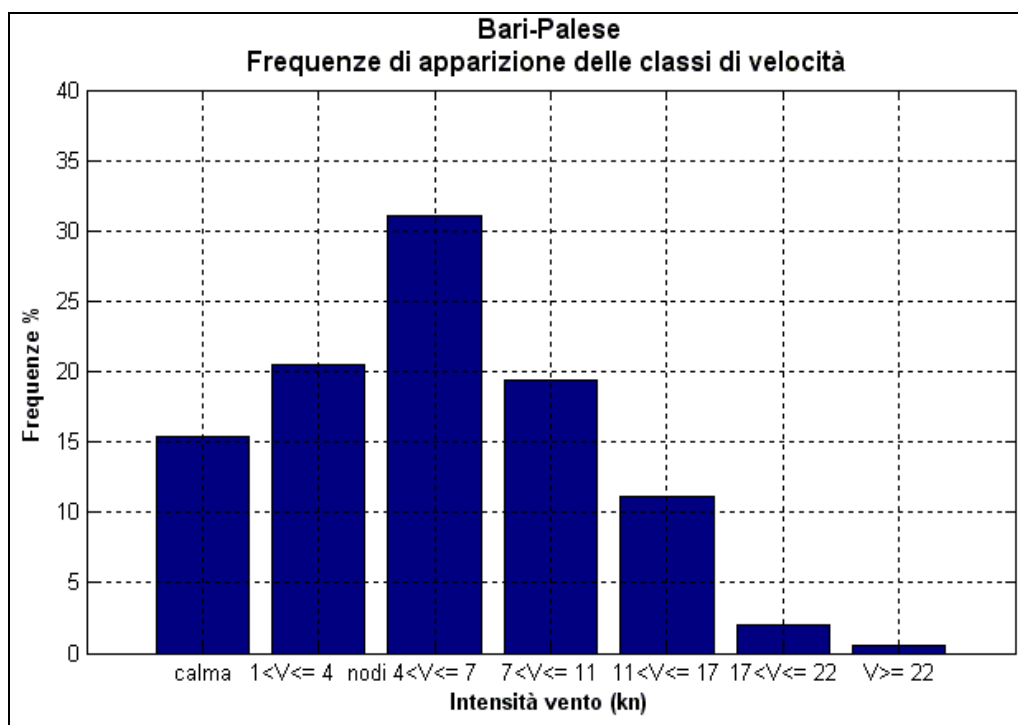


Figura 2.1.3.1.2 - Frequenze di apparizione annuali.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	1.06	1.94	1.99	1.53	0.30	0.14	6.96
30	1.32	2.16	1.35	0.69	0.17	0.06	5.75
60	1.29	1.97	1.11	0.31	0.05	0.01	4.74
90	1.11	1.71	1.50	0.60	0.05	0.01	4.98
120	1.03	0.82	0.41	0.22	0.03	0.01	2.52
150	1.20	0.99	0.60	0.43	0.12	0.04	3.38
180	1.80	2.14	1.62	1.27	0.26	0.10	7.19
210	3.01	4.83	1.52	0.66	0.08	0.03	10.13
240	3.34	4.56	1.22	0.52	0.10	0.02	9.76
270	2.81	5.32	3.15	1.57	0.22	0.04	13.11
300	1.42	2.63	2.61	1.44	0.20	0.05	8.35
330	1.08	2.00	2.28	1.82	0.39	0.08	7.65

Tabella 2.1.3.1.1 - Frequenze di apparizione annuali.

I venti di III e IV classe costituiscono da soli circa il 30.42% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 2.56% del totale. Il paraggio, infatti, risulta interessato da venti di intensità piuttosto bassa e molto raramente sono stati osservati fenomeni anemologici di un certo

rilievo. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da Nord, da NNO e da Sud, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

2.1.3.2 Frequenze di apparizione stagionali

Dall'analisi dei dati relativi alla stagione invernale (figura 2.1.3.2.1 e tabella 2.1.3.2.1) risulta che la classe delle calme è meno frequente che nelle altre stagioni, esse costituiscono infatti il 13.38% dell'intera popolazione.

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da Ovest la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione è del 15.37%. I venti da SSO e ONO fanno registrare una percentuale intorno all'11%, mentre al vento da OSO compete un frequenza prossima al 10% di tutte le osservazioni. I venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua, si osserva infatti che nella ripartizione delle frequenze tra i diversi settori analizzati, risultano regnanti i venti dal terzo e quarto quadrante.

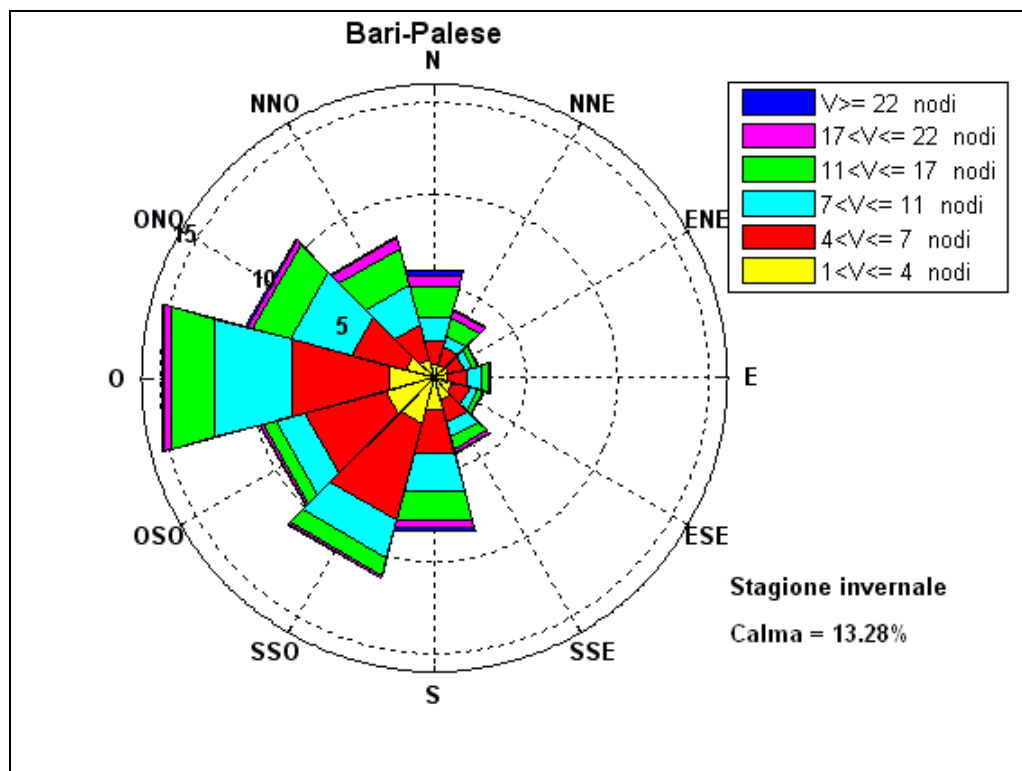


Figura 2.1.3.2.1 - Frequenze di apparizione invernali.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	0.79	1.31	1.33	1.72	0.62	0.29	6.06
30	0.75	1.01	0.64	1.05	0.38	0.08	3.91
60	0.79	0.89	0.49	0.27	0.09	0.02	2.55
90	0.76	1.09	0.81	0.41	0.10	0.01	3.18
120	1.02	0.98	0.46	0.30	0.06	0.01	2.83
150	1.31	1.20	0.84	0.66	0.23	0.06	4.30
180	1.76	2.45	2.11	1.70	0.39	0.15	8.56
210	2.57	5.47	2.11	0.96	0.13	0.06	11.30
240	2.77	4.56	1.68	0.72	0.16	0.03	9.92
270	2.52	5.53	4.38	2.48	0.39	0.07	15.37
300	1.66	3.06	3.43	2.16	0.32	0.10	10.73
330	1.06	1.96	2.23	2.07	0.55	0.14	8.01

Tabella 2.1.3.2.1 – Frequenze di apparizione invernali.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 60.55% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile intorno al 39.45%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 35.01% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il 4.44% del totale. Durante il periodo invernale si concentrano, infatti, i venti di maggiore intensità, anche se bisogna sempre ricordare che gli eventi appartenenti alle classi di vento forte hanno frequenze di apparizione molto basse. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da Nord.

Anche i venti spiranti da Sud e NNO presentano elevate velocità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

Dall'elaborazione dei dati registrati durante la stagione primaverile (figura 2.1.3.2.2 e tabella 2.1.3.2.2) risulta che la classe delle calme è molto frequente, esse costituiscono il 17.70% dell'intera popolazione. Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ancora ai venti da Ovest la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno al 10.61%. Al secondo posto si collocano i venti da SSO con una frequenza dell'8.41%. I venti da OSO, da ONO, da NNO e da

Nord fanno registrare una percentuale superiore al 7%, mentre al vento da NNE, da ENE, da Est e da Sud compete un frequenza pari al 6% di tutte le osservazioni.

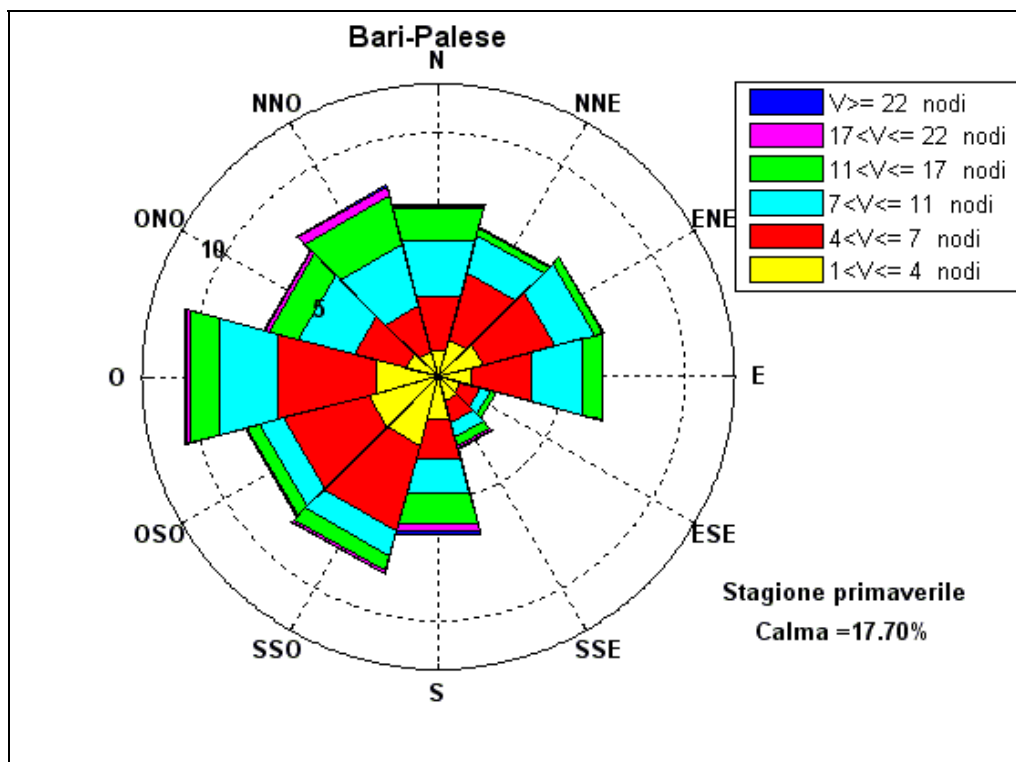


Figura 2.1.3.2.2 - Frequenze di apparizione primaverili.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	1.11	2.31	2.39	1.32	0.13	0.06	7.32
30	1.57	2.86	1.60	0.31	0.03	0.01	6.38
60	1.87	3.02	1.65	0.35	0.03	0.00	6.92
90	1.40	2.50	2.14	0.80	0.04	0.01	6.89
120	0.93	0.80	0.46	0.23	0.02	0.00	2.44
150	1.01	0.95	0.64	0.37	0.10	0.06	3.13
180	1.78	1.68	1.50	1.29	0.28	0.13	6.66
210	2.92	3.61	1.07	0.65	0.11	0.05	8.41
240	2.94	3.59	0.95	0.52	0.08	0.02	8.10
270	2.63	4.13	2.42	1.24	0.16	0.03	10.61
300	1.35	2.19	2.32	1.24	0.17	0.04	7.31
330	1.05	1.96	2.61	2.04	0.41	0.06	8.13

Tabella 2.1.3.2.2 - Frequenze di apparizione primaverili.

In primavera si osserva quindi un netto aumento di apparizioni di venti dal primo quadrante rispetto alla media annuale, in particolare i venti da NNE e da Est

raddoppiano le loro frequenze. I venti spiranti dal terzo e quarto quadrante, che fanno registrare un calo di apparizioni, in questo trimestre continuano ad essere regnanti.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 67.86% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 32.14%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 30.11% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il 2.03% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO e da Sud; i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità molto basse.

Dall'elaborazione dei dati registrati durante la stagione estiva (figura 2.1.3.2.3, tabella 2.1.3.2.3) risulta che la classe delle calme è molto frequente, esse costituiscono il 16.63% dell'intera popolazione.

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da Ovest la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno al 12%. Al secondo posto si collocano i venti da OSO con una frequenza prossima al 10%, ed i venti da Nord con una frequenza del 9%. I venti da NNE, da NNO e da SSO fanno registrare una percentuale superiore o prossima all'8%, mentre ai venti da ENE, da Est e da ONO compete rispettivamente una frequenza di circa il 7% di tutte le osservazioni. In estate si osserva un netto aumento di apparizioni di venti dal primo quadrante rispetto alla media annuale ma anche la tramontana risulta molto più frequente.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 71.13% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 28.87%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 27.88% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono solo l'1% del totale.

Nei mesi estivi la zona è interessata da venti molto deboli, infatti la percentuale di rilevazioni con intensità maggiore di 17 nodi è praticamente nulla. I venti con velocità superiore a 17 nodi con le frequenze maggiori sono i venti da NNO.

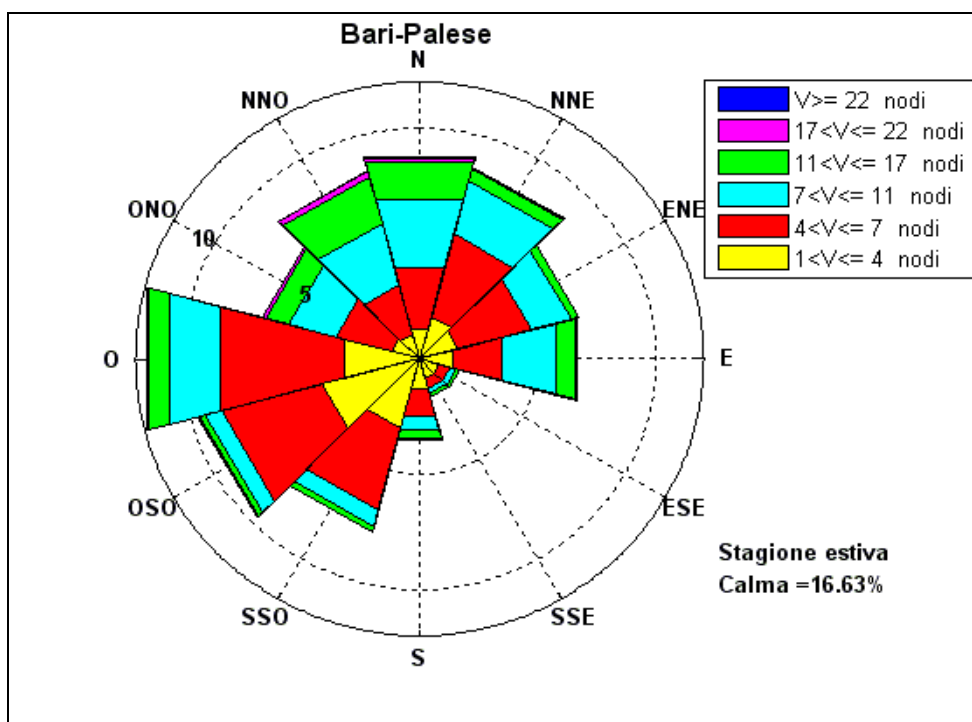


Figura 2.1.3.2.3 - Frequenze di apparizione estive.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	$1 < U \leq 4$	$4 < U \leq 7$	$7 < U \leq 11$	$11 < U \leq 17$	$17 < U \leq 22$	$U > 22$	
0	1.33	2.78	3.01	1.73	0.13	0.06	9.04
30	1.90	3.68	2.41	0.57	0.04	0.04	8.64
60	1.71	3.15	1.76	0.35	0.02	0.00	6.99
90	1.43	2.19	2.32	0.88	0.03	0.00	6.85
120	0.86	0.49	0.28	0.13	0.01	0.00	1.77
150	0.85	0.48	0.21	0.17	0.01	0.00	1.72
180	1.35	1.20	0.60	0.43	0.03	0.01	3.62
210	3.09	3.65	0.76	0.25	0.02	0.00	7.77
240	4.26	4.41	0.70	0.27	0.05	0.01	9.70
270	3.27	5.42	2.27	0.86	0.11	0.01	11.94
300	1.24	2.44	2.03	1.05	0.10	0.02	6.88
330	1.13	2.18	2.79	2.05	0.26	0.03	8.44

Tabella 2.1.3.2.3 - Frequenze di apparizione estive.

Dall'elaborazione dei dati registrati durante la stagione autunnale (figura 2.1.3.2.4 e tabella 2.1.3.2.4) risulta che la classe delle calme costituisce circa il 14% dell'intera popolazione.

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da Ovest la

cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione risulta pari al 14.65%. Al secondo posto si collocano i venti da SSO e da OSO con una frequenza rispettivamente del 13.20% e del 11.41%. I venti da Sud fanno registrare una percentuale pari al 10.01%, mentre ai venti da ONO compete un frequenza pari a circa l'8.46% di tutte le osservazioni. Nel semestre autunnale, i venti dal primo e secondo quadrante, vista la loro bassa frequenza di apparizione influenzano poco il clima anemometrico del paraggio.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 68.48% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 31.52%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 28.77% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il 2.75% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da Nord, da Sud e da NNO. Anche i venti spiranti da NNE, Ovest e ONO presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

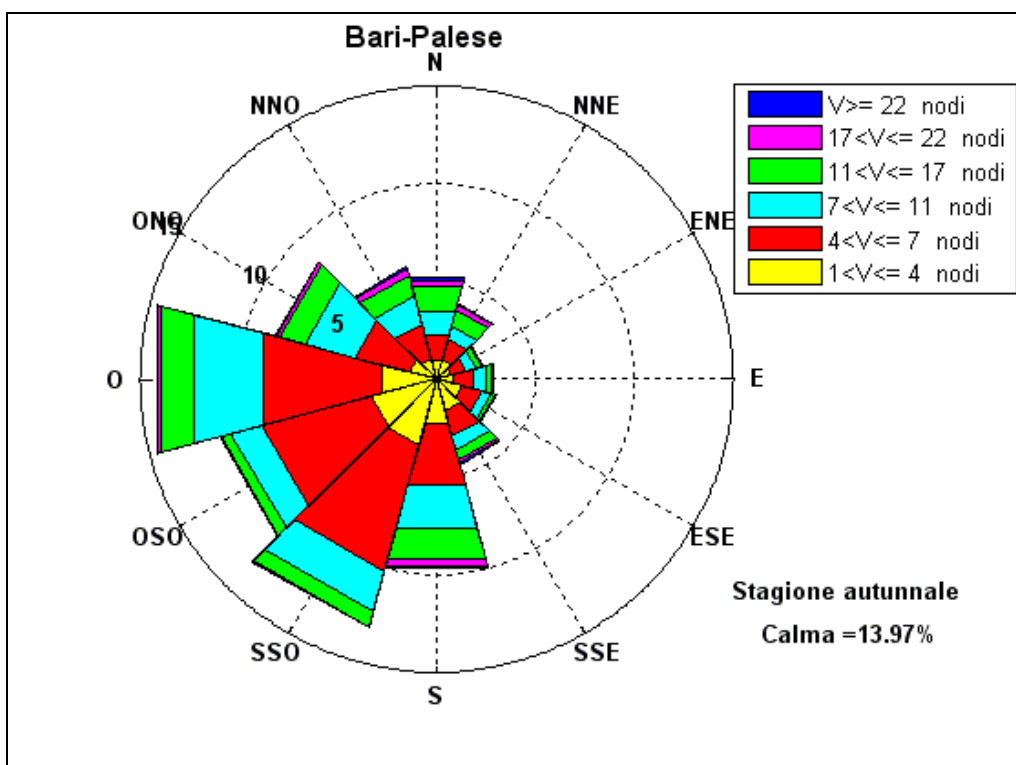


Figura 2.1.3.2.4 - Frequenze di apparizione autunnali.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	1.02	1.32	1.20	1.36	0.31	0.15	5.36
30	1.05	1.06	0.73	0.86	0.22	0.11	4.03
60	0.78	0.77	0.51	0.29	0.08	0.03	2.46
90	0.85	1.03	0.71	0.31	0.03	0.01	2.94
120	1.34	1.04	0.46	0.22	0.04	0.01	3.11
150	1.66	1.36	0.72	0.54	0.16	0.06	4.50
180	2.32	3.26	2.31	1.67	0.34	0.11	10.01
210	3.49	6.68	2.15	0.79	0.08	0.01	13.20
240	3.41	5.77	1.58	0.55	0.09	0.01	11.41
270	2.85	6.26	3.56	1.72	0.22	0.04	14.65
300	1.43	2.84	2.65	1.31	0.20	0.03	8.46
330	1.08	1.88	1.47	1.10	0.32	0.09	5.94

Tabella 2.1.3.2.4 - Frequenze di apparizione autunnali.

2.1.4 LA STAZIONE ANEMOMETRICA DI BRINDISI

La serie storica analizzata dei dati della stazione anemometrica di Brindisi è costituita dalle registrazioni acquisite nel periodo 1951 – 2005; durante tale periodo non si sono verificate interruzioni di rilievo nella raccolta dei dati e la percentuale di rilevazioni effettive sul totale delle misurazioni teoriche risulta di poco inferiore al 100% (figura 2.1.4.1 e tabella 2.1.4.1).

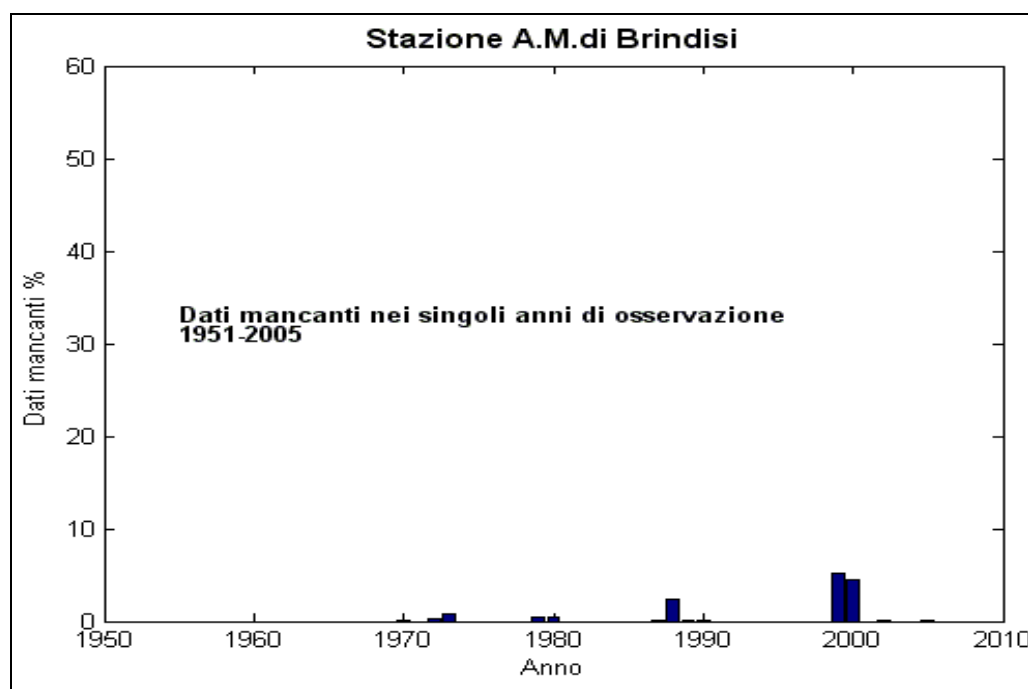


Figura 2.1.4.1 – Percentuale di dati anemometrici mancanti della stazione A.M. di Brindisi.

anno	n° dati attesi	% dati mancanti	anno	n° dati attesi	% dati mancanti
1951	2920	0.00	1979	2920	0.51
1952	2928	0.00	1980	2928	0.41
1953	2920	0.00	1981	2920	0.00
1954	2920	0.00	1982	2920	0.00
1955	2920	0.00	1983	2920	0.00
1956	2928	0.00	1984	2928	0.00
1957	2920	0.00	1985	2920	0.00
1958	2920	0.00	1986	2920	0.00
1959	2920	0.00	1987	2920	0.10
1960	2928	0.00	1988	2928	2.36
1961	2920	0.00	1989	2920	0.07
1962	2920	0.00	1990	2920	0.17
1963	2920	0.00	1991	2920	0.00
1964	2928	0.00	1992	2928	0.00
1965	2920	0.00	1993	2920	0.00
1966	2920	0.00	1994	2920	0.00
1967	2920	0.00	1995	2920	0.00
1968	2928	0.00	1996	2928	0.00
1969	2920	0.00	1997	2920	0.00
1970	2920	0.07	1998	2920	0.00
1971	2920	0.00	1999	2920	5.17
1972	2928	0.31	2000	2928	4.51
1973	2920	0.82	2001	2920	0.14
1974	2920	0.00	2002	2920	0.03
1975	2920	0.00	2003	2920	0.00
1976	2928	0.00	2004	2928	0.00
1977	2920	0.00	2005	2920	0.03
1978	2920	0.00			

Tabella 2.1.4.1 – Rendimento della stazione A.M. di Brindisi.

2.1.4.1 Frequenze di apparizione annuali

Dall'elaborazione statistica della serie completa delle registrazioni (figura 2.1.4.1.1 e tabella 2.1.4.1.1) risulta che mediamente in un anno la classe delle calme è piuttosto frequente, esse costituiscono, infatti, il 17.93% dell'intera popolazione.

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da NNO, la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione è del 16.20%. Seguono i venti da ONO e da Sud con una frequenza rispettivamente del 10.99% e del 10.23%. I venti da Nord fanno registrare una percentuale pari al 7.55%, mentre a SSE compete un frequenza pari al 7.01% di tutte le osservazioni. I venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua; il vento da NNE si attesta intorno al 6.24%, mentre i venti da ENE, Est ed ESE fanno registrare il minor numero di casi con percentuali intorno al 3%.

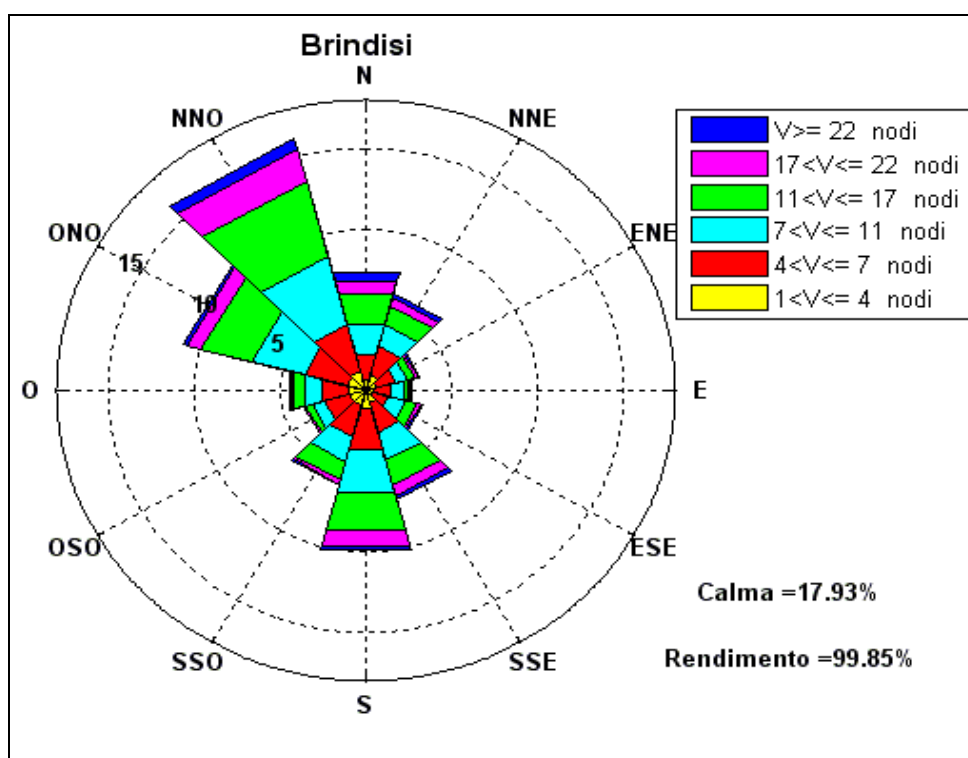


Figura 2.1.4.1.1 - Frequenze di apparizione annuali.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	0.74	1.61	1.88	1.96	0.87	0.49	7.55
30	1.01	1.84	1.42	1.15	0.55	0.27	6.24
60	0.64	1.19	0.74	0.43	0.15	0.07	3.22
90	0.45	1.05	0.77	0.31	0.09	0.04	2.71
120	0.42	1.01	1.01	0.66	0.24	0.08	3.42
150	0.79	1.92	1.76	1.62	0.65	0.27	7.01
180	1.16	2.68	2.67	2.46	0.95	0.31	10.23
210	0.98	1.99	1.62	1.15	0.30	0.09	6.13
240	1.00	1.46	0.79	0.38	0.11	0.04	3.78
270	1.02	1.66	1.01	0.63	0.20	0.08	4.60
300	1.10	2.62	3.20	3.02	0.83	0.22	10.99
330	1.25	3.02	4.31	4.84	2.07	0.71	16.20

Tabella 2.1.4.1.1 - Frequenze di apparizione annuali.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 50.53% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 49.47%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 39.79% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante

9.68% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO. Anche i venti spiranti da Nord, da Sud e da ONO presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

2.1.4.2 Frequenze di apparizione stagionali

Dall'elaborazione dei dati registrati durante la stagione invernale (figura 2.1.4.2.1 e tabella 2.1.4.2.1) la classe delle calme risulta meno frequente che nelle altre stagioni, esse costituiscono infatti il 14.94% dell'intera popolazione.

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da NNO, ONO e Sud la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno a valori prossimi al 12%. Seguono i venti da SSE con una frequenza del 8.78%. I venti da Nord fanno registrare una percentuale pari a circa il 7.47%, mentre al vento da NNE compete un frequenza pari al 7.03% di tutte le osservazioni. I restanti venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua con percentuale massima del 4.66% ai venti da OSO.

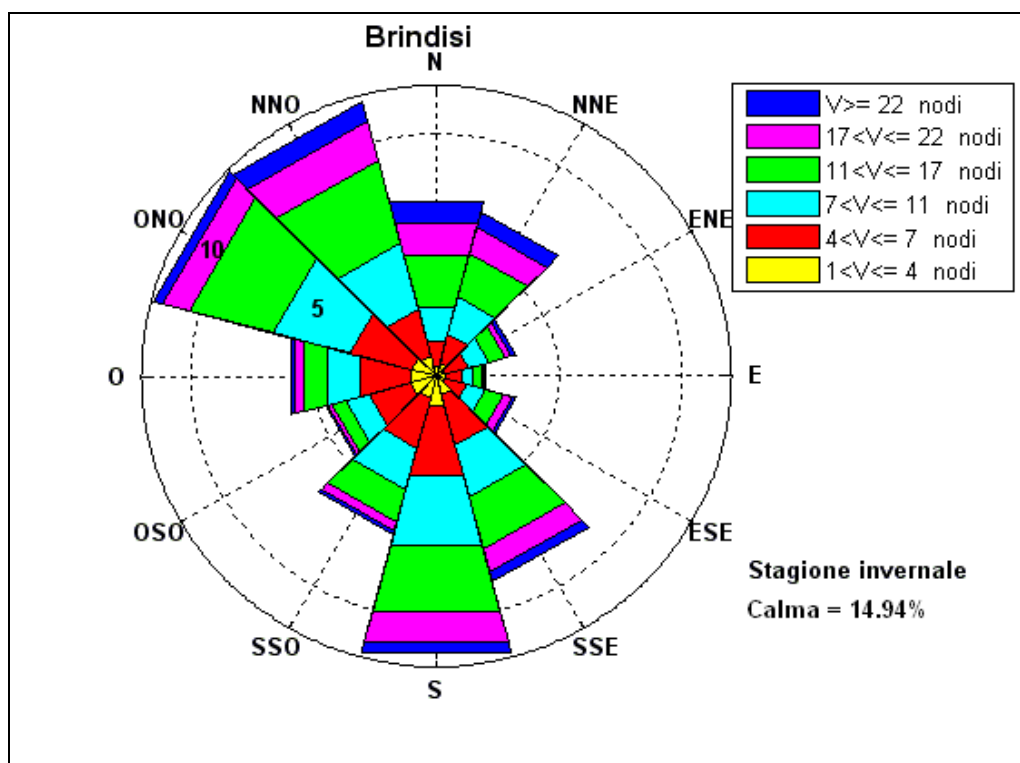


Figura 2.1.4.2.1 - Frequenze di apparizione invernali.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	0.44	1.03	1.48	2.21	1.36	0.95	7.47
30	0.54	1.25	1.58	1.87	1.12	0.67	7.03
60	0.39	0.96	0.85	0.69	0.26	0.18	3.33
90	0.36	0.71	0.48	0.33	0.15	0.07	2.10
120	0.39	0.88	0.80	0.78	0.38	0.13	3.36
150	0.81	2.15	2.17	2.26	0.99	0.40	8.78
180	1.23	3.04	2.98	2.82	1.32	0.42	11.81
210	0.95	2.12	1.77	1.41	0.38	0.12	6.75
240	1.10	1.75	0.99	0.57	0.17	0.08	4.66
270	1.09	2.08	1.42	1.02	0.36	0.18	6.15
300	1.03	2.61	3.24	3.53	1.10	0.41	11.92
330	0.86	1.99	2.82	3.53	1.71	0.79	11.70

Tabella 2.1.4.2.1 – Frequenze di apparizione invernali.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano circa il 44.70% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 55.30%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 41.60% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 13.70% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO e da N. Anche i venti spiranti da NNE, da Sud, da ONO e da SSE presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

Dall'elaborazione dei dati registrati durante la stagione primaverile (figura 2.1.4.2.2 e tabella 2.1.4.2.2) risulta che la classe delle calme è molto frequente, esse costituiscono il 19.15% dell'intera popolazione.

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da NNO la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno al 17.11%. Al secondo posto si collocano i venti da ONO e da Sud rispettivamente del 11.67% e del 10.75%. I venti da Nord e da SSE fanno registrare una percentuale pari a circa il 6%, mentre al vento da SSO compete un frequenza pari al 7% di tutte le osservazioni. I venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua con percentuale massima del 4.56% ai venti da NNE.

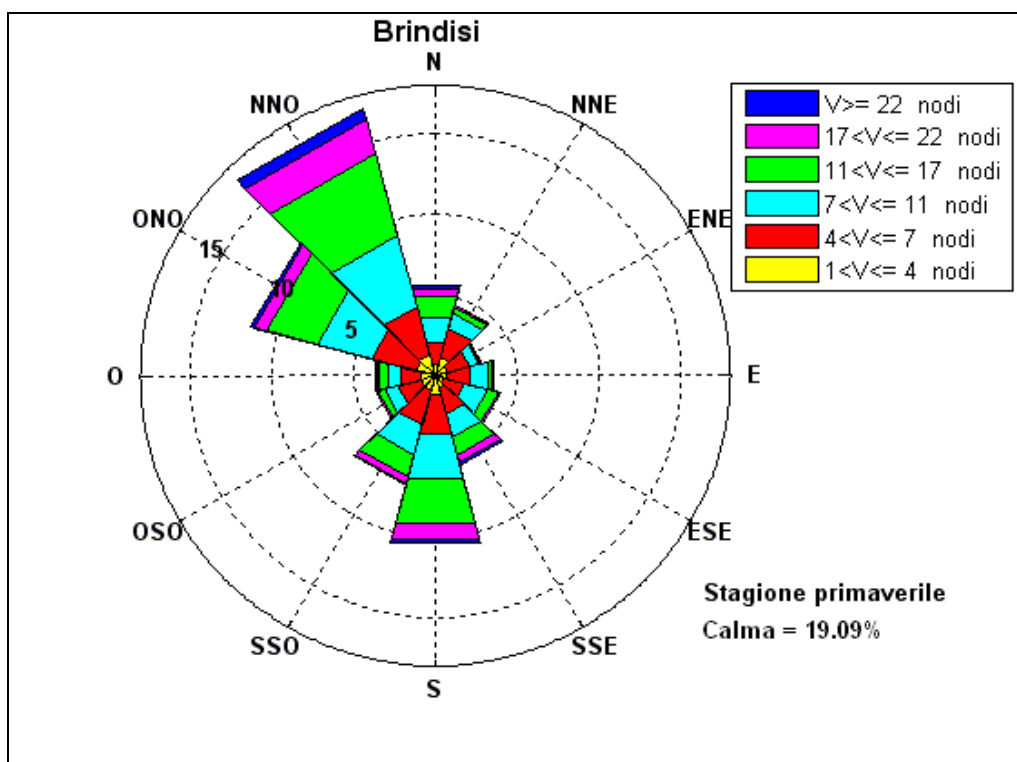


Figura 2.1.4.2.2 - Frequenze di apparizione primaverili.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	0.72	1.40	1.60	1.33	0.50	0.23	5.78
30	1.17	1.90	0.96	0.38	0.12	0.03	4.56
60	0.79	1.35	0.61	0.16	0.03	0.00	2.94
90	0.65	1.58	1.10	0.26	0.04	0.01	3.64
120	0.53	1.35	1.41	0.68	0.15	0.02	4.14
150	0.80	1.71	1.44	1.14	0.48	0.18	5.75
180	1.19	2.55	2.81	2.92	0.97	0.31	10.75
210	1.01	2.17	1.89	1.47	0.39	0.10	7.03
240	0.94	1.48	0.85	0.36	0.14	0.04	3.81
270	0.94	1.29	0.75	0.55	0.15	0.05	3.73
300	1.23	2.81	3.45	3.21	0.79	0.18	11.67
330	1.34	3.11	4.52	5.25	2.20	0.69	17.11

Tabella 2.1.4.2.2 - Frequenze di apparizione primaverili.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 53.10% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 46.90%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 39.10% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante

7.80% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO. Anche i venti spiranti da Sud, da ONO e da Nord presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

Dall'elaborazione dei dati registrati durante la stagione estiva (figura 2.1.4.2.3 e tabella 2.1.4.2.3) risulta che la classe delle calme è molto frequente, esse costituiscono il 20.18% dell'intera popolazione.

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza si osserva inoltre una concentrazione dei venti di NNO la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno al 22.88%. Al secondo posto si collocano i venti da ONO con una frequenza superiore al 12%. I venti da Nord fanno registrare una percentuale pari al 9.28%, mentre ai venti da Sud ed ENE compete un frequenza pari a circa il 6% di tutte le osservazioni. I venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua con percentuali del 3%.

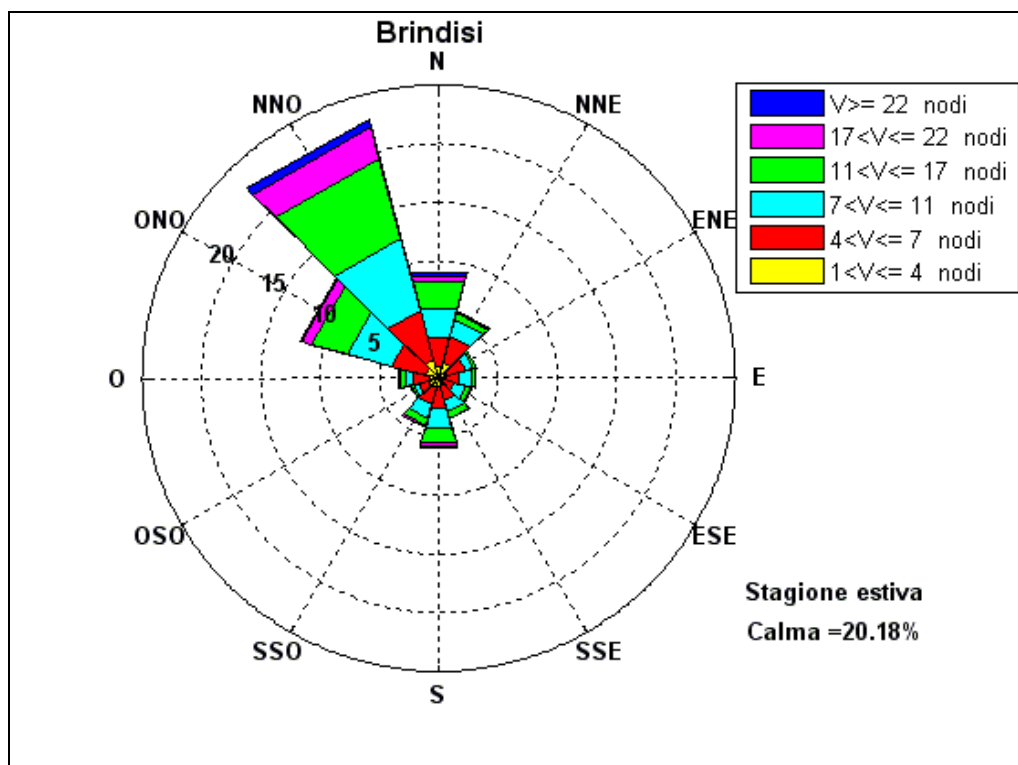


Figura 2.1.4.2.3 - Frequenze di apparizione estive.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	1.05	2.54	2.61	2.25	0.60	0.23	9.28
30	1.32	2.47	1.43	0.62	0.13	0.04	6.01
60	0.86	1.52	0.69	0.21	0.05	0.01	3.34
90	0.51	1.29	1.04	0.27	0.03	0.00	3.14
120	0.40	1.01	1.01	0.46	0.08	0.01	2.97
150	0.73	1.30	0.91	0.60	0.11	0.01	3.66
180	0.77	1.84	1.70	1.35	0.37	0.07	6.10
210	0.81	1.55	1.16	0.71	0.14	0.03	4.40
240	0.88	0.92	0.41	0.22	0.04	0.01	2.48
270	0.84	1.33	0.73	0.40	0.10	0.02	3.42
300	1.13	2.96	3.95	3.15	0.83	0.13	12.15
330	1.62	4.38	6.38	7.02	2.77	0.71	22.88

Tabella 2.1.4.2.3 - Frequenze di apparizione estive.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 54.20% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 45.80%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 39.28% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 6.52% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO. Anche i venti spiranti da ONO e da Nord presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

Dall'elaborazione dei dati registrati durante la stagione autunnale (figura 2.1.4.2.4 e tabella 2.1.4.2.4) emerge che la classe delle calme risulta molto frequente, esse costituiscono il 17.14% dell'intera popolazione.

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da NNO la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno al 13.06%. Al secondo posto si collocano i venti da Sud con una frequenza superiore al 12%. I venti da SSE fanno registrare una percentuale pari a circa il 10%, mentre ai venti da ONO, da Nord e da NNE compete un frequenza superiore al 7% di tutte le osservazioni. I restanti venti hanno un'incidenza piuttosto esigua con percentuale massima del 6.33% da SSO.

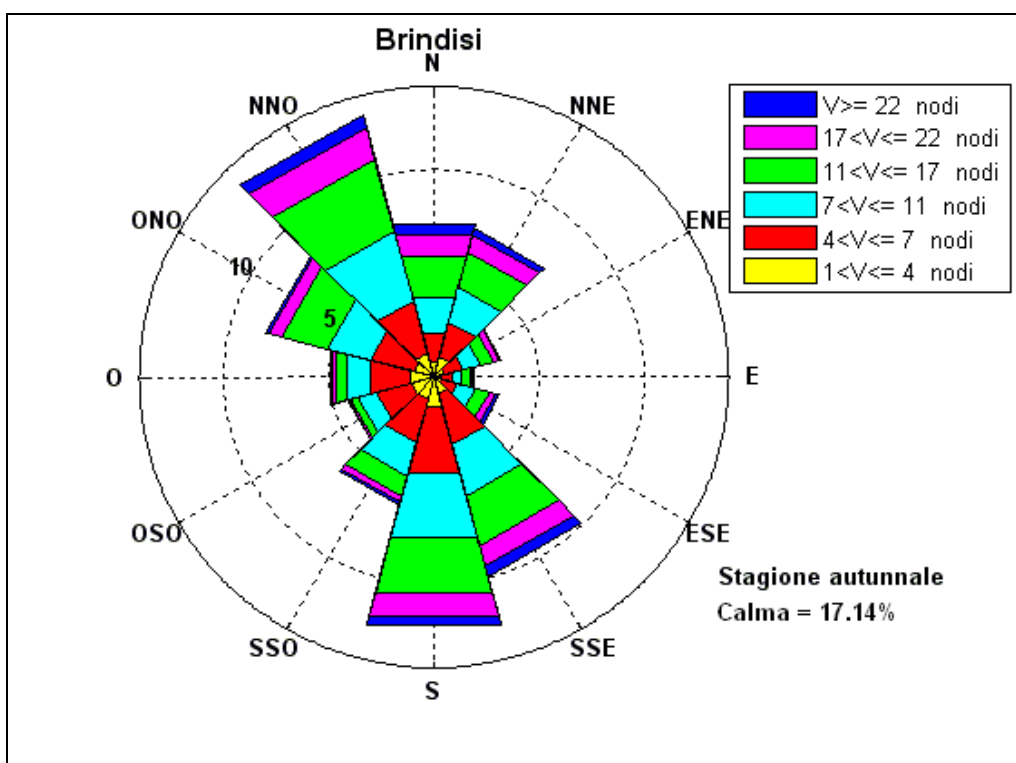


Figura 2.1.4.2.4 - Frequenze di apparizione autunnali.

DIREZIONE	VELOCITA' U (kn)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	0.72	1.44	1.82	2.04	1.02	0.58	7.62
30	1.01	1.75	1.73	1.74	0.85	0.33	7.41
60	0.54	0.91	0.83	0.67	0.28	0.09	3.32
90	0.30	0.62	0.46	0.37	0.14	0.09	1.98
120	0.36	0.82	0.84	0.73	0.33	0.16	3.24
150	0.84	2.55	2.51	2.50	1.00	0.50	9.90
180	1.45	3.31	3.23	2.79	1.15	0.46	12.39
210	1.13	2.14	1.66	1.02	0.28	0.10	6.33
240	1.10	1.71	0.92	0.38	0.11	0.03	4.25
270	1.20	1.94	1.13	0.57	0.19	0.06	5.09
300	1.00	2.11	2.18	2.20	0.61	0.17	8.27
330	1.17	2.61	3.51	3.56	1.58	0.63	13.06

Tabella 2.1.4.2.4 - Frequenze di apparizione autunnali.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 49.87% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 50.13%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 39.39% della

popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 10.74% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO. Anche i venti spiranti da Sud, da SSE, da Nord e da NNE presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

2.1.5 ANALISI DEI RISULTATI

Da un'analisi di carattere generale condotta su tutte le stazioni anemometriche pugliesi disponibili è risultato che la stazione di Bari è caratterizzata non solo dalle più basse frequenze di apparizione dei venti foranei, ma anche le intensità di tali venti sono piuttosto deboli rispetto a quelle registrate nelle stazioni limitrofe.

In pratica, nonostante l'ubicazione della stazione in prossimità della costa lasciasse prevedere una buona qualità dei dati registrati, risulta invece che la stazione di Bari sottostima i venti foranei, fornendo al contrario un'elevata frequenza di venti di terra. Inoltre è da segnalare che la stazione di Bari dal 1985 in poi ha fatto registrare numerose interruzioni nell'acquisizione dei dati, conferendo particolare incertezza alla definizione degli eventi anemologici necessari per la ricostruzione delle mareggiate.

Per tali motivi nel presente studio sono stati elaborati anche i dati della stazione di Brindisi la cui serie storica è da ritenersi più affidabile, sia per continuità di registrazione, sia perché caratterizzata da eventi in linea con quelli registrati nelle altre stazioni di misura.

D'altra parte, pur essendo più distante dal paraggio in esame, la stazione di Brindisi presenta un'esposizione del tutto confrontabile.

Sia la stazione di Bari che quella di Brindisi hanno avviato le registrazioni a partire dai primi anni '50 e pertanto, sul piano statistico, si dispone di una serie storica sufficientemente lunga.

Dall'analisi delle frequenze di apparizione dei venti registrati a Bari risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti spiranti dal terzo quadrante; in particolare si osserva che i venti regnanti sono quelli da ponente. I venti foranei, ovvero quelli provenienti dal quarto e dal primo quadrante, fanno registrare percentuali di osservazione inferiori.

Il paraggio, inoltre, risulta interessato da venti di intensità piuttosto bassa e molto raramente sono stati osservati fenomeni anemologici di un certo rilievo. Se si passa a considerare solo i venti più intensi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da Sud e NNO.

La distribuzione stagionale dei venti mostra che in tutti i periodi dell'anno il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da Ovest, in particolare nei mesi invernali e autunnali questa prevalenza è più netta. Inoltre è da segnalare che nei mesi estivi e primaverili i venti dal primo quadrante fanno registrare frequenze di apparizione piuttosto interessanti, mentre nel semestre autunno-inverno sono consistenti le frequenze dei venti da mezzogiorno.

Il clima anemometrico ricostruito a partire dai dati di Brindisi mostra una netta prevalenza dei venti provenienti dal quarto quadrante, una buona presenza di venti da Sud e da SSE ed una ridotta frequenza dei venti spiranti dal primo quadrante, anche se con eventi di elevata intensità.

Le intensità dei fenomeni anemologici registrati sono piuttosto modeste, anche se maggiori di quelle registrate a Bari; i venti dominanti nel paraggio sono quelli provenienti da NNO, tuttavia anche i venti spiranti da Nord e Sud presentano un'alta intensità.

La distribuzione stagionale dei venti mostra in tutti i periodi dell'anno una prevalenza dei venti da NNO, che si accentua nei mesi estivi e primaverili, durante i quali si riduce la frequenza dei venti dal primo e secondo quadrante.

2.2 CLIMA ONDOSO AL LARGO

2.2.1 LA BOA DI MONOPOLI

La ricostruzione del clima meteomarinario al largo del porto di Bari è stata effettuata utilizzando il modello della trasposizione geografica a partire dai dati ondometrici acquisiti dalla boa della R.O.N. (Rete Ondometrica Nazionale) ormeggiata al largo di Monopoli.

Le boe della R.O.N., gestite attualmente dall'I.S.P.R.A., (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) sono dislocate lungo tutta la costa italiana come riportato nella figura 2.2.1.1.



Figura 2.2.1.1 – Ubicazione delle boe della R.O.N.

Le boe registrano il livello del mare in continuo e le misure vengono elaborate e restituite a cadenza semioraria. Le serie storiche rilevate dal 1989 al 2007 sono attualmente disponibili sul sito www.idromare.com.

Per quanto riguarda la continuità ed il rendimento dei dati acquisiti dalla boa di Monopoli, sono stati utilizzati i dati rilevati dal 01/07/1989 al 31/12/2007. In generale i dati sono stati acquisiti con buona regolarità fino al 2000, mentre vi sono molti dati mancanti negli anni successivi (figura 2.2.1.2).

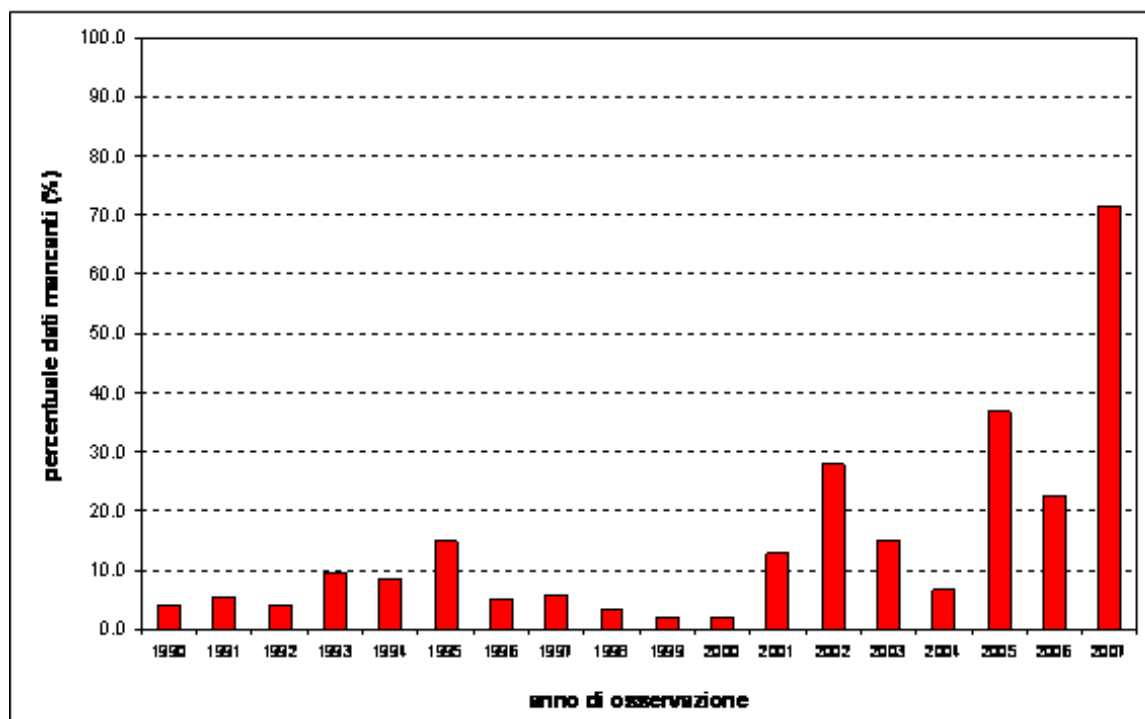


Figura 2.2.1.2 - Percentuale dei dati mancanti della boa di Monopoli.

Le condizioni essenziali su cui si basa il metodo di trasposizione geografica consistono nella vicinanza e nella analoga esposizione fra punto di misura e paraggio da investigare (figure 2.2.1.3 e 2.2.1.4).

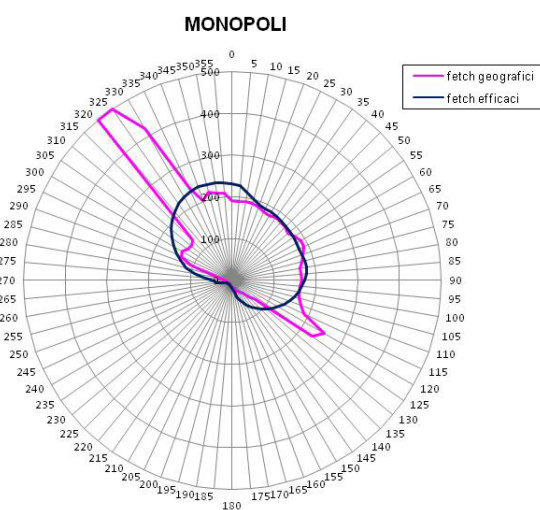


Figura 2.2.1.3 - Fetch geografici (magenta) ed efficaci (blu) del paraggio di Monopoli.

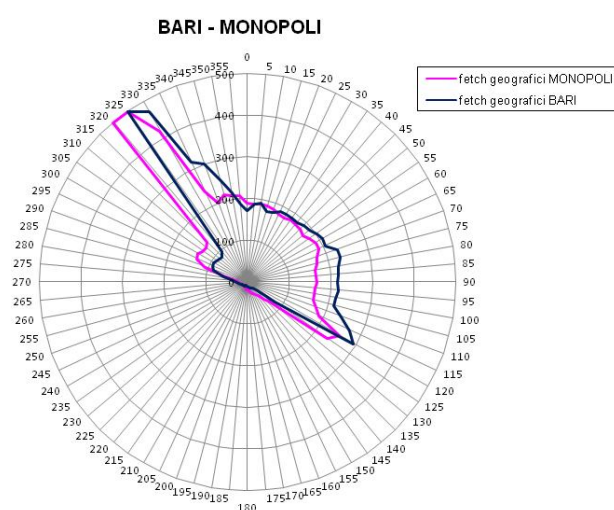


Figura 2.2.1.4 - Confronto tra i fetch geografici di Monopoli e di Bari.

Il metodo di trasposizione si basa sull'ipotesi che le stesse condizioni anemometriche che hanno generato gli stati di mare rilevati dalla boa abbiano interessato anche l'area di generazione del paraggio in esame.

Si assume, quindi, che nei due siti si verifichi un evento anemometrico con la stessa direzione di provenienza, intensità e durata. La tecnica consente di determinare la corrispondenza tra le caratteristiche del moto ondoso (direzione, altezza e periodo) rilevate dalla boa e quelle del paraggio in esame.

La prima operazione che è stata effettuata sui rilievi ondometrici della boa di Monopoli è il calcolo delle frequenze di apparizione dei singoli stati di mare registrati dalla boa classificati per direzione di provenienza ed intensità.

Nella tabella 2.2.1.1 sono riportati i risultati ottenuti ordinando le mareggiate per classi di altezza d'onda di 1.0m e per settori di provenienza di 30°, avendo assunto che le altezze d'onda inferiori a 0.25m sono calme. I dati elaborati sono stati rappresentati graficamente nel diagramma polare di figura 2.2.1.5

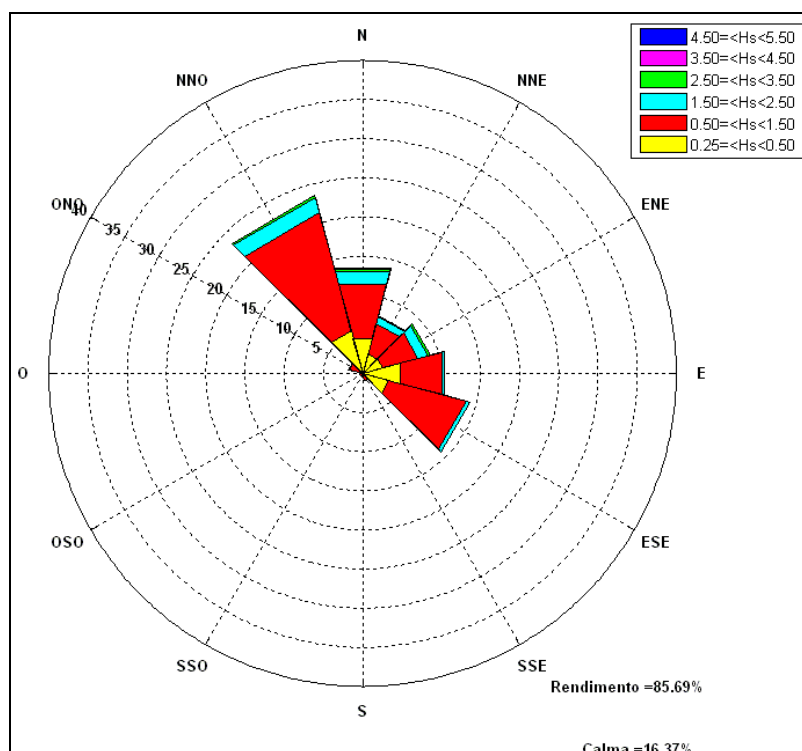


Figura 2.2.1.5 - Frequenze di apparizione annuali (boa di Monopoli).

(percentuale di apparizione – direzione – intensità) e nel grafico di figura 2.2.1.6 (percentuale di apparizione – classe di altezza d'onda).

Dall'analisi delle registrazioni effettuate risulta che il settore di traversia del paraggio è costituito dalle direzioni comprese tra NNO e ESE. La massima frequenza di apparizione spetta alle mareggiate provenienti da NNO che fanno registrare una percentuale del 23.53%. Le mareggiate da ESE costituiscono il 14.19% dei dati registrati, mentre le mareggiate da Nord raggiungono il 13.85% di tutte le osservazioni. Le onde da Est sono piuttosto frequenti nel paraggio con una frequenza del 10.81%, mentre le onde da NNE e ENE fanno registrare percentuali tra il 7.74% e l'8.99%.

dir (°N)	altezza significativa H_s (m)						totale
	0.25 - 0.50	0.50 - 1.50	1.50 - 2.50	2.50 - 3.50	3.50 - 4.50	4.50 - 5.50	
0	4.58	7.20	1.65	0.36	0.06	0.00	13.85
30	2.59	4.05	0.91	0.16	0.03	0.00	7.74
60	2.72	4.63	1.26	0.33	0.04	0.01	8.99
90	5.04	5.48	0.25	0.04	0.00	0.00	10.81
120	3.51	10.15	0.52	0.01	0.00	0.00	14.19
150	0.37	0.57	0.02	0.00	0.00	0.00	0.96
180	0.21	0.24	0.01	0.00	0.00	0.00	0.46
210	0.21	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.42
240	0.16	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.38
270	0.19	0.25	0.02	0.00	0.00	0.00	0.46
300	0.50	1.20	0.14	0.02	0.00	0.00	1.86
330	5.63	15.58	2.04	0.26	0.02	0.00	23.53
TOT	25.71	49.75	6.85	1.18	0.15	0.01	83.65

Tabella 2.2.1.1 - Percentuali annuali di apparizione del moto ondoso ordinate per classi di altezza d'onda e per direzione.

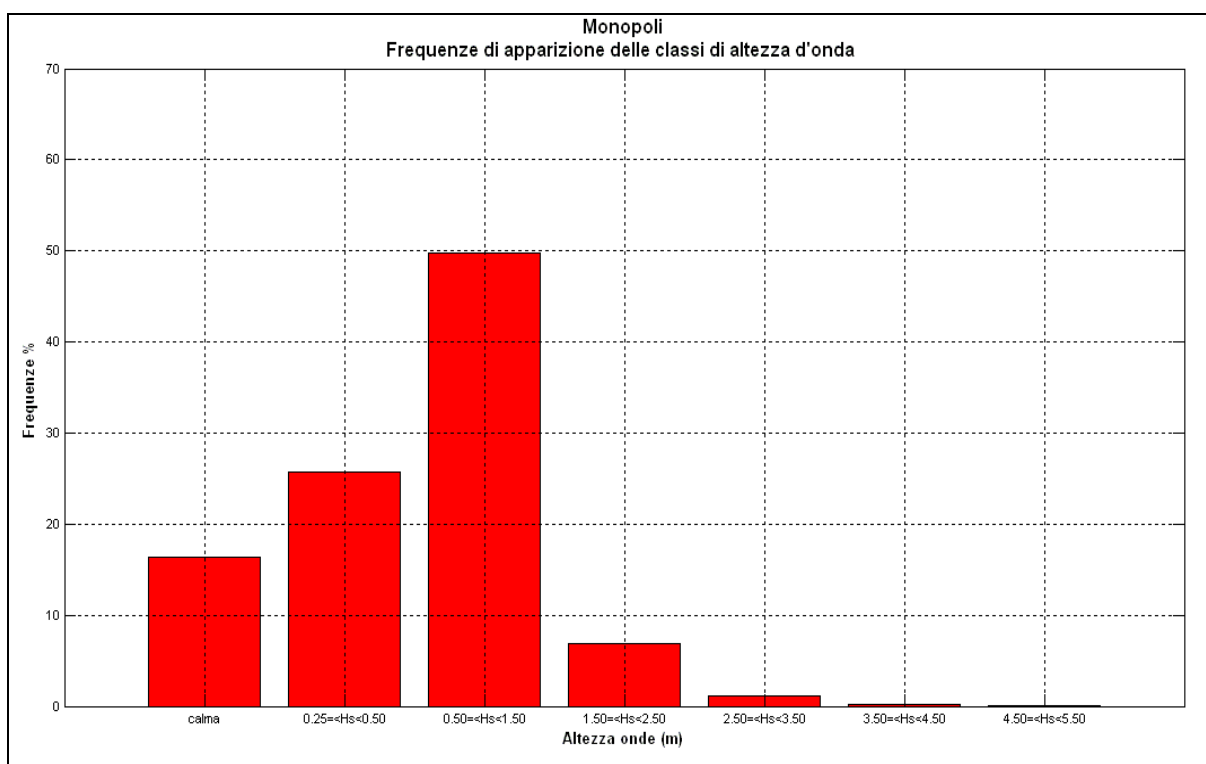


Figura 2.2.1.6 - Frequenze di apparizione annuali delle classi di altezza d'onda.

Se si classificano le onde secondo l'altezza significativa (figura 2.2.1.6) si osserva che le onde con altezza significativa minore di 0.5m rappresentano il 25.71% di tutte le osservazioni, mentre le onde con altezza compresa tra 0.5 e 1.5m costituiscono il 49.75% delle registrazioni e sono le mareggiate più frequenti. Risulta, inoltre, che il 6.8% delle osservazioni compete ad onde con altezza compresa tra 1.5 e 2.5m. Le mareggiate con altezza compresa tra 2.5 e 3.5m sono poco frequenti nel

paraggio e fanno registrare una percentuale del 1.18%. E' stato anche osservato che lo 0.16% delle onde registrate nel paraggio ha altezza maggiore di 3.5m.

Nella figura 2.2.1.7 e nella tabella 2.2.1.2 i dati ondometrici della boa di Monopoli sono stati ordinati per periodo di picco e per direzione di provenienza della mareggiata.

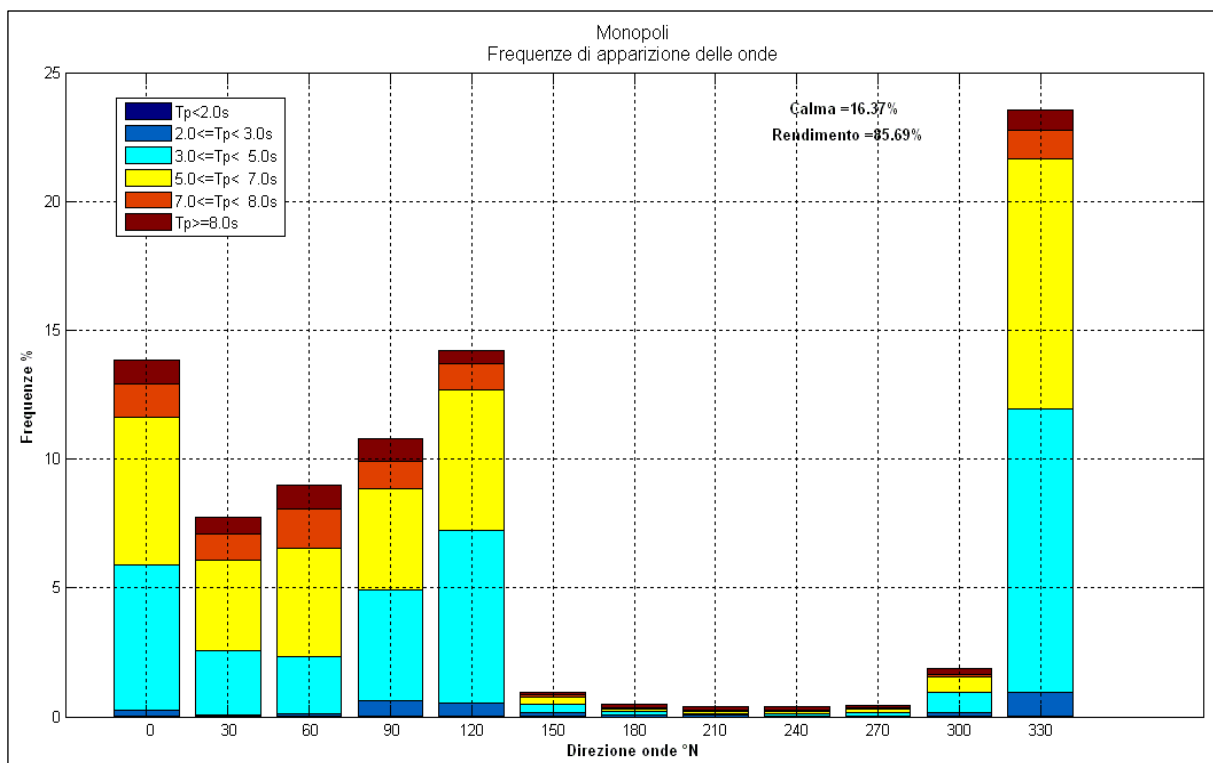


Figura 2.2.1.7 - Classificazione delle onde per periodo di picco e per direzione del moto ondoso.

dir (°N)	periodo di picco T_p (s)						totale
	$T_p < 2.0$	$2.0 \leq T_p \leq 3.0$	$3.0 \leq T_p \leq 5.0$	$5.0 \leq T_p \leq 7.0$	$7.0 \leq T_p \leq 8.0$	$T_p \geq 8.0$	
0	0.01	0.23	5.64	5.72	1.33	0.91	13.84
30	0.00	0.08	2.48	3.53	1.00	0.62	7.71
60	0.00	0.09	2.26	4.20	1.50	0.93	8.98
90	0.00	0.63	4.31	3.90	1.06	0.91	10.81
120	0.00	0.53	6.71	5.43	1.02	0.49	14.18
150	0.00	0.14	0.34	0.26	0.09	0.14	0.97
180	0.00	0.09	0.11	0.10	0.03	0.14	0.47
210	0.00	0.06	0.08	0.09	0.03	0.16	0.42
240	0.00	0.03	0.10	0.09	0.03	0.13	0.38
270	0.00	0.04	0.14	0.13	0.03	0.11	0.45
300	0.00	0.17	0.77	0.59	0.09	0.25	1.87
330	0.02	0.94	10.97	9.73	1.11	0.76	23.53
TOT	0.03	3.03	33.91	33.77	7.32	5.55	83.61

Tabella 2.2.1.2 - Percentuali annuali di apparizione del moto ondoso ordinate per periodo di picco e per direzione.

Dall'analisi dei dati si osserva che la frequenza di apparizione maggiore spetta alle onde con periodo compreso tra 3 e 7 secondi (67.68%); le onde con periodo di picco minore di 3 secondi rappresentano il 3.06% del totale, mentre le onde con periodo maggiore di 7 secondi costituiscono il 12.87%.

Nelle tabelle da 2.2.1.3 a 2.2.1.6 sono state riportate le percentuali di apparizione del moto ondoso suddivise per le quattro stagioni; le frequenze di apparizione stagionale sono state rappresentate nei grafici di figura 2.2.1.8.

Se si analizzano i dati ondometrici registrati su base stagionale si osserva che:

- in inverno le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da NNO (21.20%) e da Nord (19.18%); le direzioni da NNE, da ENE, da Est e da ESE fanno registrare percentuali tra il 9.80% ed il 12.13%; il 54.88% delle onde ha altezza compresa tra 0.5 e 1.5 m, mentre le onde di altezza superiore a 2.5 m costituiscono il 2.90% delle osservazioni totali stagionali;
- in primavera le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da NNO (25.60%), seguite dalle onde da ESE (16.49%) e dalle onde da Est (11.29%); durante la stagione primaverile si registra la più alta percentuale di onde di altezza inferiore a 0.5 m (30.36%);
- in estate le frequenze di apparizione maggiori provengono da NNO (32.42%), seguite dalle onde da Nord (13.50%); le altezze d'onda registrate in questa stagione risultano di modesta entità ed infatti le onde con altezza inferiore a 0.5 m, comprese le calme, costituiscono il 53.30% del totale delle osservazioni stagionali;
- in autunno le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da ESE (19.04%), mentre si riduce di molto la frequenza delle onde da NNO (14.83%) rispetto agli altri riferimenti stagionali; significativo è il valore della percentuale di onde di altezza superiore a 2.5 m pari a 1.99%.

dir (°N)	altezza significativa H_s (m)						totale
	0.25 - 0.50	0.5 - 1.50	1.50 - 2.50	2.50 - 3.50	3.50 - 4.50	4.50 - 5.50	
0	3.64	10.66	3.79	0.89	0.20	0.00	19.18
30	2.15	5.51	1.83	0.27	0.04	0.00	9.80
60	2.17	6.22	2.58	0.68	0.09	0.02	11.76
90	4.60	6.65	0.38	0.04	0.00	0.00	11.67
120	2.31	9.17	0.64	0.01	0.00	0.00	12.13
150	0.34	0.62	0.05	0.01	0.00	0.00	1.02
180	0.12	0.21	0.01	0.00	0.01	0.00	0.35
210	0.11	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
240	0.11	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
270	0.19	0.28	0.01	0.00	0.00	0.00	0.48
300	0.41	1.02	0.25	0.02	0.00	0.00	1.70
330	3.41	14.38	2.79	0.55	0.06	0.01	21.20
TOT	19.56	54.88	12.33	2.47	0.40	0.03	89.67

Tabella 2.2.1.3 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione invernale.

dir (°N)	altezza significativa H_s (m)						totale
	0.25 - 0.50	0.5 - 1.50	1.50 - 2.50	2.50 - 3.50	3.50 - 4.50	4.50 - 5.50	
0	4.62	4.37	0.61	0.09	0.02	0.00	9.71
30	2.67	2.40	0.40	0.03	0.00	0.00	5.50
60	3.01	2.29	0.34	0.03	0.00	0.00	5.67
90	6.23	4.99	0.07	0.00	0.00	0.00	11.29
120	4.73	11.40	0.36	0.00	0.00	0.00	16.49
150	0.35	0.47	0.03	0.00	0.00	0.00	0.85
180	0.25	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
210	0.22	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
240	0.17	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.28
270	0.11	0.16	0.02	0.00	0.00	0.00	0.29
300	0.69	1.57	0.09	0.03	0.01	0.00	2.39
330	7.31	16.50	1.62	0.16	0.01	0.00	25.60
TOT	30.36	44.44	3.56	0.34	0.04	0.00	78.74

Tabella 2.2.1.4 - Percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione primaverile.

dir (°N)	altezza significativa H_s (m)						totale
	0.25 - 0.50	0.5 - 1.50	1.50 - 2.50	2.50 - 3.50	3.50 - 4.50	4.50 - 5.50	
0	6.61	6.33	0.54	0.02	0.00	0.00	13.50
30	3.10	3.07	0.12	0.00	0.00	0.00	6.29
60	2.34	2.50	0.19	0.00	0.00	0.00	5.03
90	4.32	2.08	0.04	0.00	0.00	0.00	6.44
120	3.41	5.44	0.01	0.00	0.00	0.00	8.86
150	0.23	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
180	0.16	0.15	0.00	0.02	0.00	0.00	0.33
210	0.12	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
240	0.12	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.20
270	0.16	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	0.35
300	0.54	1.52	0.08	0.01	0.00	0.00	2.15
330	8.63	21.54	2.14	0.11	0.00	0.00	32.42
TOT	29.74	43.38	3.15	0.16	0.00	0.00	76.43

Tabella 2.2.1.5 - Percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione estiva.

dir (°N)	altezza significativa H_s (m)						totale
	0.25 - 0.50	0.5 - 1.50	1.50 - 2.50	2.50 - 3.50	3.50 - 4.50	4.50 - 5.50	
0	3.43	7.69	1.80	0.47	0.03	0.00	13.42
30	2.40	5.32	1.33	0.32	0.07	0.00	9.44
60	3.30	7.60	2.02	0.62	0.08	0.01	13.63
90	4.95	8.25	0.50	0.11	0.00	0.00	13.81
120	3.50	14.45	1.06	0.02	0.01	0.00	19.04
150	0.57	0.82	0.02	0.00	0.00	0.00	1.41
180	0.30	0.49	0.03	0.00	0.00	0.00	0.82
210	0.38	0.46	0.06	0.00	0.00	0.00	0.90
240	0.24	0.56	0.03	0.00	0.00	0.00	0.83
270	0.29	0.38	0.03	0.00	0.01	0.00	0.71
300	0.34	0.71	0.16	0.01	0.00	0.00	1.22
330	3.04	9.88	1.68	0.23	0.00	0.00	14.83
TOT	22.74	56.61	8.72	1.78	0.20	0.01	90.06

Tabella 2.2.1.6 - Percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione autunnale.

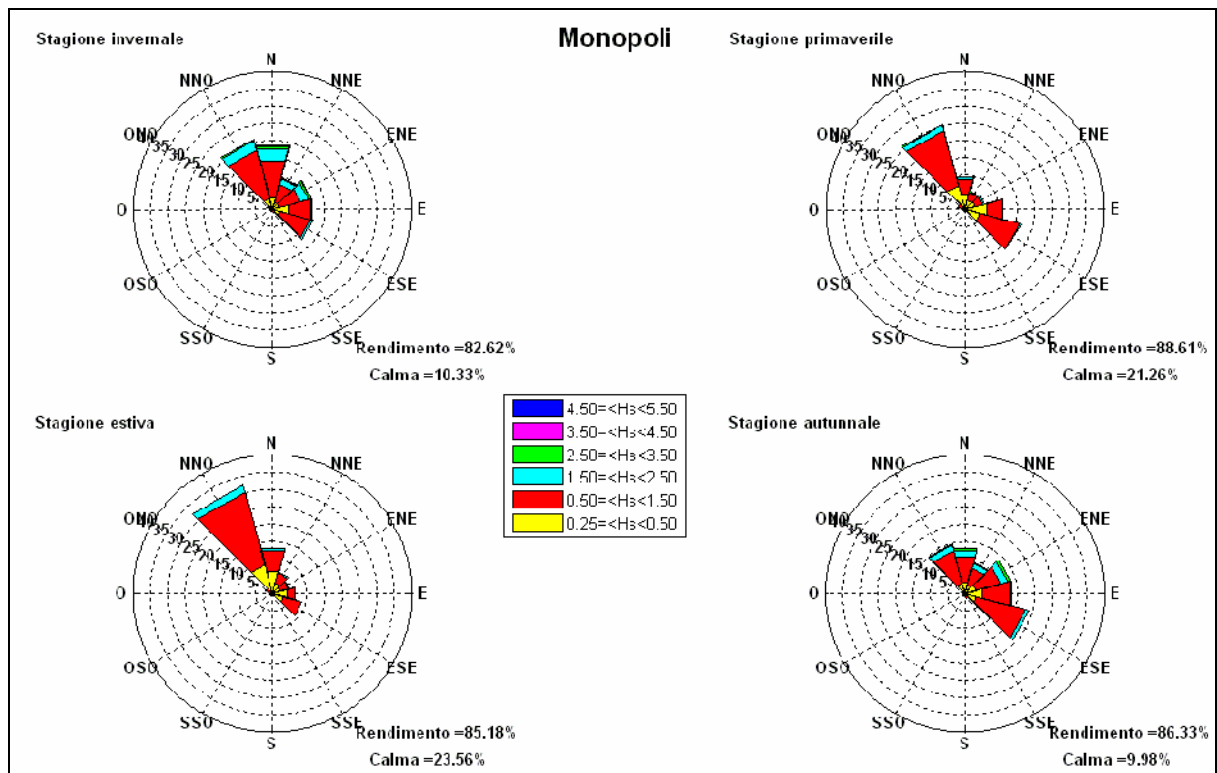


Figura 2.2.1.8 - Frequenze di apparizione stagionali (boa di Monopoli).

2.2.2 ANALISI DEI DATI

2.2.2.1 Frequenze di apparizione annuali

Dall'applicazione del metodo della trasposizione delle registrazioni della boa di Monopoli al paraggio di Bari sono stati ricavati i dati riportati nella tabella 2.2.2.1.1; nello specifico le mareggiate ricostruite al largo di Bari sono state ordinate per classi

di altezza d'onda di 0.5m e per settori di provenienza di 30°, avendo considerato come calme le altezze d'onda inferiori a 0.25m. I dati ricostruiti sono stati quindi elaborati determinando le frequenze di apparizione annuali delle onde riportate in tabella 2.2.2.1.2, e rappresentate nel diagramma polare di figura 2.2.2.1.1.

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	4280	1531	678	401	170	72	27	8	4	0	0	7171
30	1627	615	258	142	82	28	15	4	1	0	0	2772
60	1962	1010	505	288	173	94	41	12	8	2	1	4096
90	5205	2192	479	118	27	5	14	0	0	0	0	8040
120	1579	1313	422	67	14	2	0	1	0	0	0	3398
150	217	51	15	2	1	1	0	0	0	0	0	287
180	129	15	3	0	2	0	0	0	0	0	0	149
210	132	19	3	0	0	0	0	0	0	0	0	154
240	139	38	17	1	0	0	0	0	0	0	0	195
270	179	33	5	3	1	0	0	0	0	0	0	221
300	365	124	35	16	3	4	1	0	0	0	0	548
330	5491	3018	1031	319	95	33	6	2	1	0	0	9996
TOT	21305	9959	3451	1357	568	239	104	27	14	2	1	37027

Tabella 2.2.2.1.1 - Numero di apparizioni delle classi di altezza d'onda al largo di Bari.

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	9.68	3.46	1.53	0.91	0.39	0.16	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	16.23
30	3.68	1.39	0.58	0.32	0.19	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	6.27
60	4.44	2.29	1.14	0.65	0.39	0.21	0.09	0.03	0.02	0.01	0.00	9.27
90	11.78	4.96	1.08	0.27	0.06	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	18.19
120	3.57	2.97	0.96	0.15	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.69
150	0.49	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65
180	0.29	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34
210	0.30	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35
240	0.32	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44
270	0.41	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
300	0.83	0.28	0.08	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24
330	12.42	6.83	2.33	0.72	0.22	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	22.62
TOT	48.21	22.54	7.81	3.07	1.29	0.54	0.24	0.06	0.03	0.01	0.00	83.78

Tabella 2.2.2.1.2 – Percentuali di apparizioni delle classi di altezza d'onda al largo di Bari.

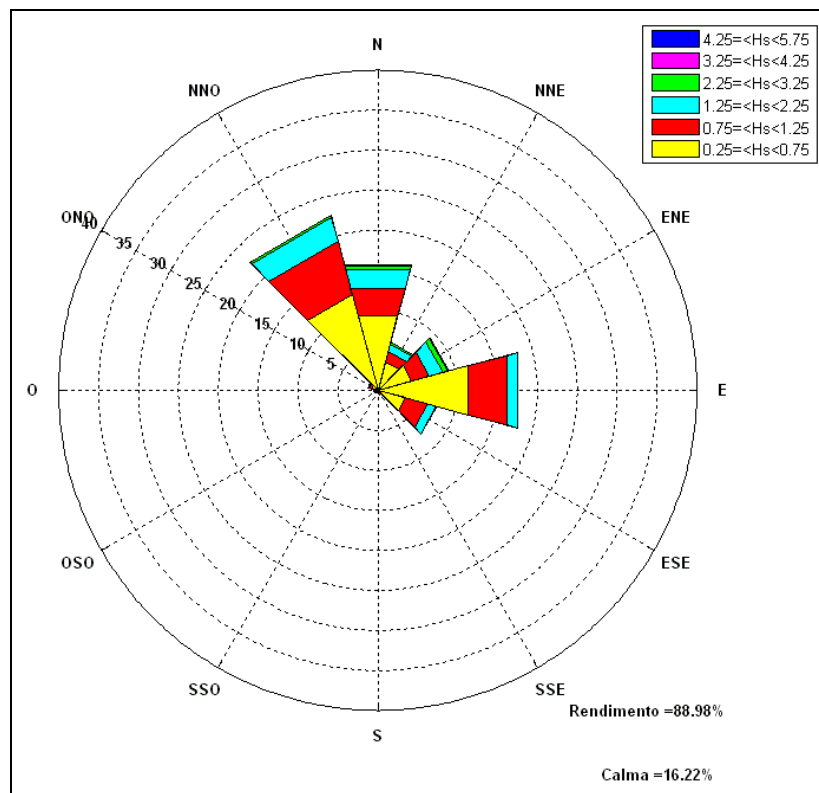


Figura 2.2.2.1.1 - Percentuali annuali di apparizione del moto ondoso al largo di Bari.

Gli stessi risultati sono riportati attraverso un istogramma in cui la calma ($H_s < 0.25$ m) sono state separate dal moto ondoso (figura 2.2.2.1.2).

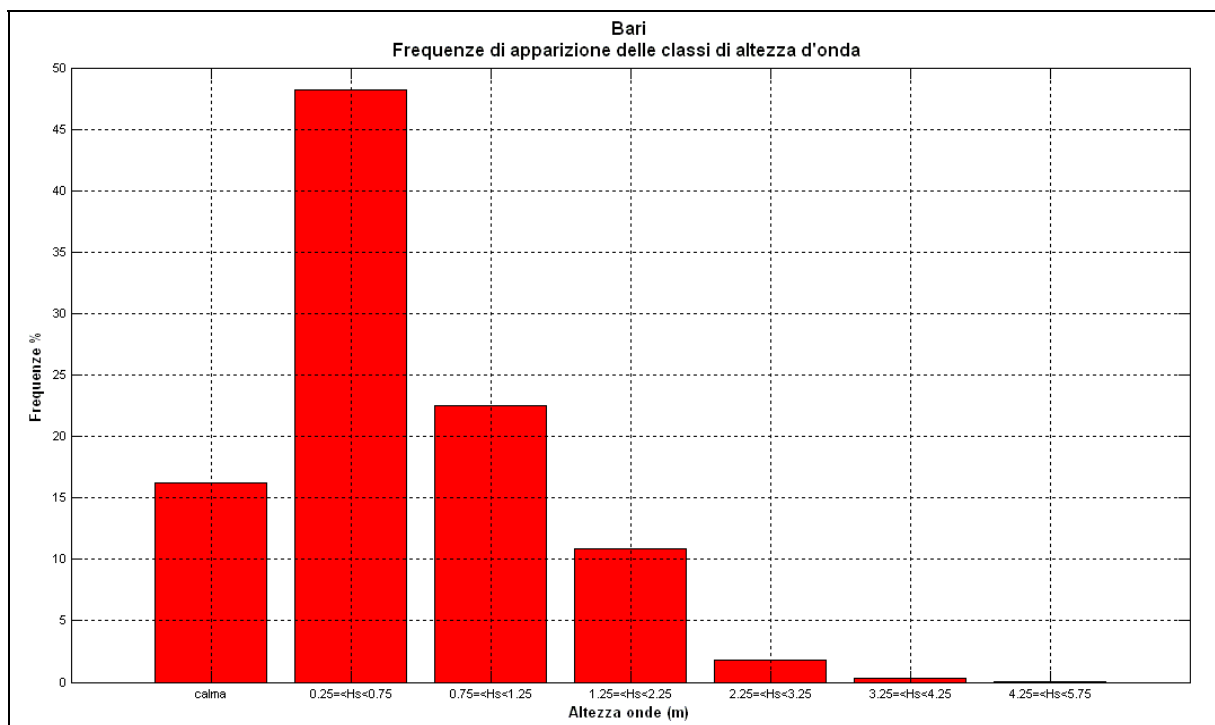


Figura 2.2.2.1.2 - Frequenze di apparizione delle classi di altezza d'onda al largo di Bari.

Il settore di traversia del paraggio di Bari, come si può osservare dalla figura 2.2.2.1.1, risulta compreso tra 330°N e 120°N. Gli stati di mari più frequenti provengono da NNO (22.62%) e da Est (18.19%), ma risultano piuttosto frequenti anche le onde da Nord (16.23%); gli stati di mare più intensi provengono dal primo quadrante ed in particolare da ENE.

Dall'analisi delle precedenti tabelle e figure, in particolare, emergono le seguenti caratteristiche del clima d'onda annuale:

- la percentuale degli eventi caratterizzata da un'altezza d'onda inferiore a 0.75m è pari al 64.42%;
- gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda compresa tra 0.75m e 2.75m (34.70%) provengono soprattutto dal primo quadrante (19.62%), ma le percentuali massime di apparizione spettano alla direzione NNO (10.10%);
- il moto ondoso più intenso ($H_s > 2.75m$) rappresenta lo 0.88% degli eventi totali e proviene principalmente da ENE (0.36%).

Se si classificano le onde secondo il periodo di picco T_p (tabella 2.2.2.1.3; figura 2.2.2.1.3) si osserva che la frequenza di apparizione maggiore spetta alle onde con periodo compreso tra 3 e 7 secondi (67.02%) con la massima percentuale alle onde con periodo nell'intervallo 3 ÷ 5 secondi (35.26%); le onde con periodo di picco minore di 3s rappresentano il 2.94% del totale, mentre le onde con periodo maggiore di 7s costituiscono il 13.82%.

Nella figura 2.2.2.1.4 è riportata infine la classificazione delle mareggiate per classe di periodo T_p e per direzione di provenienza del moto ondoso.

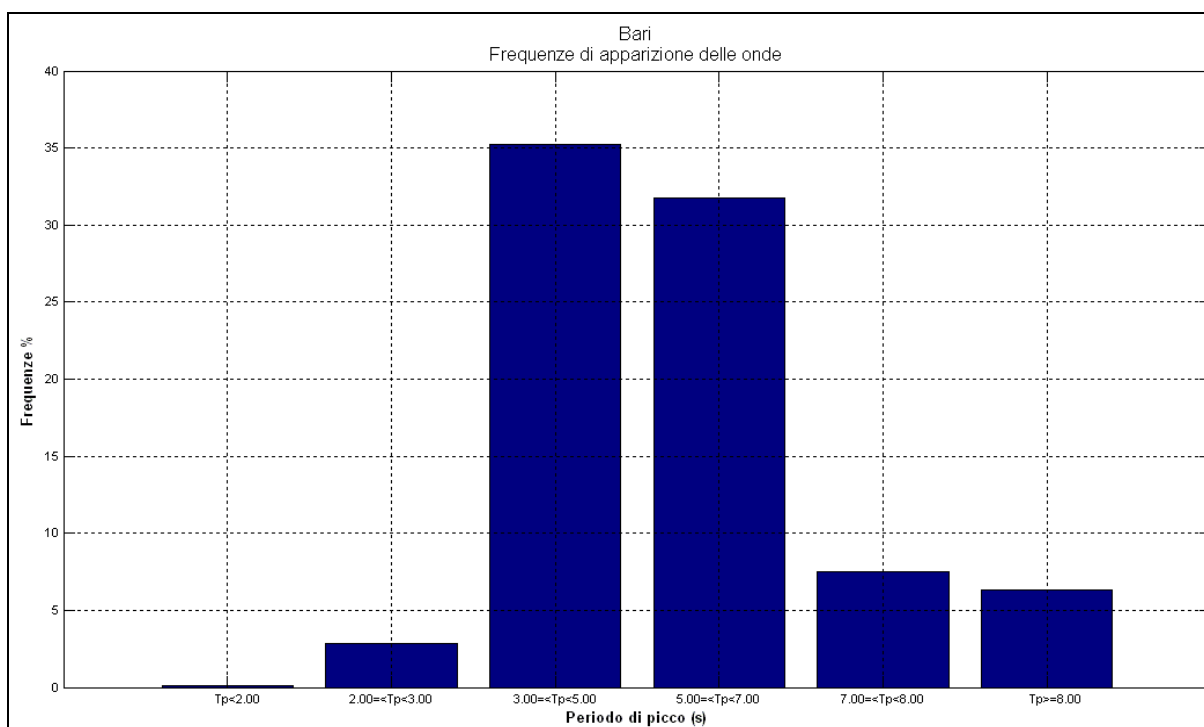


Figura 2.2.2.1.3 - Classificazione delle onde per classe di periodo.

dir (°N)	periodo di picco T_p (s)						TOT
	$T_p < 2$	$2 \leq T_p < 3$	$3 \leq T_p < 5$	$5 \leq T_p < 7$	$7 \leq T_p < 8$	$T_p \geq 8$	
0	0.02	0.33	7.32	6.15	1.47	0.93	16.22
30	0.01	0.07	2.01	2.82	0.90	0.46	6.27
60	0.00	0.07	1.88	4.17	1.67	1.48	9.27
90	0.00	0.62	7.01	6.70	2.02	1.85	18.19
120	0.00	0.18	3.38	2.94	0.77	0.42	7.69
150	0.00	0.10	0.27	0.17	0.04	0.08	0.65
180	0.02	0.09	0.12	0.05	0.01	0.06	0.34
210	0.01	0.07	0.10	0.07	0.02	0.08	0.35
240	0.00	0.03	0.11	0.11	0.03	0.16	0.44
270	0.01	0.07	0.18	0.13	0.03	0.09	0.50
300	0.01	0.16	0.61	0.30	0.03	0.13	1.24
330	0.03	1.05	12.28	8.15	0.53	0.58	22.62
TOT	0.11	2.83	35.26	31.76	7.51	6.31	83.78

Tabella 2.2.2.1.3 – Percentuali di apparizioni annuali per classi di periodo.

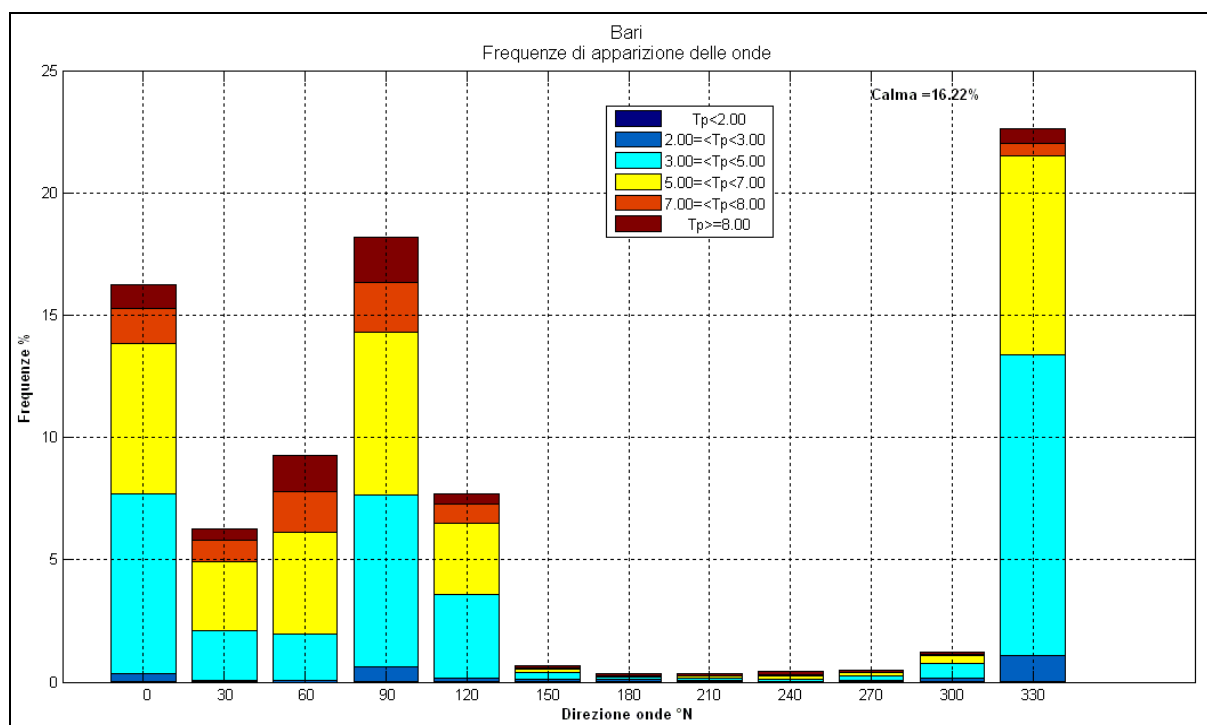


Figura 2.2.2.1.4 - Classificazione delle onde per classe di periodo e per direzione del moto ondoso.

2.2.2.2 Frequenze di apparizione stagionali

Nelle tabelle 2.2.2.2.1.a – b- c – d sono stati riportati i valori di apparizione del moto ondoso suddivisi per le quattro stagioni, mentre nelle tabelle 2.2.2.2.1.a – b – c – d sono riportate le corrispondenti percentuali di apparizione stagionali. Le frequenze di apparizione stagionale sono state rappresentate nei grafici di figura 2.2.2.2.2.

I risultati delle ricostruzioni del clima al largo su base stagionale riprendono quasi integralmente, per ogni stagione, i valori riferiti all'intero anno.

Rispetto alle percentuali annuali di apparizione del moto ondoso, durante la stagione invernale è stata riscontrata una maggiore frequenza delle mareggiate dal primo quadrante (+10.51% totale, Nord +5.76%) ed una minore frequenza delle mareggiate da NNO (-2.58%).

La tendenza opposta si verifica durante la stagione primaverile e quella estiva in cui le mareggiate dal primo quadrante diminuiscono rispettivamente del 7.13% e del 12.42%, mentre aumentano le mareggiate da NNO (+2.72% in primavera, +8.71% in estate).

In autunno si registra nuovamente un aumento delle mareggiate provenienti dal primo quadrante (+9.61%) e da ESE (+3.94%), mentre rispetto al dato annuale diminuisce la percentuale di apparizione degli eventi da NNO (-8.89%).

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	942	618	362	219	71	47	23	4	4	0	0	2290
30	365	216	121	68	39	11	6	2	0	0	0	828
60	433	328	208	133	100	43	19	5	5	1	1	1276
90	1114	562	158	60	3	2	5	0	0	0	0	1904
120	256	264	130	13	3	0	0	0	0	0	0	666
150	50	17	3	1	1	1	0	0	0	0	0	73
180	19	8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	28
210	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
240	17	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	22
270	51	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	61
300	65	33	17	5	0	1	0	0	0	0	0	121
330	891	723	288	120	38	20	4	2	1	0	0	2087
TOT	4219	2783	1289	619	256	125	57	13	10	1	1	9373

Tabella 2.2.2.2.1.a - Numero di apparizioni del moto ondoso (inverno).

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	9.04	5.93	3.48	2.10	0.68	0.45	0.22	0.04	0.04	0.00	0.00	21.98
30	3.50	2.07	1.16	0.65	0.37	0.11	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	7.95
60	4.16	3.15	2.00	1.28	0.96	0.41	0.18	0.05	0.05	0.01	0.01	12.25
90	10.69	5.40	1.52	0.58	0.03	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	18.28
120	2.46	2.53	1.25	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.39
150	0.48	0.16	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70
180	0.18	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
210	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
240	0.16	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
270	0.49	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59
300	0.62	0.32	0.16	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16
330	8.55	6.94	2.77	1.15	0.37	0.19	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	20.04
TOT	40.50	26.72	12.38	5.94	2.46	1.20	0.55	0.12	0.10	0.01	0.01	89.99

Tabella 2.2.2.2.1.a - Percentuali di apparizione del moto ondoso (inverno).

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	933	208	76	31	18	4	1	1	0	0	0	1272
30	352	83	33	15	5	2	0	0	0	0	0	490
60	484	107	36	26	4	3	0	0	0	0	0	660
90	1667	558	88	11	2	0	0	0	0	0	0	2326
120	466	318	77	12	1	0	0	0	0	0	0	874
150	47	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	57
180	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
210	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
240	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
270	24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
300	122	28	6	3	1	2	1	0	0	0	0	163
330	1716	797	202	68	20	5	1	0	0	0	0	2809
TOT	5883	2106	521	167	51	16	3	1	0	0	0	8748

Tabella 2.2.2.2.1.b - Numero di apparizioni del moto ondoso (primavera).

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	8.42	1.88	0.69	0.28	0.16	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	11.47
30	3.18	0.75	0.30	0.14	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.42
60	4.37	0.97	0.33	0.24	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.95
90	15.04	5.03	0.79	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.98
120	4.20	2.87	0.70	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.88
150	0.42	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51
180	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
210	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
240	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
270	0.22	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
300	1.10	0.25	0.05	0.03	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47
330	15.48	7.19	1.82	0.61	0.18	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	25.34
TOT	53.06	19.00	4.70	1.51	0.46	0.14	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	78.90

Tabella 2.2.2.2.1.b - Percentuali di apparizione del moto ondoso (primavera).

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	1398	306	74	26	7	1	0	0	0	0	0	1812
30	464	85	14	5	0	0	0	0	0	0	0	568
60	402	139	52	11	2	0	0	0	0	0	0	606
90	1057	172	15	3	0	0	0	0	0	0	0	1247
120	356	161	14	0	0	0	0	0	0	0	0	531
150	37	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	45
180	32	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	34
210	23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
240	23	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	27
270	41	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	44
300	113	44	7	4	1	0	0	0	0	0	0	169
330	2085	1029	342	60	13	4	0	0	0	0	0	3533
TOT	6031	1951	522	110	24	5	0	0	0	0	0	8643

Tabella 2.2.2.2.1.c - Numero di apparizioni del moto ondoso (estate).

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	12.40	2.71	0.66	0.23	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.07
30	4.12	0.75	0.12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.04
60	3.57	1.23	0.46	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.38
90	9.37	1.53	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.06
120	3.16	1.43	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.71
150	0.33	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
180	0.28	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
210	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
240	0.20	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
270	0.36	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39
300	1.00	0.39	0.06	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50
330	18.49	9.13	3.03	0.53	0.12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.33
TOT	53.48	17.30	4.63	0.98	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.65

Tabella 2.2.2.2.1.c - Percentuali di apparizione del moto ondoso (estate).

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	1007	399	166	125	74	20	3	3	0	0	0	1797
30	446	231	90	54	38	15	9	2	1	0	0	886
60	643	436	209	118	67	48	22	7	3	1	0	1554
90	1367	900	218	44	22	3	9	0	0	0	0	2563
120	501	570	201	42	10	2	0	1	0	0	0	1327
150	83	21	8	0	0	0	0	0	0	0	0	112
180	54	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	63
210	74	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0	91
240	70	31	15	1	0	0	0	0	0	0	0	117
270	63	22	3	2	1	0	0	0	0	0	0	91
300	65	19	5	4	1	1	0	0	0	0	0	95
330	799	469	199	71	24	4	1	0	0	0	0	1567
TOT	5172	3119	1119	461	237	93	44	13	4	1	0	10263

Tabella 2.2.2.2.1.d - Numero di apparizioni del moto ondoso (autunno).

dir (°N)	altezza d'onda significativa H_s (m)											TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	8.82	3.50	1.45	1.10	0.65	0.18	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	15.74
30	3.91	2.02	0.79	0.47	0.33	0.13	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	7.76
60	5.63	3.82	1.83	1.03	0.59	0.42	0.19	0.06	0.03	0.01	0.00	13.61
90	11.98	7.88	1.91	0.39	0.19	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	22.45
120	4.39	4.99	1.76	0.37	0.09	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	11.63
150	0.73	0.18	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98
180	0.47	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55
210	0.65	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
240	0.61	0.27	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03
270	0.55	0.19	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
300	0.57	0.17	0.04	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
330	7.00	4.11	1.74	0.62	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	13.73
TOT	45.31	27.32	9.80	4.04	2.08	0.81	0.39	0.11	0.04	0.01	0.00	89.91

Tabella 2.2.2.2.1.d - Percentuali di apparizione del moto ondoso (autunno).

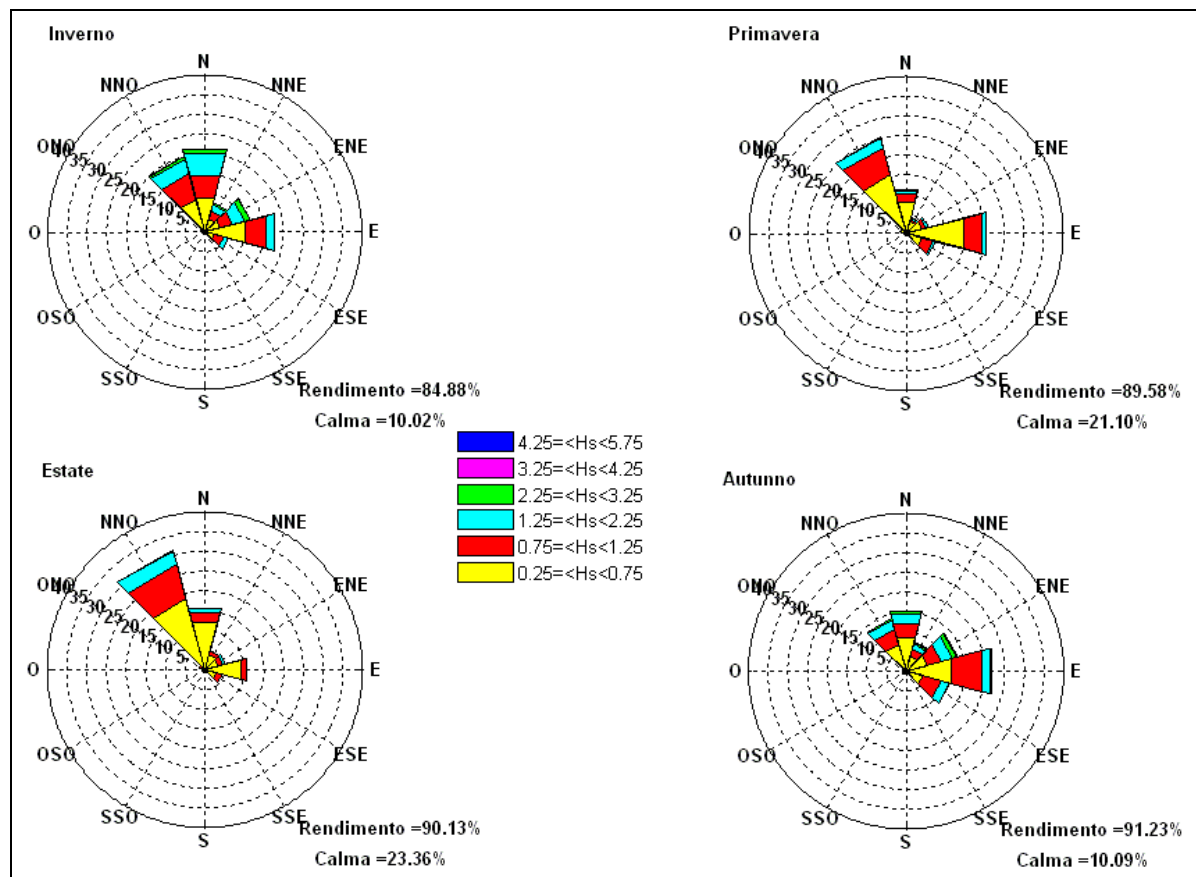


Figura 2.2.2.2.2 - Percentuali stagionali di apparizione del moto ondoso al largo di Bari.

2.2.3 RELAZIONE PERIODO – ALTEZZA

La correlazione tra l'altezza d'onda al largo e il periodo di picco corrispondente è stata individuata attraverso l'analisi dei dati ricostruiti adottando la seguente formulazione matematica:

$$T = \alpha * H_s^\beta$$

dove:

- T è il periodo dell'onda espresso in secondi;
- H_s è l'altezza d'onda significativa espressa in metri;
- α, β sono dei coefficienti di correlazione.

Il metodo è stato applicato sia a partire dai dati relativi all'intero paraggio, sia in riferimento a tre settori angolari in cui la traversia è stata suddivisa. Nel dettaglio è stata utilizzata la partizione del settore di traversia proposta nell'*Atlante dei Mari Italiani*, in base alla quale la traversia del paraggio di Bari è stata suddivisa così come riportato in tabella 2.2.3.1.

	dir (°N)
I settore	310° - 10°
II settore	10° - 70°
III settore	70° - 130°

Tabella 2.2.3.1 – Settori di traversia del paraggio di Bari.

Per ciascun settore analizzato, i dati d'onda sono stati suddivisi per altezze congruenti, fissando un fattore di soglia pari a 0.25m. Per ogni altezza d'onda H_{si} sono state tabulate tutte le n direzioni di provenienza, i corrispondenti n periodi e gli m numeri di apparizione b_s . Si è ricavato allora il periodo riferito alla i -esima onda come:

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^m T_{sj} * b_s}{m} \quad \text{espresso in secondi.}$$

Una volta calcolato il periodo d'onda T_i per ogni altezza d'onda H_{si} è stata cercata la regressione fra i valori di T_i e i valori di H_{si} .

Nella figura 2.2.3.1 sono riportati i valori dei coefficienti di regressione calcolati per il periodo di picco T_p e per il periodo medio T_m , in riferimento all'intero settore di traversia del paraggio, mentre nelle figure 2.2.3.2 e 2.2.3.3 sono riportati i coefficienti di regressione riferiti ai singoli settori di traversia analizzati calcolati rispettivamente per il periodo di picco T_p e per il periodo medio T_m .

Nella tabella 2.2.3.2 sono riportati i valori dei coefficienti di regressione calcolati per il periodo di picco T_p , riferiti alle quattro configurazioni di traversia analizzate.

paraggio		I settore		II settore		III settore	
α	β	α	β	α	β	α	β
5.741	0.312	5.423	0.282	6.192	0.269	6.020	0.287

Tabella 2.2.3.2 – Coefficienti di regressione altezza significativa - periodo di picco al largo.

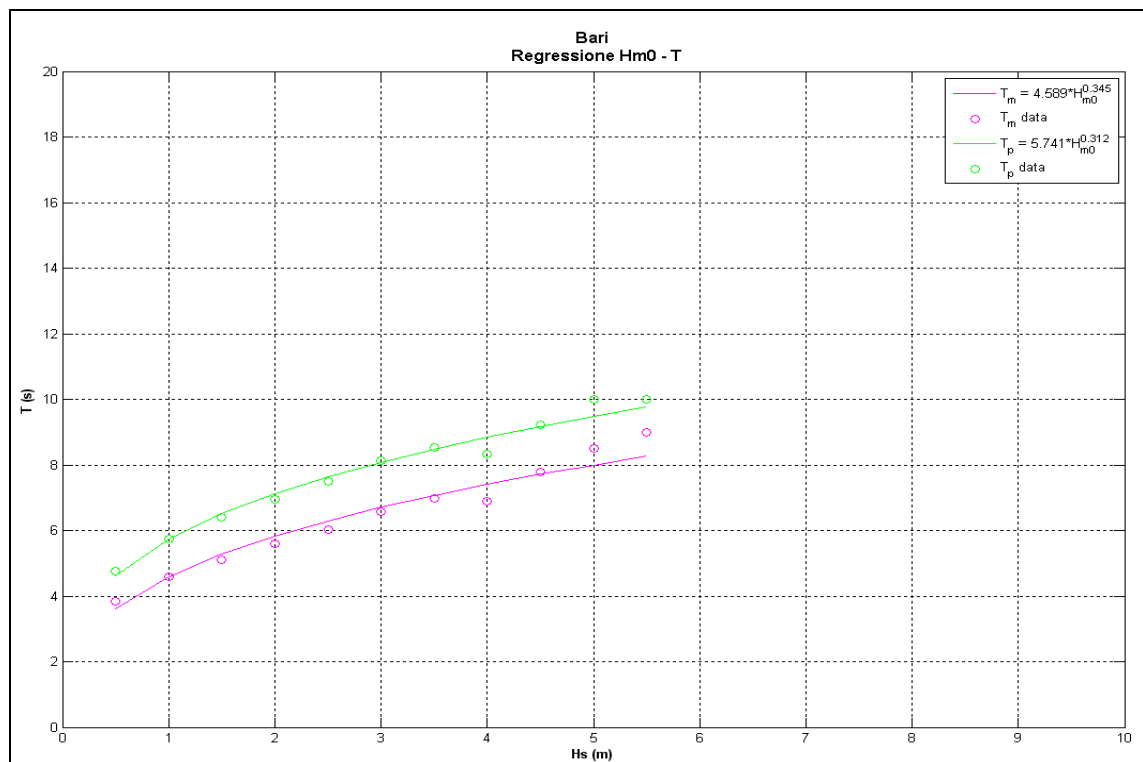


Figura 2.2.3.1 - Curva di regressione altezza significativa - periodo di picco e periodo medio.

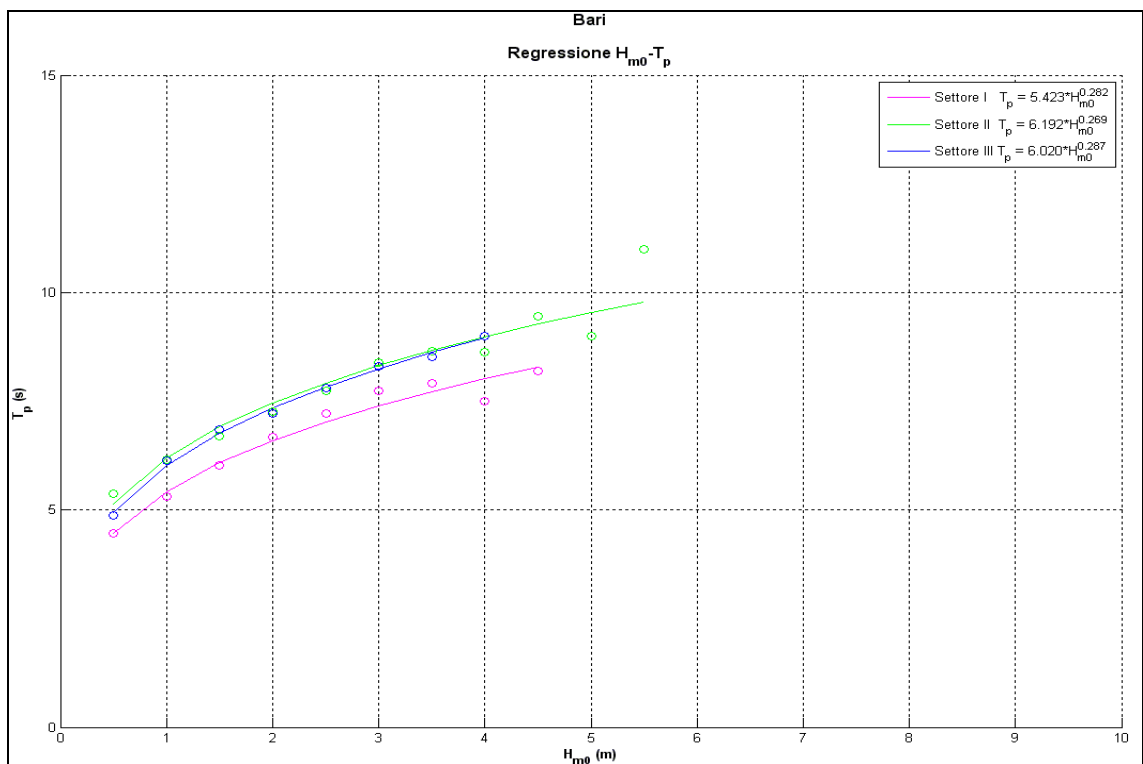


Figura 2.2.3.1 - Curva di regressione altezza significativa - periodo di picco per settori di traversia.

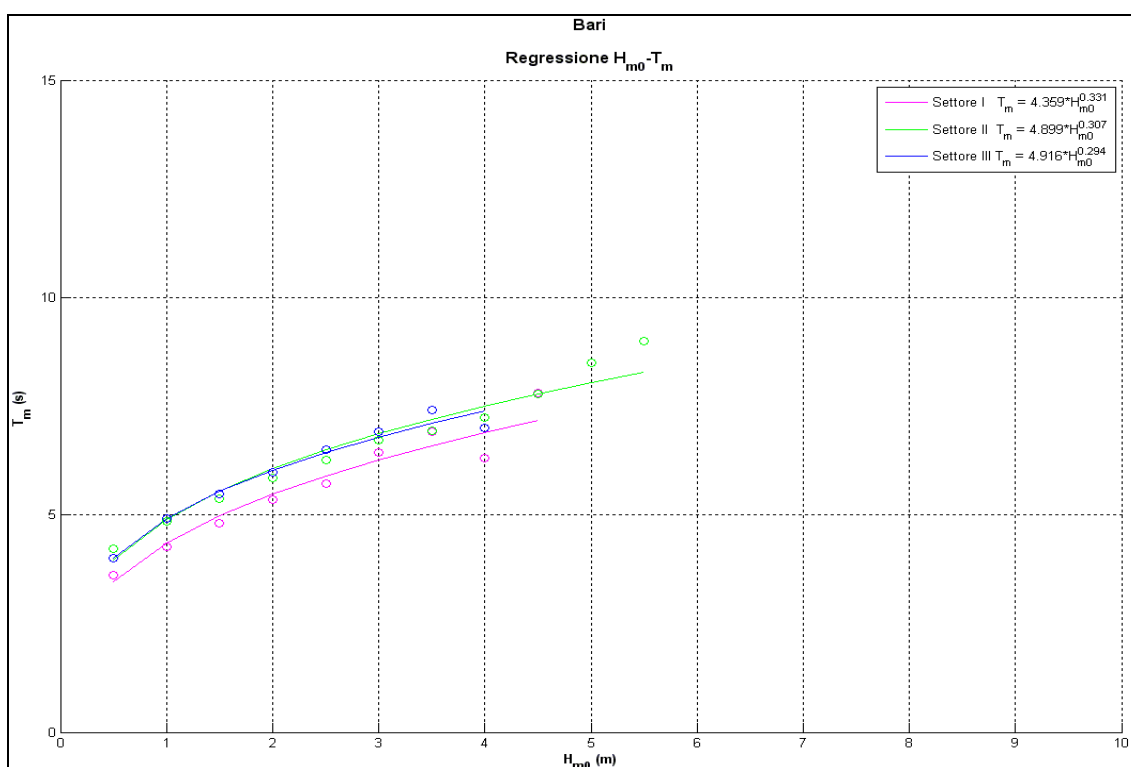


Figura 2.2.3.1 - Curva di regressione altezza significativa - periodo medio per settori di traversia.

2.2.4 ONDE EQUIVALENTI

Oltre alla modellazione del clima meteomarinario medio al largo, ai fini della caratterizzazione della dinamica del litorale è utile conoscere il clima meteomarinario equivalente annuale, ovvero la cosiddetta onda di modellazione o morfologica.

Il clima meteomarinario equivalente è stato valutato ricavando per ciascuna delle direzioni prescelte e per l'intero paraggio la mareggiata energeticamente equivalente all'intera serie storica disponibile.

L'onda di modellazione è caratterizzata da un'altezza d'onda H ed un periodo d'onda T , rappresentativi del contenuto energetico per il settore considerato. Tale onda è in grado di indurre effetti sul litorale equivalenti a quelli indotti da tutte le onde sulla base delle quali è stata calcolata.

L'altezza d'onda energeticamente equivalente per ciascuna direzione è stata calcolata con la relazione:

$$H_s = \sqrt{\frac{\sum_i H_{Si}^2 \cdot T_{pi} \cdot t_i}{\sum_i T_{pi} \cdot t_i}}$$

in cui la sommatoria è estesa al numero di mareggiate che compete a ciascuna direzione considerata e H_{Si} , T_{pi} e t_i sono rispettivamente l'altezza significativa, il periodo di picco e la durata di ciascuna mareggiata.

Analogamente il periodo da associare alla suddetta altezza d'onda è stato ricavato come media pesata dei periodi delle singole mareggiate rispetto alle relative durate secondo la relazione:

$$T_p = \frac{\sum_i T_{pi} \cdot t_i}{\sum_i t_i}$$

Per quanto riguarda l'individuazione dell'onda caratterizzante l'intero paraggio, si considerano ovviamente tutte le mareggiate calcolate nell'intero settore di traversia procedendo al calcolo dell'altezza e del periodo con la stessa metodologia innanzi descritta.

In questo caso però si è reso necessario anche il calcolo della direzione di provenienza della mareggiata equivalente. A tale scopo, il flusso di energia è stato trattato come un vettore, le cui componenti hanno consentito di ricavare la direzione media con la seguente relazione:

$$\phi = \arctan \left[\frac{\sum_i H_{Si}^2 \cdot T_{pi} \cdot t_i \cdot \sin \theta_i}{\sum_i H_{Si}^2 \cdot T_{pi} \cdot t_i \cdot \cos \theta_i} \right]$$

Dallo studio del clima meteomarinario equivalente del paraggio (tabella 2.2.4.1) risulta che alla direzione ESE compete l'altezza d'onda energeticamente equivalente più elevata (1.36m), con una frequenza di apparizione pari al 11.06%; la mareggiata equivalente da NNO (0.99m), da Est (0.85m) e da Nord (1.11m) sono le più frequenti con percentuali di apparizione pari rispettivamente a 27.00%, 21.71% e 19.37%.

L'onda caratteristica equivalente dell'intero paraggio ha un'altezza di 1.04m, periodo di picco pari a 5.70s e direzione di provenienza 31°N.

Le onde di modellazione sono in genere utilizzate per ottenere informazioni quali-quantitative sul trasporto solido costiero; si dimostra, infatti, che i flussi di energia per unità di lunghezza della cresta delle onde sono proporzionali, attraverso diversi fattori, al trasporto solido longitudinale.

Nelle tabelle da 2.2.4.2 a 2.2.4.5 sono state altresì riportate le mareggiate equivalenti ottenute su base stagionale.

direzione (°N)	H _s (m)	T _p (s)	durata (ore)
0	1.11	5.64	21513
30	1.13	6.12	8316
60	1.36	6.46	12288
90	0.85	5.69	24120
120	0.98	5.54	10194
150	0.73	6.14	861
180	0.73	6.57	447
210	0.51	7.94	462
240	0.64	10.34	585
270	0.63	7.75	663
300	0.84	6.21	1644
330	0.99	5.14	29988
31	1.04	5.70	111081

PARAGGIO

Tabella 2.2.4.1 - Onde equivalenti annue.

direzione (°N)	H _s (m)	T _p (s)	durata (ore)
0	1.36	5.95	6870
30	1.35	6.18	2484
60	1.63	6.66	3828
90	0.94	5.74	5712
120	1.05	5.51	1998
150	0.89	5.37	219
180	1.18	4.64	84
210	0.47	4.79	51
240	0.62	6.27	66
270	0.61	5.45	183
300	1.06	4.73	363
330	1.19	5.27	6261
28	1.27	5.81	28119

PARAGGIO

Tabella 2.2.4.2 - Onde equivalenti invernali.

direzione (°N)	H _s (m)	T _p (s)	durata (ore)
0	0.86	5.29	3816
30	0.84	5.83	1470
60	0.84	6.09	1980
90	0.74	5.30	6978
120	0.89	5.21	2622
150	0.65	5.43	171
180	0.35	5.78	72
210	0.34	11.99	57
240	0.37	18.11	87
270	0.40	8.97	75
300	0.79	6.55	489
330	0.89	5.06	8427
25	0.83	5.39	26244

PARAGGIO

Tabella 2.2.4.3 - Onde equivalenti primaverili.

	direzione (°N)	H_s (m)	T_p (s)	durata (ore)
	0	0.74	5.59	5436
	30	0.66	6.03	1704
	60	0.82	6.21	1818
	90	0.62	5.44	3741
	120	0.74	5.49	1593
	150	0.63	8.01	135
	180	0.78	9.48	102
	210	0.58	6.87	81
	240	0.68	10.80	81
	270	0.62	12.42	132
	300	0.74	7.38	507
	330	0.89	5.12	10599
PARAGGIO	357	0.78	5.56	25929

Tabella 2.2.4.4 - Onde equivalenti estive.

	direzione (°N)	H_s (m)	T_p (s)	durata (ore)
	0	1.18	5.54	5391
	30	1.27	6.28	2658
	60	1.45	6.55	4662
	90	0.95	6.14	7689
	120	1.07	5.80	3981
	150	0.70	6.26	336
	180	0.56	6.17	189
	210	0.54	8.00	273
	240	0.72	9.08	351
	270	0.71	6.70	273
	300	0.90	5.42	285
	330	1.07	5.15	4701
PARAGGIO	48	1.13	5.96	30789

Tabella 2.2.4.5 - Onde equivalenti autunnali.

Dall'analisi delle tabelle si evince che le mareggiate equivalenti all'intero paraggio caratterizzate da valori di altezza d'onda maggiore si verificano in inverno ($H = 1.27$ m) ed in autunno ($H = 1.13$ m); per quanto riguarda le percentuali di apparizione, le onde equivalenti da Nord sono le mareggiate più frequenti in inverno, in primavera ed in estate le onde equivalenti più frequenti sono quelle provenienti da NNO, ed infine in autunno le onde equivalenti più frequenti provengono da Est.

2.2.5 EVENTI ESTREMI

Gli eventi estremi di moto ondoso al largo sono utili ai fini della progettazione di una struttura in quanto è necessario conoscere l'altezza d'onda massima cui essa sarà sottoposta nel suo tempo di vita. Trattandosi di eventi stocastici, le altezze

d'onda non possono essere calcolate con metodi deterministici e quindi il margine di incertezza dei risultati ottenuti è insito nel problema stesso. I metodi probabilistici in uso consistono nella ricerca di una legge di distribuzione rappresentativa del campione di dati disponibile ed in una successiva estrapolazione di detta legge fino a tempi di ritorno congrui con l'importanza e le esigenze dello studio. Per tempo di ritorno T_r si intende l'intervallo temporale fra due eventi di uguale intensità, ovvero, nel caso specifico, il tempo in cui una data altezza d'onda possa essere eguagliata o superata una sola volta.

Nella presente relazione la stima dell'altezza d'onda massima probabile è stata condotta considerando le seguenti funzioni di distribuzione a lungo termine:

$$F(H_s \leq \hat{H}_s) = e^{-e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)}} \quad \text{distribuzione di Fisher-Tippet I (FT-I o Gumbel);}$$

$$F(H_s \leq \hat{H}_s) = 1 - e^{-e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)^k}} \quad \text{distribuzione di Weibull;}$$

dove:

$$F(H_s \leq \hat{H}_s) \quad \text{è la probabilità che } H_s \text{ non superi il valore di soglia di altezza significativa, } \hat{H}_s ;$$

B è il parametro del sito;

A è il parametro di scala;

k è il parametro di forma.

Il valore di k viene posto pari a 0.75, 1.00, 1.40 e 2.00; al variare di tale coefficiente, si esaminano 4 differenti distribuzioni a lungo termine di Weibull.

Il primo passo relativo all'applicazione della metodologia consiste nel prendere i valori di altezza d'onda significativa di input e posizionarli in ordine decrescente. Ad ogni valore di H_s viene assegnata una probabilità (plotting position) secondo le espressioni:

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0.44}{NT + 0.12} \quad \text{(secondo la Fisher-Tippet I)}$$

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0.20 - \frac{0.27}{\sqrt{k}}}{NT + 0.20 + \frac{0.23}{\sqrt{k}}} \quad (\text{secondo la Weibull})$$

in cui:

$F(H_s \leq H_{sm})$ rappresenta la probabilità che l' m -esima altezza significativa non venga superata;

H_{sm} è l' m -esimo valore del campione delle altezze significative;

m rappresenta il numero degli eventi presenti nella classe di altezze d'onda significative considerate;

NT è il numero totale di tutti gli eventi presi in esame.

Per tutte le 5 distribuzioni (FT-I e Weibull con $k = 0.75, 1.00, 1.40$ e 2.00), sono stati considerati gli eventi con altezza al culmine della mareggiata superiore ad una soglia prefissata H_T (metodologia POT "Peak over Threshold" - *Atlante dei Mari Italiani*). I parametri A e B sono stati determinati verificando l'adattabilità ai dati delle 5 funzioni, attraverso un'analisi di regressione lineare effettuata con il metodo dei minimi quadrati e considerando le distribuzioni che offrono il più alto grado di correlazione.

Successivamente, i valori dell'altezza d'onda significativa, per differenti periodi di ritorno T_r , sono calcolati, per le funzioni di probabilità considerate, mediante la seguente espressione:

$$H_{sr} = \hat{A}y_r + \hat{B}$$

dove:

$$y_r = -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{\lambda T}\right)\right] \quad (\text{secondo la Fisher-Tippett I})$$

$$y_r = [\ln(\lambda T)]^{1/k} \quad (\text{secondo la Weibull})$$

H_{sr} rappresenta l'altezza d'onda significativa, associata ad un periodo di ritorno T ;

λ	numero medio degli eventi per anno) = NT / K ;
K	lunghezza della registrazione dei dati di moto ondoso.

Il calcolo delle onde estreme è stato effettuato applicando il metodo POT sia all'intero paraggio, sia a ciascuno dei tre settori angolari in cui la traversia è stata suddivisa. La partizione del settore di traversia adottata è quella riportata nell'*Atlante dei Mari Italiani*; a ciascuno settore di traversia è stata assegnata una diversa soglia H_T per la selezione della serie tronca (tabella 2.2.5.1).

	H_T (m)
I settore: 310° - 10°	2.5
II settore: 10° - 70°	2.5
III settore: 70° - 130°	2.0
paraggio	3.0

Tabella 2.2.5.1 - Valori di soglia adottati per l'applicazione del metodo POT.

Nella figura 2.2.5.1 sono riportati i valori massimi di altezza d'onda registrati nel periodo 1990-2007, suddivisi per direzione di provenienza, che superano il valore di soglia prefissato. Tra le varie leggi di distribuzione esaminate, è stato appurato che la legge di distribuzione di Weibull è quella che meglio si adatta ad interpretare la serie storica delle altezze d'onda significativa di valore superiore a quello delle soglie prefissate H_T .

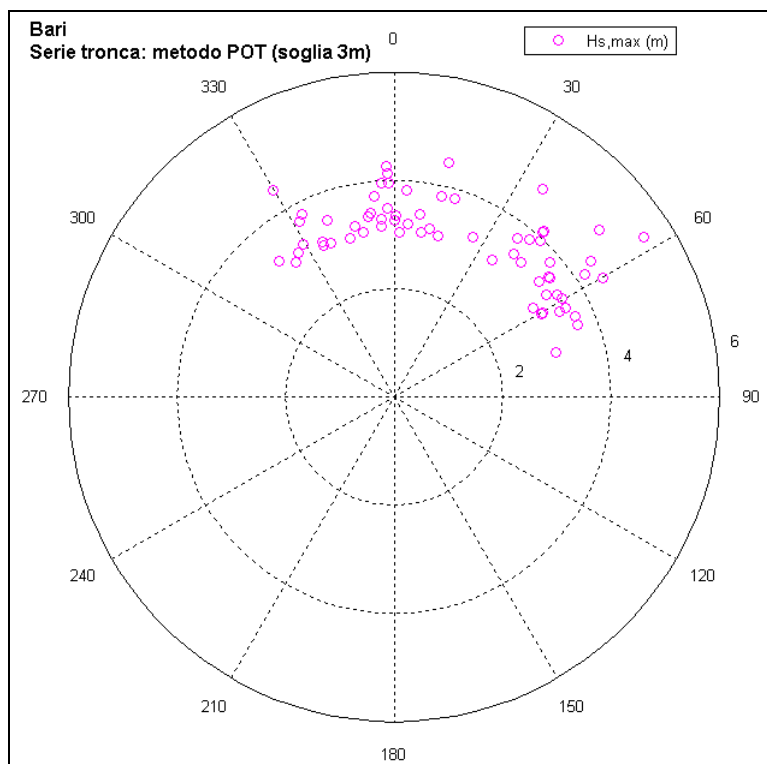


Figura 2.2.5.1 - Valori massimi di altezza d'onda per direzione di provenienza.

In particolare nella tabella 2.2.5.2 sono riportati i parametri delle legge di distribuzione adottata suddivisi per ciascuna direzione di provenienza del moto ondoso esaminato; tali parametri sono stati ricavati con il metodo dei momenti.

Direzione	k	A	B
I settore: 310° - 10°	1.4	0.7125	2.400
II settore: 10° - 70°	1.4	0.9967	2.3584
III settore: 70° - 130°	1.4	0.3961	2.0238
paraggio	1.4	0.7795	2.8922

Tabella 2.2.5.2 - Parametri della legge di distribuzione di Weibull.

Nelle tabelle da 2.2.5.3 a 2.2.5.6 sono riportate le massime altezze significative al largo calcolate con le distribuzioni di Weibull (figura da 2.2.5.2 a 2.2.5.5) per assegnati tempi di ritorno T_r , relative rispettivamente all'intero paraggio, ed ai tre settori angolari esaminati.

Tempo di ritorno (anni)	$H_s \text{ max}$ (m)	T_p (s)
100	5.68	9.87
75	5.59	9.82
50	5.45	9.74
25	5.20	9.60
20	5.12	9.56
10	4.86	9.40
5	4.59	9.24
1	3.86	8.75

Tabella 2.2.5.3 - Eventi estremi relativi all'intero paraggio.

Tempo di ritorno (anni)	$H_s \text{ max}$ (m)	T_p (s)
100	4.96	8.52
75	4.87	8.47
50	4.74	8.41
25	4.52	8.30
20	4.45	8.26
10	4.21	8.13
5	3.96	7.99
1	3.30	7.59

Tabella 2.2.5.4 - Eventi estremi relativi al I settore (310° - 10°).

Tempo di ritorno (anni)	$H_s \text{ max}$ (m)	T_p (s)
100	5.93	9.99
75	5.81	9.94
50	5.63	9.86
25	5.32	9.71
20	5.22	9.66
10	4.88	9.48
5	4.53	9.30
1	3.61	8.75

Tabella 2.2.5.5 - Eventi estremi relativi al II settore ($10^\circ - 70^\circ$).

Tempo di ritorno (anni)	$H_s \text{ max}$ (m)	T_p (s)
100	3.34	8.51
75	3.29	8.47
50	3.21	8.41
25	3.08	8.31
20	3.04	8.28
10	2.90	8.17
5	2.76	8.06
1	2.35	7.69

Tabella 2.2.5.6- Eventi estremi relativi al III settore ($70^\circ - 130^\circ$).

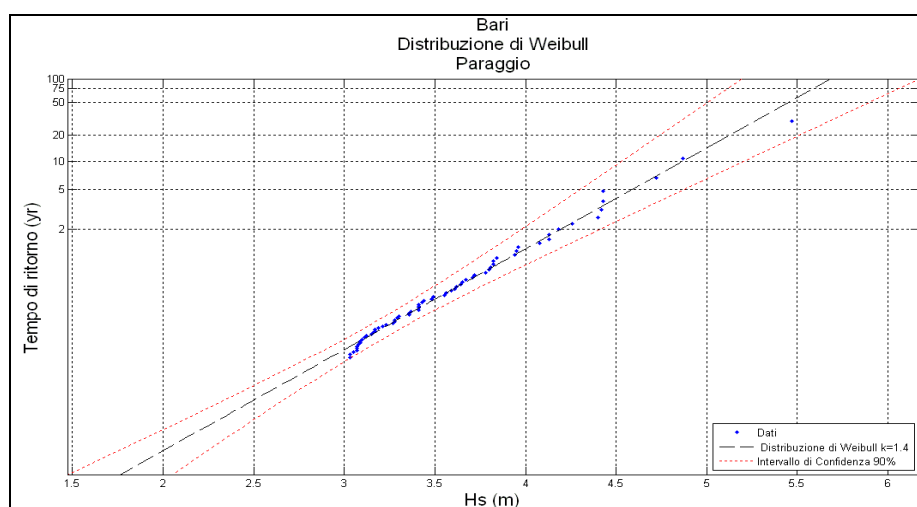


Figura 2.2.5.2 - Valori estremi di altezza d'onda nell'intero paraggio (Weibull $k=1.4$).

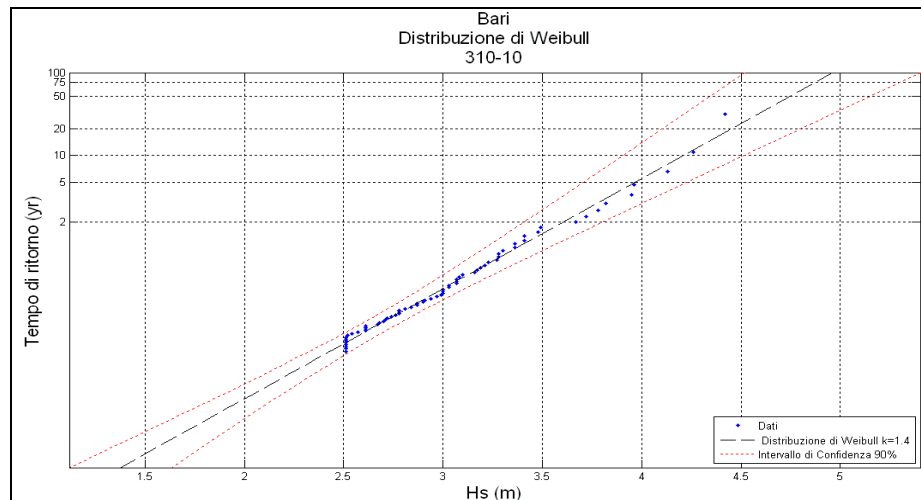


Figura 2.2.5.3 - Valori estremi di altezza d'onda relativi I settore 310° - 10° (Weibull $k=1.4$).

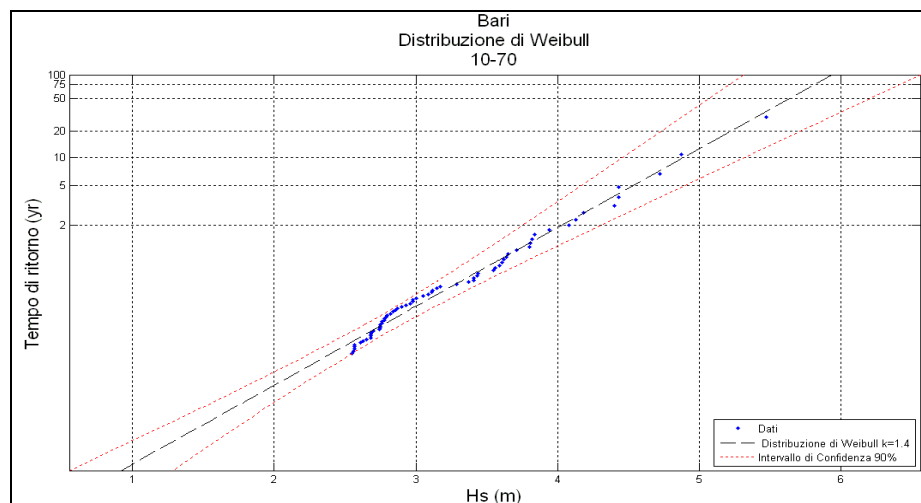


Figura 2.2.5.4 - Valori estremi di altezza d'onda relativi II settore 10° - 70° (Weibull $k=1.4$).

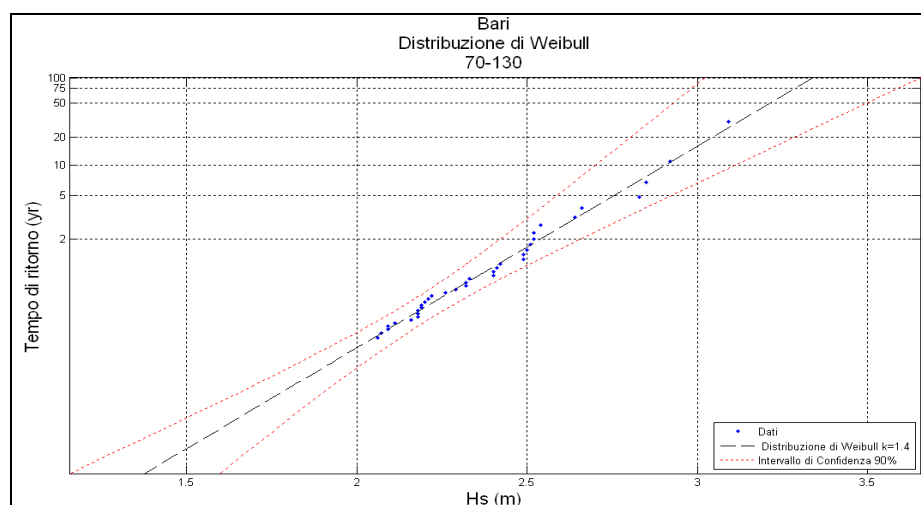


Figura 2.2.5.5 - Valori estremi di altezza d'onda relativi III settore 70° - 130° (Weibull $k=1.4$).

2.3 MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA

Nel presente capitolo è riportato lo studio con cui sono state determinate le condizioni ondose sottocosta calcolate a seguito dell'elaborazione di piani d'onda ottenuti attraverso l'applicazione di un idoneo modello matematico.

L'elaborazione dei piani d'onda ha permesso di valutare le modifiche in forma, altezza, direzione e celerità che le onde subiscono nella loro propagazione da largo verso riva. Le caratteristiche delle onde variano infatti a causa di fenomeni quali lo shoaling, la rifrazione, la diffrazione, la riflessione e il frangimento, associati a fenomeni non lineari dovuti alle interazioni fra le stesse onde e tra le onde e i fondali.

2.3.1 IL MODELLO MATEMATICO SWAN

La propagazione del clima ondoso da largo verso riva è stata simulata con il modello numerico **SWAN**, acronimo di **Simulating WAVes Nearshore**, la cui implementazione è stata sviluppata dal Dipartimento di Meccanica dei Fluidi dell'Università di Delft.

Lo SWAN permette di ottenere stime reali dei parametri d'onda in aree costiere, laghi ed estuari una volta note le condizioni del fondo, del vento e delle correnti. In particolare, il modello simula lo sviluppo degli spettri d'onda che viaggiano da acque profonde verso acque poco profonde, come nel caso del moto ondoso che si propaga verso riva.

Nel modello SWAN sono rappresentati i seguenti processi di propagazione d'onda:

- propagazione lungo lo spazio geografico;
- rifrazione dovuta a variazioni del fondale marino e della corrente;
- shoaling dovuto a variazioni del fondale marino e della corrente;
- bloccaggio e riflessione da parte di correnti in direzione opposta;
- trasmissione, bloccaggio o riflessione da parte di ostacoli.

Inoltre, nello SWAN vengono rappresentati i seguenti processi di generazione e dissipazione d'onda:

- generazione dovuta al vento;
- dissipazione dovuta alla rottura in cresta (whitecapping);
- dissipazione dovuta alla rottura d'onda indotta dalla profondità;

- dissipazione dovuta all'attrito sul fondo;
- interazioni onda-onda (quadruple e triple);
- diffrazione a tergo di ostacoli.

In funzione dei molteplici processi che l'algoritmo di calcolo del modello riesce a simulare, attraverso la sua applicazione nel caso del paraggio di Capitolo è stato possibile riprodurre con buona approssimazione le trasformazioni delle onde equivalenti (o di modellazione) dal largo fino alla costa in prossimità del litorale esaminato.

Il modello SWAN può essere utilizzato in condizioni sia stazionarie sia non stazionarie, considerando coordinate sia cartesiane (nel caso di piccole scale), sia sferiche (nel caso di piccole e grandi scale). Nel modello SWAN le onde sono descritte attraverso la densità d'azione spettrale dell'onda bidimensionale anche quando sono presenti fenomeni non lineari (ad esempio nella zona dei frangenti). La ragione fondamentale per l'utilizzo dello spettro anche in condizioni fortemente non lineari è che, anche in tali condizioni, è possibile definire con buona accuratezza la distribuzione spettrale del momento del secondo ordine delle onde (sebbene esso non è sufficiente per descrivere le onde da un punto di vista statistico).

Lo spettro utilizzato in SWAN è la densità d'azione spettrale $N(\sigma, \theta)$ anziché la densità di energia spettrale $E(\sigma, \theta)$ poiché, in presenza di correnti, la densità d'azione spettrale viene conservata mentre non lo è la densità d'energia.

Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa σ e la direzione d'onda θ (la direzione normale alla cresta dell'onda di ogni componente spettrale). La densità d'azione è funzione della densità d'energia e della frequenza relativa:

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

Nella presente modellazione, l'evoluzione dello spettro d'onda è descritta attraverso la seguente equazione del bilancio d'azione spettrale valida per coordinate cartesiane, che rappresenta l'equazione fondamentale di tutta la teoria dello SWAN:

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

In tale equazione il primo termine di sinistra rappresenta la variazione della densità d'azione spettrale rispetto al tempo; il secondo, il terzo e il quarto termine rappresentano la propagazione dell'azione nello spazio geografico (con le velocità di

propagazione c_x , c_y e c_z riferite, rispettivamente, alle direzioni x , y e z); il quinto termine rappresenta la variazione della frequenza relativa dovuta alle variazioni di profondità e delle correnti (con la velocità di propagazione c_σ riferita allo spazio delle frequenze σ); il sesto termine, l'ultimo dei termini di sinistra dell'equazione, rappresenta la rifrazione indotta dalla profondità e dalla corrente (con la velocità di propagazione c_θ riferita allo spazio delle direzioni d'onda θ). Le espressioni per descrivere tali velocità di propagazione sono date dalla teoria dell'onda lineare di Stokes al 1° ordine. Il termine S , che è comunque funzione della frequenza e delle direzioni d'onda ($S = f(\sigma, \theta)$), presente nei termini a destra dell'equazione del bilancio d'azione spettrale, rappresenta il termine sorgente rispetto agli effetti della generazione, della dissipazione e delle interazioni non lineari onda-onda.

Le onde propagate con lo SWAN vengono definite da un valore di altezza d'onda, H_s , di periodo di picco, T_p , e di direzione di provenienza rispetto al Nord cartografico. Nelle propagazioni effettuate con lo SWAN è stato utilizzato uno spettro di tipo JONSWAP con γ (coefficiente di picco dello spettro) pari a 3.3, assumendo un range di direzioni spettrali pari a 180° , una frequenza minima dello spettro $f_1 = 0.01\text{Hz}$, e una frequenza massima $f_2 = 0.5\text{Hz}$. Il frangimento del moto ondoso per raggiunto limite di profondità è stato definito nell'input del programma in base al rapporto limite $H_s/d = 0.78$, in cui d è la profondità del fondale.

L'applicazione del modello prevede la definizione di una griglia di base rappresentativa della batimetria del paraggio; l'output del modello consiste nella definizione delle condizioni ondose, in ciascun nodo della griglia di calcolo fissata, espresse in termini di altezza d'onda, periodo e direzione.

Il modello SWAN è stato applicato in quattro separate sessioni di simulazioni in cui sono state riprodotte le trasformazioni dal largo verso costa dei seguenti set di onde:

1. onde estreme con tempo di ritorno T_r pari a 120 anni per la determinazione dello stato ondoso sottocosta ai fini della verifica delle condizioni di agitazione ondosa per il dimensionamento di alcune opere portuali interne;
2. onde estreme con tempo di ritorno T_r pari a 50 anni per la determinazione dello stato ondoso sottocosta ai fini della verifica della

cosiddetta condizione "limite" nell'ambito dello studio dell'agitazione ondosa residua all'interno del bacino portuale destinato alla nautica da diporto;

3. onde estreme con tempo di ritorno $T_r = 5$ anni per la determinazione dello stato ondoso sottocosta ai fini della verifica della cosiddetta condizione di "sicurezza" nell'ambito dello studio dell'agitazione ondosa residua all'interno del bacino portuale destinato alla nautica da diporto;
4. onde con frequenza di apparizione F_r 5giorni/anno per la determinazione dello stato ondoso sottocosta ai fini della verifica della cosiddetta condizione di "comfort" nell'ambito dello studio dell'agitazione ondosa residua all'interno del bacino portuale destinato alla nautica da diporto.

Per quanto riguarda lo studio dell'agitazione ondosa interna, l'applicazione del modello SWAN ha fornito le caratteristiche del moto ondoso utilizzate come input per l'applicazione di un ulteriore modello numerico per lo studio degli stati ondosi a tergo delle opere in progetto. Per la verifica dell'agitazione residua all'interno dello specchio acqueo portuale è stato utilizzato il modello numerico **MIKE 21 BW**, edito da DHI (Danish Hydraulic Institute), che simula anche i processi di diffrazione e riflessione.

2.3.2 GRIGLIE DI CALCOLO

Il primo passo nello studio di propagazione del clima ondoso dal largo verso la riva con il modello SWAN ha riguardato la preparazione di griglie di calcolo ricavate dalla batimetria in corrispondenza del paraggio di Bari.

Le quote batimetriche sono state desunte dalle carte nautiche della zona prodotte dall'Istituto Idrografico della Marina (IIM). Sono state utilizzate le tavole IIM n. 30 e n. 31, in scala 1:100.000; le tavole IIM sono state informatizzate e georeferenziate secondo la rappresentazione conforme di Gauss-Boaga con reticolato piano nel sistema nazionale (Gauss-Boaga) riferito all'ellissoide Roma 40 (figura 2.3.2.1).

Per lo studio di dettaglio del bacino interno portuale e della zona più prossima all'imboccatura, le informazioni IIM sono state integrate con i dati estratti da alcuni rilievi batimetrici particolareggiati condotti nello specchio d'acqua compreso tra la linea di riva e all'incirca la batimetrica -20m (figura 2.3.2.2).

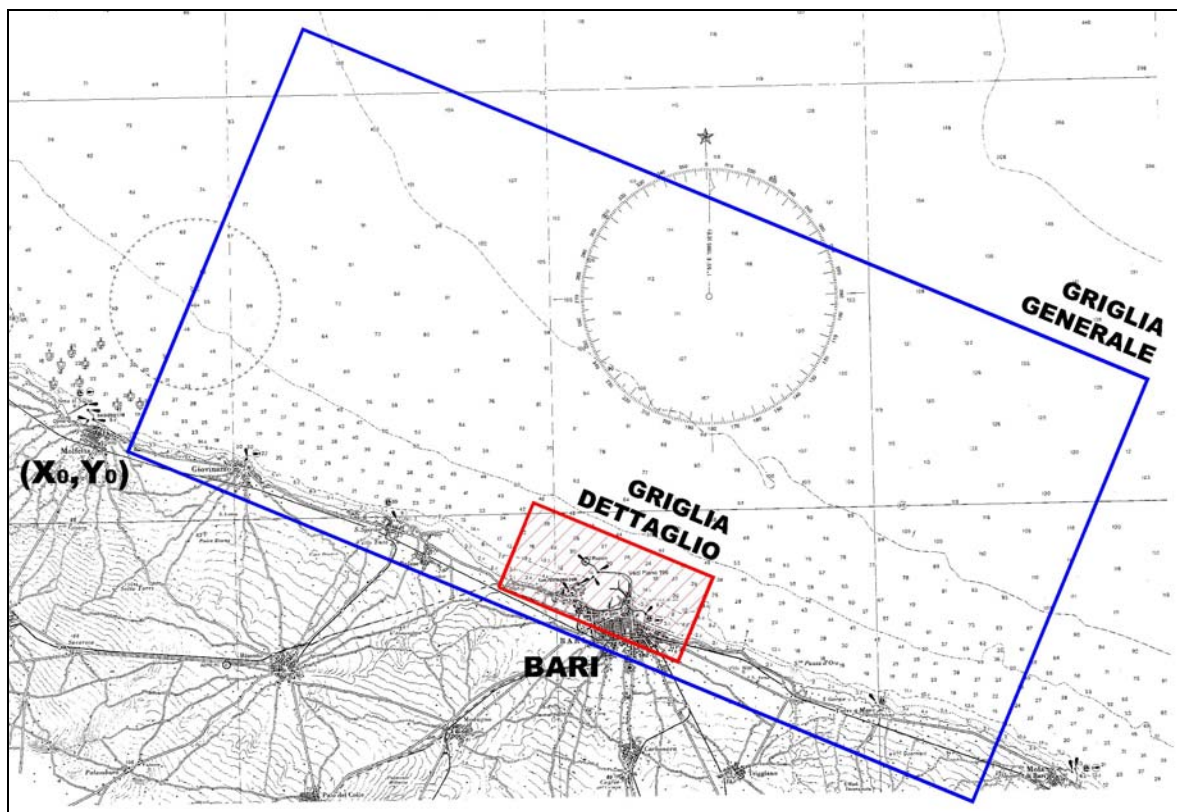


Figura 2.3.2.1 - Carta nautica IIM con individuazione delle griglie di calcolo.

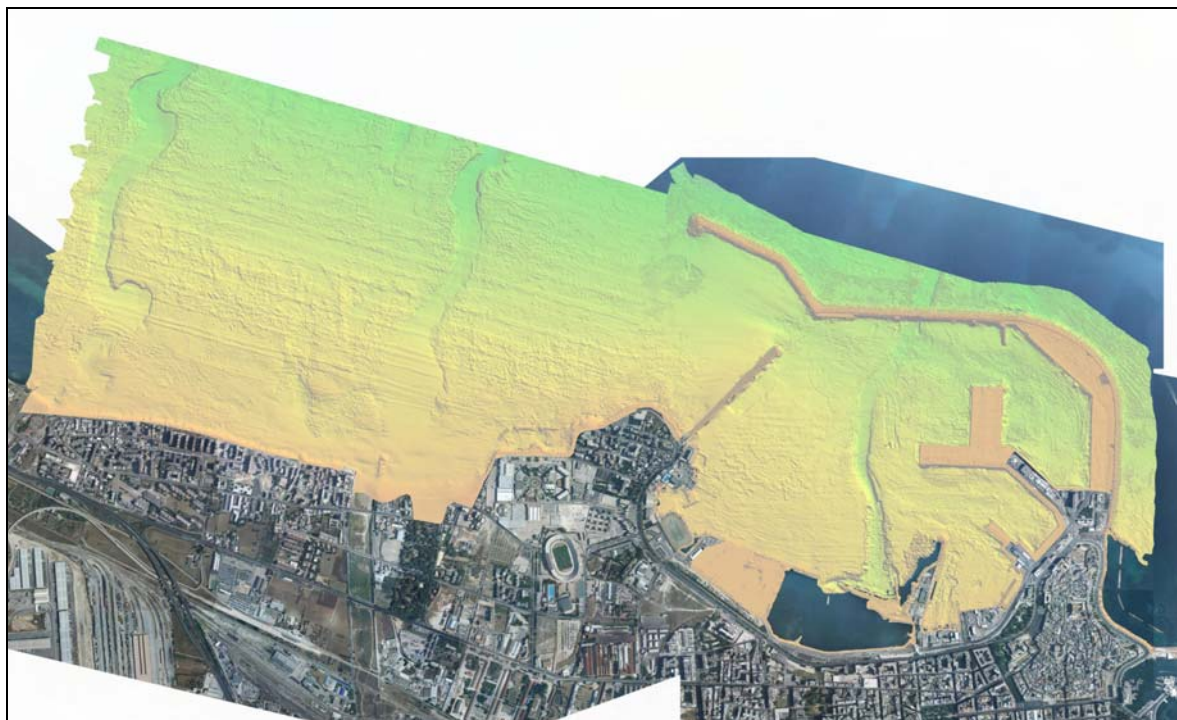


Figura 2.3.2.2 – Rilievo batimetrico di dettaglio utilizzato per la definizione delle griglie di calcolo.

Utilizzando un software commerciale di topografia, attraverso l'interpolazione per triangolazione delle quote batimetriche ricavate dalle tavole IIM e dal rilievo batimetrico di dettaglio disponibile, è stato ricostruito il modello digitale della batimetria da cui infine sono stati ricavati i valori di profondità nei nodi di griglie di calcolo prefissate.

Per l'applicazione del modello sono state determinate una griglia generale ed una di dettaglio orientate entrambe con l'asse delle X secondo la direzione 112.5°N, e con l'asse Y, perpendicolare al primo, ed orientato secondo la direzione 22.5°N.

La griglia generale, a maglia quadrata con passo di lunghezza pari a 100m (figura 2.3.2.1, figura 2.3.2.3), copre un ampio tratto di mare al fine di poter studiare tutte le mareggiate che investono il litorale in studio. Essa è costituita da 200 righe (// asse X) e 400 colonne (// asse Y) ed ha origine nel punto di coordinate Gauss-Boaga 2655170E, 4561675N.

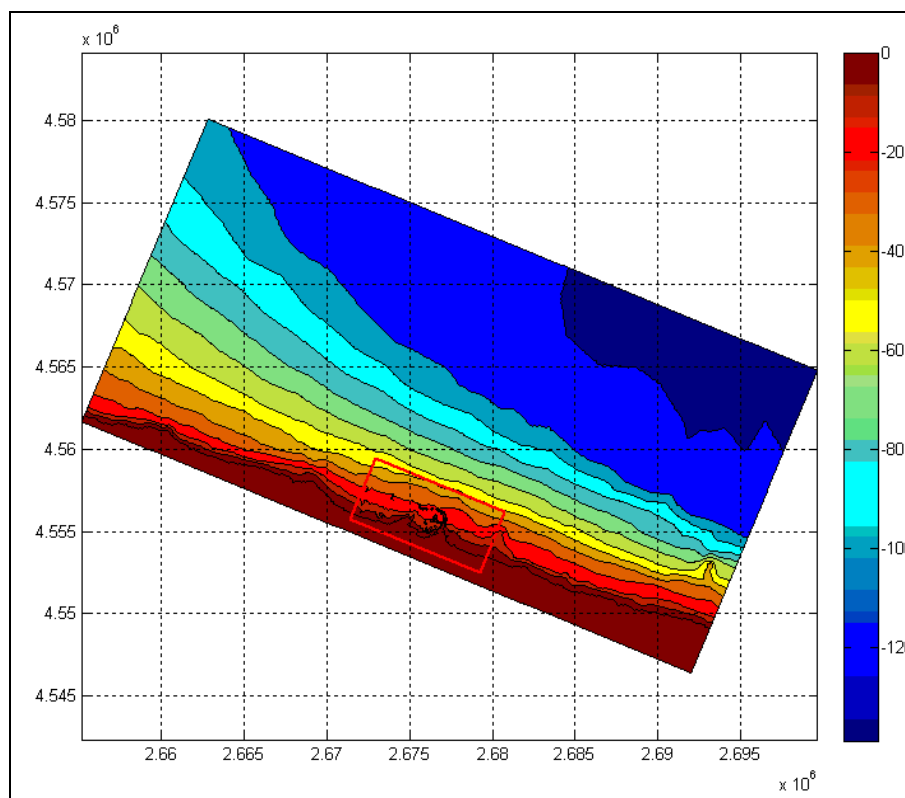


Figura 2.3.2.3 - Griglia batimetrica generale implementata nel modello SWAN.

Per gli studi di dettaglio è stata invece definita una griglia a maglia quadrata con passo 10m che copre il tratto di mare limitrofo il porto di Bari (figura 2.3.2.1,

figura 2.3.2.4). La griglia di dettaglio è costituita da 400 righe e 850 colonne con origine posta alle coordinate Gauss-Boaga 2671380E, 4555740N.

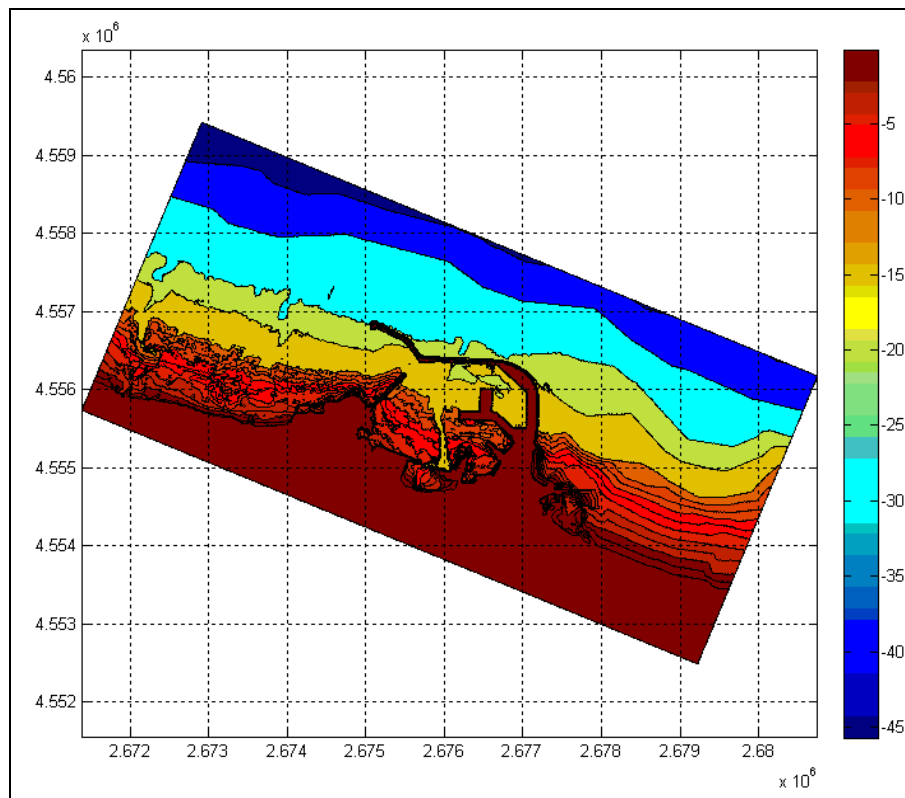


Figura 2.3.2.4 - Griglia batimetrica di dettaglio implementata nel modello SWAN.

Nella tabella 2.3.2.1 sono sintetizzate le caratteristiche delle griglie batimetriche di calcolo implementate nel modello SWAN.

GRIGLIA	origine		inclinazione	n. righe	n. colonne
	E Gb	N Gb			
generale	2655170	4561675	112.5°	200	400
dettaglio	2671380	4555740	112.5°	400	850

Tabella 2.3.2.1 - Griglie batimetriche di calcolo implementate nel modello SWAN.

2.3.3 PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI

La propagazione da largo verso riva degli eventi estremi di moto ondoso associati ai periodi di ritorno più significativi, risulta utile nel dimensionamento e nella verifica delle strutture costiere in cui sono necessari i valori delle onde di progetto che possono direttamente incidere su di esse.

Nel modello SWAN sono stati riprodotti i piani d'onda relativi alle onde estreme riportate nella tabella 2.3.3.1.

tempo di ritorno (anni)	direzione	H _s (m)	T _p (s)
120	NNO	5.02	8.55
	Nord	5.02	8.55
	NNE	6.01	10.03
	ENE	6.01	10.03
	Est	3.37	8.53
50	NNO	4.74	8.41
	Nord	4.74	8.41
	NNE	5.63	9.86
	ENE	5.63	9.86
	Est	3.21	8.41
5	NNO	3.96	7.99
	Nord	3.96	7.99
	NNE	4.53	9.30
	ENE	4.53	9.30
	Est	2.76	8.06
5gg/anno	NNO	2.51	7.03
	Nord	2.51	7.03
	NNE	2.51	7.93
	ENE	2.51	7.93
	Est	2.51	7.84

Tabella 2.3.3.1 - Onde estreme simulate con il modello SWAN.

Le figure seguenti riportano le mappe di agitazione ondosa sottocosta ottenute con le condizioni ondose al largo di cui alla tabella precedente. Le figure indicate con la lettera (a) si riferiscono alla propagazione delle onde caratterizzate da frequenza di apparizione F_r pari a 5 giorni/anno, le figure indicate con la lettera (b) si riferiscono alla propagazione delle onde caratterizzate da tempo di ritorno T_r pari a 5 anni, le figure contrassegnate con la lettera (c) riportano i piani d'onda relativi alle mareggiate estreme caratterizzate da tempo di ritorno T_r pari a 50 anni, ed infine le figure contrassegnate con la lettera (d) riportano i piani d'onda relativi alle mareggiate estreme caratterizzate da tempo di ritorno T_r pari a 120 anni.

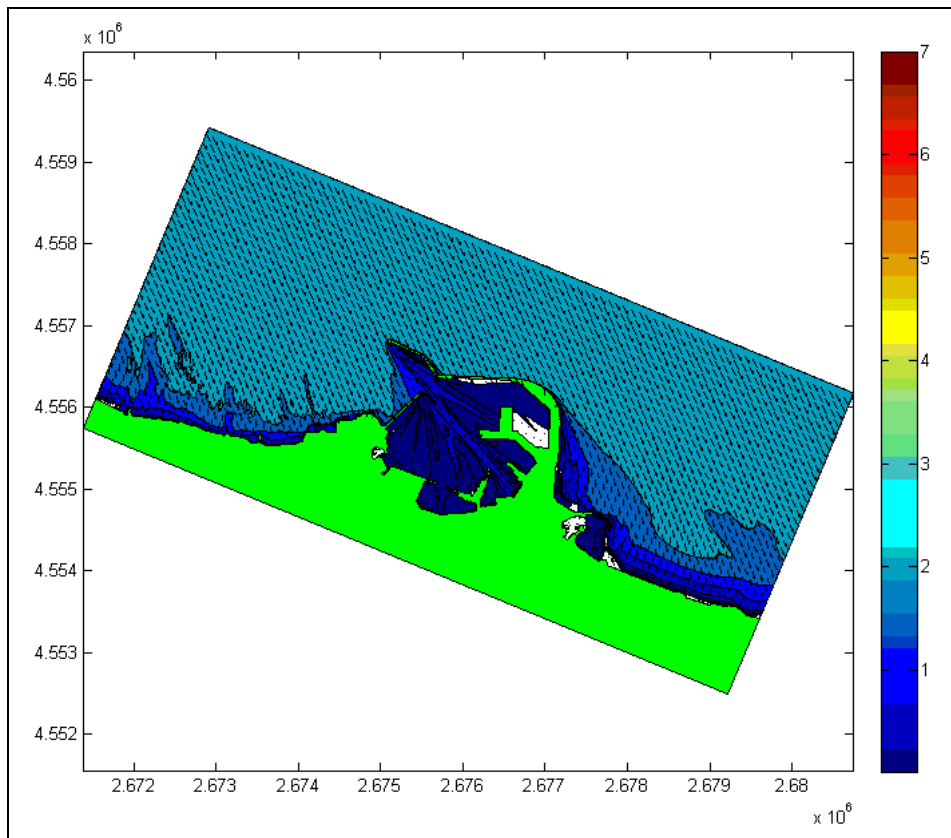


Figura 2.3.3.1.a - Onda da NNO - $F_r = 5$ gg/anno - $H_s = 2.51$ m - $T_p = 7.03$ s.

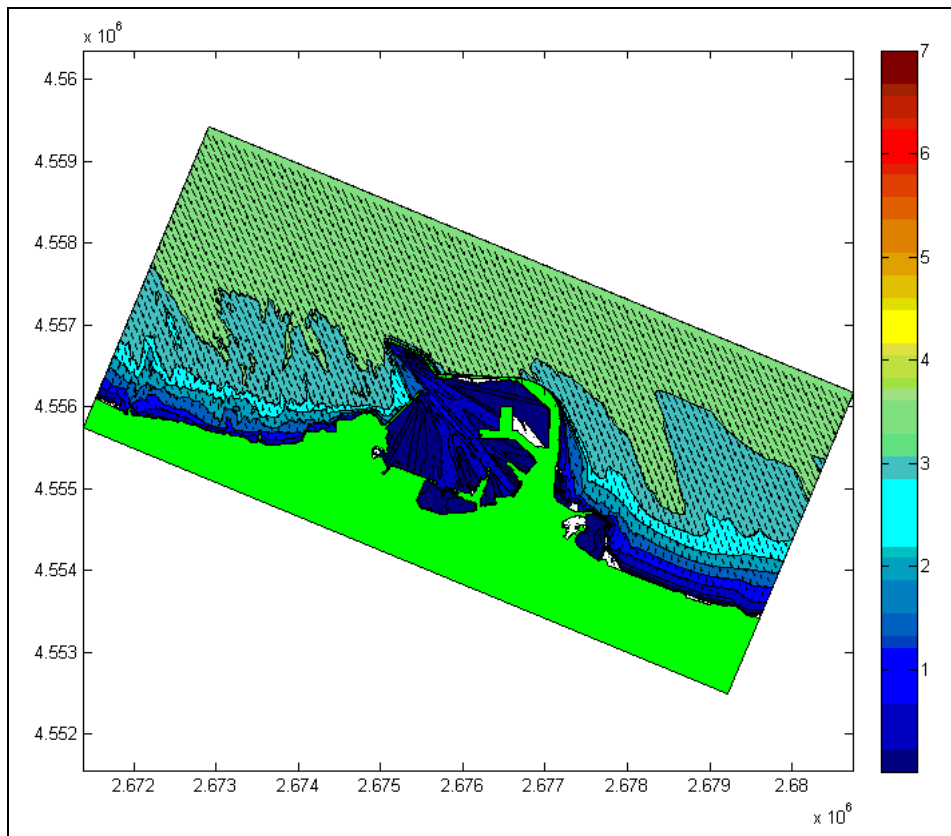


Figura 2.3.3.1.b - Onda da NNO - $T_r = 5$ anni - $H_s = 3.96$ m - $T_p = 7.99$ s.

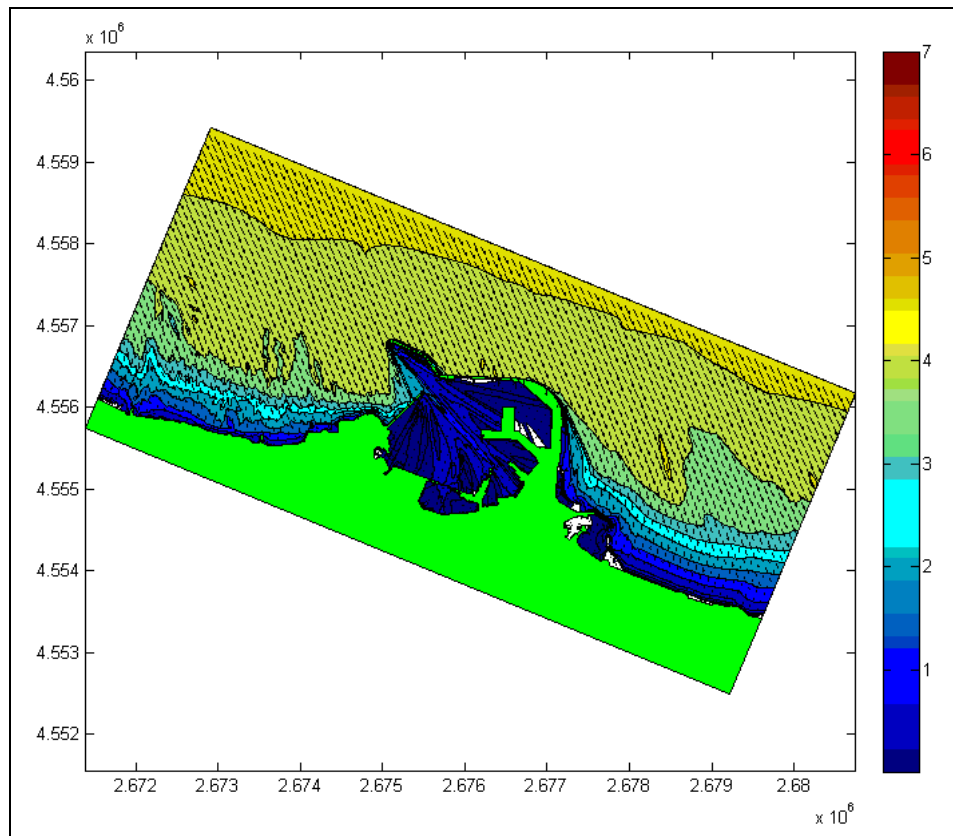


Figura 2.3.3.1.c - Onda da NNO - $T_r = 50$ anni - $H_s = 4.74$ m - $T_p = 8.41$ s.

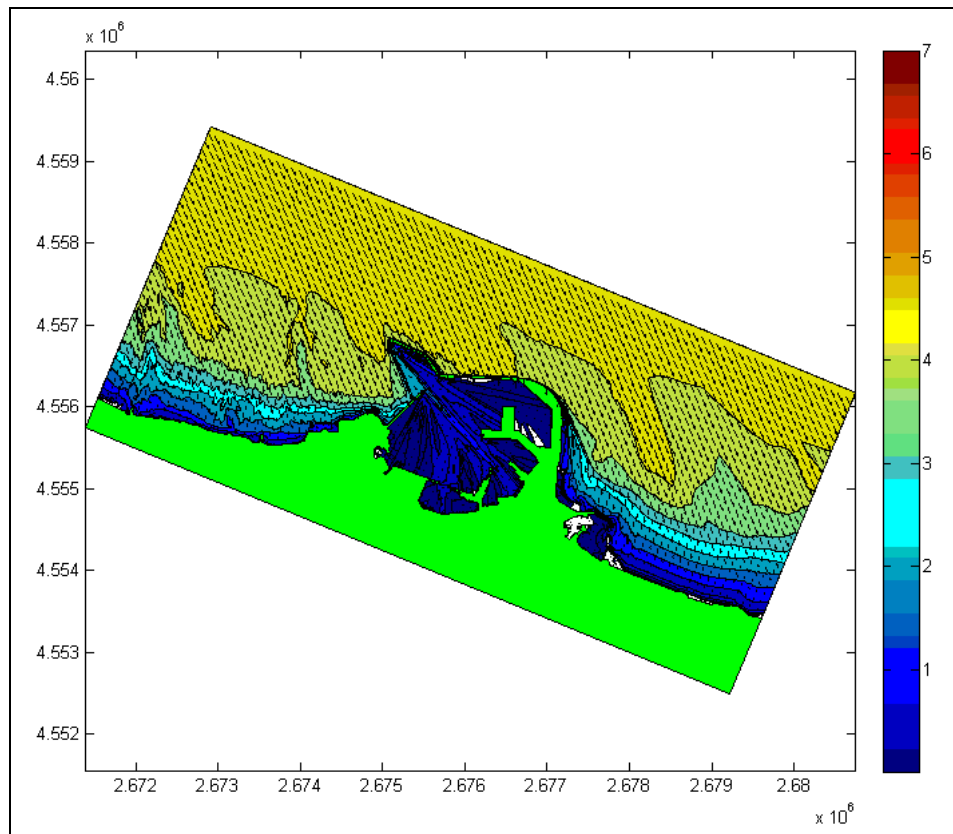


Figura 2.3.3.1.d - Onda da NNO - $T_r = 120$ anni - $H_s = 5.02$ m - $T_p = 8.55$ s.

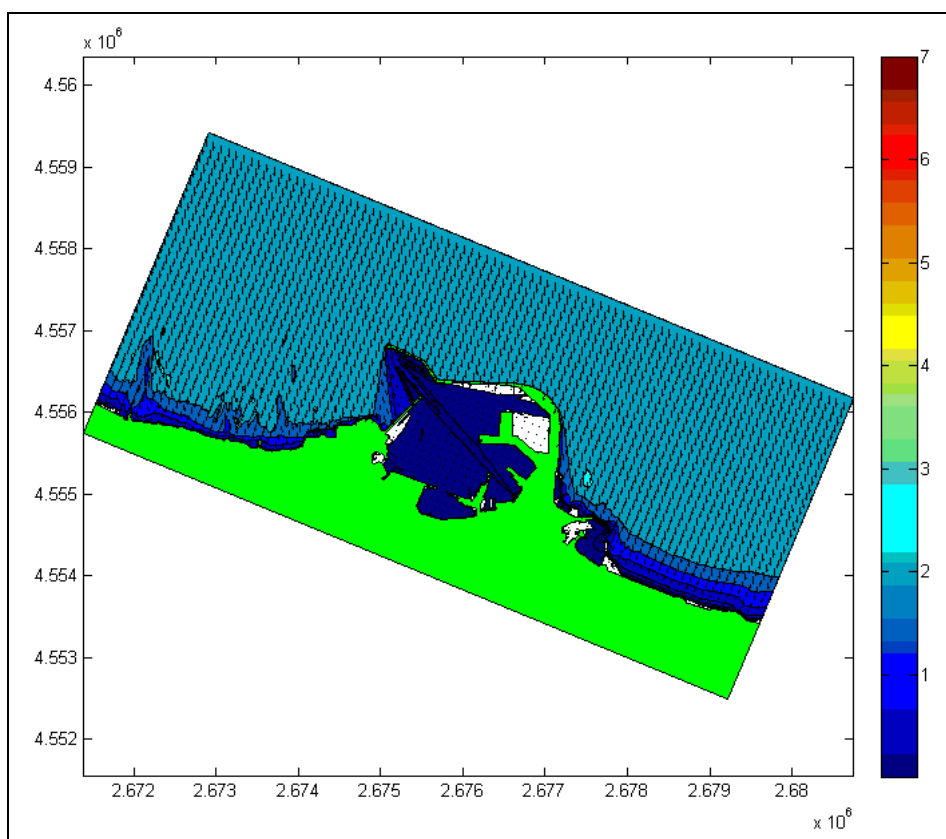


Figura 2.3.3.2.a - Onda da Nord - $F_r = 5$ gg/anno - $H_s = 2.51$ m - $T_p = 7.03$ s.

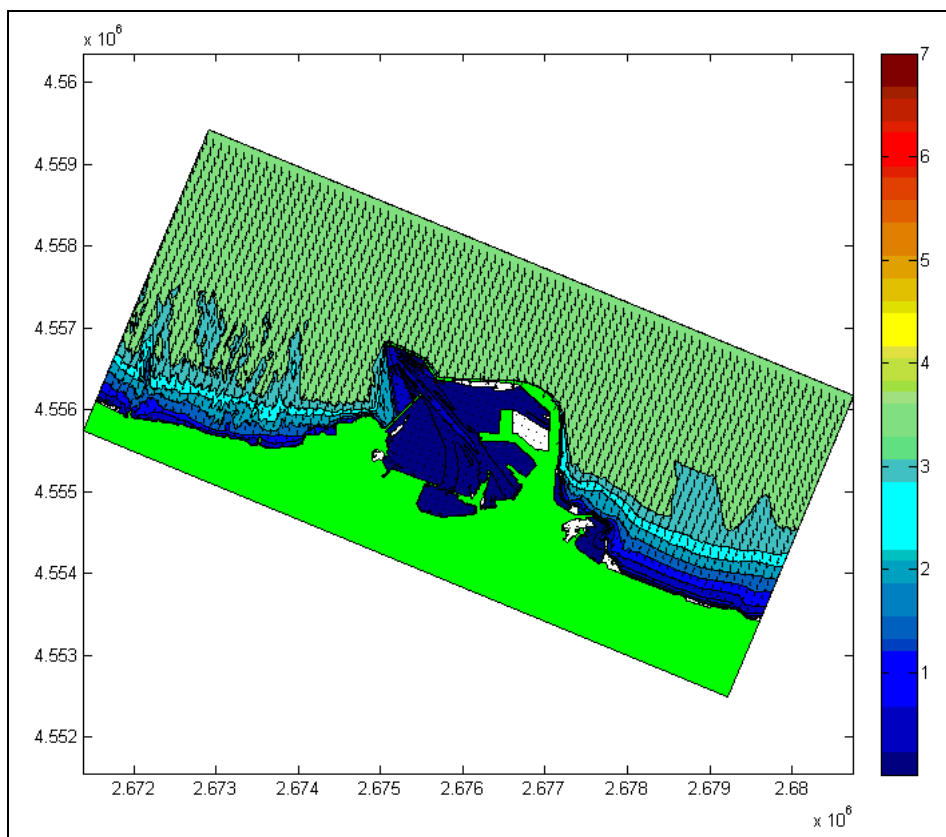


Figura 2.3.3.2.b - Onda da Nord - $T_r = 5$ anni - $H_s = 3.96$ m - $T_p = 7.99$ s.

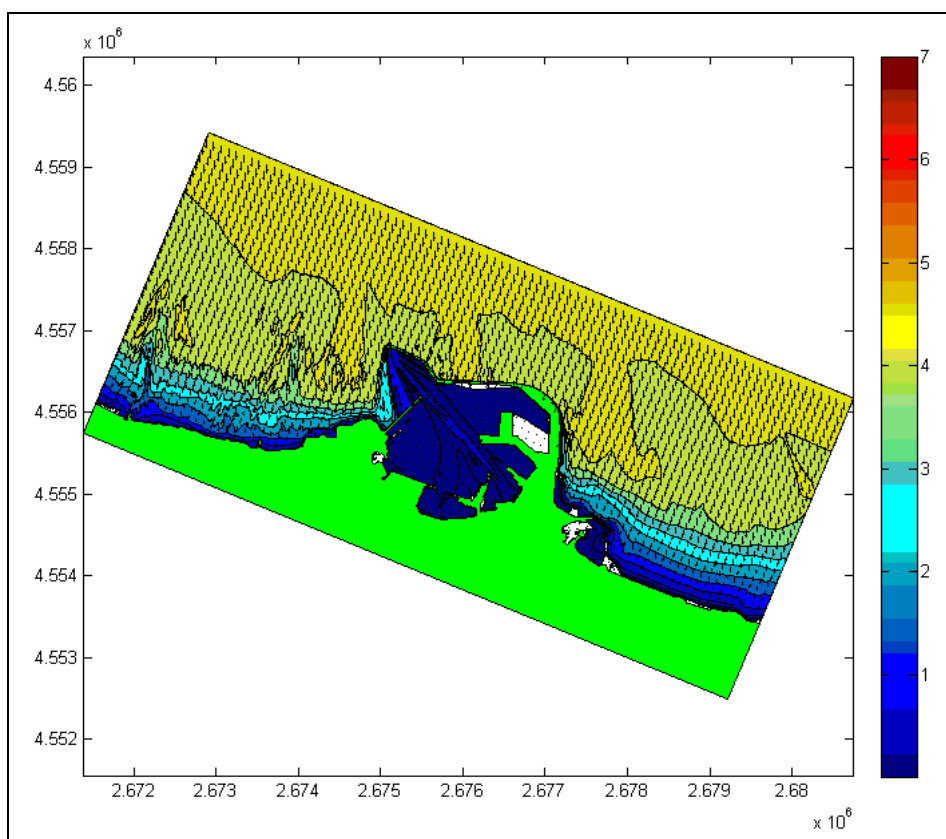


Figura 2.3.3.2.c - Onda da Nord - $T_r = 50$ anni - $H_s = 4.74$ m - $T_p = 8.41$ s.

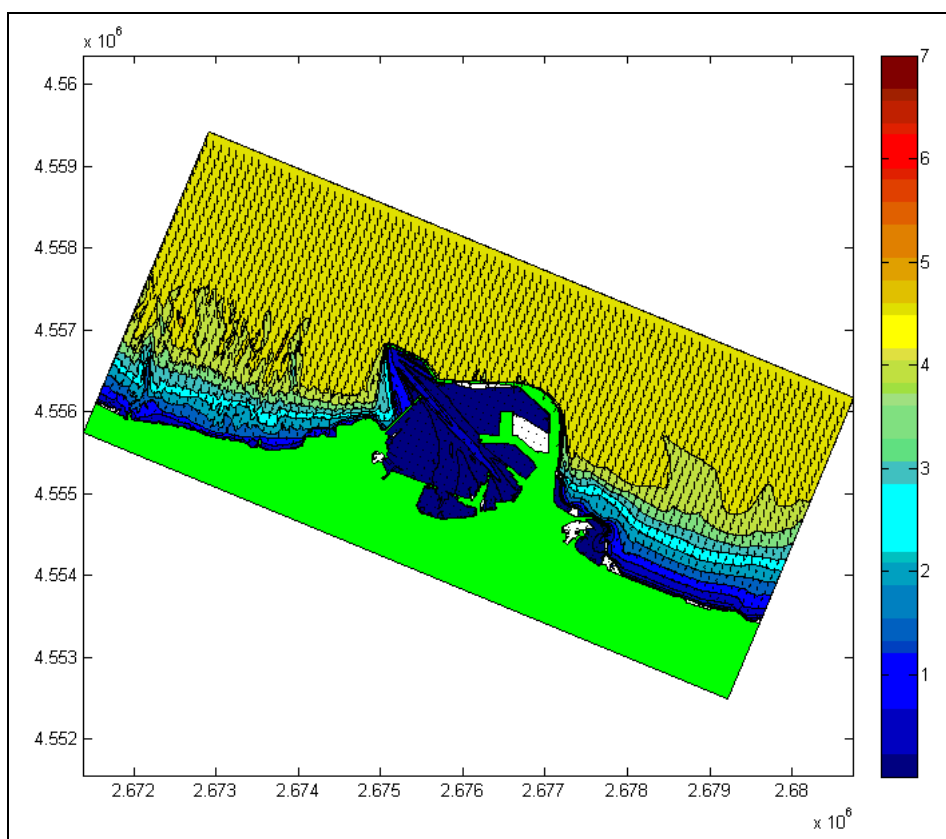


Figura 2.3.3.2.d - Onda da Nord - $T_r = 120$ anni - $H_s = 5.02$ m - $T_p = 8.55$ s.

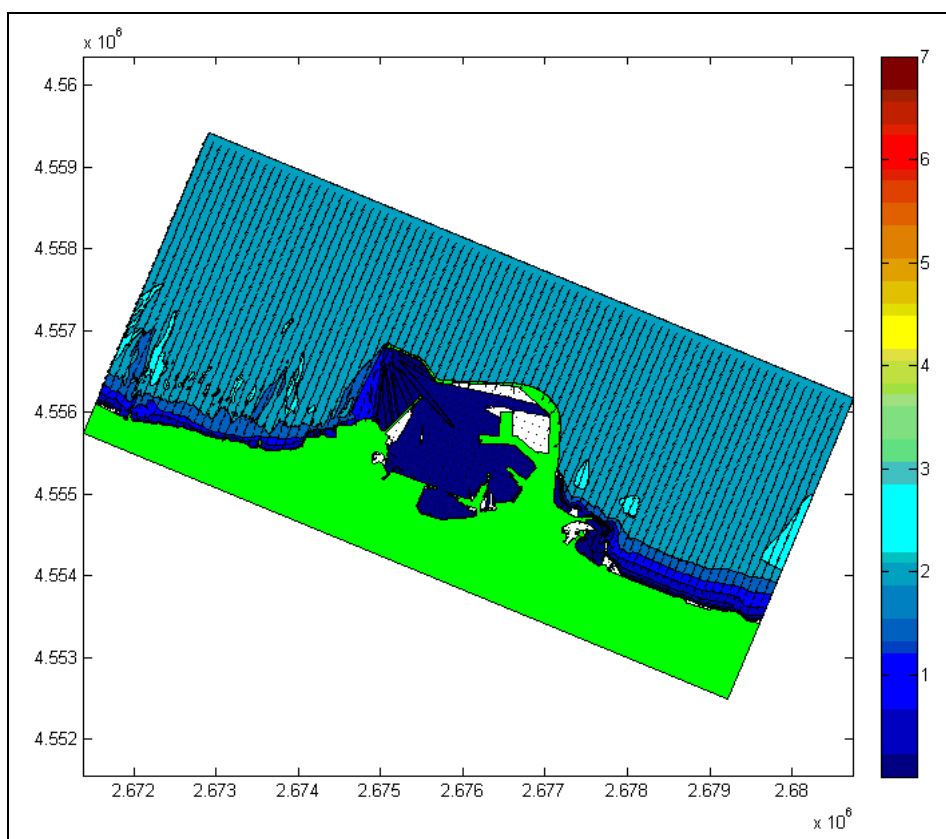


Figura 2.3.3.3.a - Onda da NNE - $F_r = 5$ gg/anno - $H_s = 2.51$ m - $T_p = 7.93$ s.

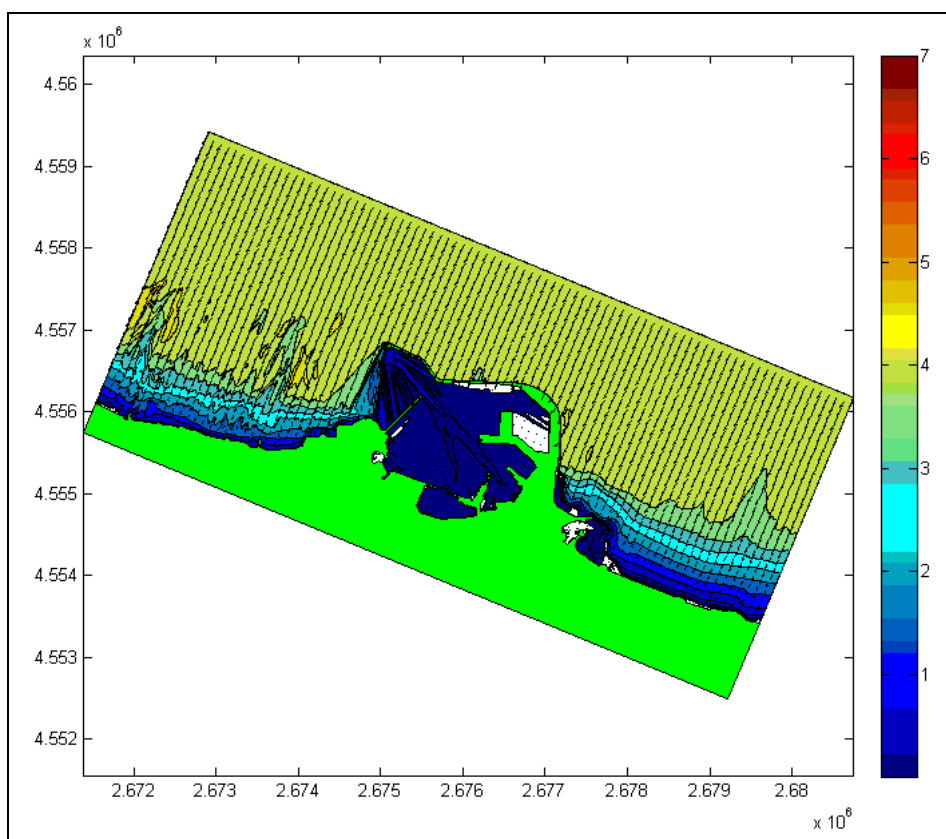


Figura 2.3.3.3.b - Onda da NNE - $T_r = 5$ anni - $H_s = 4.53$ m - $T_p = 9.30$ s.

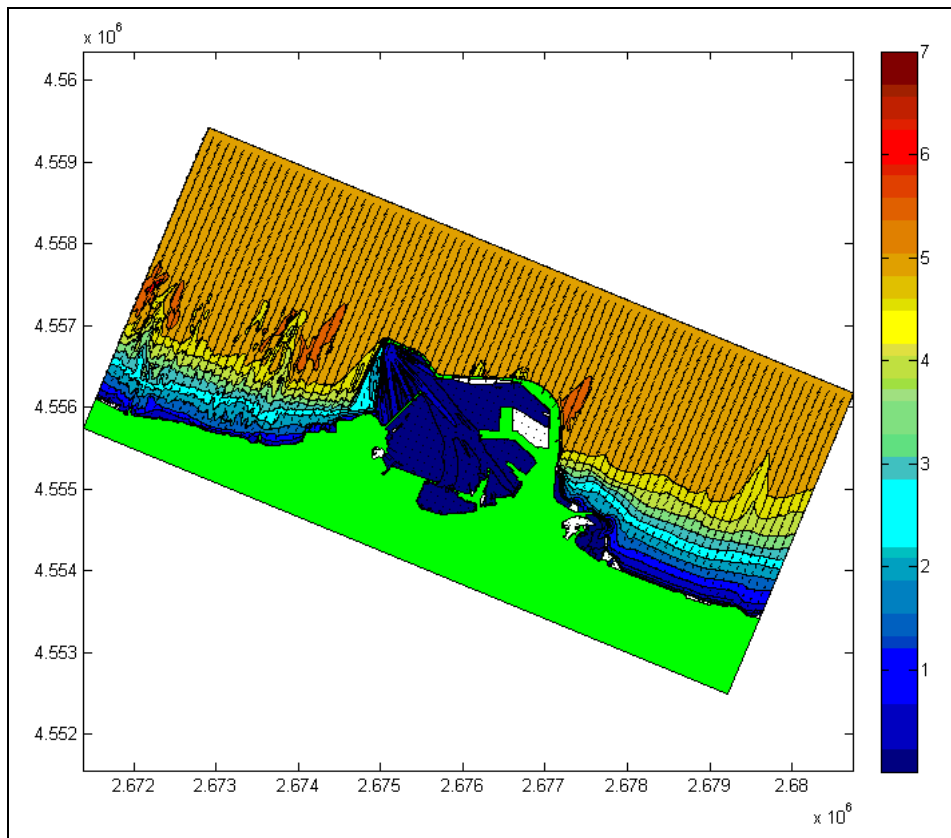


Figura 2.3.3.3.c - Onda da NNE - $T_r = 50$ anni - $H_s = 5.63$ m - $T_p = 9.86$ s.

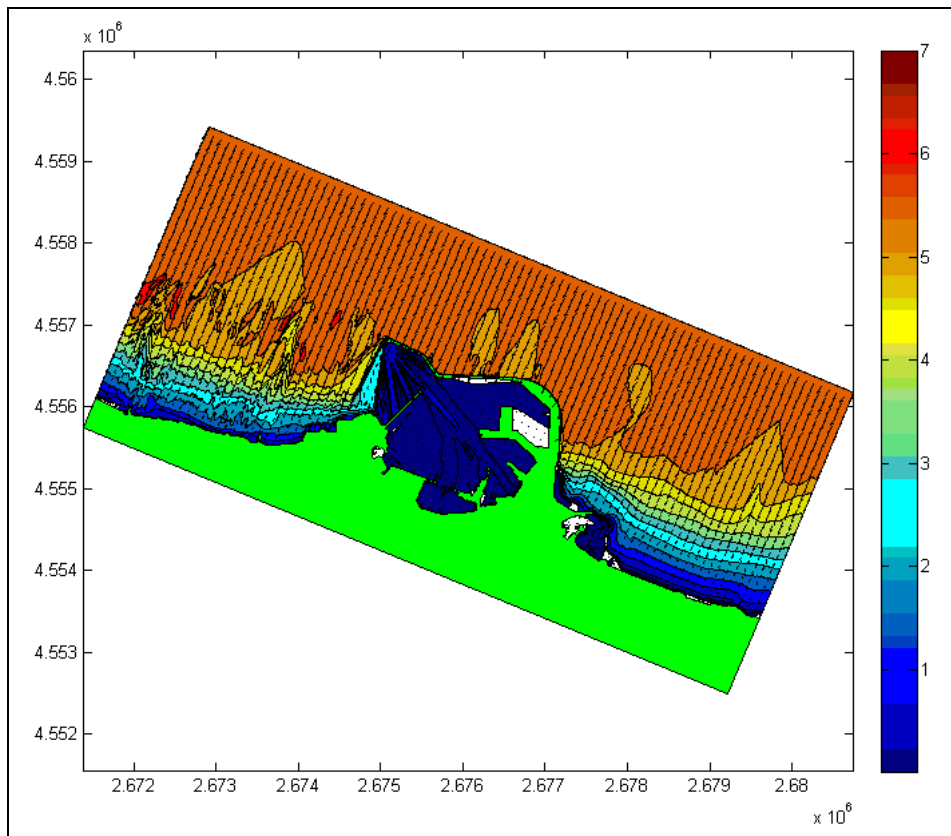


Figura 2.3.3.3.d - Onda da NNE - $T_r = 120$ anni - $H_s = 6.01$ m - $T_p = 10.03$ s.

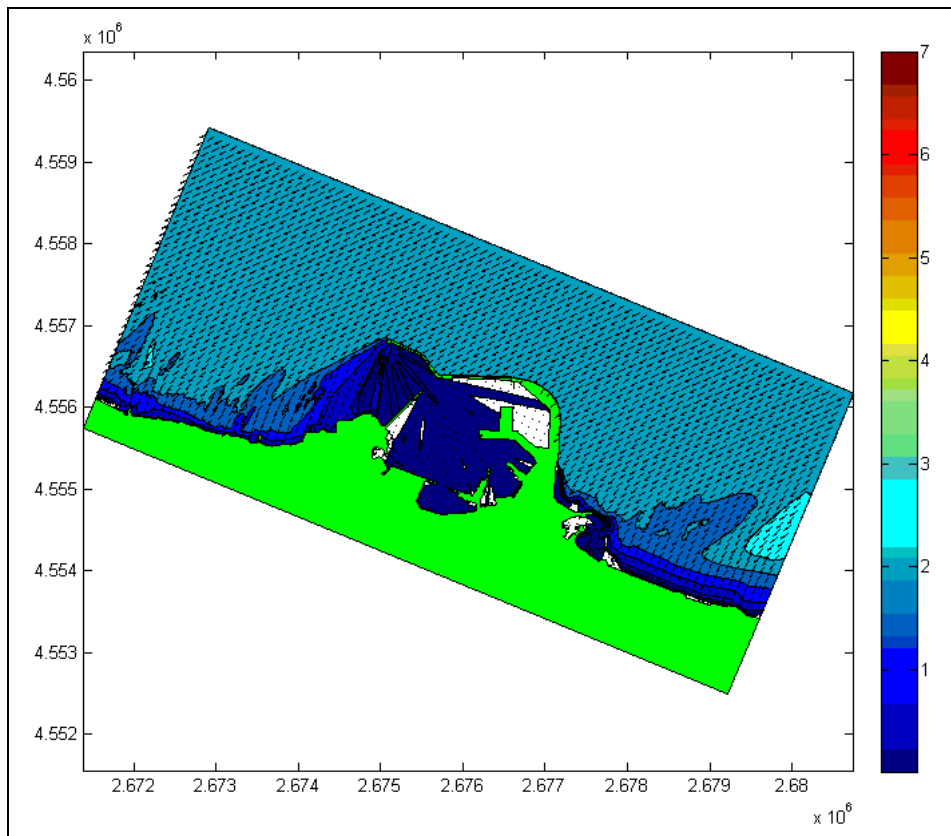


Figura 2.3.3.4.a - Onda da ENE - $F_r = 5$ gg/anno - $H_s = 2.51$ m - $T_p = 7.93$ s.

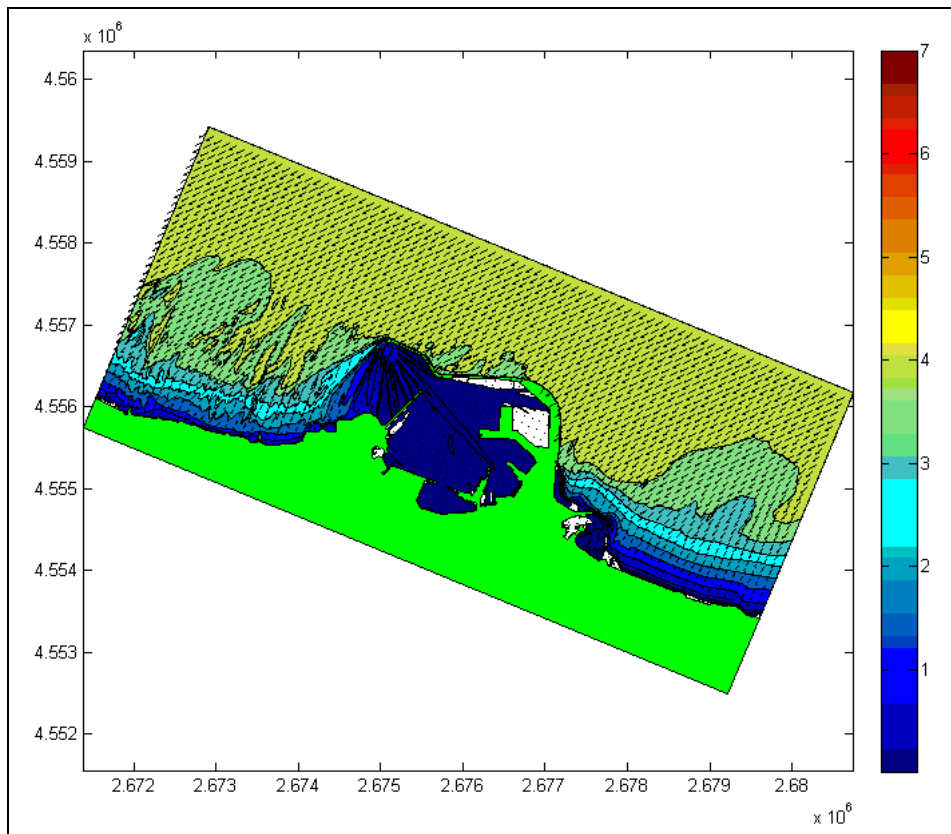


Figura 2.3.3.4.b - Onda da ENE - $T_r = 5$ anni - $H_s = 4.53$ m - $T_p = 9.30$ s.

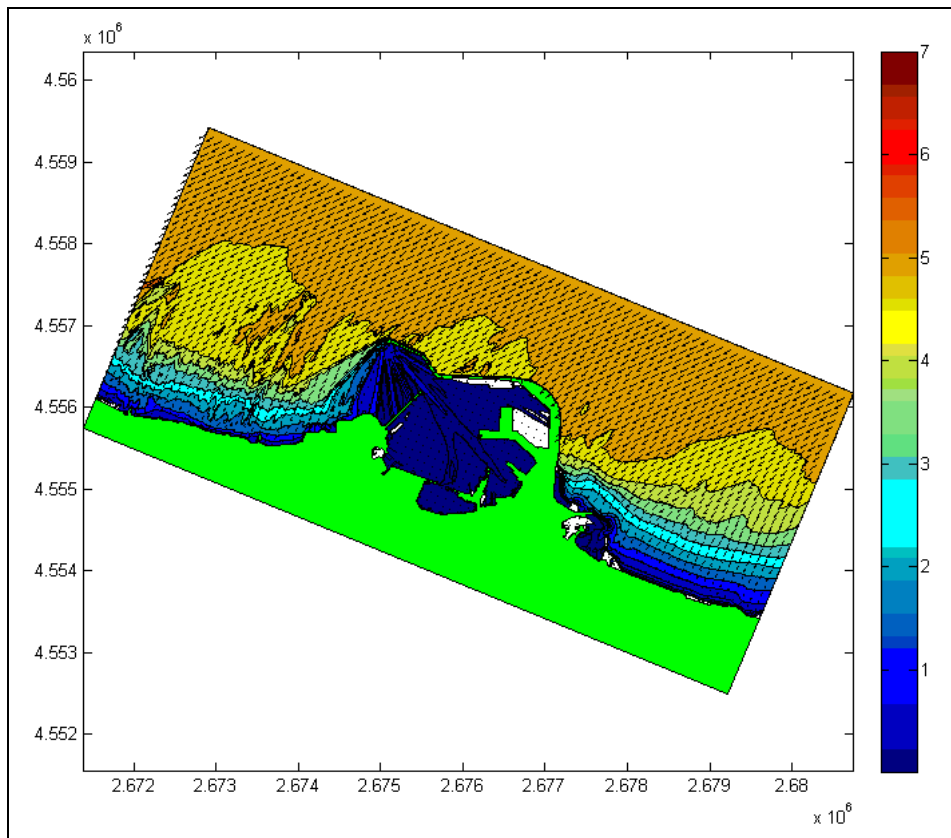


Figura 2.3.3.4.c - Onda da ENE - $T_r = 50$ anni - $H_s = 5.63$ m - $T_p = 9.86$ s.

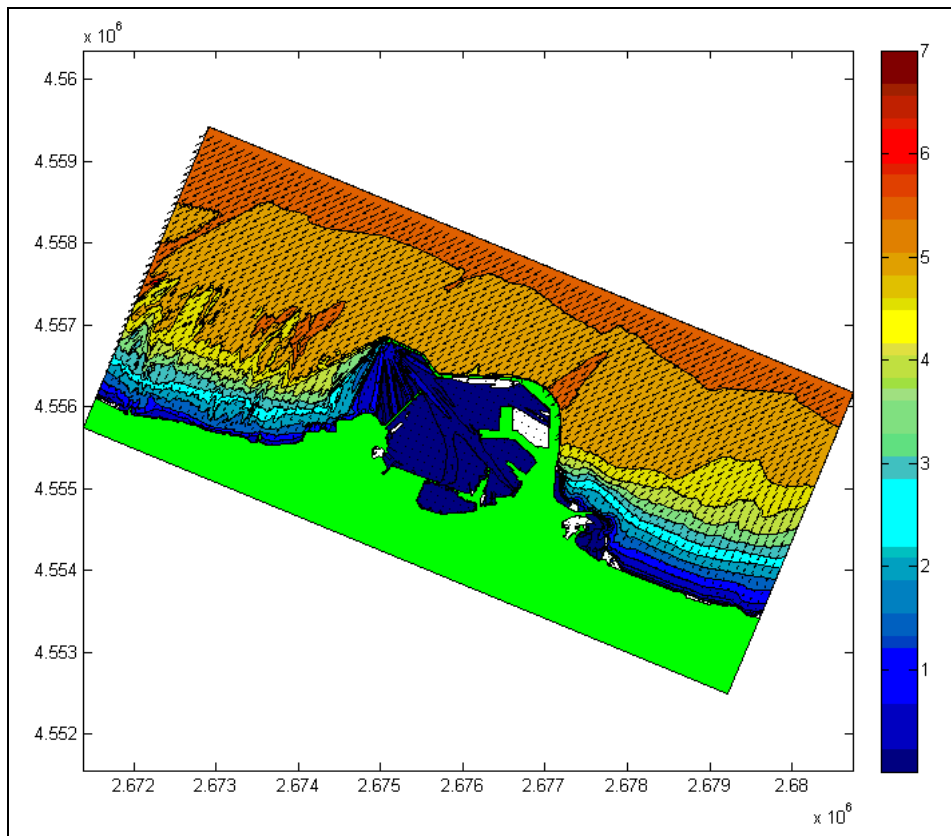


Figura 2.3.3.4.d - Onda da ENE - $T_r = 120$ anni - $H_s = 6.01$ m - $T_p = 10.03$ s.

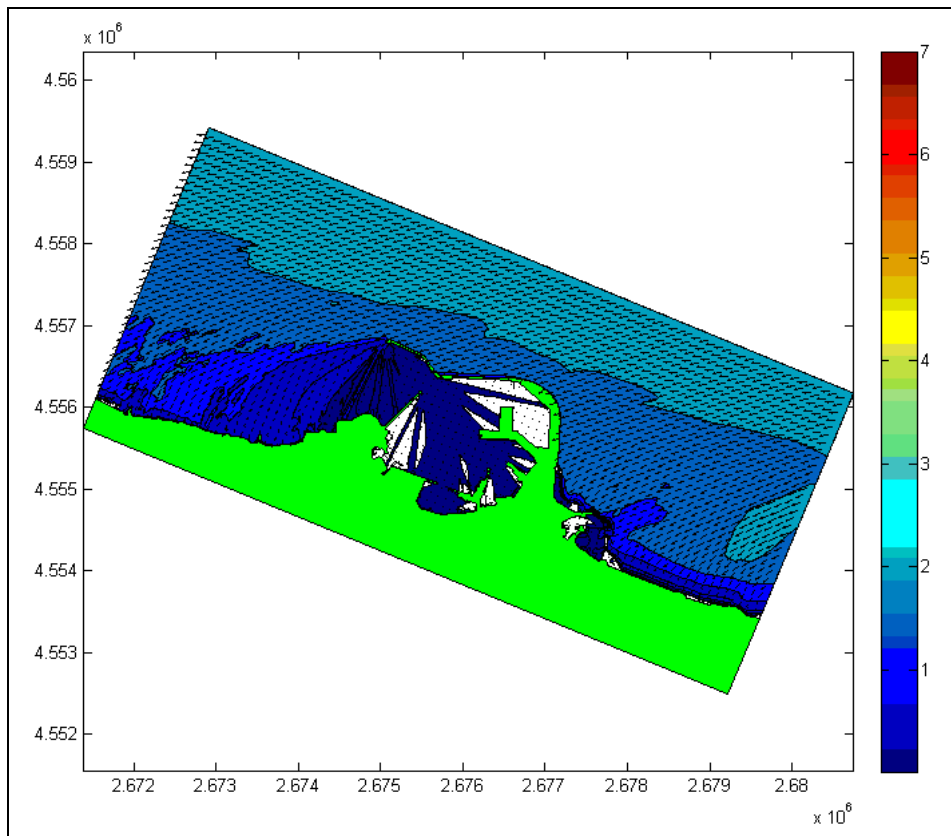


Figura 2.3.3.5.a - Onda da Est - $F_r = 5$ gg/anno - $H_s = 2.51$ m - $T_p = 7.84$ s.

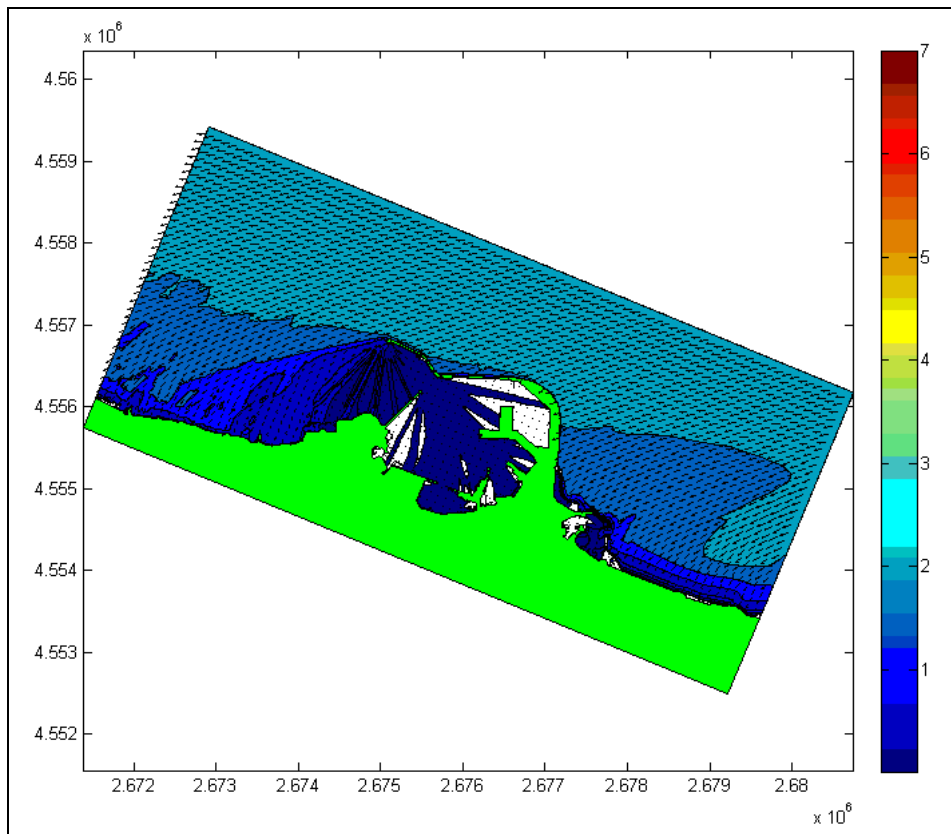


Figura 2.3.3.5.b - Onda da Est - $T_r = 5$ anni - $H_s = 2.76$ m - $T_p = 8.06$ s.

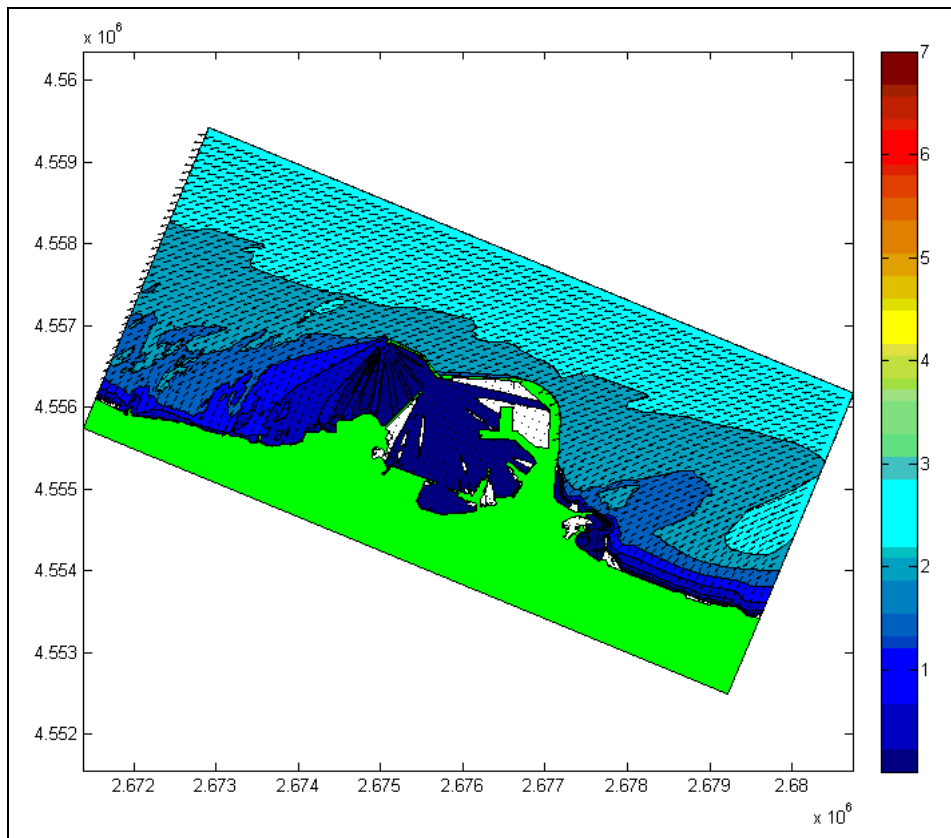


Figura 2.3.3.5.c - Onda da Est - $T_r = 50$ anni - $H_s = 3.21$ m - $T_p = 8.41$ s.

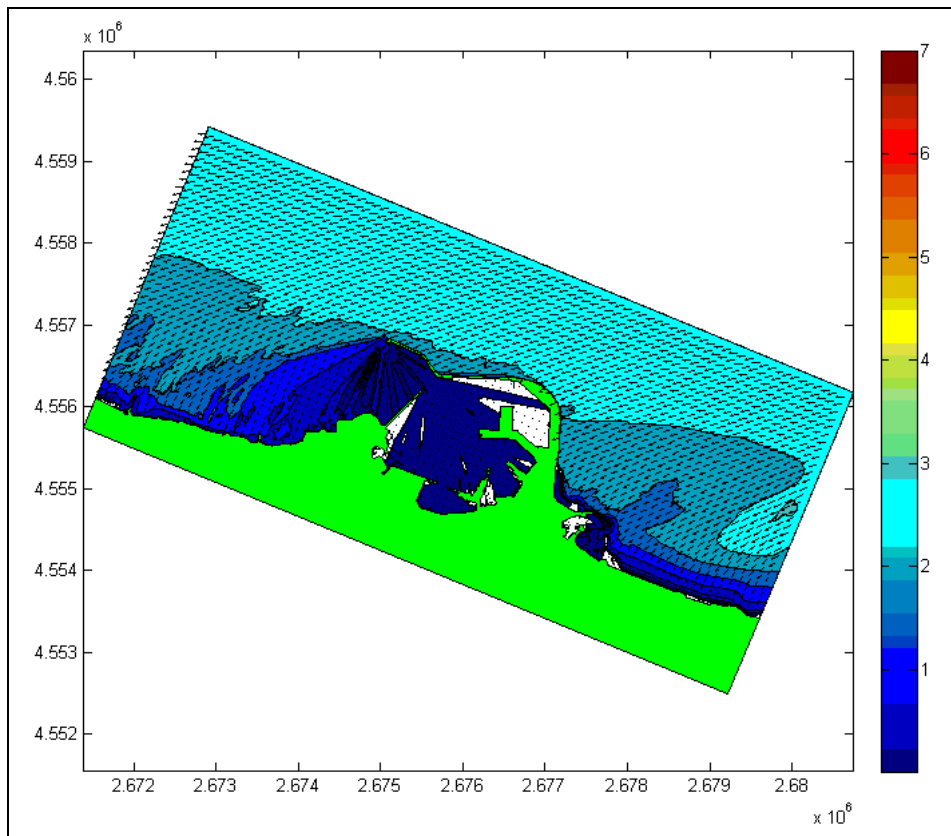


Figura 2.3.3.5.d - Onda da Est - $T_r = 120$ anni - $H_s = 3.37$ m - $T_p = 8.53$ s.

Dai piani d'onda precedentemente riportati sono stati estrapolati i valori di altezza d'onda calcolati in quattro punti di misura ubicati in prossimità dell'imboccatura portuale (figura 2.3.3.6). I valori estratti sono stati mediati in altezza e direzione al fine di ottenere le condizioni medie del fronte d'onda in prossimità dell'imboccatura portuale (tabella 2.3.3.2).



Figura 2.3.3.6 – Punti di misura in prossimità dell'imboccatura portuale.

tempo di ritorno	condizioni ondose al largo			condizioni ondose sottocosta		
	H_s (m)	T_p (s)	dir (°N)	H_s (m)	T_p (s)	dir (°N)
120 anni	5.02	8.55	330	4.67	8.39	333
	5.02	8.55	0	4.79	8.39	1
	6.01	10.03	30	5.58	9.56	29
50 anni	4.74	8.41	330	4.44	8.39	333
	4.74	8.41	0	4.55	8.39	1
	5.63	9.86	30	5.26	9.56	29
5 anni	3.96	7.99	330	3.70	8.39	332
	3.96	7.99	0	3.78	8.39	1
	4.53	9.30	30	4.26	9.56	29
5gg/anno	2.51	7.03	330	2.41	7.37	331
	2.51	7.03	0	2.44	7.37	0
	2.51	7.93	30	2.39	8.14	29

Tabella 2.3.3.2 – Altezze d'onda medie calcolate nei punti di misura.

I dati di cui alla tabella 2.3.3.2 sono stati utilizzati come input per l'applicazione del modello numerico MIKE 21 BW per lo studio dell'agitazione ondosa interna portuale che verrà presentato nel successivo capitolo.

Nella tabella 2.3.3.2 sono riportati i valori di altezza d'onda sottocosta corrispondenti alle mareggiate al largo con direzioni di provenienza NNO, Nord e NNE; vista l'esposizione dell'imboccatura portuale verso NO, infatti, le mareggiate da ENE e da Est sono poco significative per lo studio dell'agitazione ondosa residua interna.

3 AGITAZIONE ONDOSA INTERNA

3.1 GENERALITA'

Nel presente capitolo sono illustrati i risultati dello studio sull'agitazione ondosa interna al porto di Bari ottenuti attraverso l'utilizzo di un apposito modello matematico. In particolare tale studio ha fornito informazioni quali-quantitative sulle variazioni del moto ondoso residuo all'interno del bacino portuale a seguito della realizzazione di alcune nuove opere inserite nell'ambito del programma di interventi infrastrutturali previsti.

Le opere previste riguardano in parte interventi già inseriti negli strumenti di pianificazione portuali vigenti, in parte consistono in progetti di nuove strutture funzionali all'ampliamento ed al miglioramento delle attività portuali.

La continua variabilità delle richieste di mercato e la rapida evoluzione dei traffici marittimi impone infatti una estrema flessibilità delle infrastrutture portuali cui il porto di Bari intende rispondere sia attraverso l'adeguamento del sistema di gestione degli spazi e delle banchine portuali esistenti, sia attraverso una serie di interventi che prevedono il completamento di alcune aree operative e la realizzazione di nuovi accosti.

Attraverso il confronto tra le mappe di agitazione ondosa ricavate con l'applicazione del modello matematico, è stato possibile stabilire i differenti comportamenti, in termini di agitazione residua dello specchio acqueo portuale, tra le varie configurazioni planimetriche previste.

3.2 CONDIZIONI ONDOSE AMMISSIBILI

Stabilire i movimenti ammissibili in banchina per i differenti tipi di navi è molto complesso. Ciò può essere fatto con vari gradi di accuratezza e affidabilità attraverso modelli matematici o metodi analitici, ma il sistema più affidabile per prevedere il comportamento di una nave sottoposta all'azione delle onde è la verifica attraverso un modello fisico.

In questo paragrafo sono fornite alcune indicazioni circa i movimenti ammissibili in banchina per le varie tipologie di navi.

Una nave ormeggiata sottoposta all'azione delle correnti, delle onde e delle raffiche di vento è in continuo movimento. L'ampiezza dei movimenti varia in un largo intervallo e dipende dall'intensità e dalla direzione delle onde e dei venti.

I movimenti, o gradi di libertà, di una nave ormeggiata in banchina, (figura 3.2.1) possono essere di tipo orizzontale (traslazione orizzontale - surge, traslazione trasversale - sway, straorzata - yaw) o di tipo verticale (rollio - roll, beccheggio - pitch, traslazione verticale - heave).

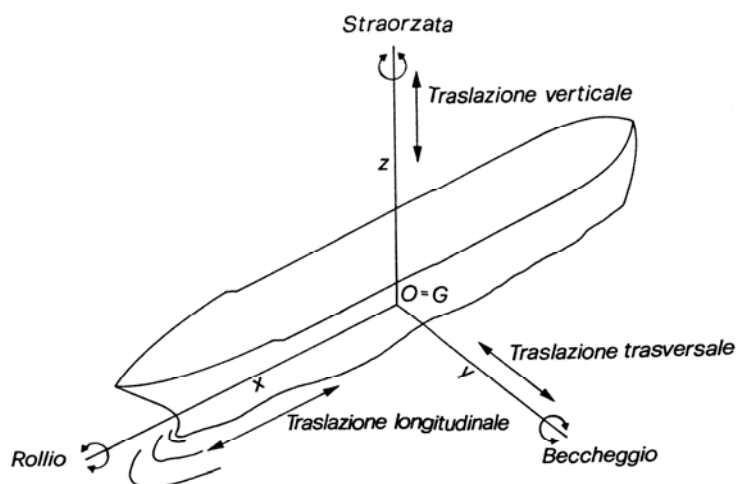


Figura 3.2.1 - Gradi di libertà della nave.

Una nave in banchina può essere esposta ad onde provenienti secondo varie direzioni, come mostrato in figura 3.2.2, ed alla combinazione di onde corte ed onde lunghe, come mostrato in figura 3.2.3; onde con periodi brevi possono interessare solo le navi piccole, mentre onde con periodi lunghi possono interessare tutte le navi.

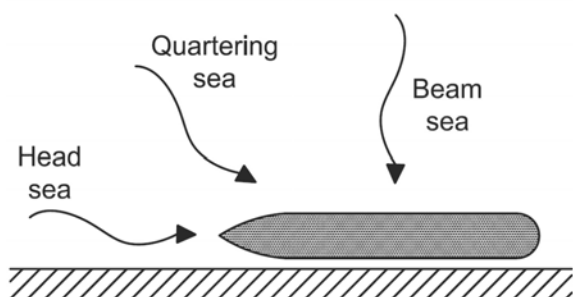


Figura 3.2.2 - Direzioni delle onde.

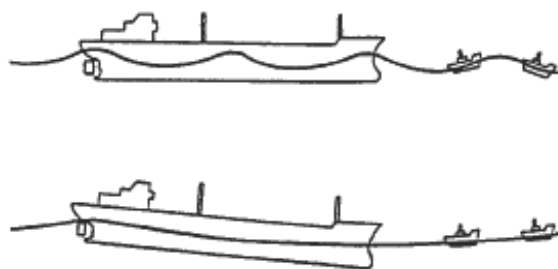


Figura 3.2.3 - Onde corte ed onde lunghe.

Le altezze d'onda ed i movimenti ammissibili di una nave in banchina dipendono dal tipo di nave, dalle caratteristiche elastiche dei parabordi e dal sistema di ormeggio della nave, dai metodi utilizzati per il carico e scarico delle merci, dall'orientamento della banchina rispetto alle direzioni delle correnti e delle onde, dal periodo delle onde e dal periodo di oscillazione naturale della nave.

Come linee guida generali, in tabella 3.2.1 sono elencati alcuni valori di riferimento, riportati in letteratura, delle altezze d'onda ammissibili per le navi all'ormeggio; tali valori sono validi nelle condizioni di onde orientate secondo l'asse longitudinale della nave (head sea) e periodo dell'onda superiore a 10s. La tabella mostra che i valori ammissibili delle altezze d'onda aumentano all'aumentare delle dimensioni delle navi; per onde caratterizzate da periodi superiori a 10s, i valori ammissibili devono essere ridotti.

Nave all'ormeggio	H _s ammissibile in banchina
imbarcazioni da diporto	0.15
pescherecci	0.40
navi cargo generiche (< 30000 DWT)	0.70
navi da carico (< 30000 DWT)	0.80
navi da carico (> 30000 DWT)	0.80 - 1.50
petroliere (< 30000 DWT)	1.00
petroliere (30000 - 150000 DWT)	1.00 - 1.70
navi passeggeri	0.70

Tabella 3.2.1 – Altezze d'onda ammissibili in banchina.

Nella tabella 3.2.2 sono riportati i valori di riferimento delle altezze d'onda ammissibili in banchina riportati nel Bollettino n. 56 del 1987 del Permanent International Association of Navigation Congresses (P.I.A.N.C.), in cui si tiene conto anche della direzione di provenienza delle onde.

Nave all'ormeggio	H _s ammissibile in banchina	
	0°	45° - 90°
navi cargo generiche	1.00	0.80
navi container, ro-ro, passeggeri	0.50	-
navi da carico - rinfuse secche (30000 - 100000 DWT) fase di carico	1.50	1.00
navi da carico - rinfuse secche (30000 - 100000 DWT) fase di scarico	1.00	0.80 - 1.00
petroliere (30000 DWT)	1.50	-
petroliere (30000 - 200000 DWT)	1.50 - 2.50	1.00 - 1.20
petroliere (> 200000 DWT)	2.50 - 3.00	1.00 - 1.50

Tabella 3.2.2 – Altezze d'onda ammissibili in banchina in funzione della direzione di provenienza delle onde (P.I.A.N.C., 1987).

Bisogna aggiungere che mentre le onde generate dai venti all'interno dei porti sono caratterizzate da brevi periodi e producono effetti molto deboli sulle navi ormeggiate, le onde caratterizzate invece da periodi lunghi, come ad esempio le

sesse, possono avere effetti disastrosi anche con valori di altezza d'onda in banchina inferiori a quelli riportati in tabella 3.2.2.

Per una migliore valutazione delle condizioni ammissibili in banchina bisogna tuttavia tenere conto dei sistemi d'ormeggio delle navi, e delle attrezzature e modalità di carico-scarico delle merci.

Alcune indicazioni circa le condizioni di sicurezza per le varie operazioni in funzione del tipo di nave sono fornite nel supplemento al Bollettino n. 88 del 1995 del P.I.A.N.C.; nella tabella 3.2.3 sono riportati i valori massimi raccomandati per ciascuno dei sei gradi di libertà della nave.

Ship type	Cargo-handling equipment	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Fishing vessels	Elevator crane	0.15	0.15	–	–	–	–
	Lift-on-lift-off	1.0	1.0	0.4	3	3	3
	Suction pump	2.0	1.0	–	–	–	–
Freighters, coasters	Ship's gear	1.0	1.2	0.6	1	1	2
	Quarry cranes	1.0	1.2	0.8	2	1	3
Ferries, ro/ro	Side ramp ²	0.6	0.6	0.6	1	1	2
	Dew/storm ramp	0.8	0.6	0.8	1	1	4
	Linkspan	0.4	0.6	0.8	3	2	4
	Rail ramp	0.1	0.1	0.4	–	1	1
General cargo	–	2.0	1.5	1.0	3	2	5
Container vessels	100% efficiency	1.0	0.6	0.8	1	1	3
	50% efficiency	2.0	1.2	1.2	1.5	2	6
Bulk carriers	Cranes	2.0	1.0	1.0	2	2	6
	Elevator/bucket-wheel	1.0	0.5	1.0	2	2	2
	Conveyor belt	5.0	2.5	–	3	–	–
Oil tankers	Loading arms	3.0 ³	3.0	–	–	–	–
Gas tankers	Loading arms	2.0	2.0	–	2	2	2

Tabella 3.2.3 - Valori raccomandati dei gradi di libertà della nave (P.I.A.N.C., 1995).

Un ulteriore criterio di valutazione delle condizioni ammissibili in banchina è stato definito da un gruppo congiunto di lavoro comprendente esperti dalla Danimarca, Finlandia, Islanda, Svezia e Norvegia (Nordic Group, 1990), i quali hanno suggerito che i massimi movimenti possibili delle navi in condizioni operative (carico-scarico delle merci) non devono superare i valori riportati in tabella 3.2.4.

I valori riportati in tabella assumono che la probabilità di accadimento delle condizioni critiche sia inferiore ad una settimana all'anno (2% del tempo totale) per le navi cargo, i pescherecci e le navi porta container, mentre sia inferiore a 3 ore all'anno (0.3% del tempo totale) per i traghetti e le navi passeggeri.

Type of ship	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Fishing boats						
$L_{OA} = 25-60$ m						
Lo/lo	±0.75	+1.5	±0.3	3-5	4	3-5
Elevator crane	±0.08	+0.15	-	-	-	1.5
Suction pump	±1.5	-	-	-	-	-
Coasters						
$L_{OA} = 60-150$ m						
Ship crane	±1.0	+1.5	±0.5	1-3	1-2	2-3
Berth crane	±1.0	+1.5	±0.6	2-4	1-2	3-5
Container ships						
$L_{OA} = 100-200$ m						
90-100% efficiency	±0.5	+0.8	±0.45	0.5	1.5	3
50% efficiency	±1.0	+2.0	±0.6	±0.6	2.5	6
Ferries						
$L_{OA} = 100-150$ m	-	+0.8	±0.5	1	1	-

Tabella 3.2.4 - Valori raccomandati dei gradi di libertà della nave (Nordic Group, 1990).

Di contro alle indicazioni di massima disponibili per la definizione delle condizioni di sicurezza per l'ormeggio dei vari tipi di nave, per quanto riguarda i bacini portuali destinati alla nautica da diporto, la sezione italiana del P.I.A.N.C. ha sviluppato un documento denominato *Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici*, approvato dalla III Sezione del Consiglio Superiore dei LL.PP. con voto n. 212 del 27/02/2002, in cui sono contenuti i valori della altezza d'onda significativa ritenuti ammissibili all'interno di un porto dedicato alla nautica da diporto; nel dettaglio sono fornite le seguenti indicazioni:

- condizione di "comfort" (particolarmente importante nel caso di porti in cui si prevede la presenza prolungata di persone a bordo delle imbarcazioni): $H_s = 0.15$ m per eventi con frequenza massima F_r complessiva indicativamente non superiore a 5 giorni/anno;
- condizione di "sicurezza": $H_s = 0.30$ m per eventi con periodo di ritorno T_r indicativamente non inferiore a 5 anni;
- condizione "limite": $H_s = 0.50$ m per eventi con periodo di ritorno T_r indicativamente non inferiore a 50 anni.

3.3 IL MODELLO MATEMATICO MIKE 21 BW

3.3.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO

Lo studio dell'agitazione ondosa all'interno del bacino portuale è stato condotto attraverso l'utilizzo del modulo Boussinesq Waves (BW) del codice di calcolo **MIKE 21**, edito da DHI (Danish Hydraulic Institute).

Il modello MIKE 21 BW è basato sulla soluzione numerica nel dominio del tempo delle equazioni di Boussinesq. Le equazioni includono i termini non lineari e la dispersione in frequenza che, sostanzialmente, è introdotta nelle equazioni della quantità di moto attraverso l'analisi degli effetti delle accelerazioni verticali sulla distribuzione di pressione.

Le equazioni di Boussinesq sono risolte usando una formulazione del flusso con un miglioramento nella descrizione della dispersione lineare; queste equazioni di Boussinesq modificate (originariamente derivate da Madsen ed al., 1991, e Madsen e Sørensen, 1992) rendono il modello adatto alla simulazione della propagazione di onde direzionali che viaggiano da acque profonde ad acque basse.

La profondità massima rappresentabile con le equazioni di Boussinesq modificate è pari a circa mezza lunghezza d'onda, mentre con le equazioni classiche tale rapporto è pari a 0.22. Il modello è capace di riprodurre lo stato ondoso nella surf zone attraverso l'introduzione nell'algoritmo di calcolo delle formule del frangimento e dell'evoluzione della linea di riva di Madsen ed al. (1997 a,b), e di Sørensen e Sørensen (2001).

Il modello è in grado di riprodurre l'effetto combinato di tutti i fenomeni ondosi che interessano i porti e l'ingegneria costiera in generale. Questi includono:

- shoaling,
- rifrazione,
- diffrazione,
- attrito del fondo,
- frangimento,
- riflessione parziale,
- evoluzione della linea di riva,
- interazioni non lineari onda-onda,
- trasmissione di spettri d'onda (direzione e frequenza).

Il modulo MIKE 21 BW permette inoltre di simulare gli effetti della riflessione parziale e della trasmissione attraverso pontili o barriere frangiflutti, prevedendo opportuni coefficienti di porosità delle strutture interessate. Laddove sia necessario simulare l'assorbimento dell'energia dell'onda è possibile infine applicare opportuni contorni assorbenti.

L'immissione delle onde all'interno del dominio di calcolo può avvenire attraverso i contorni aperti del dominio di calcolo o direttamente da una o due linee di generazione interne; le linee di generazione devono essere orientate parallelamente agli assi di riferimento della griglia batimetrica di calcolo adottata.

Il modulo MIKE 21 BW richiede la ricostruzione di opportune griglie di calcolo rappresentative della batimetria corrispondente alle varie configurazioni simulate.

3.3.2 PARAMETRI DI CALCOLO

Per l'applicazione del modello ai casi di studio sono state elaborate le griglie a maglia quadrata e passo pari a 5m riportate nelle figure 3.3.2.1, 3.3.2.2, 3.3.2.3, 3.3.2.4; le griglie si riferiscono alle configurazioni indicate con i nomi "layout 0", "layout 1", "layout 2", "layout 3", la cui descrizione è riportata nella *Premessa*.

La risoluzione spaziale adottata (5m) è stata determinata in base alla necessità di disporre di almeno 7 punti di calcolo per ogni lunghezza d'onda simulata, nonché al fine di ottenere un adeguato dettaglio nella descrizione degli elementi strutturali riportati nei vari layout riprodotti.

Le griglie sono orientate con l'asse X secondo la direzione SE (135°N) e l'asse Y secondo la direzione NE (45°N), e sono composte da 520 righe (// asse X) e 660 colonne (// asse Y). Per ridurre i tempi computazionali del programma, alcune aree dello specchio acqueo esterno al porto, ininfluenti ai fini dello studio dell'agitazione ondosa interna, sono state implementate come aree a terra.

In corrispondenza dei bordi dello specchio acqueo esterno è stato necessario predisporre uno strato assorbente dell'energia del moto ondoso al fine di evitare la riflessione delle onde lungo il contorno del dominio di calcolo.

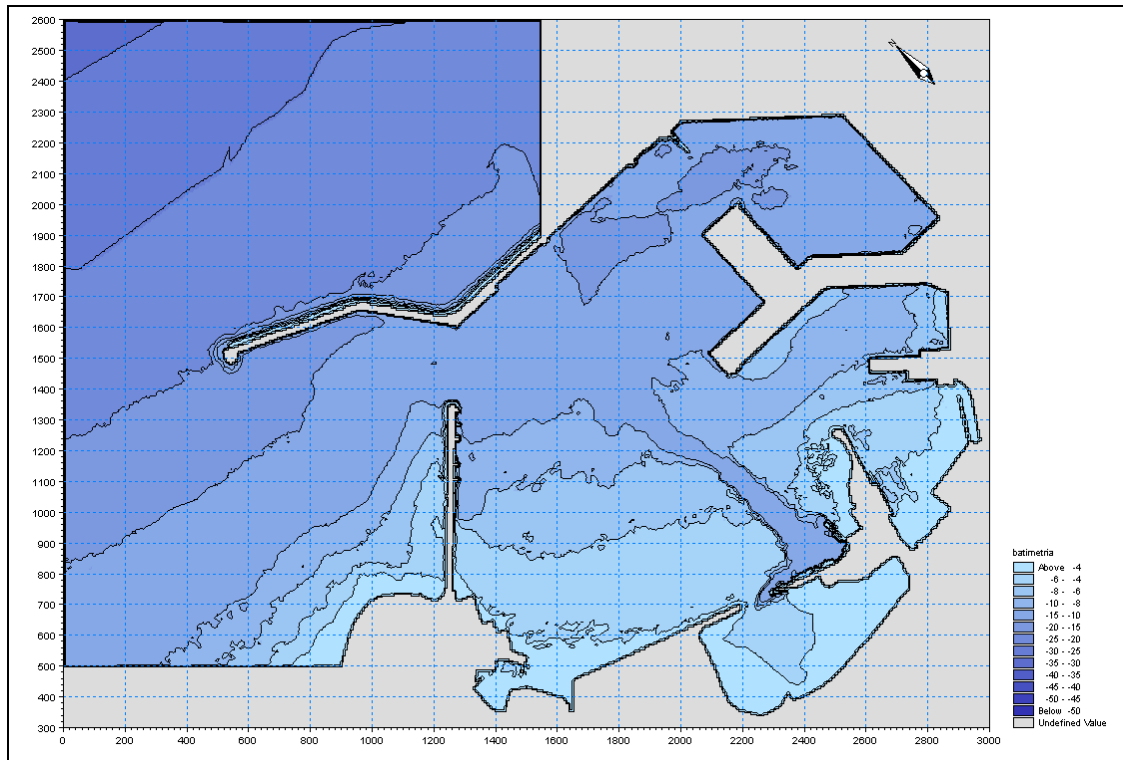


Figura 3.3.2.1 – Griglia di calcolo - LAYOUT 0 (situazione attuale).

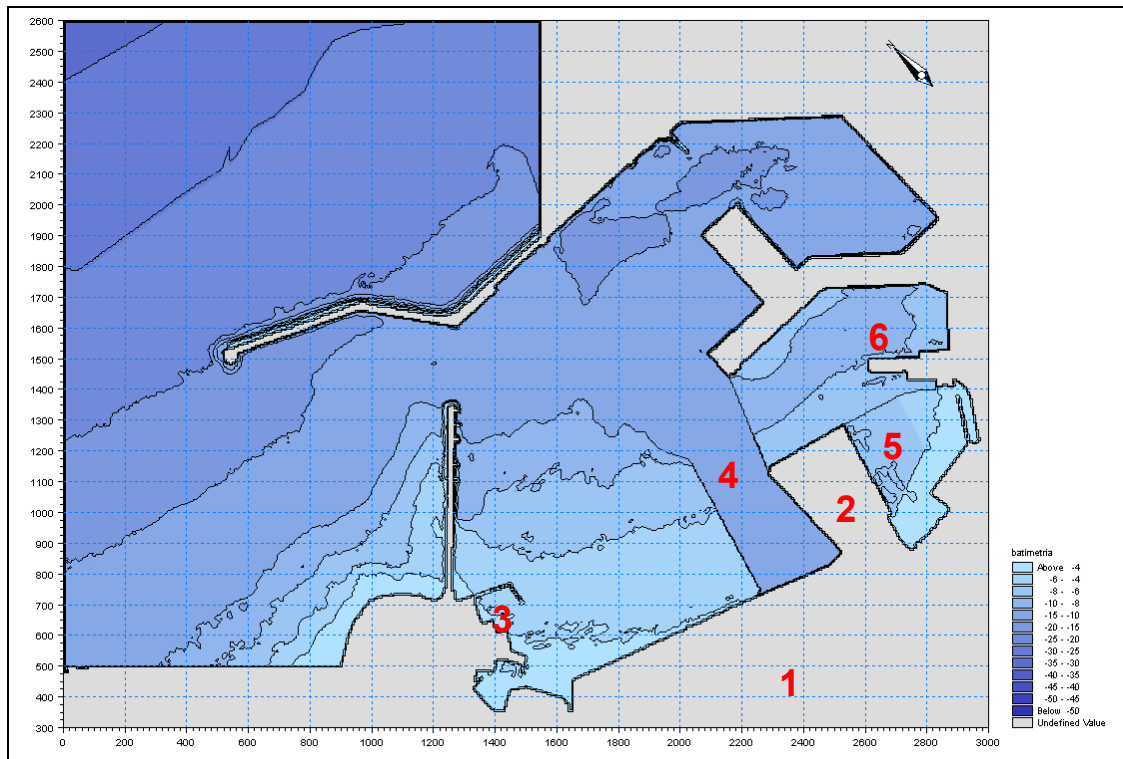


Figura 3.3.2.2 – Griglia di calcolo - LAYOUT 1.

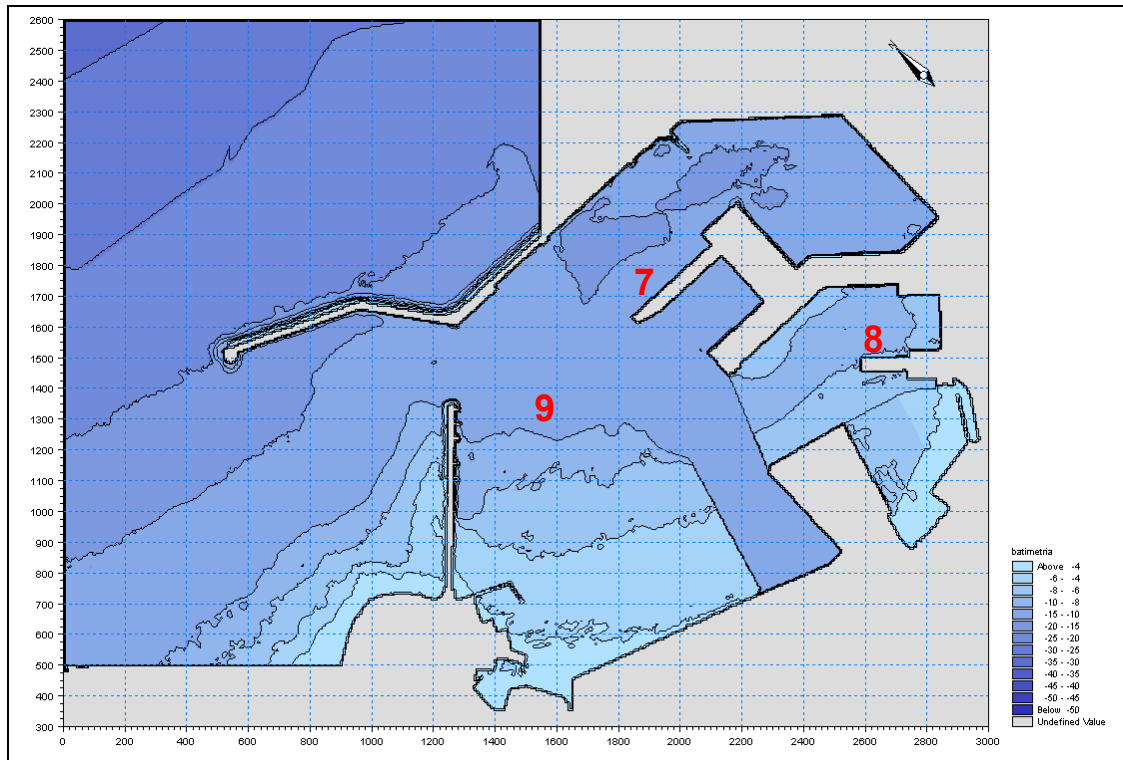


Figura 3.3.2.3 – Griglia di calcolo - LAYOUT 2.a (banchina molo crocieristico a sezione piena).

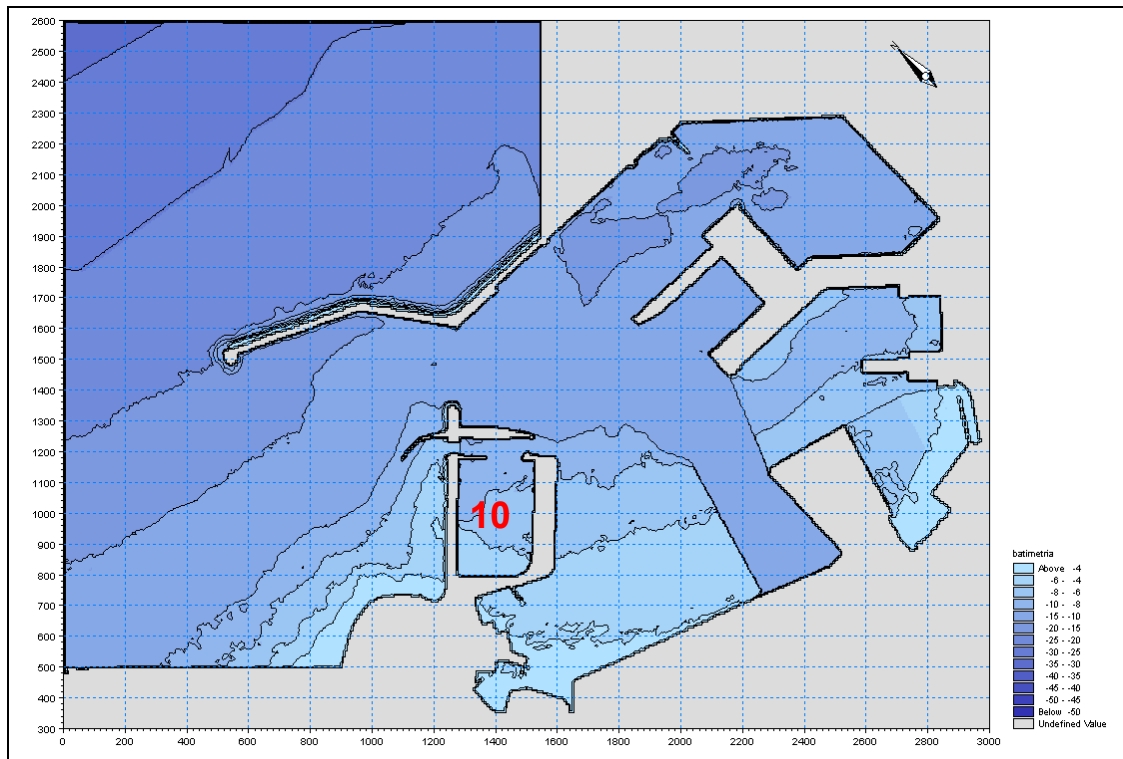


Figura 3.3.2.4 – Griglia di calcolo - LAYOUT 3.

Nelle figure da 3.3.2.5 a 3.3.2.7 sono riportate le griglie batimetriche di calcolo relative a tre soluzioni costruttive alternative per la realizzazione del nuovo molo crocieristico nella darsena di Ponente; le tre ipotesi progettuali alternative in parola consistono rispettivamente in:

LAYOUT 2.e banchina a platea poggiata su moduli in cassoni cellulari con celle antirisacca sul perimetro esterno (dim = 20m x 30m; luce ~ 45m);

LAYOUT 2.f banchina a platea poggiata su piloni circolari (D = 30m; luce ~ 30m);

LAYOUT 2.g banchina a platea poggiata su pile imbasate su cassoni cellulari sommersi fino alla profondità -2.0m (schema grafico in figura 3.3.2.8).

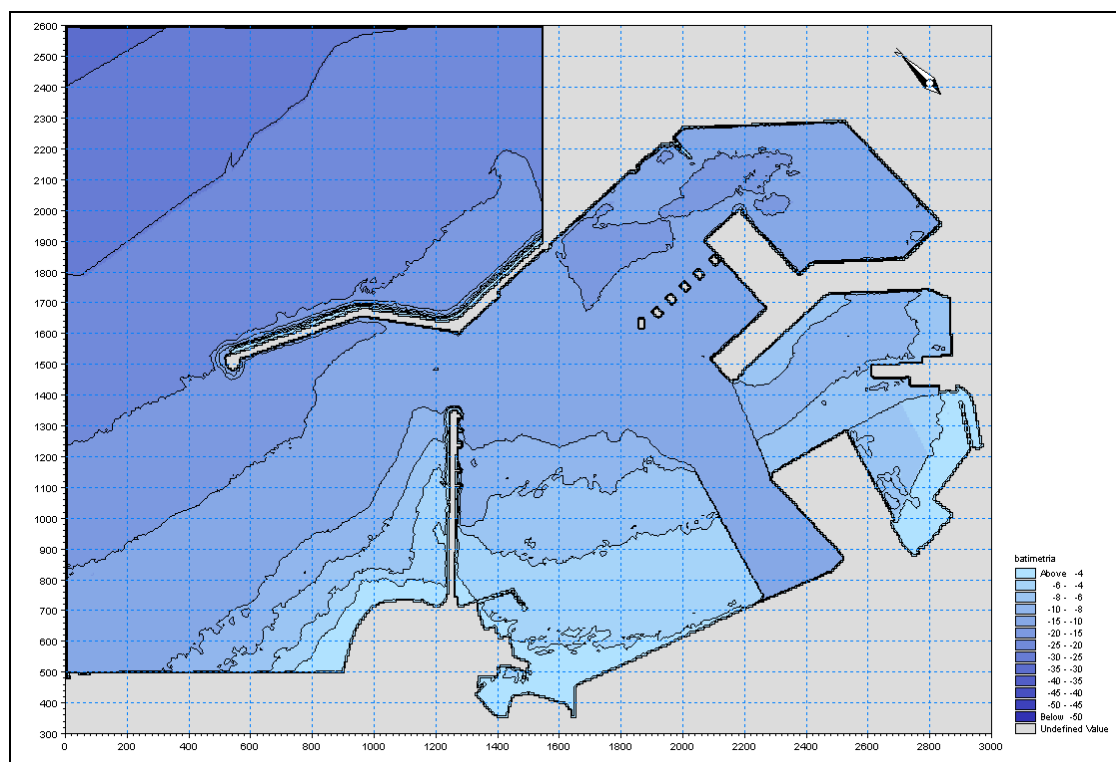


Figura 3.3.2.5 – Griglia di calcolo - LAYOUT 2.b (banchina molo crocieristico su cassoni).

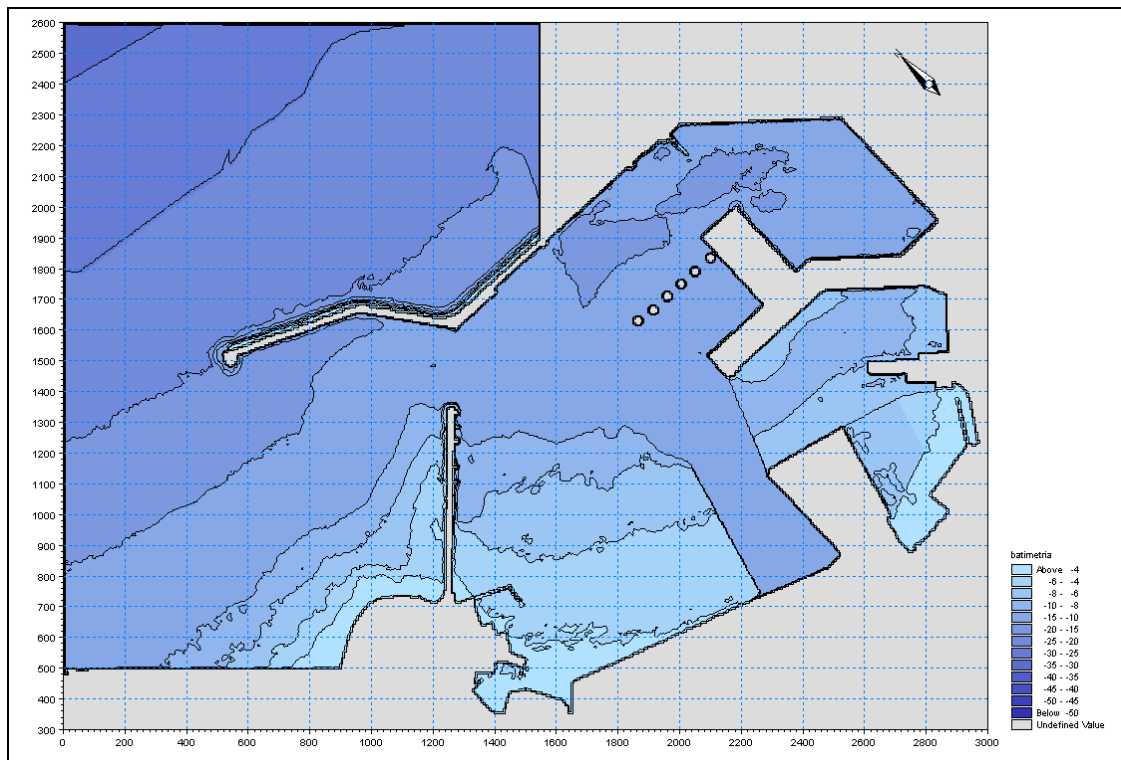


Figura 3.3.2.6 – Griglia di calcolo - LAYOUT 2.c (banchina molo crocieristico su piloni).

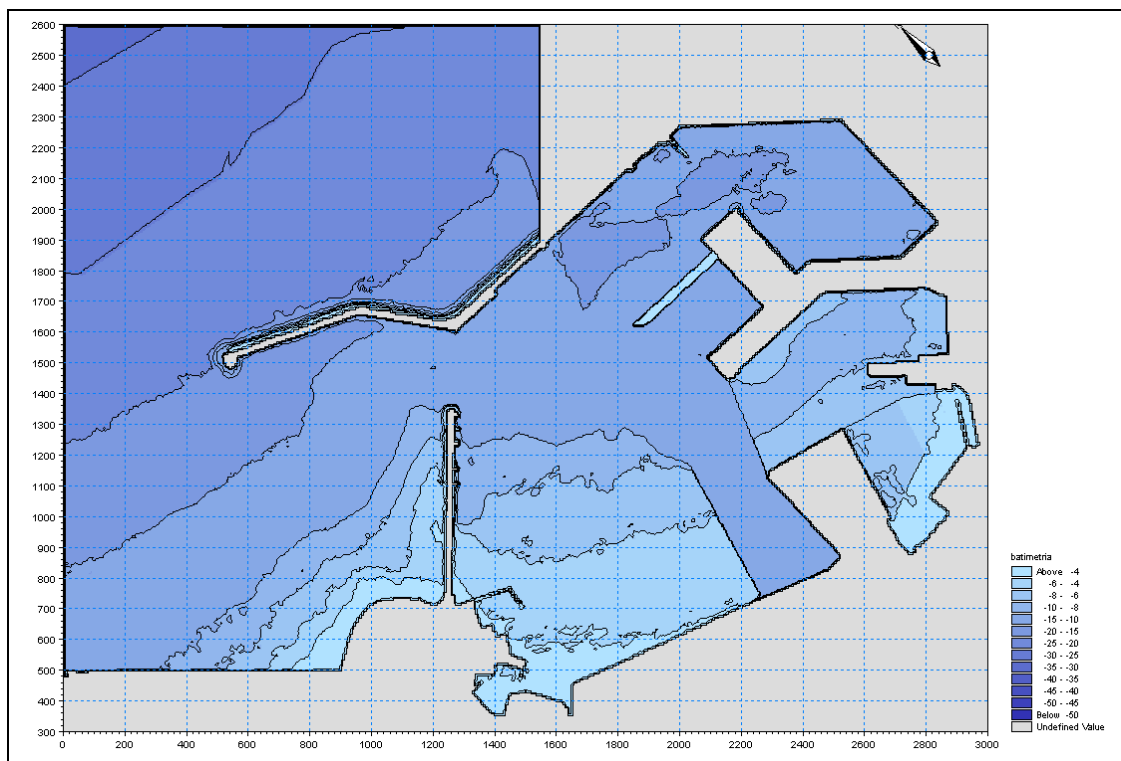


Figura 3.3.2.7 – Griglia di calcolo - LAYOUT 2.d (banchina molo crocieristico su piloni poggiati su cassoni sommersi).

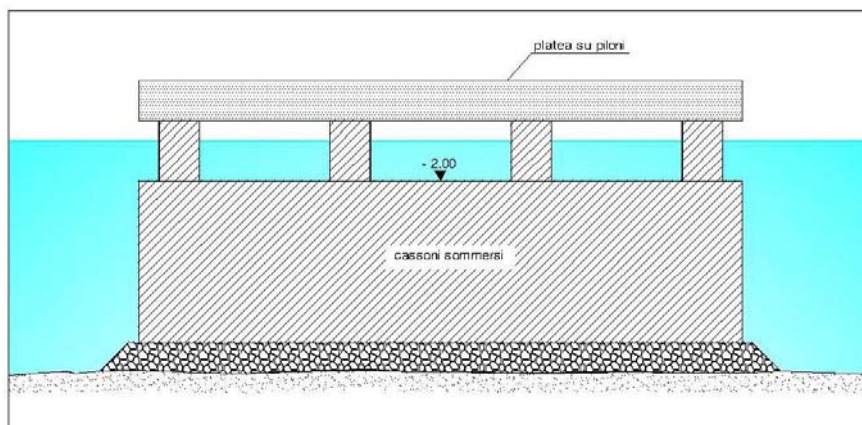


Figura 3.3.2.8 – Schema grafico sezione banchina su piloni poggianti su cassoni sommersi (LAYOUT 2.d).

Nel modello sono state simulate le condizioni ondose sottocosta riportate nella tabella 2.3.3.2; la propagazione delle onde è stata analizzata simulando l'intero spettro in termini di frequenza (spettro di tipo JONSWAP), utilizzando onde unidirezionali irregolari generate da un apposito applicativo di MIKE 21 BW.

Le onde sono state introdotte nel sistema lungo due linee di generazione posizionate in corrispondenza del contorno del dominio di calcolo (figura 3.3.2.9); per ciascuna onda sono stati elaborati lungo le linee di generazione due vettori temporari della densità di flusso e della pendenza della superficie libera.

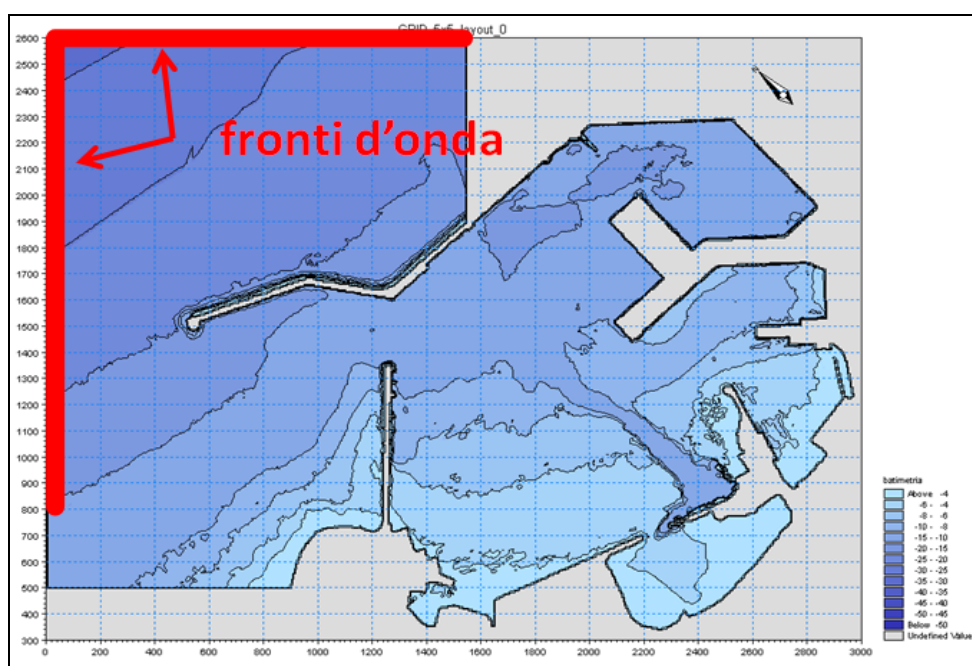


Figura 3.3.2.9 – Linee di generazione del moto ondoso simulate nel modello MIKE 21 BW.

Nella definizione dei parametri necessari all'applicazione del modello MIKE 21 sono stati adottati idonei valori del periodo totale di simulazione e del passo temporale di integrazione.

Il periodo di simulazione, ossia il tempo reale di generazione delle onde, deve essere sufficientemente esteso al fine di consentire il completo sviluppo del moto ondoso in tutto il dominio di calcolo; tale periodo è funzione delle dimensioni dell'area di studio e della velocità di propagazione delle onde. Per tutte le simulazioni condotte è stato considerato un intervallo di tempo pari a 30 minuti che risulta più che sufficiente affinché il moto ondoso raggiunga le condizioni di stabilità in tutto il dominio di calcolo.

Il passo temporale di integrazione (time step) è uno dei termini fondamentali per la stabilità numerica della soluzione ed è definito in funzione sia della risoluzione spaziale della griglia di calcolo adottata (5m), sia del periodo delle onde analizzate.

Il passo temporale di integrazione è determinato in modo tale che verifichi la condizione che il numero di Courant C_r sia inferiore o uguale ad 1. Il numero di Courant C_r è un'espressione che descrive il numero di celle di calcolo attraversate mediamente dalle onde in un periodo di simulazione. Esso è definito da:

$$C_r = c (\Delta t / \Delta x)$$

dove:

- c celerità di propagazione delle onde;
- Δt passo temporale di integrazione (time step);
- Δx risoluzione spaziale griglia.

In base ai criteri sopra esposti, per tutte le simulazioni condotte è stato adottato un passo temporale di integrazione pari a 0.2 secondi.

Per quanto riguarda il fenomeno della riflessione delle onde sulle strutture interne portuali, il modello numerico richiede la definizione di opportuni strati porosi calcolati in base alle caratteristiche medie delle onde incidenti ed in base alle profondità d'acqua antistanti alle strutture.

Nella tabella 3.3.2.1 sono riportati i coefficienti di riflessione riportati in letteratura relativi alle varie tipologie di strutture presenti all'interno del porto di Bari.

tipologia di struttura	coefficiente di riflessione
banchina a parete verticale	1.00
cassoni antiriflettenti	0.70
scogliera in massi naturali	0.30

Tabella 3.3.2.1 – Coefficienti di riflessione utilizzati nel modello MIKE 21 BW.

Utilizzando un applicativo del modello numerico, in base a tali valori del coefficiente di riflessione ed in funzione delle caratteristiche delle onde incidenti e delle profondità al piede delle strutture riflettenti, sono stati calcolati i corrispettivi coefficienti di porosità. Per quanto riguarda la larghezza degli strati porosi, il modello indica che essa sia pari almeno ad 1/4 della lunghezza d'onda delle onde energeticamente più elevate.

Nella figura 3.3.2.10 è riportato un esempio degli strati porosi utilizzati per simulare il grado di riflessione delle strutture interne portuali (es.: banchina con celle antirisacca della darsena di Ponente).

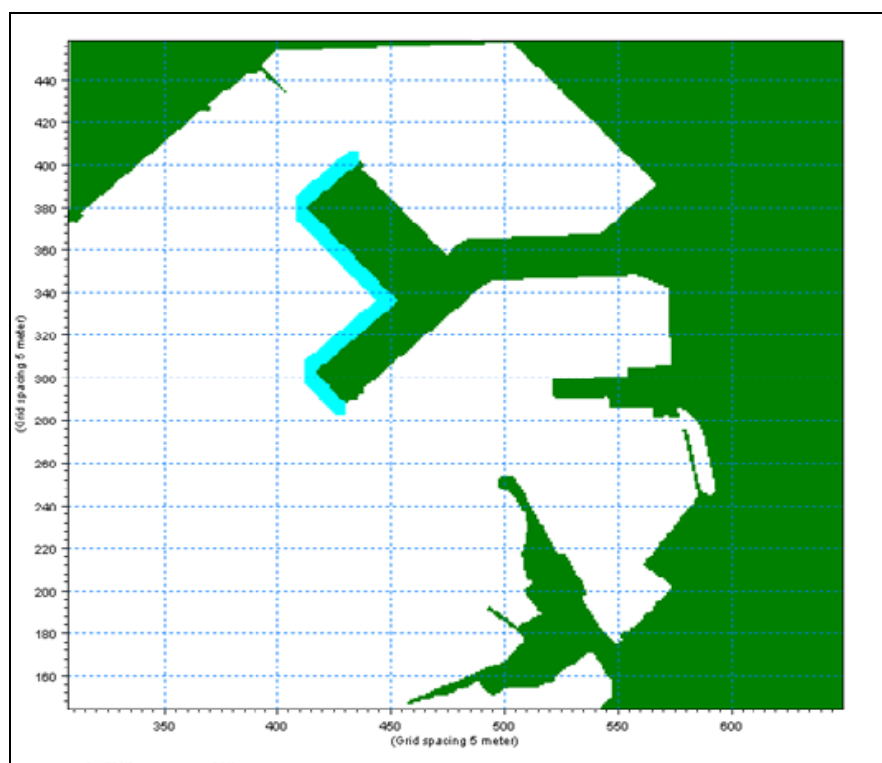


Figura 3.3.2.10 – Strato poroso implementato nel modello MIKE 21 BW per simulare l'effetto dissipativo delle celle antirisacca lungo le banchine della darsena di Ponente.

Nelle simulazioni effettuate è stato tenuto conto anche dell'effetto dell'attrito sul fondo benché esso sia poco significativo nei casi di studio relativi alla propagazione di onde corte in bacini portuali.

Il modello MIKE 21 BW utilizza per il calcolo dell'attrito di fondo la formula di Chezy in cui la tensione tangenziale al fondo τ_b è espressa in funzione del numero di Chezy C attraverso la seguente formula:

$$\tau_b = \frac{\rho g U |U|}{C^2}$$

dove:

U velocità media lungo verticale;

ρ densità dell'acqua;

g accelerazione di gravità.

Utilizzando le formule riportate in letteratura del numero di Chezy, è stato quindi calcolato un valore di C pari a circa 25 ($m^{1/2}/s$) che è stato adottato in tutte le simulazioni effettuate.

In ultima analisi occorre evidenziare che non avendo a disposizione dati misurati relativi alle condizioni di agitazione ondosa all'interno del bacino portuale, per la taratura dei vari parametri necessari alla definizione dei dati di input del modello sono state eseguite varie verifiche a partire da valori noti riportati in letteratura.

Utilizzando i valori di riferimento disponibili per ciascuno dei parametri di input, attraverso il confronto tra i risultati ottenuti dal modello matematico, è stato possibile valutare il livello di sensibilità dei singoli parametri e quindi, anche in base alle risultanze di altri casi di studio simili, è stato infine determinato il valore finale adottato.

3.3.3 APPLICAZIONE DEL MODELLO

Lo studio dell'agitazione ondosa residua all'interno del porto di Bari è stato condotto con l'applicazione del modello matematico MIKE 21 BW; in particolare sono state elaborate le mappe di agitazione relative agli stati ondosi riportati nella tabella 2.3.3.2 per ciascuna delle configurazioni planimetriche descritte nel precedente paragrafo.

Le simulazioni effettuate hanno riguardato gli attacchi ondosi provenienti da NNO, Nord e NNE; vista l'esposizione dell'imboccatura portuale verso NO, infatti, le mareggiate da ENE e da Est non sono state simulate in quanto lo specchio acqueo interno risulta protetto rispetto a tali direzioni di provenienza del moto ondoso.

Nel modello sono state elaborate le mappe di agitazione ondosa interna corrispondenti alle mareggiate con tempo di ritorno T_r pari rispettivamente a 120anni, 50 anni, 5 anni e 5 giorni/anno.

Le onde con tempo di ritorno T_r 120 anni sono state simulate ai fini della determinazione delle variazioni dello stato ondoso all'interno del bacino portuale a seguito della realizzazione di alcuni interventi infrastrutturali di progetto previsti; le onde con periodo di accadimento 50 anni, 5 anni e 5gg/anno corrispondono invece alla verifica delle tre condizioni limite riportate nelle *Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici*, e sono state utilizzate ai fini dello studio dell'agitazione ondosa residua nell'ultima configurazione planimetrica simulata (LAYOUT 3), in cui è previsto appunto la realizzazione di un bacino protetto dedicato alla nautica da diporto in corrispondenza del molo San Cataldo.

Nelle figure riportate nelle pagine seguenti sono illustrate le mappe di agitazione relative alle varie configurazioni planimetriche simulate, così suddivise:

- **LAYOUT 0** (da figura 3.3.3.1 a figura 3.3.3.12);
- **LAYOUT 1** (da figura 3.3.3.13 a figura 3.3.3.24);
- **LAYOUT 2.a** (da figura 3.3.3.25 a figura 3.3.3.36);
- **LAYOUT 3** (da figura 3.3.3.37 a figura 3.3.3.48).

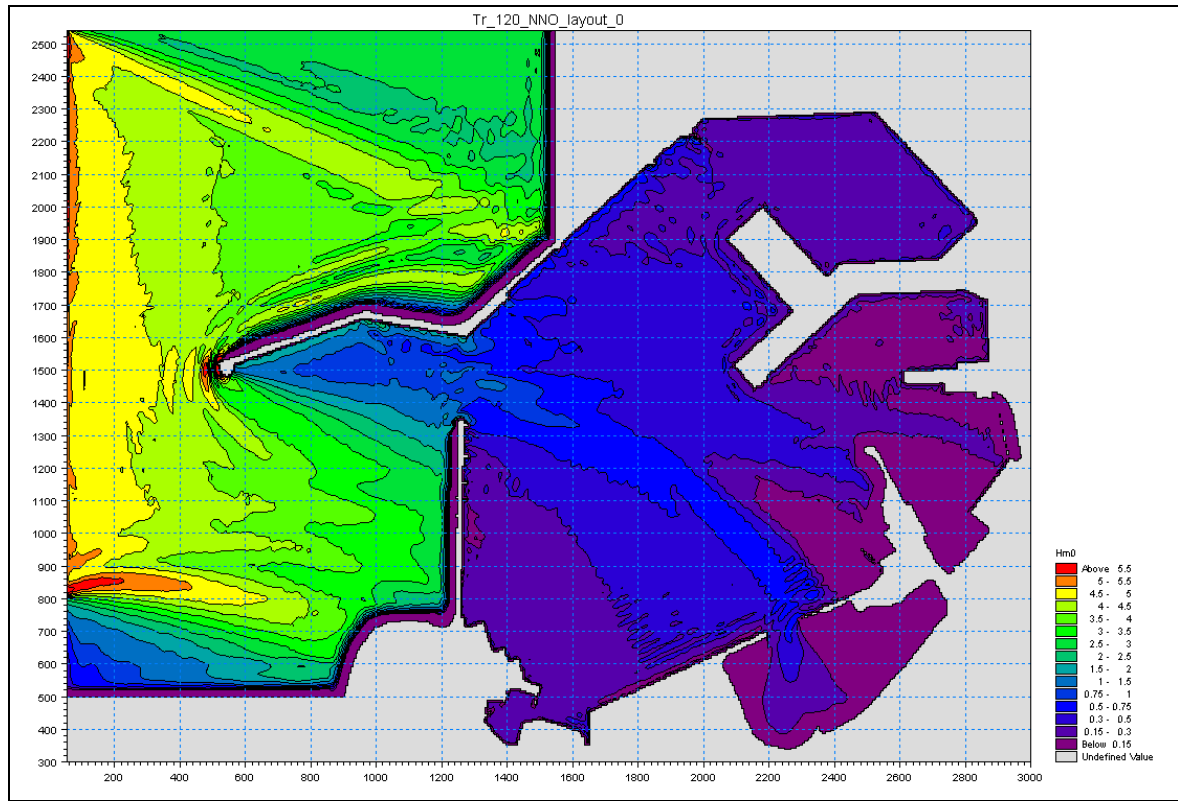


Figura 3.3.3.1 – LAYOUT 0 - Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

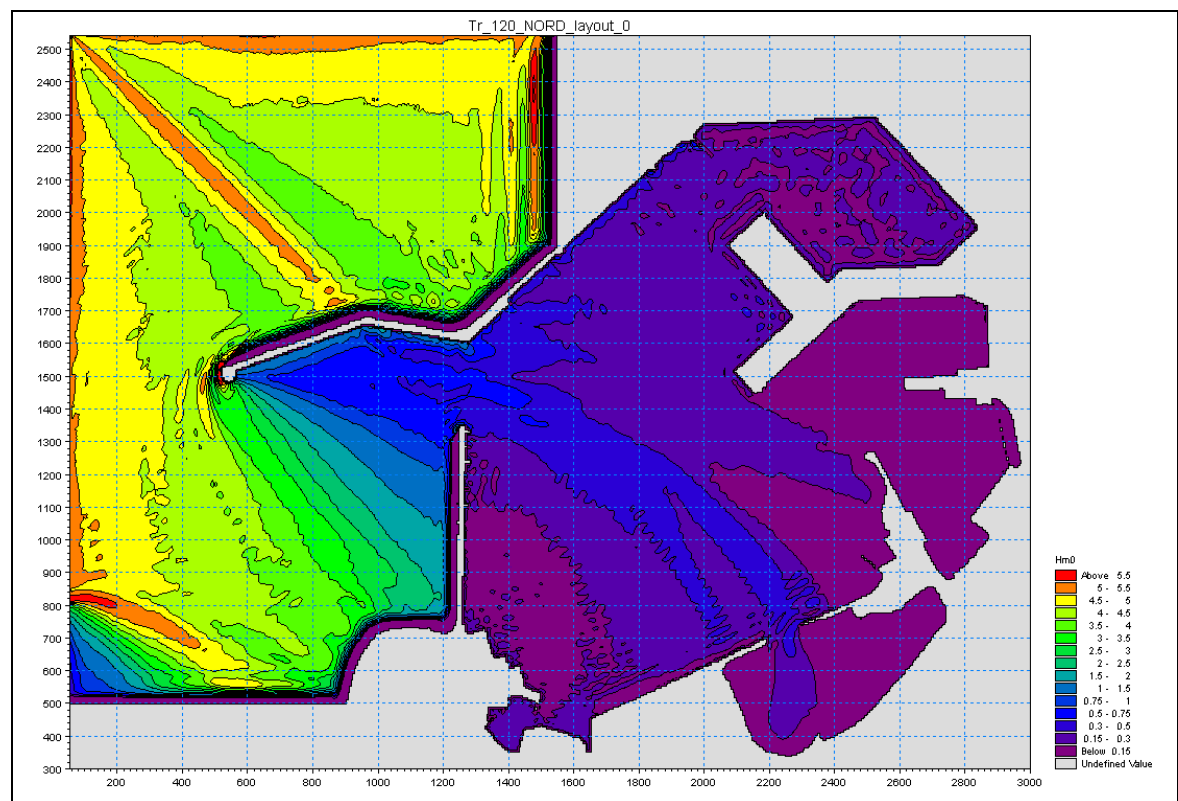


Figura 3.3.3.2 - LAYOUT 0 - Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

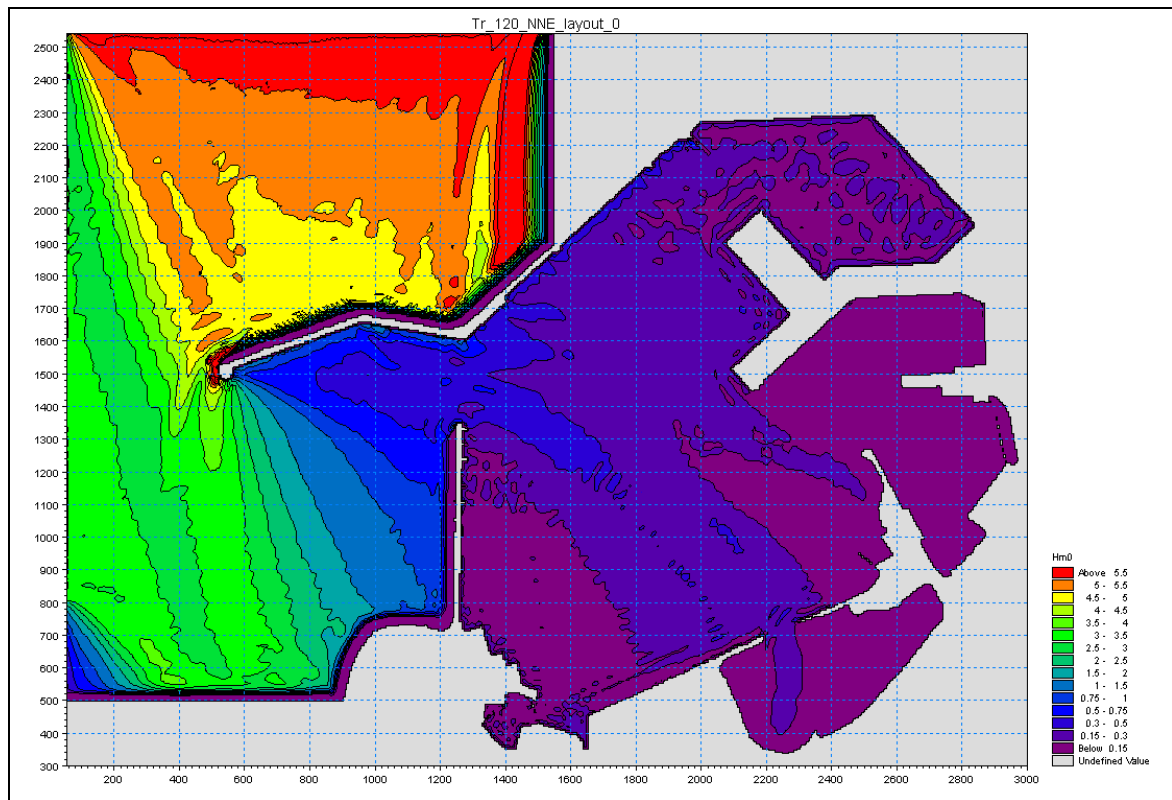


Figura 3.3.3.3 - LAYOUT 0 - Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

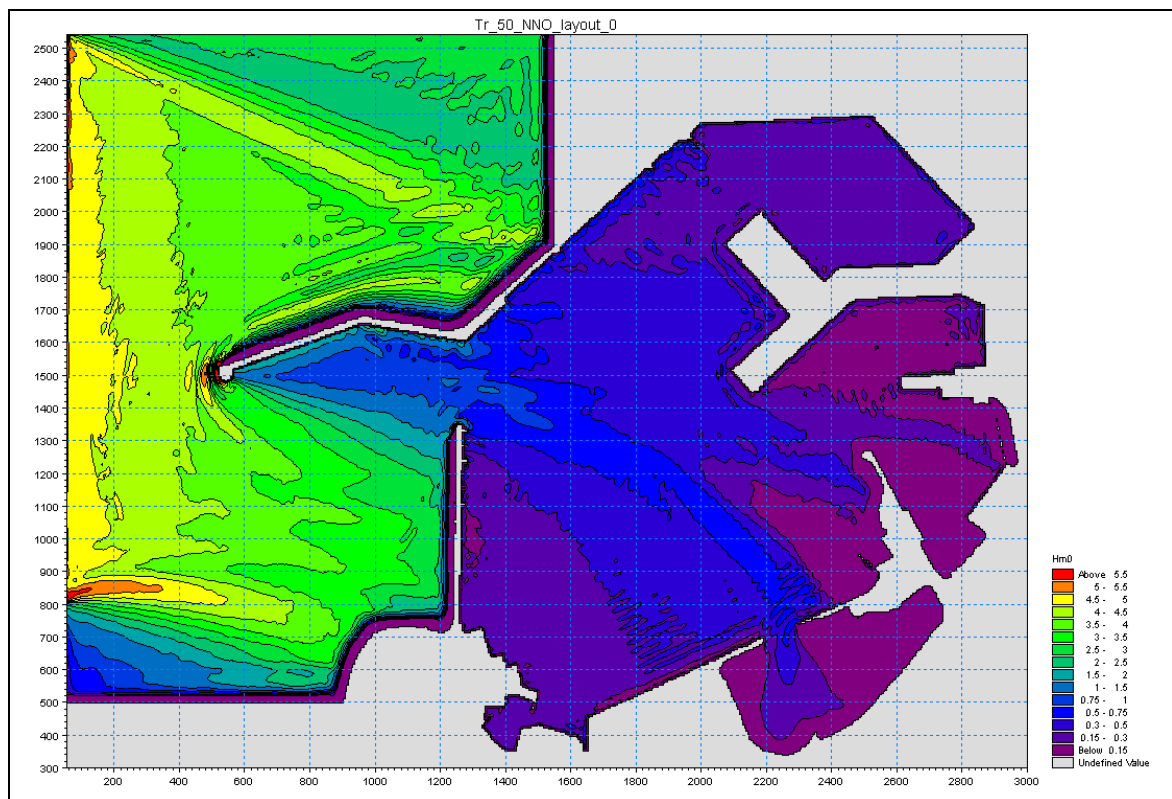


Figura 3.3.3.4 - LAYOUT 0 - Onda da NNO - $T_r = 50$ anni

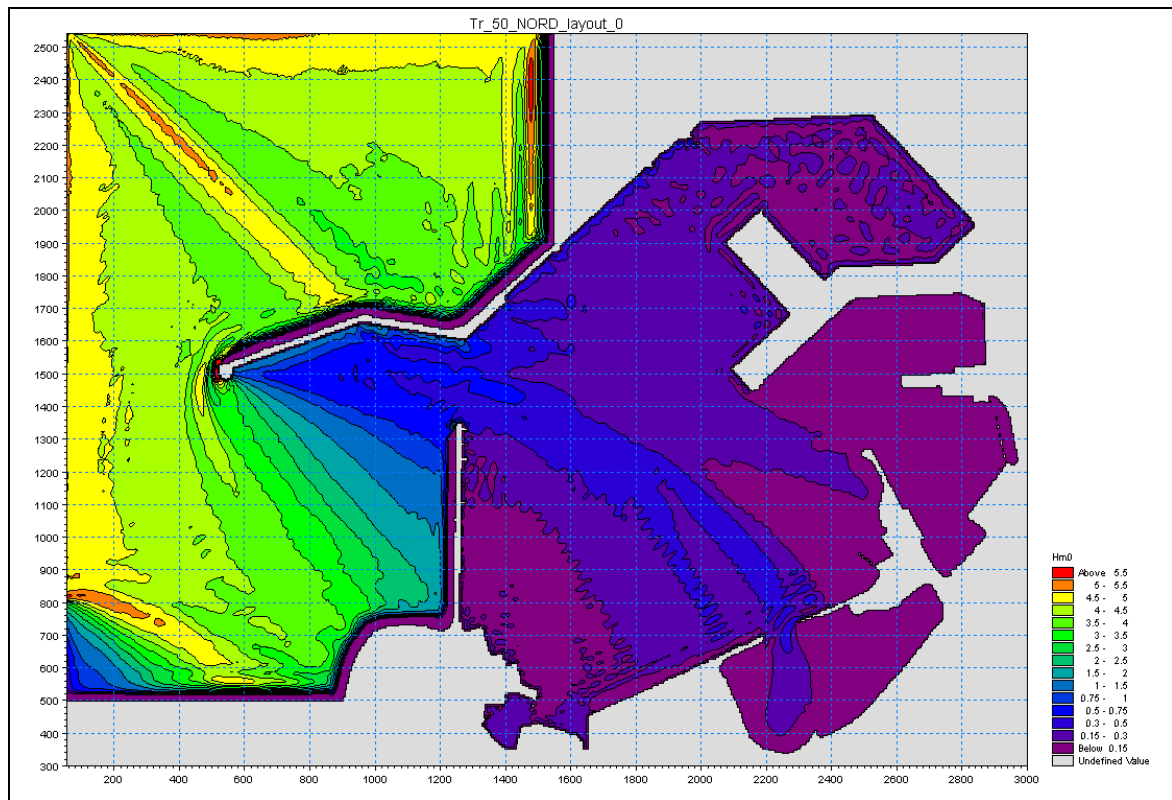


Figura 3.3.3.5 - LAYOUT 0 - Onda da Nord - $T_r = 50$ anni

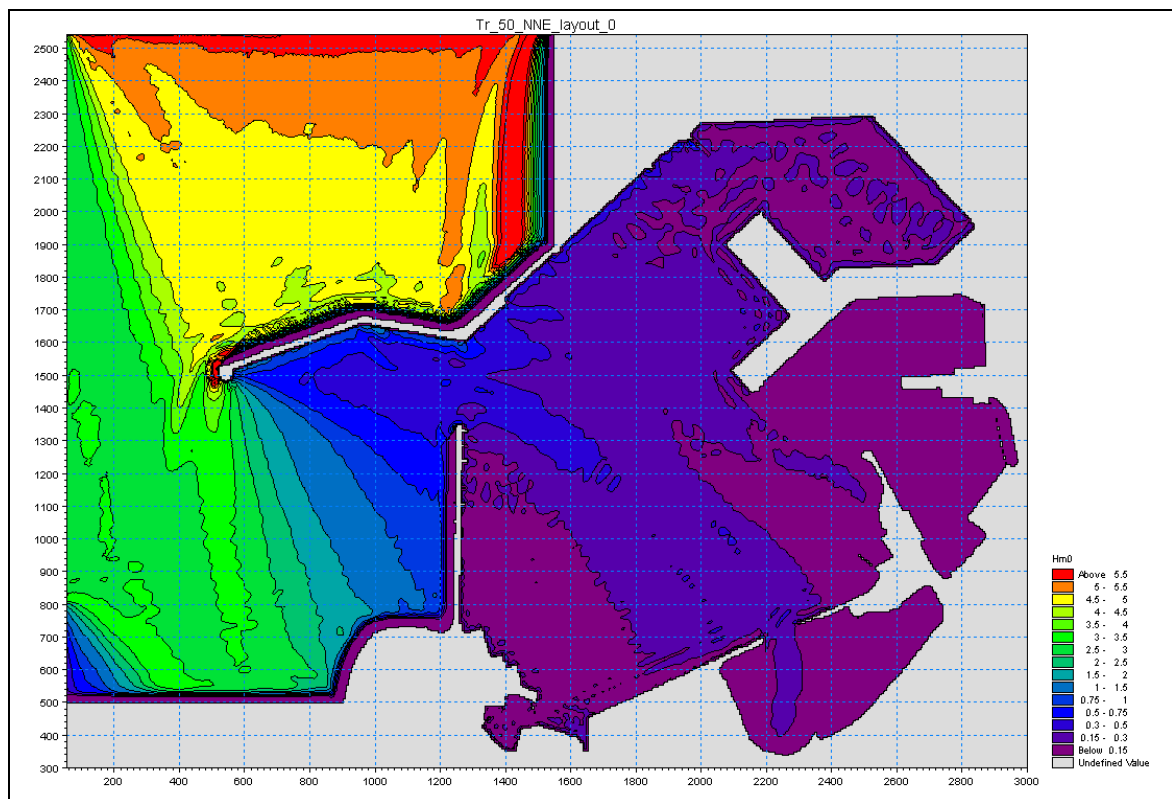


Figura 3.3.3.6 - LAYOUT 0 - Onda da NNE - $T_r = 50$ anni

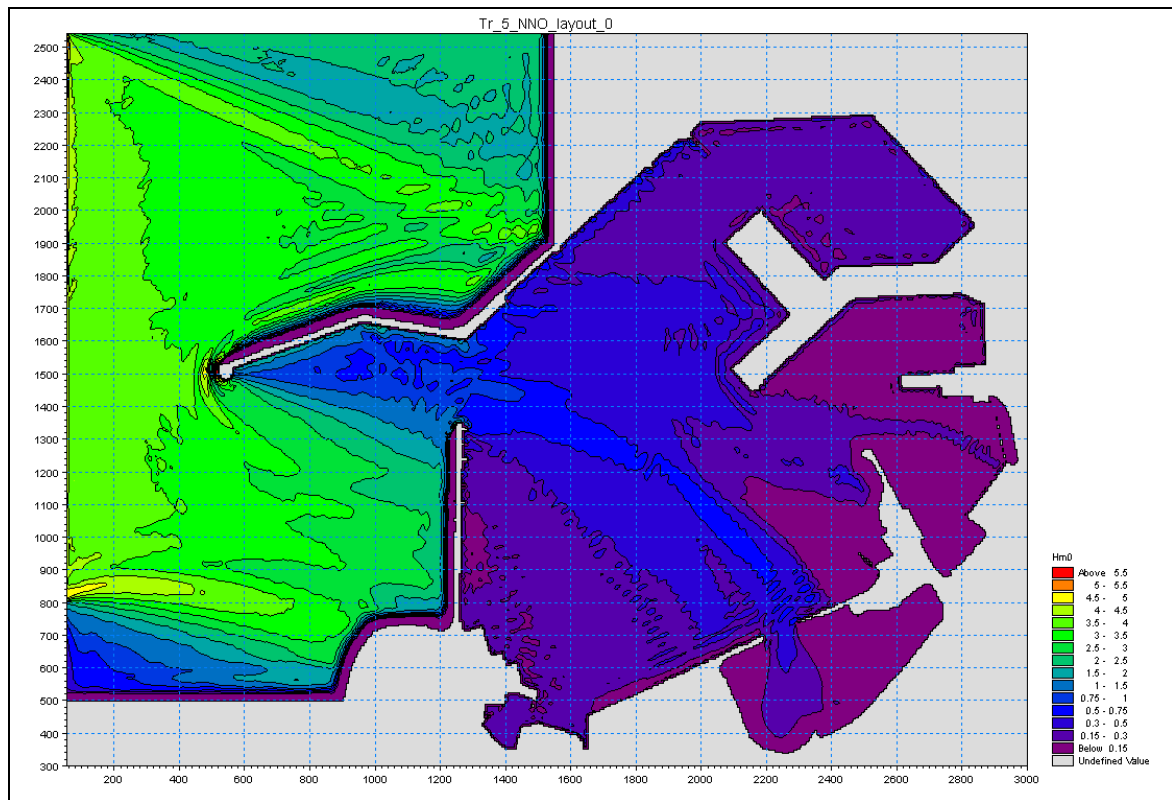


Figura 3.3.3.7 – LAYOUT 0 - Onda da NNO - $T_r = 5$ anni

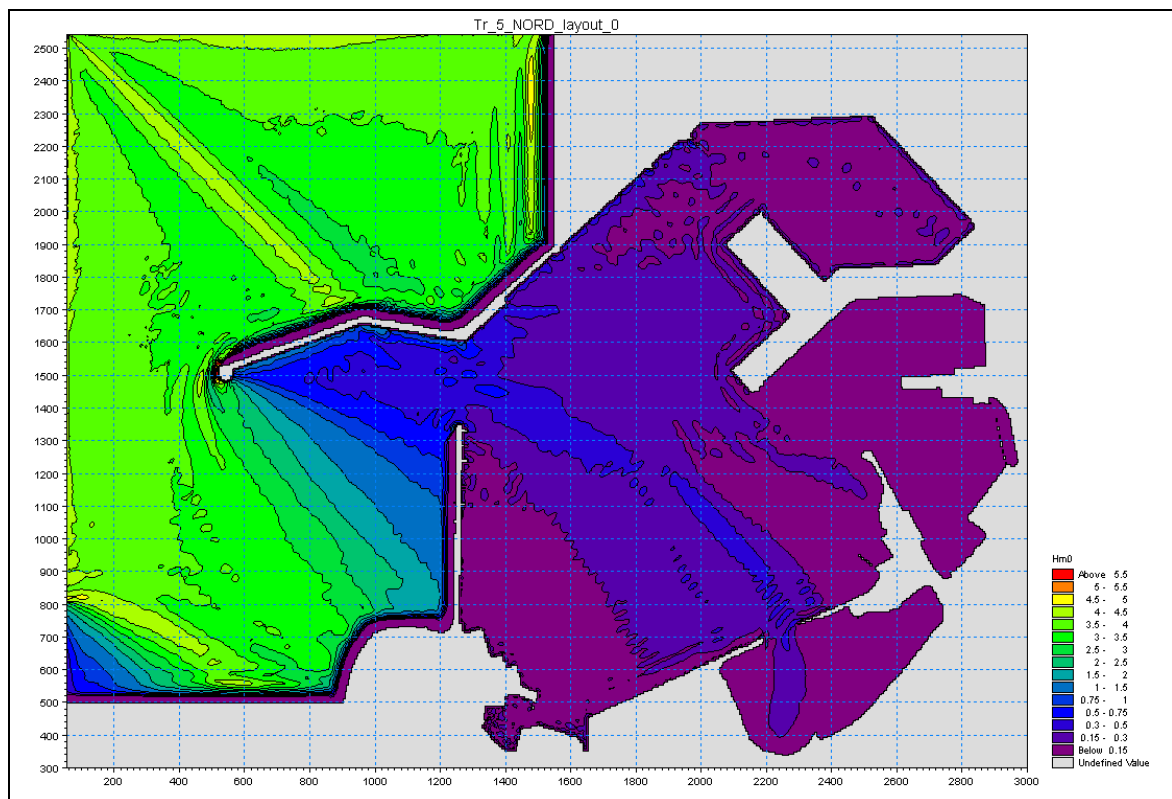


Figura 3.3.3.8 - LAYOUT 0 - Onda da Nord - $T_r = 5$ anni

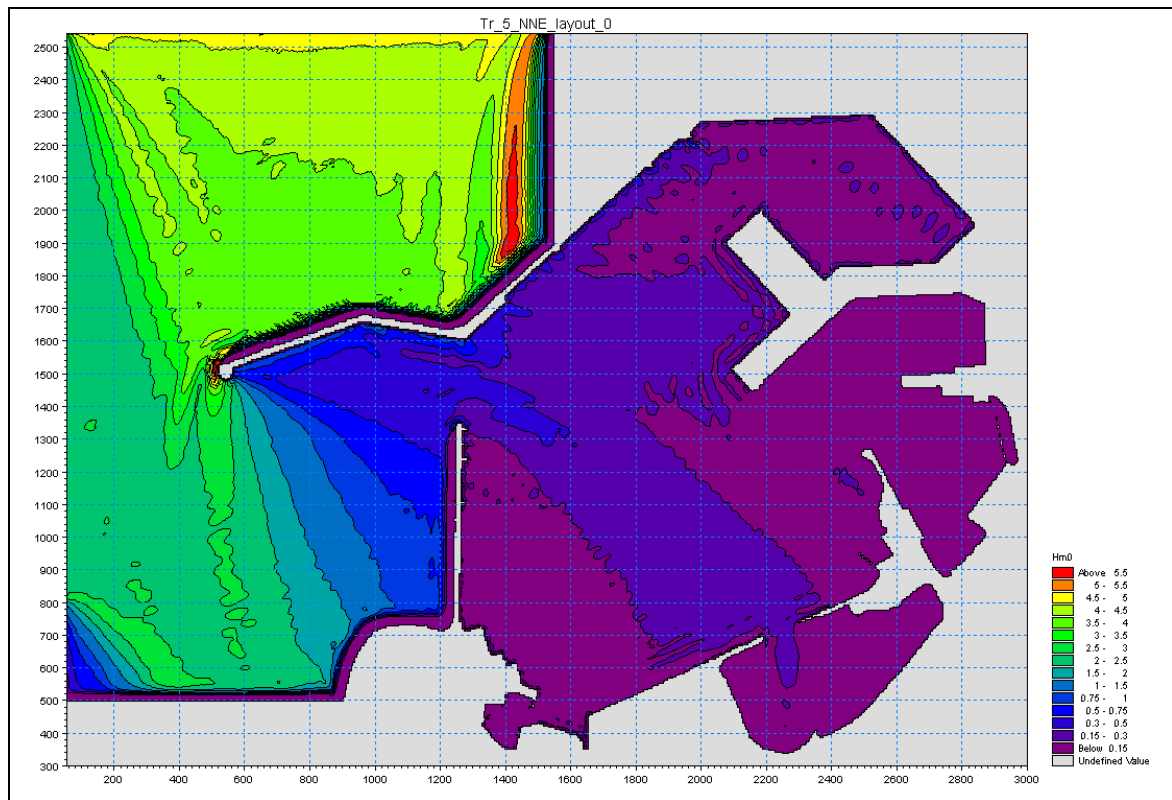


Figura 3.3.3.9 - LAYOUT 0 - Onda da NNE - $T_r = 5$ anni

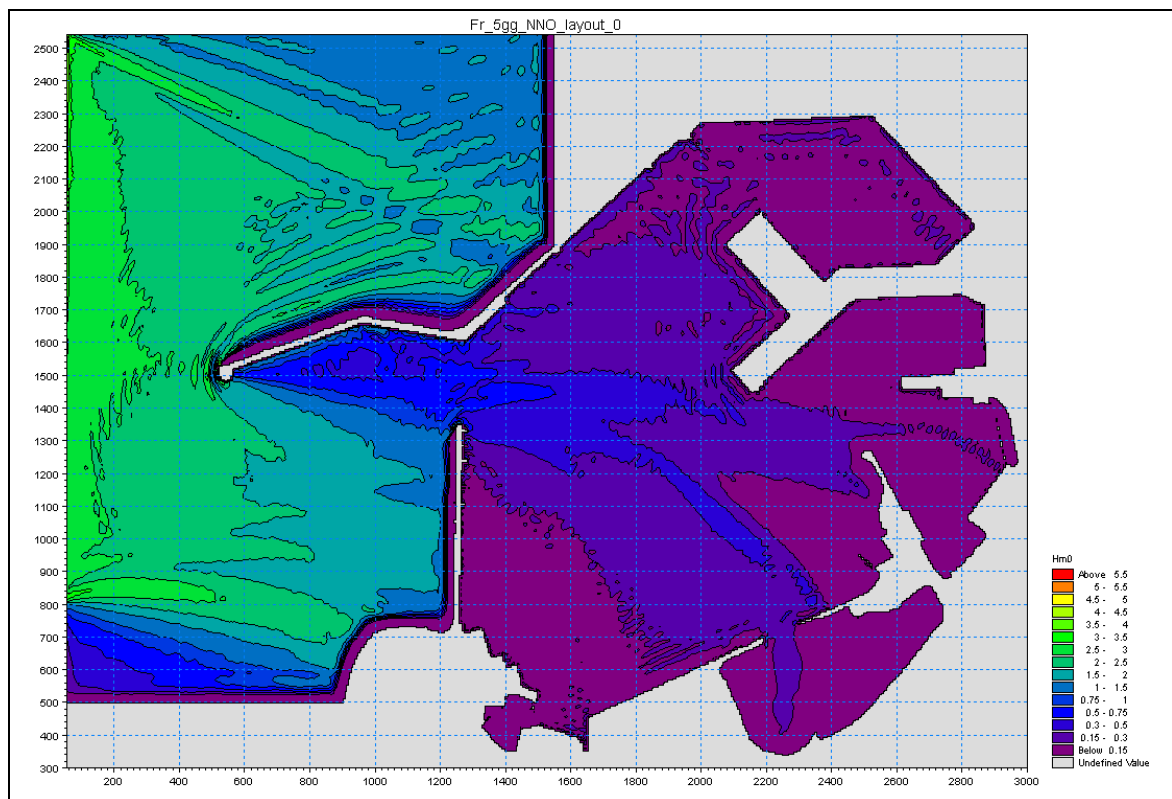


Figura 3.3.3.10 - LAYOUT 0 - Onda da NNO - $F_r = 5\text{gg/anno}$

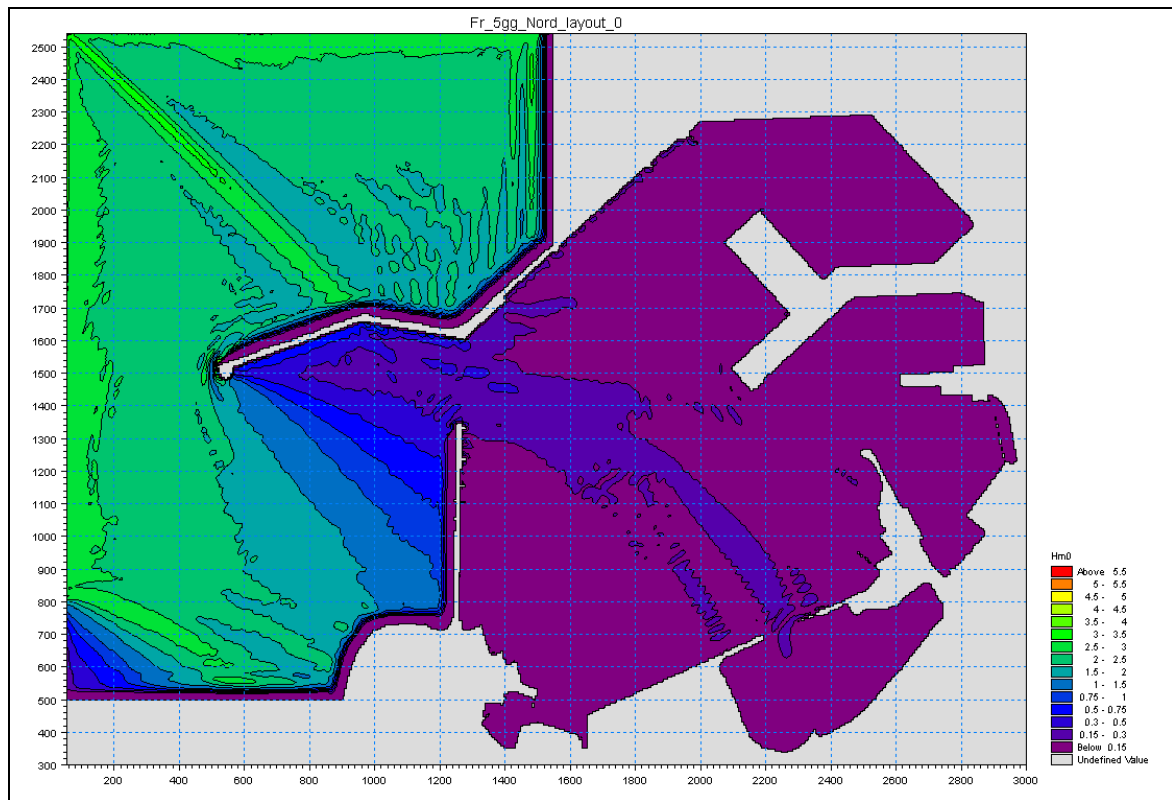


Figura 3.3.3.11 - LAYOUT 0 - Onda da Nord - $F_r = 5\text{gg/anno}$

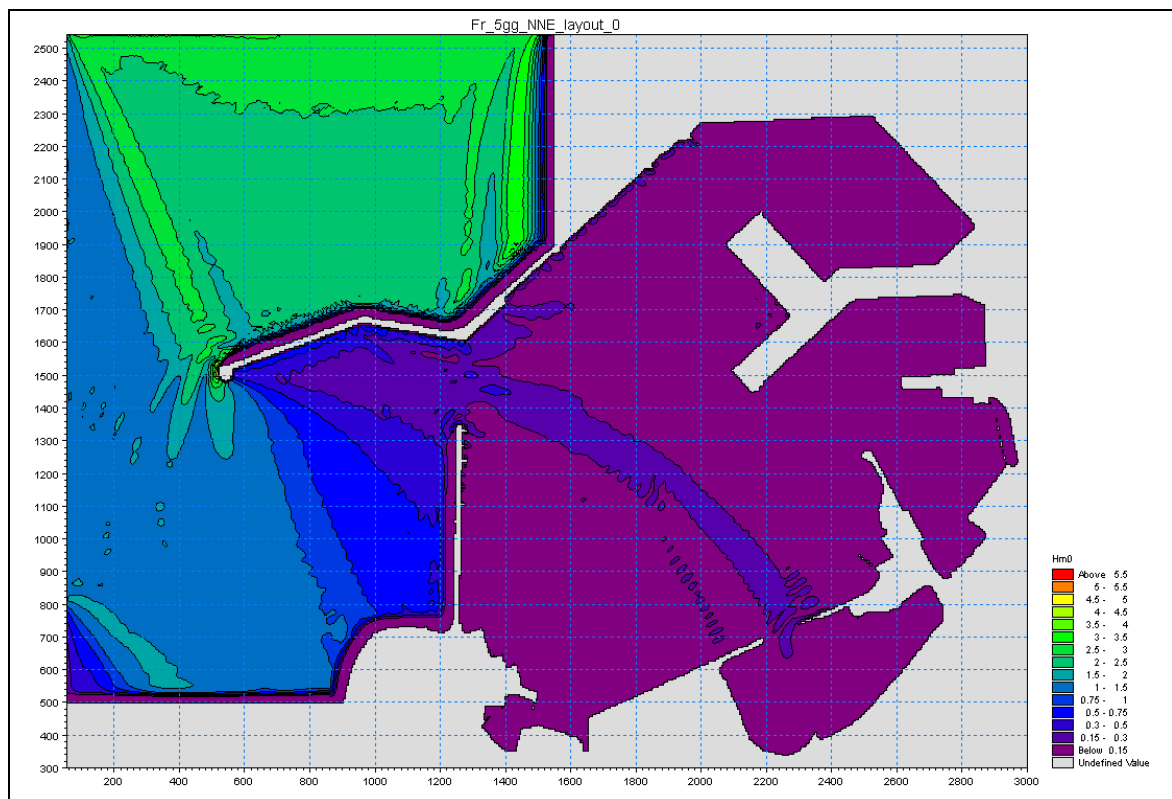


Figura 3.3.3.12 - LAYOUT 0 - Onda da NNE - $F_r = 5\text{gg/anno}$

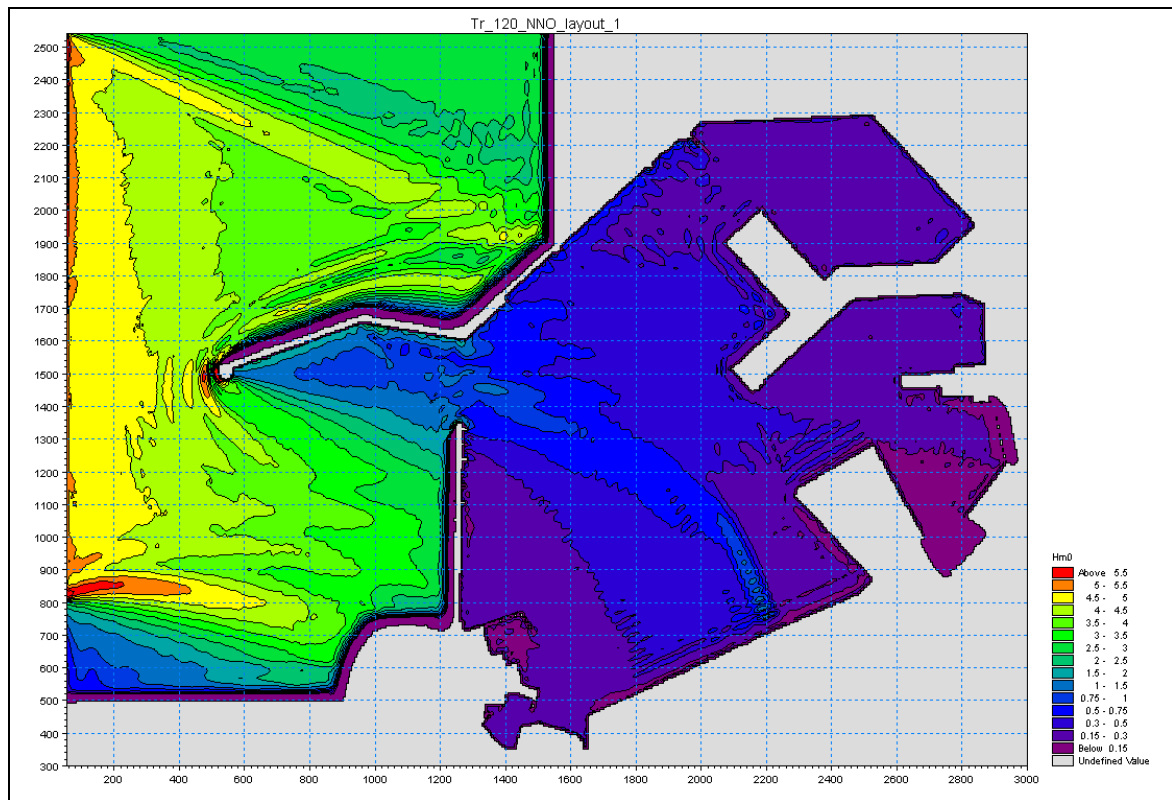


Figura 3.3.3.13 - LAYOUT 1 - Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

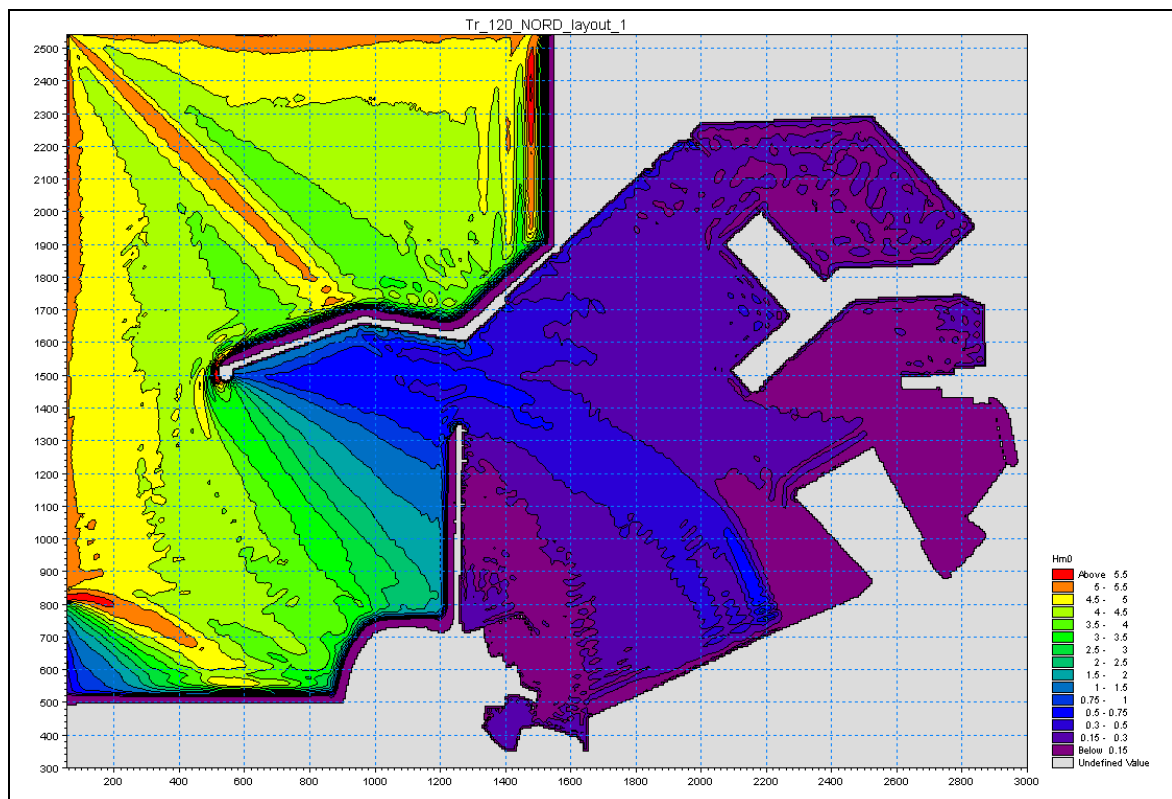


Figura 3.3.3.14 - LAYOUT 1 - Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

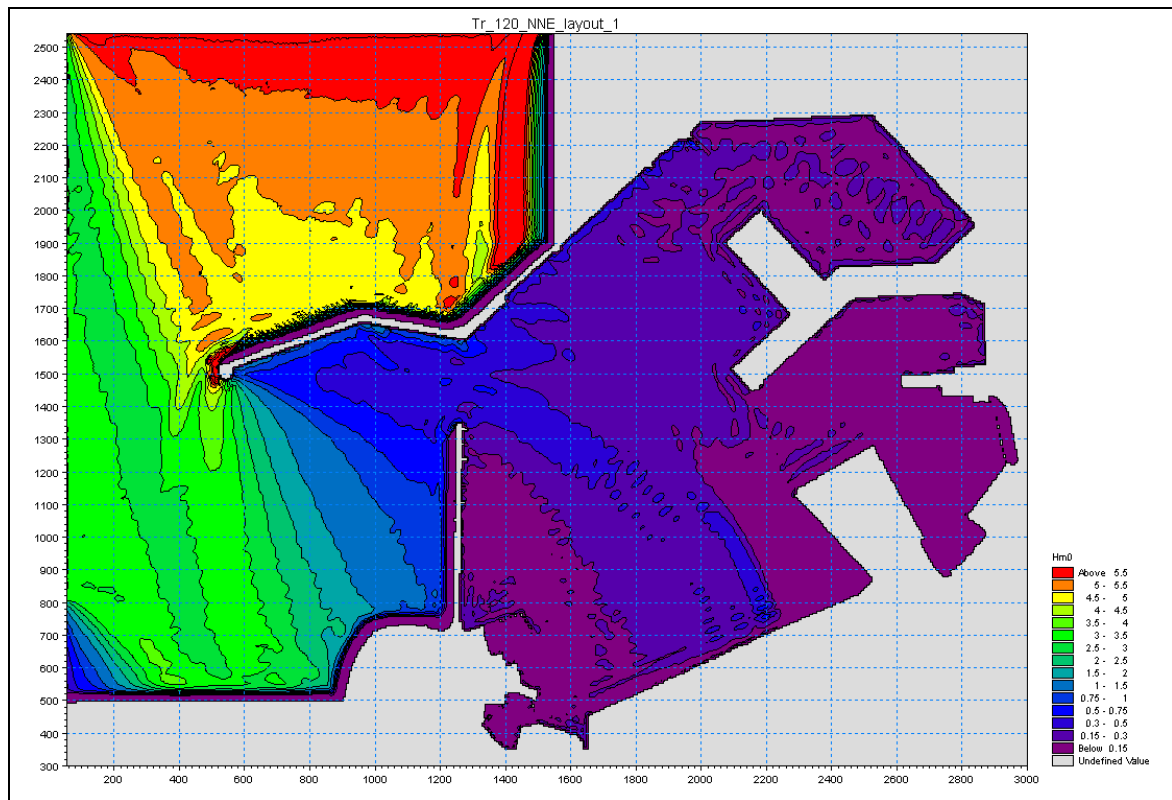


Figura 3.3.3.15 - LAYOUT 1 - Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

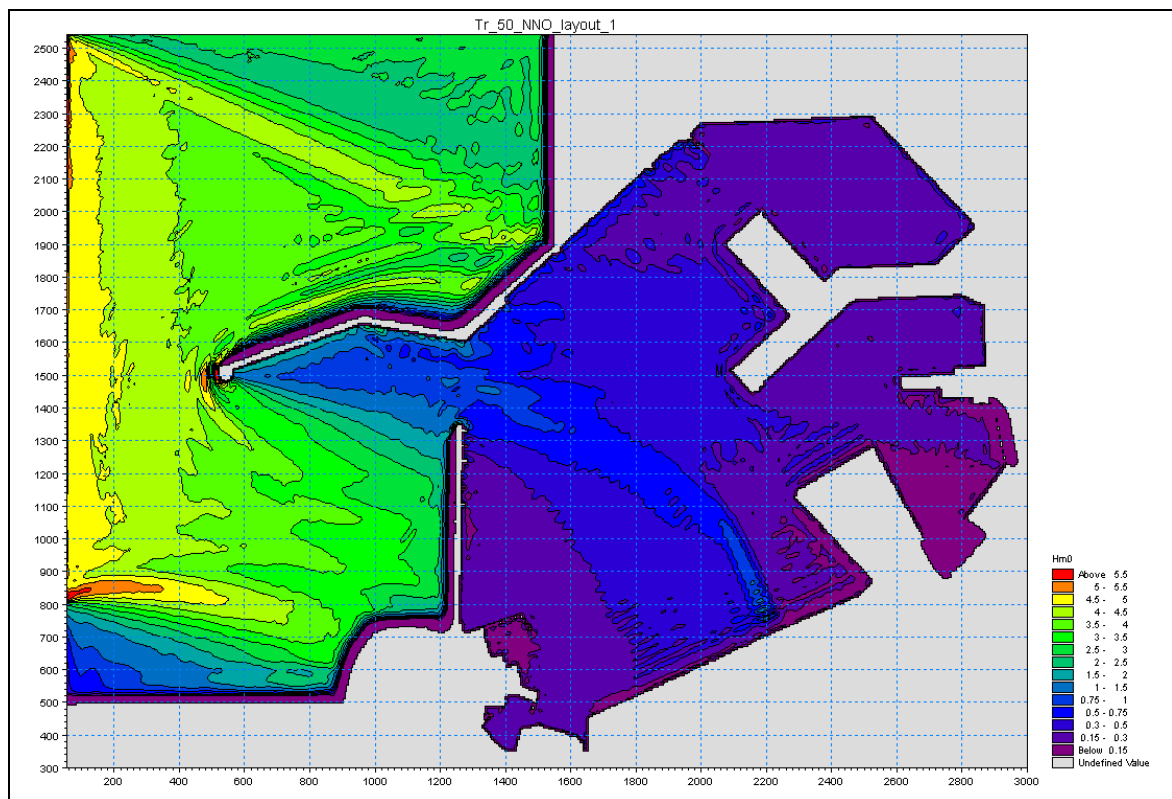


Figura 3.3.3.16 - LAYOUT 1 - Onda da NNO - $T_r = 50$ anni

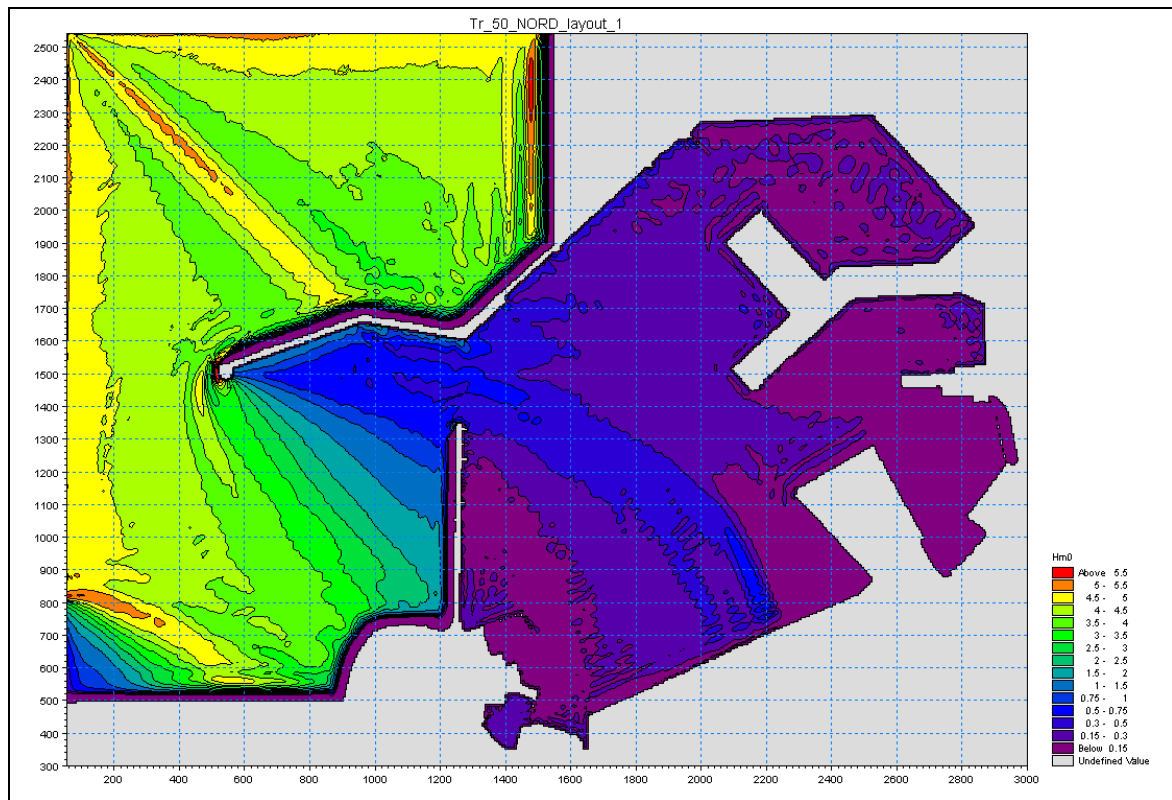


Figura 3.3.3.17 - LAYOUT 1 - Onda da Nord - $T_r = 50$ anni

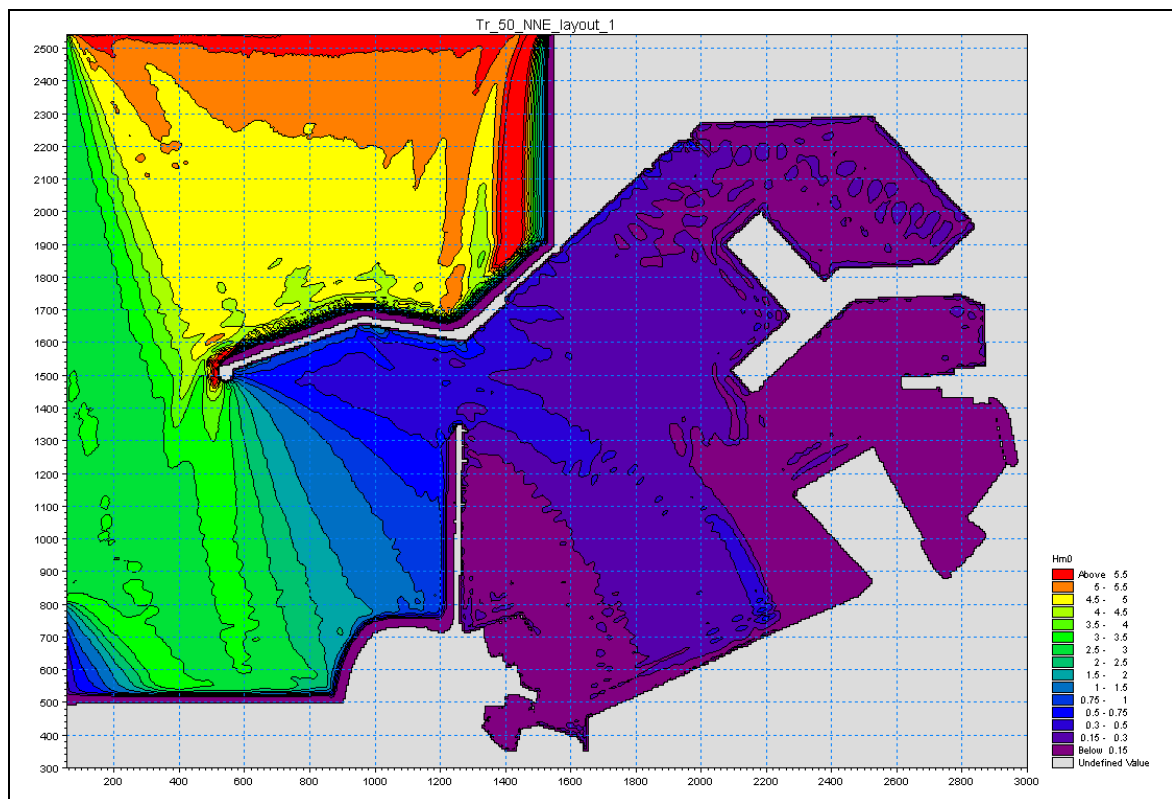


Figura 3.3.3.18 - LAYOUT 1 - Onda da NNE - $T_r = 50$ anni

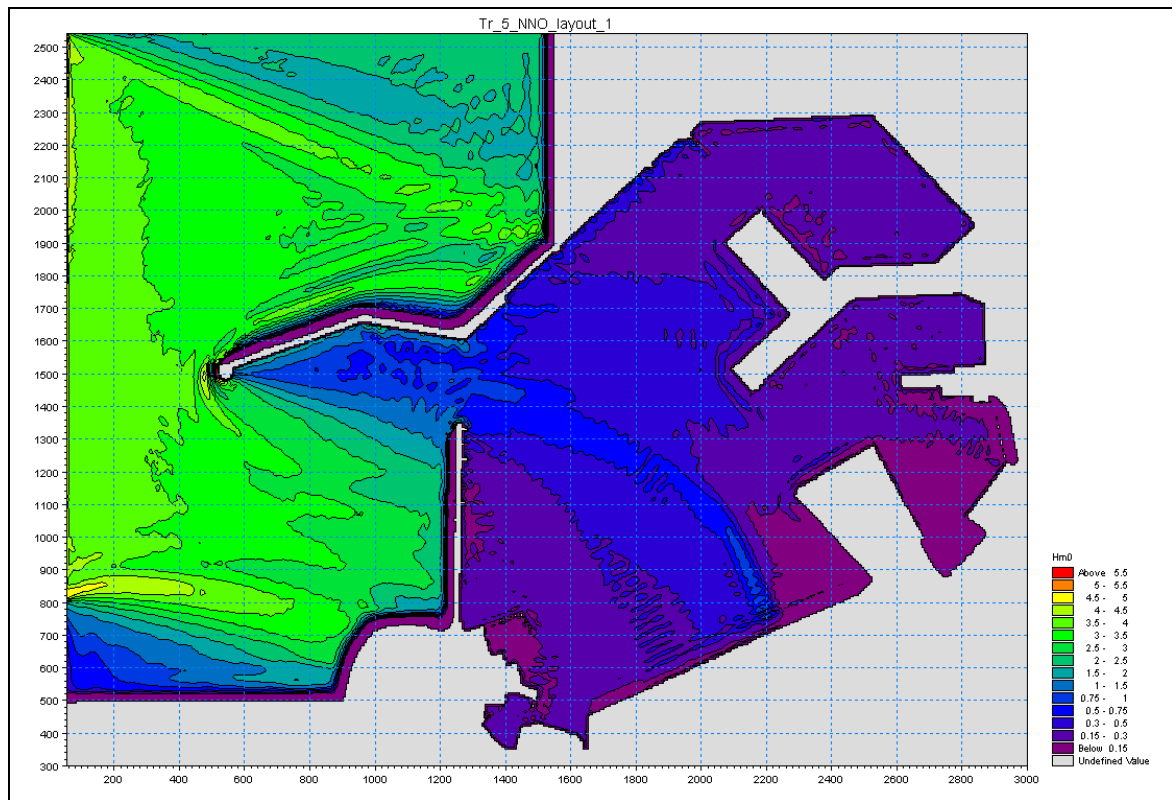


Figura 3.3.3.19 - LAYOUT 1 - Onda da NNO - $T_r = 5$ anni

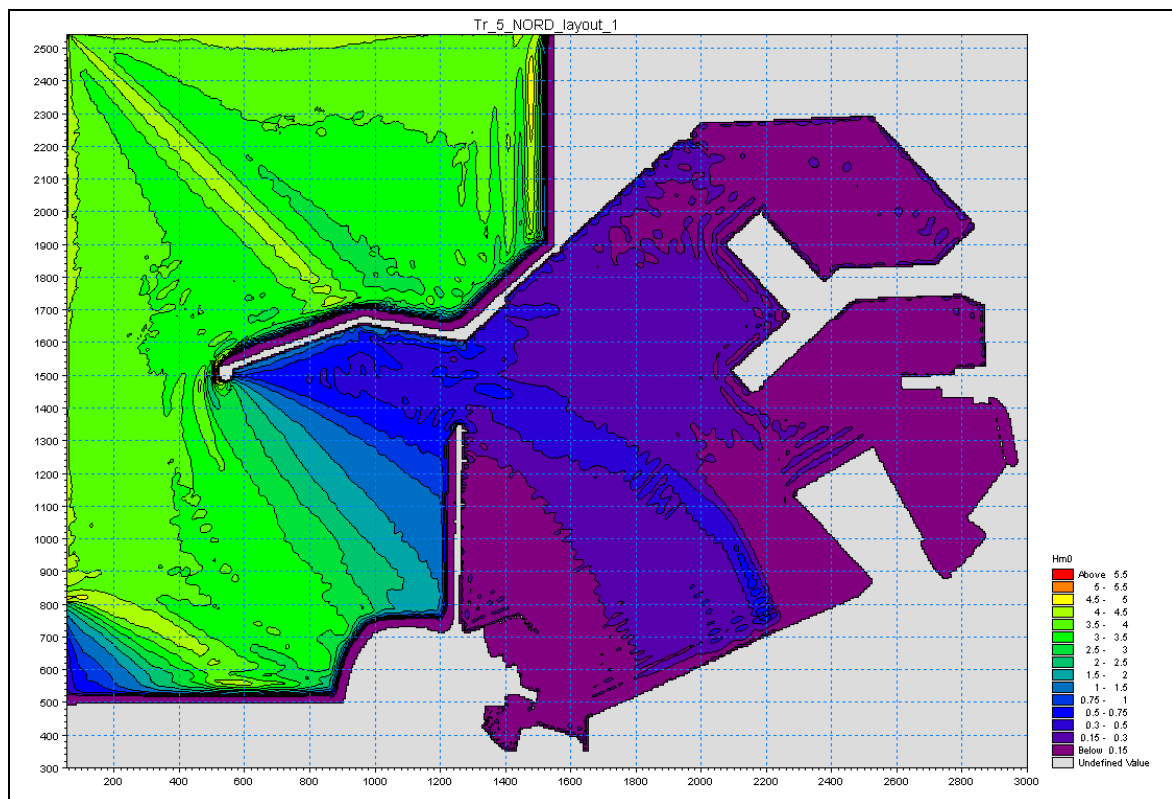


Figura 3.3.3.20 - LAYOUT 1 - Onda da Nord - $T_r = 5$ anni

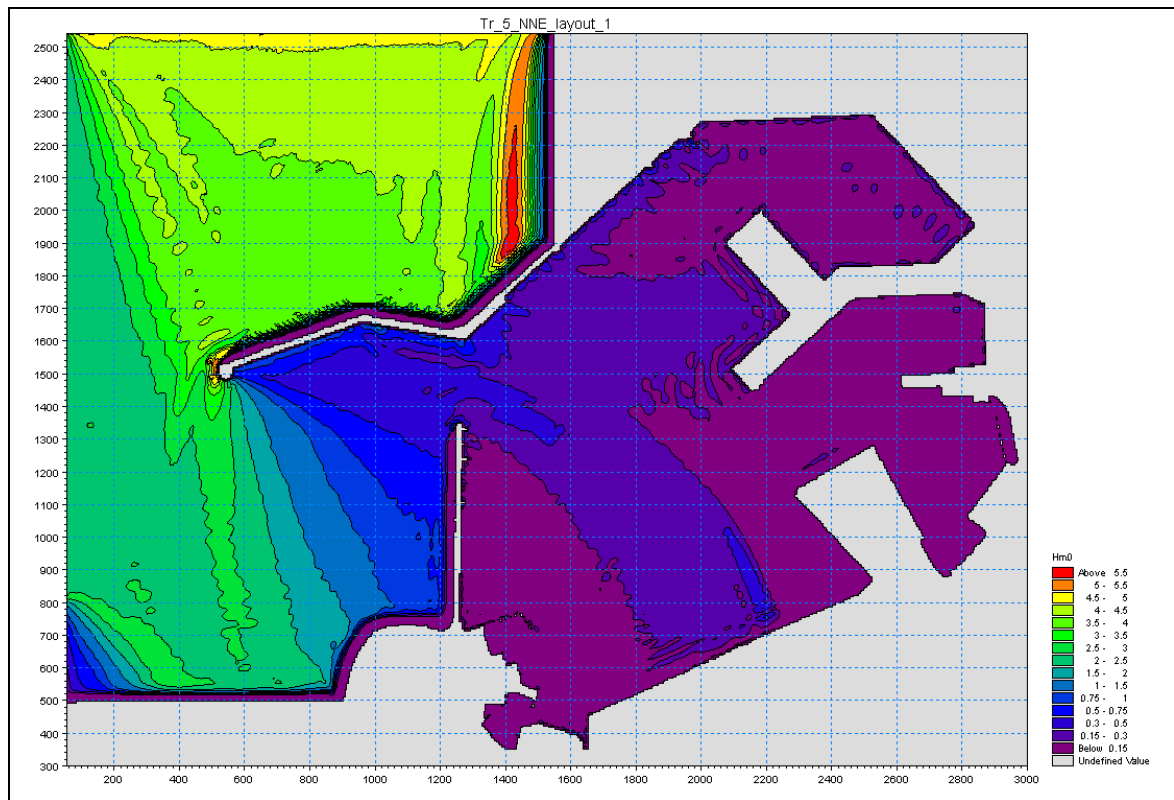


Figura 3.3.3.21 - LAYOUT 1 - Onda da NNE - $T_r = 5$ anni

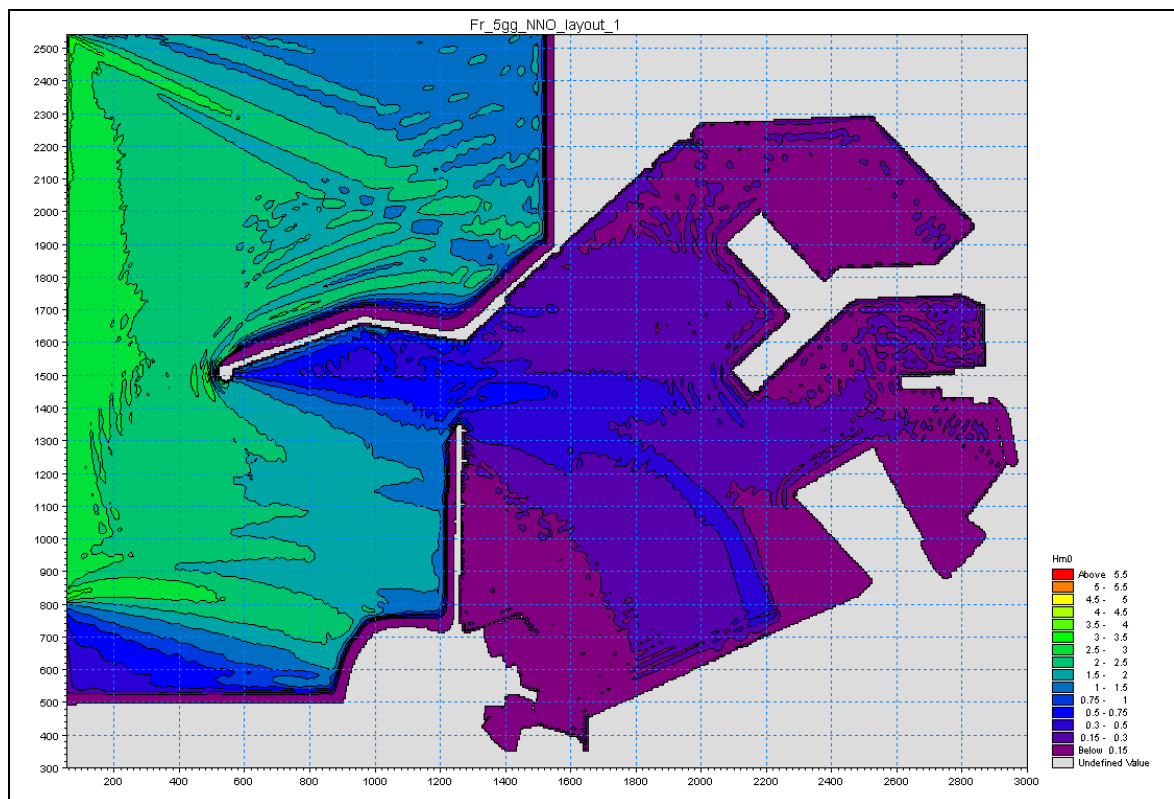


Figura 3.3.3.22 - LAYOUT 1 - Onda da NNO - $F_r = 5$ gg/anno

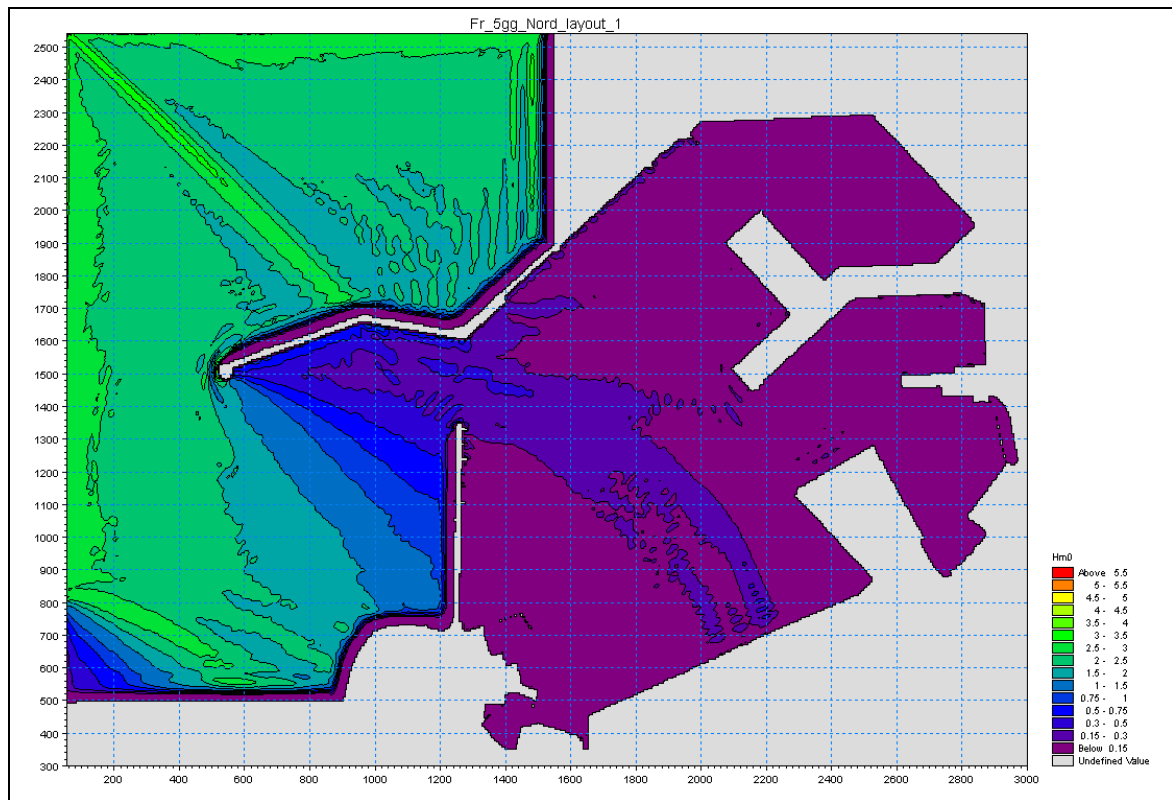


Figura 3.3.3.23 - LAYOUT 1 - Onda da Nord - $F_r = 5\text{gg/anno}$

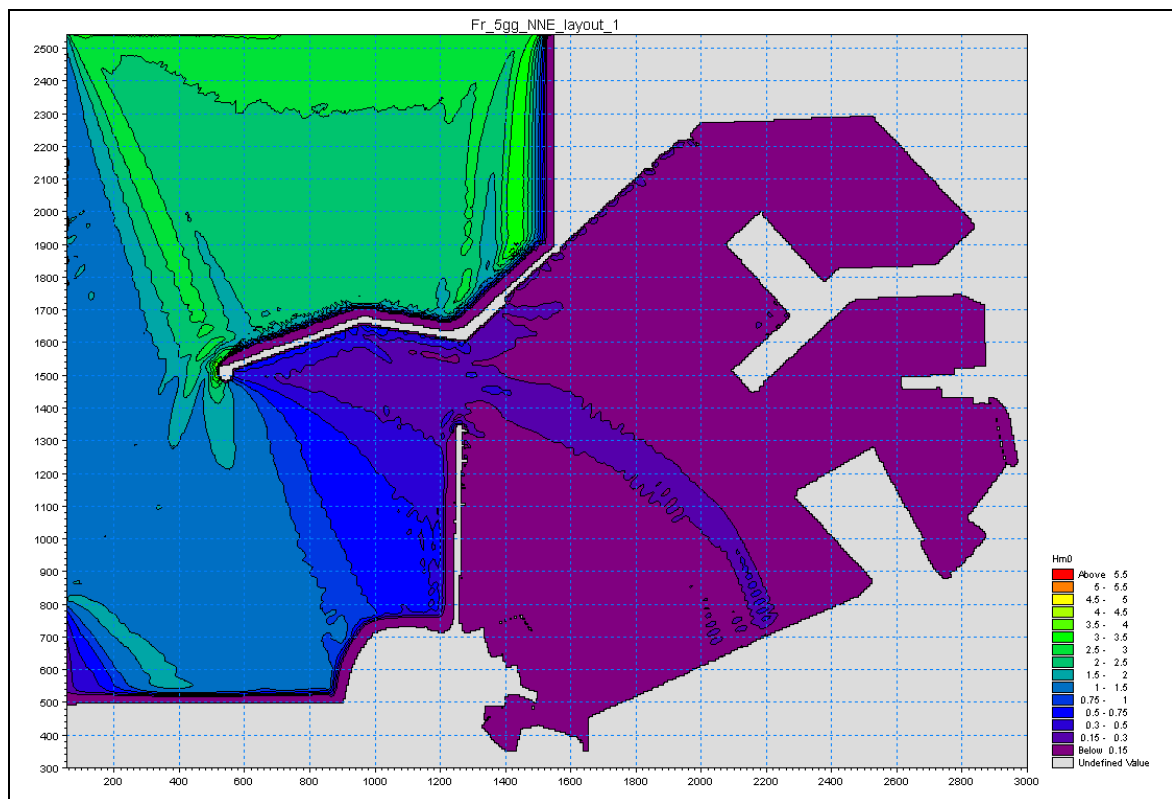


Figura 3.3.3.24 - LAYOUT 1 - Onda da NNE - $F_r = 5\text{gg/anno}$

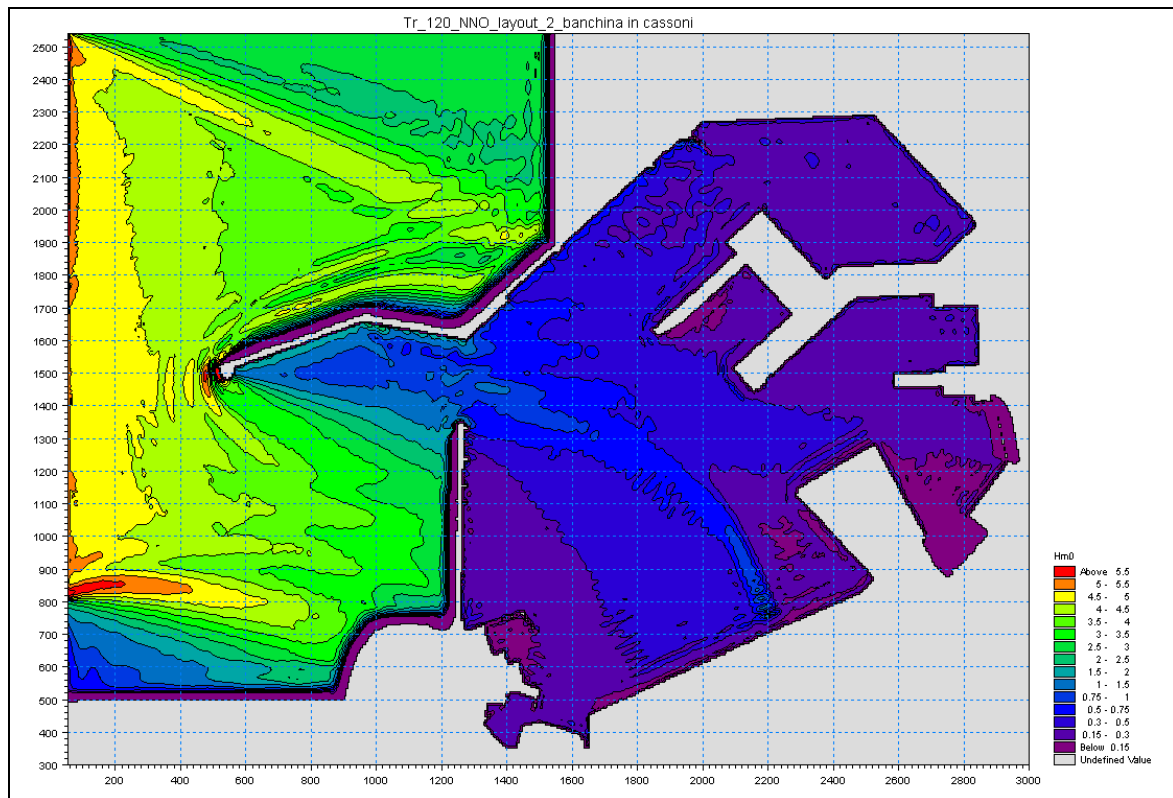


Figura 3.3.3.25 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

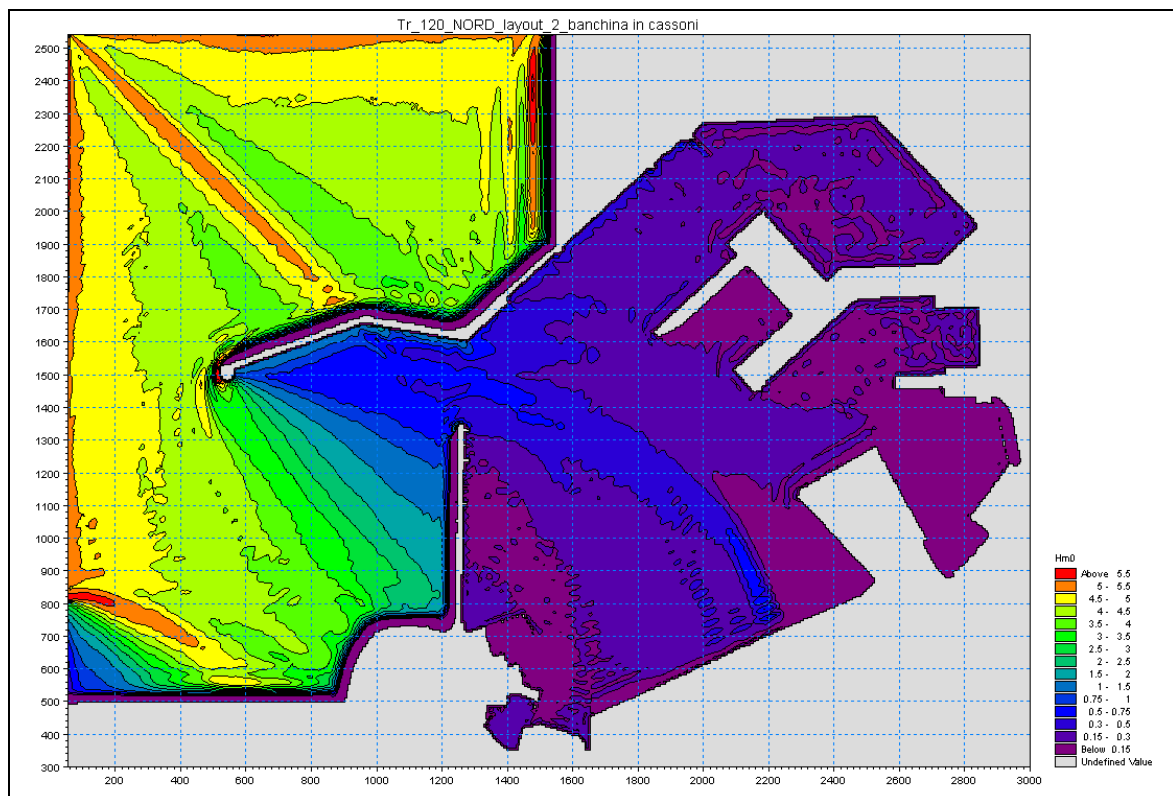


Figura 3.3.3.26 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

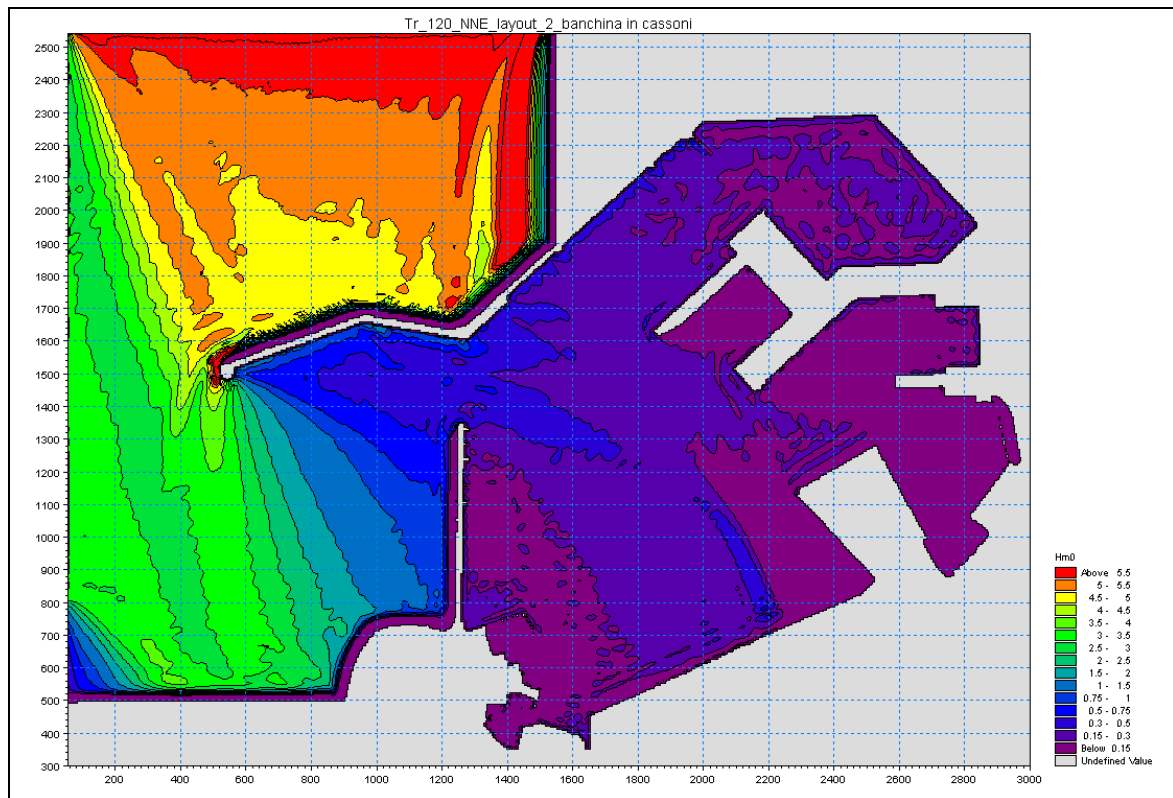


Figura 3.3.3.27 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

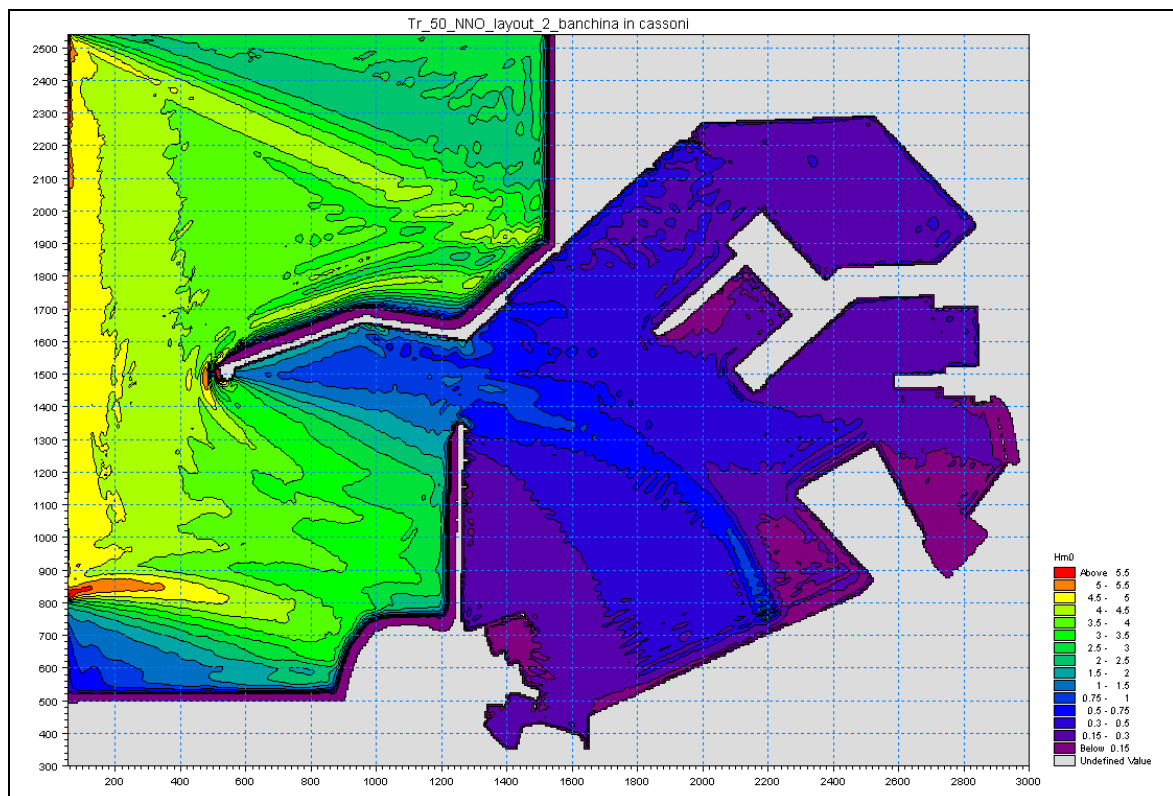


Figura 3.3.3.28 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da NNO - $T_r = 50$ anni

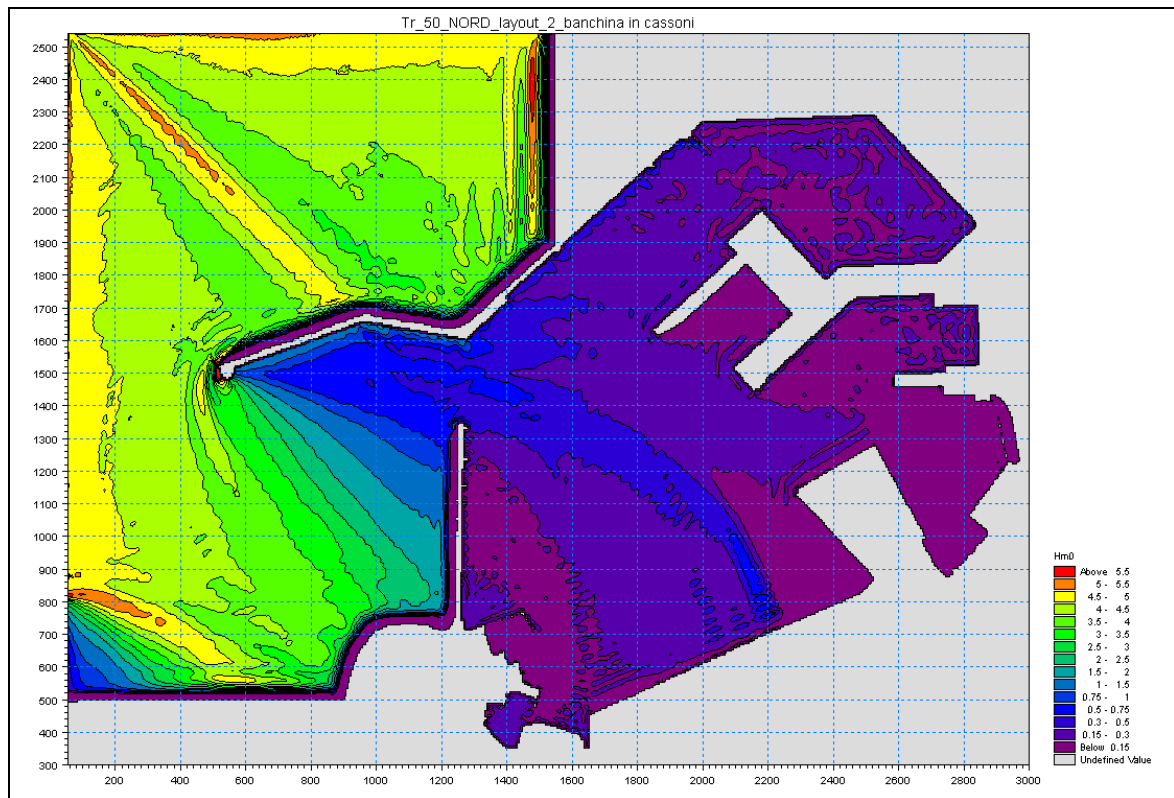


Figura 3.3.3.29 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da Nord - $T_r = 50$ anni

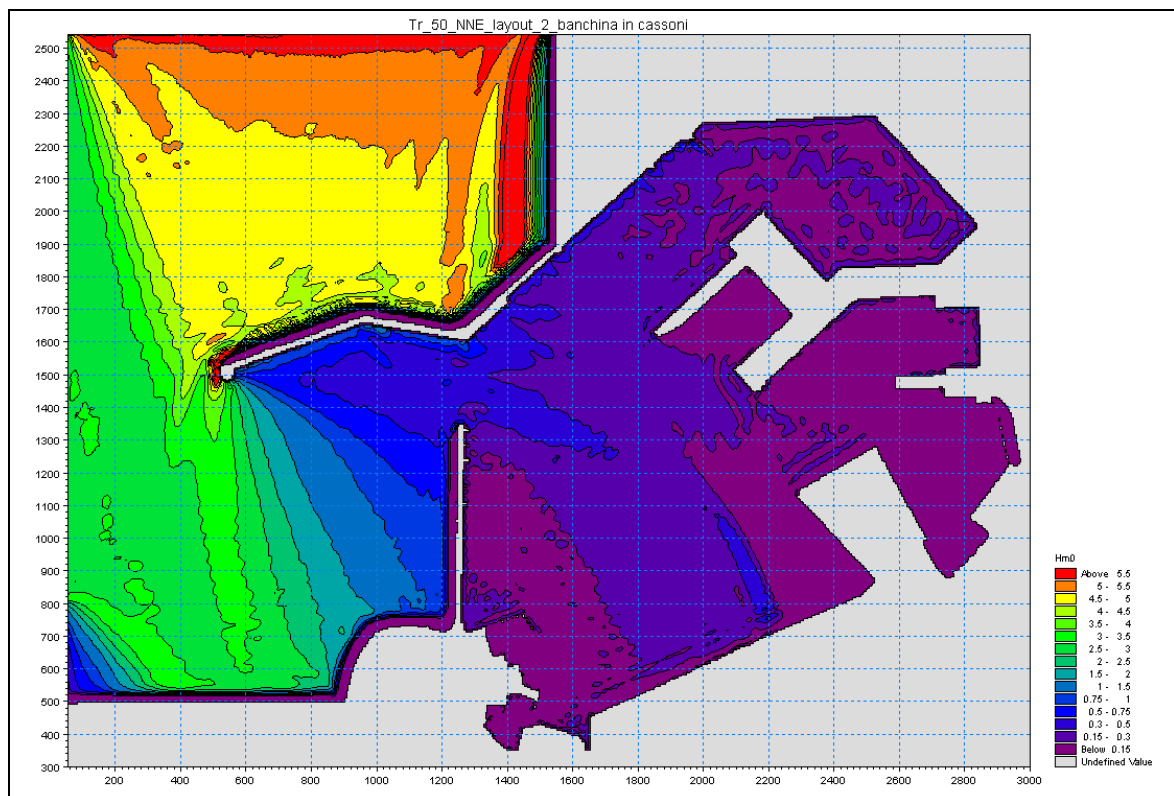


Figura 3.3.3.30 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da NNE - $T_r = 50$ anni

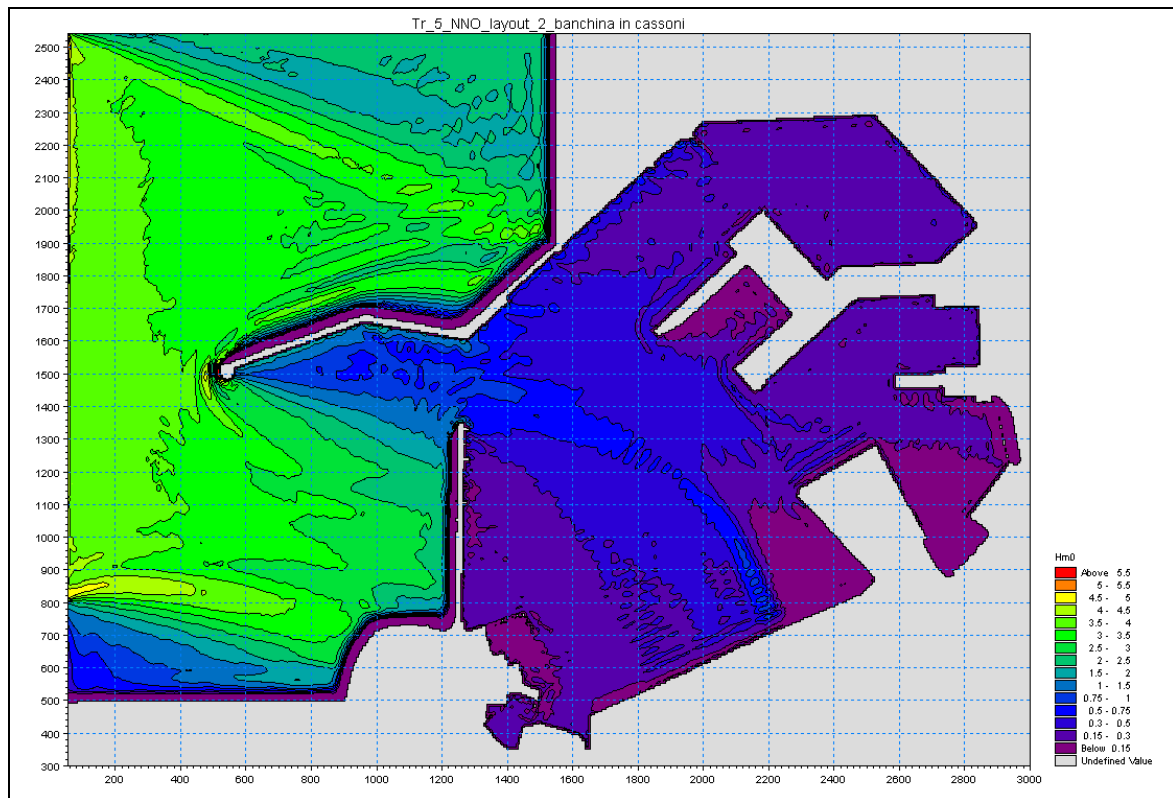


Figura 3.3.3.31 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da NNO - $T_r = 5$ anni

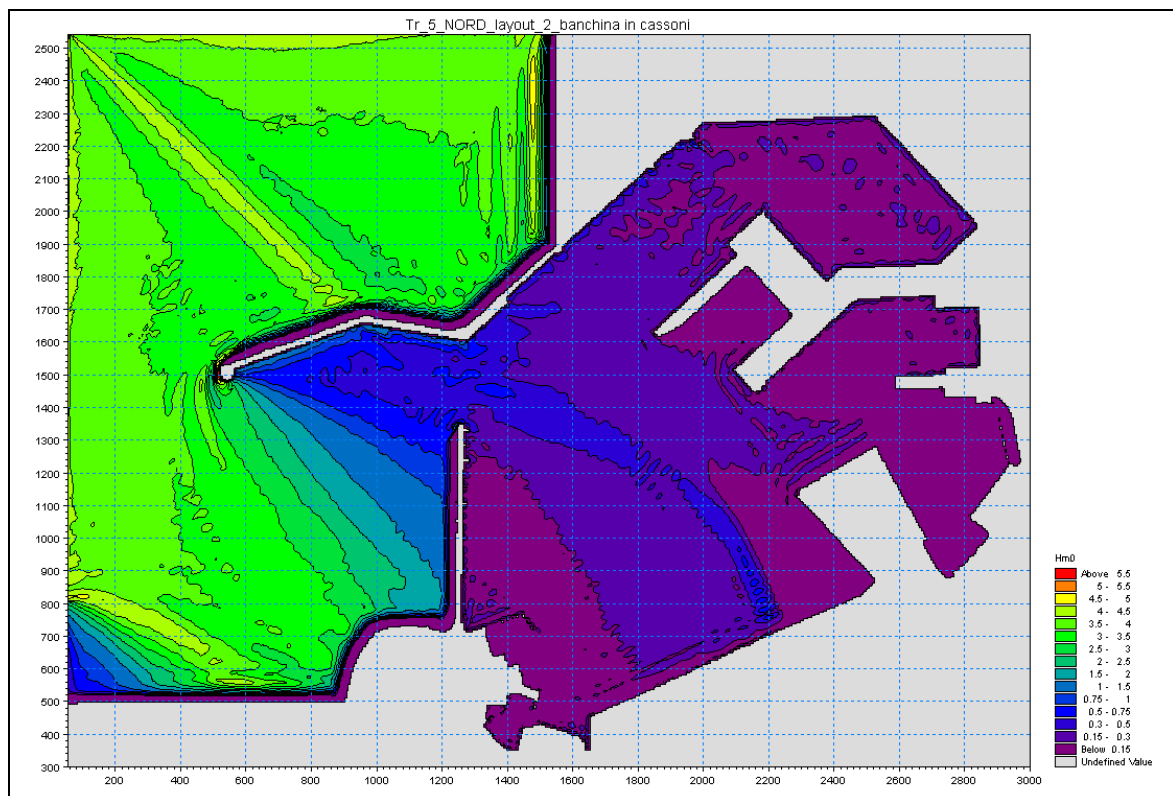


Figura 3.3.3.32 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da Nord - $T_r = 5$ anni

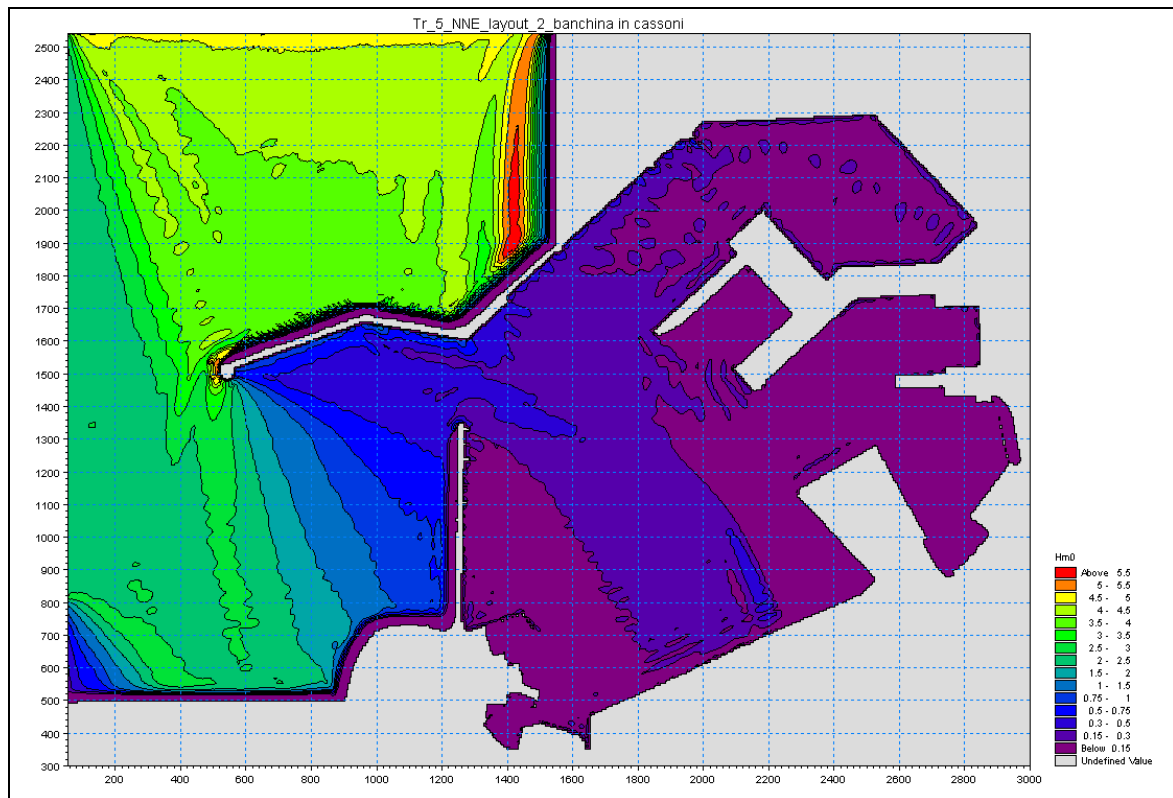


Figura 3.3.3.33 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da NNE - $T_r = 5$ anni

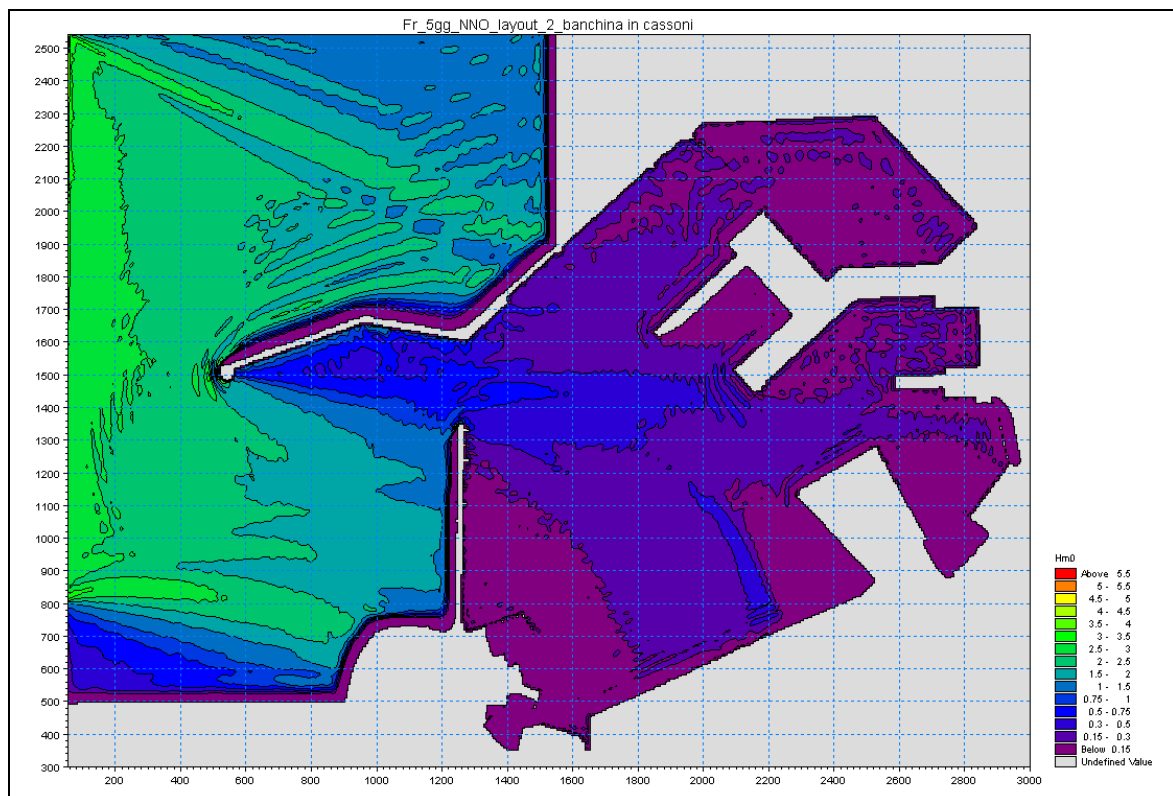


Figura 3.3.3.34 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da NNO - $F_r = 5$ gg/anno

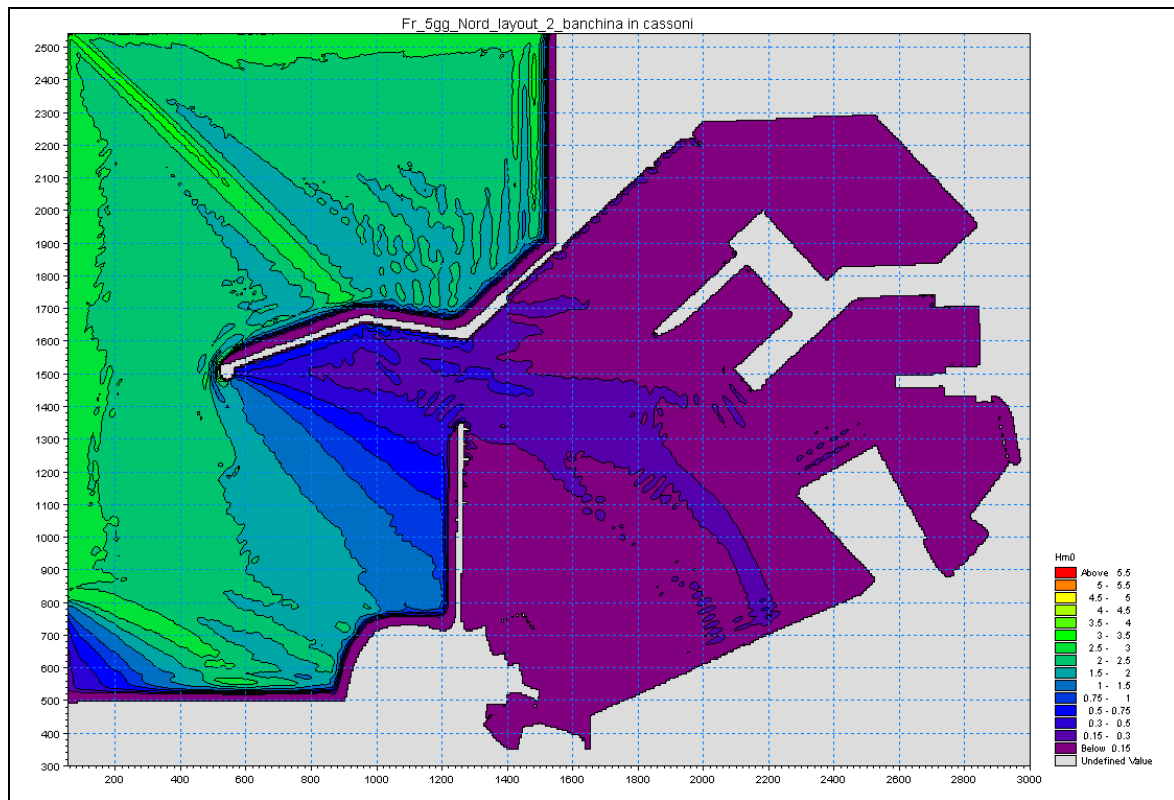


Figura 3.3.3.35 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da Nord - $F_r = 5\text{gg/anno}$

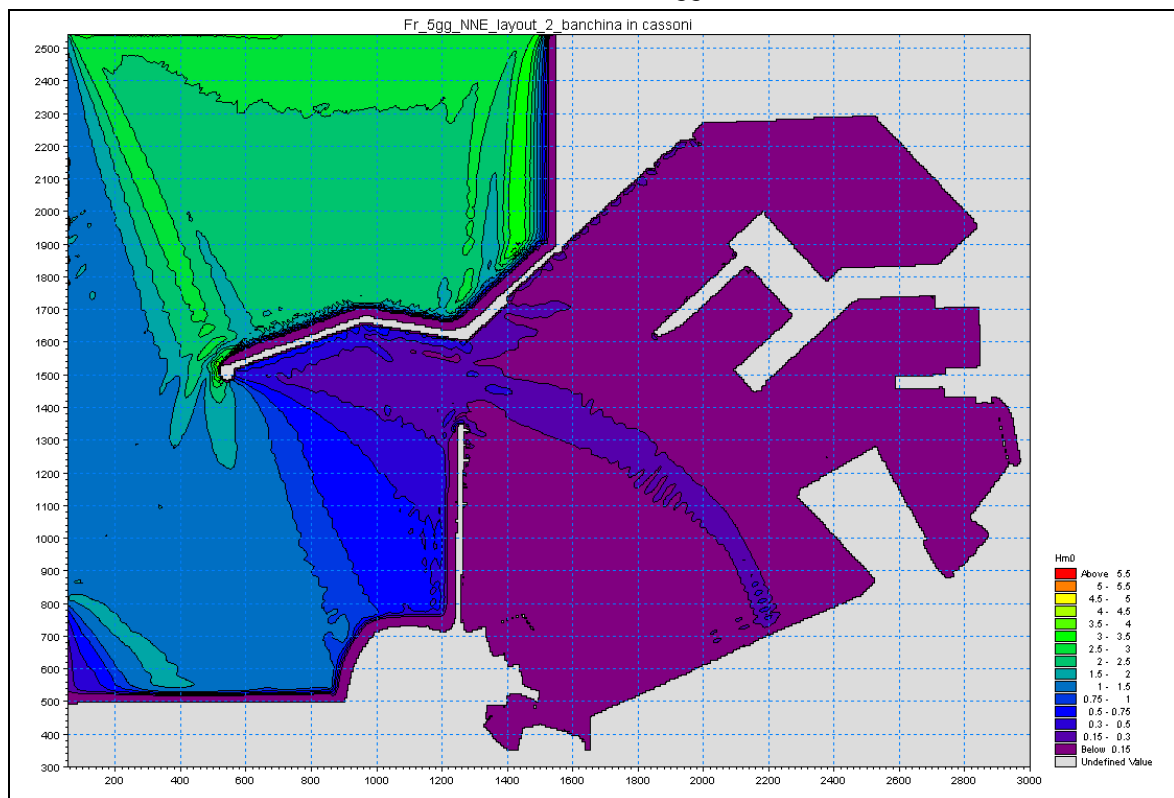


Figura 3.3.3.36 - LAYOUT 2.a - banchina molo crocieristico in cassoni con celle antirisacca
Onda da NNE - $F_r = 5\text{gg/anno}$

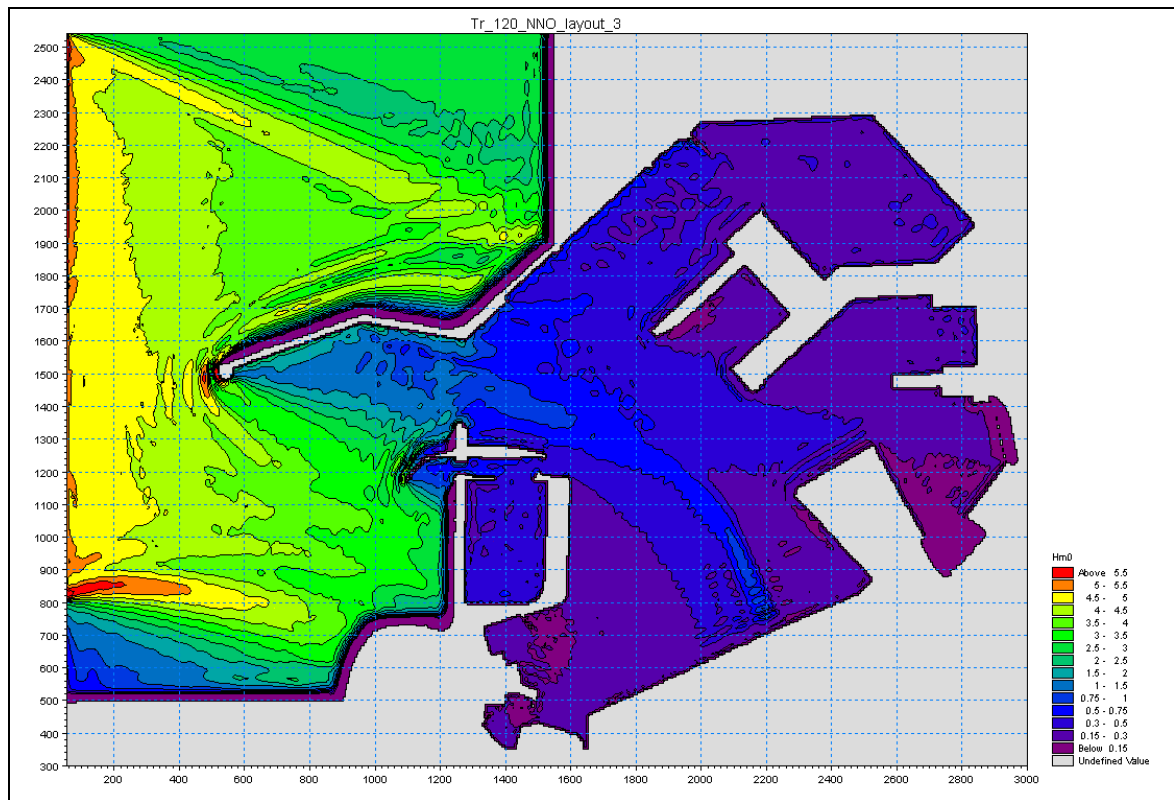


Figura 3.3.37 - LAYOUT 3 - Onda da NNO - Tr = 120 anni

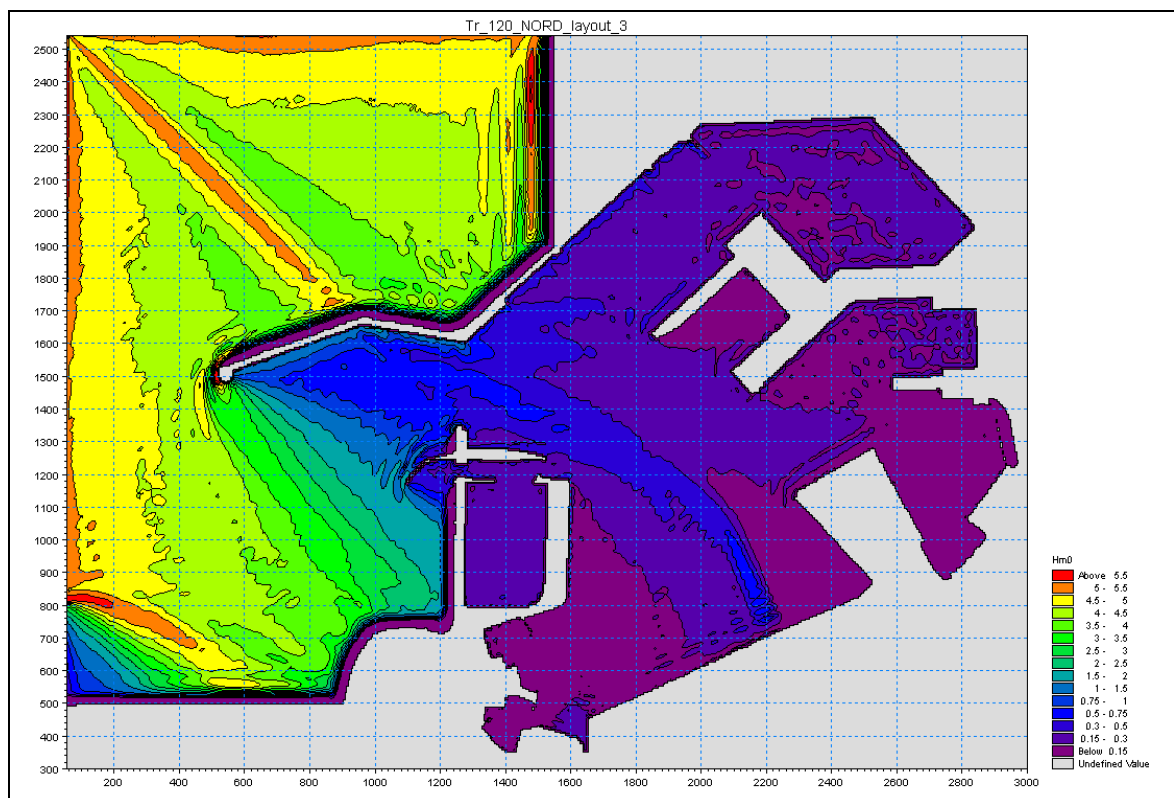


Figura 3.3.38 - LAYOUT 3 - Onda da Nord - Tr = 120 anni

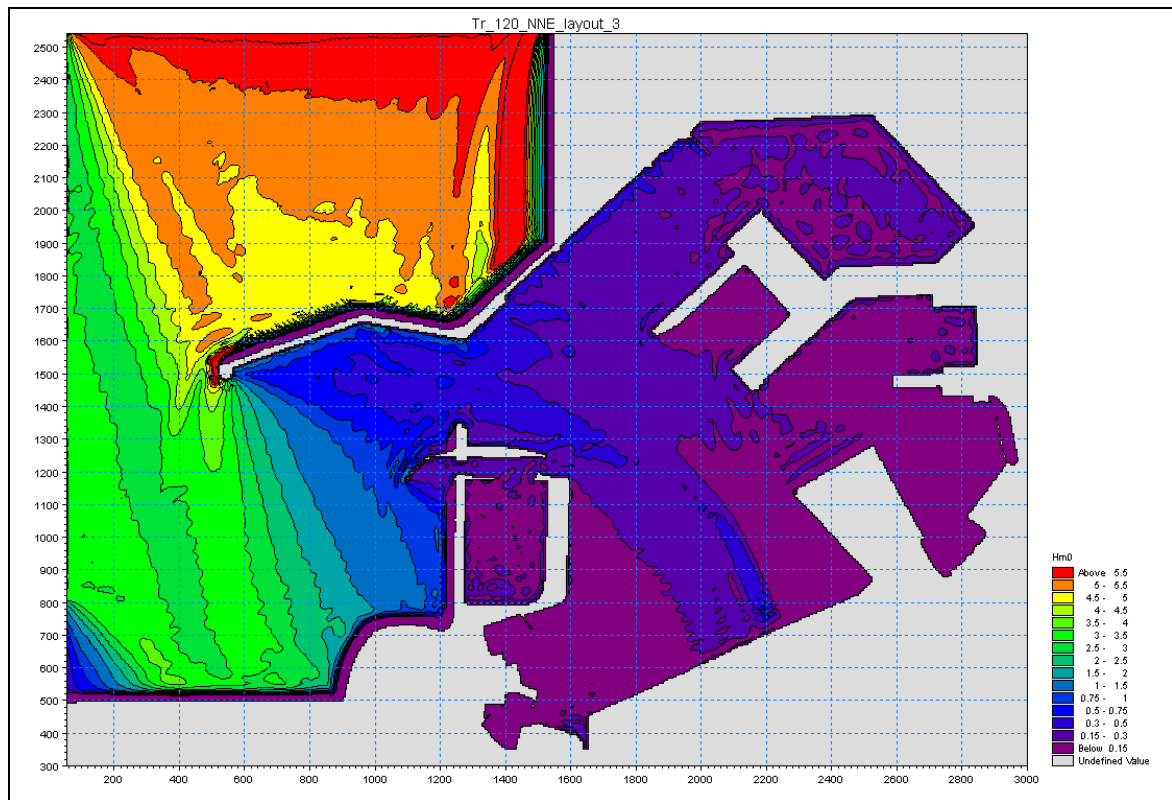


Figura 3.3.3.39 - LAYOUT 3 - Onda da NNE - Tr = 120 anni

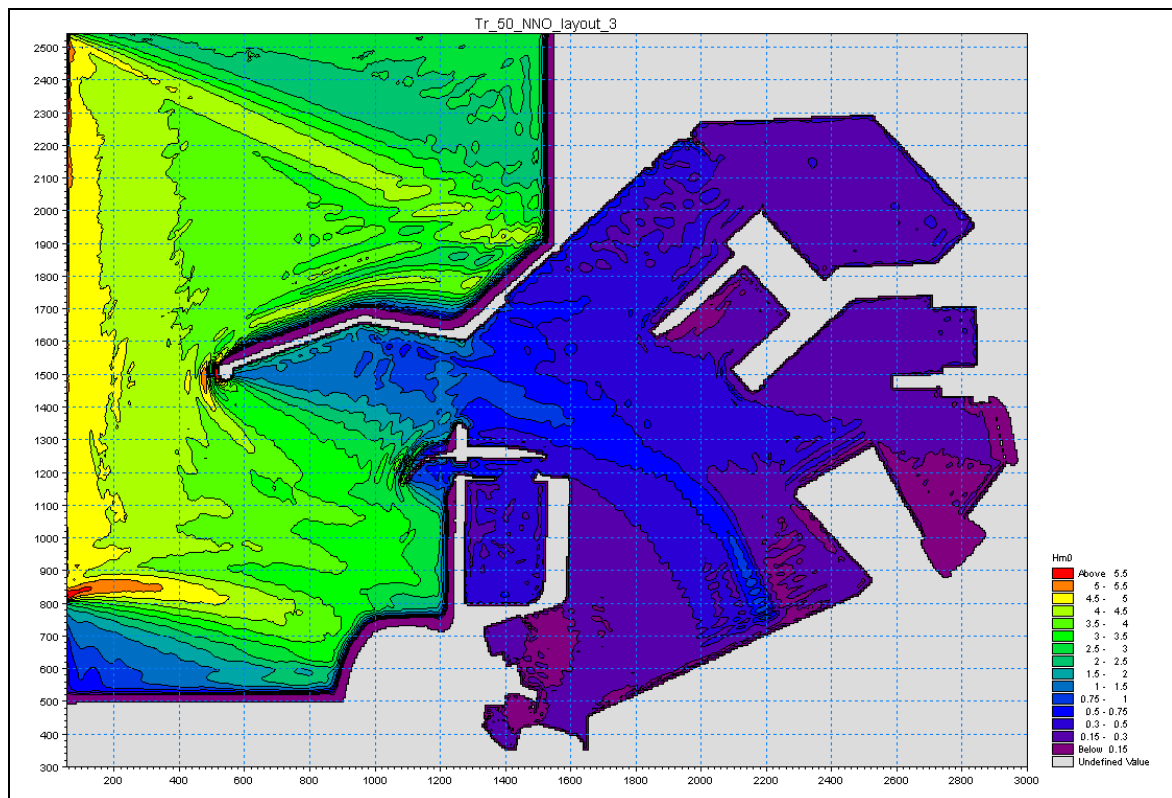


Figura 3.3.3.40 - LAYOUT 3 - Onda da NNO - Tr = 50 anni

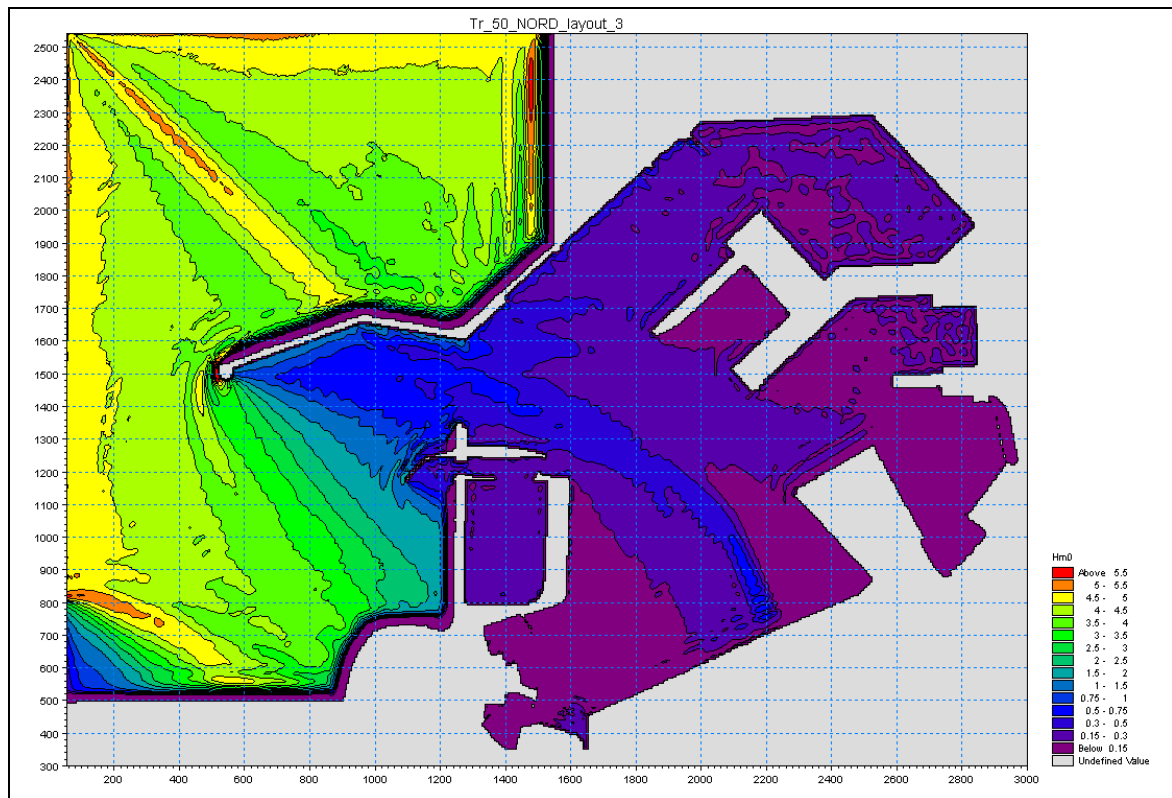


Figura 3.3.3.41 - LAYOUT 3 - Onda da Nord - Tr = 50 anni

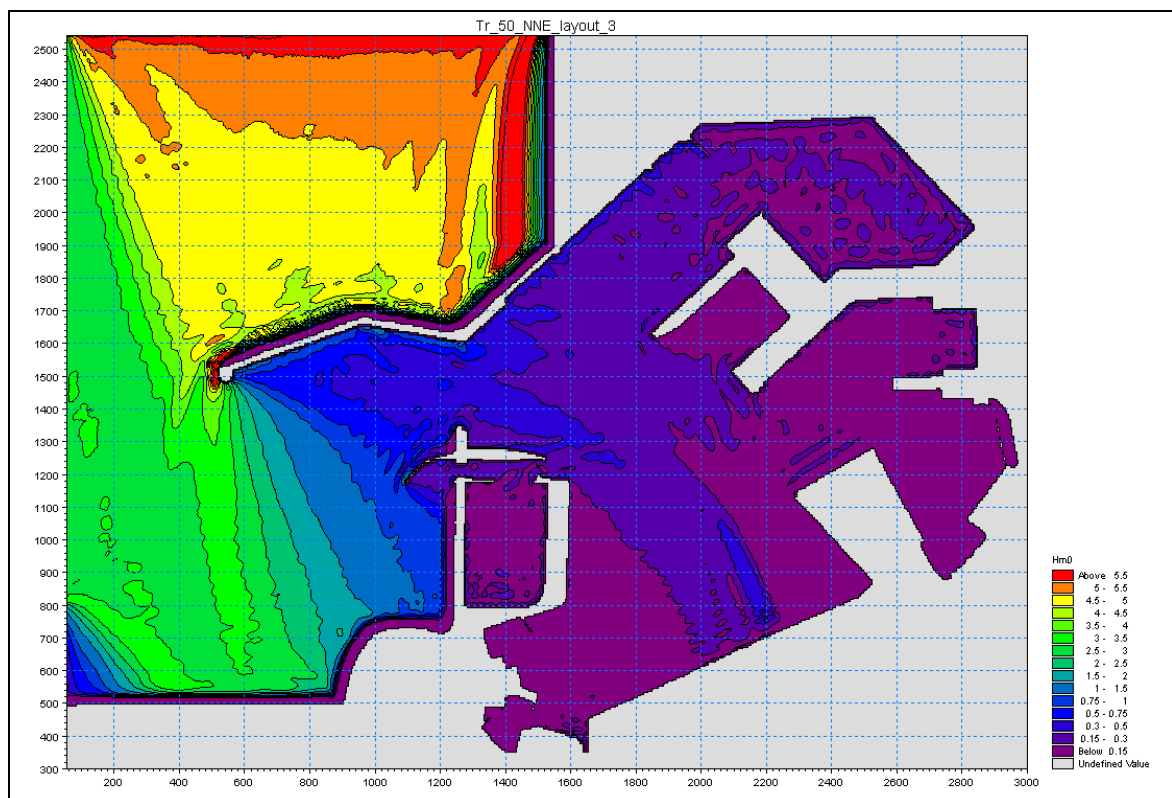


Figura 3.3.3.42 - LAYOUT 3 - Onda da NNE - Tr = 50 anni

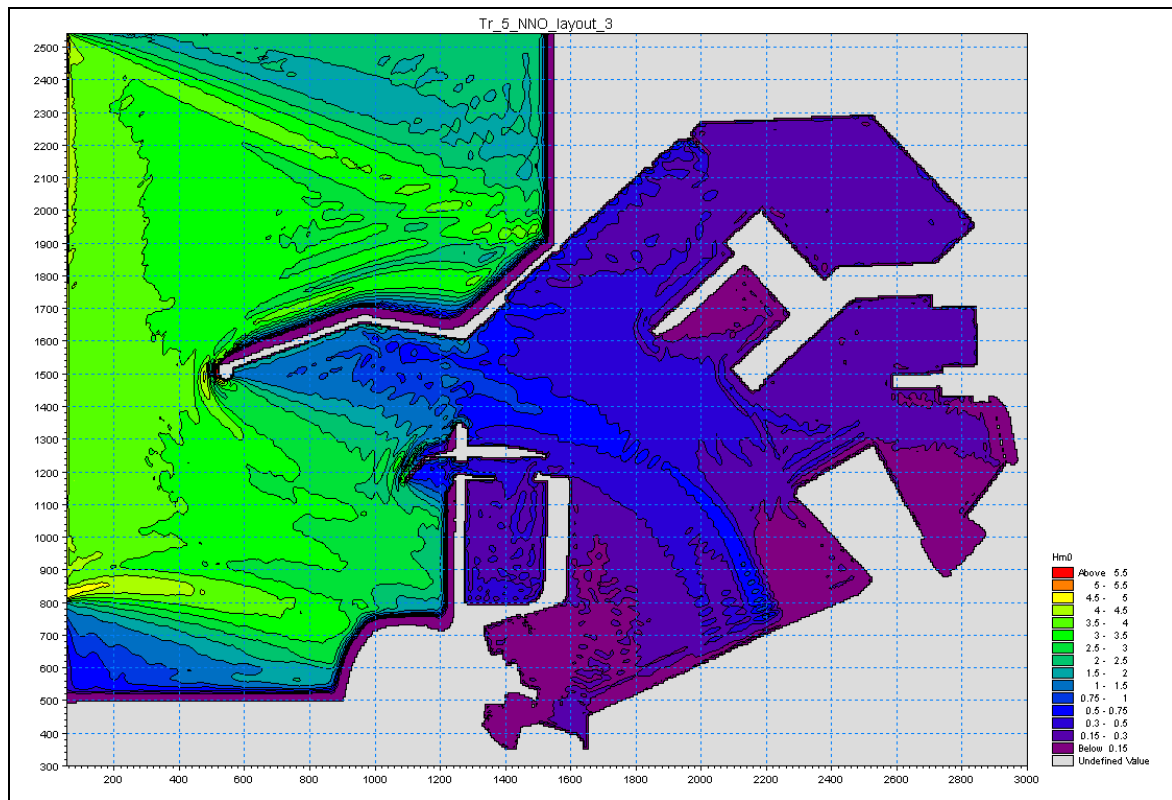


Figura 3.3.3.43 - LAYOUT 3 - Onda da NNO - Tr = 5 anni

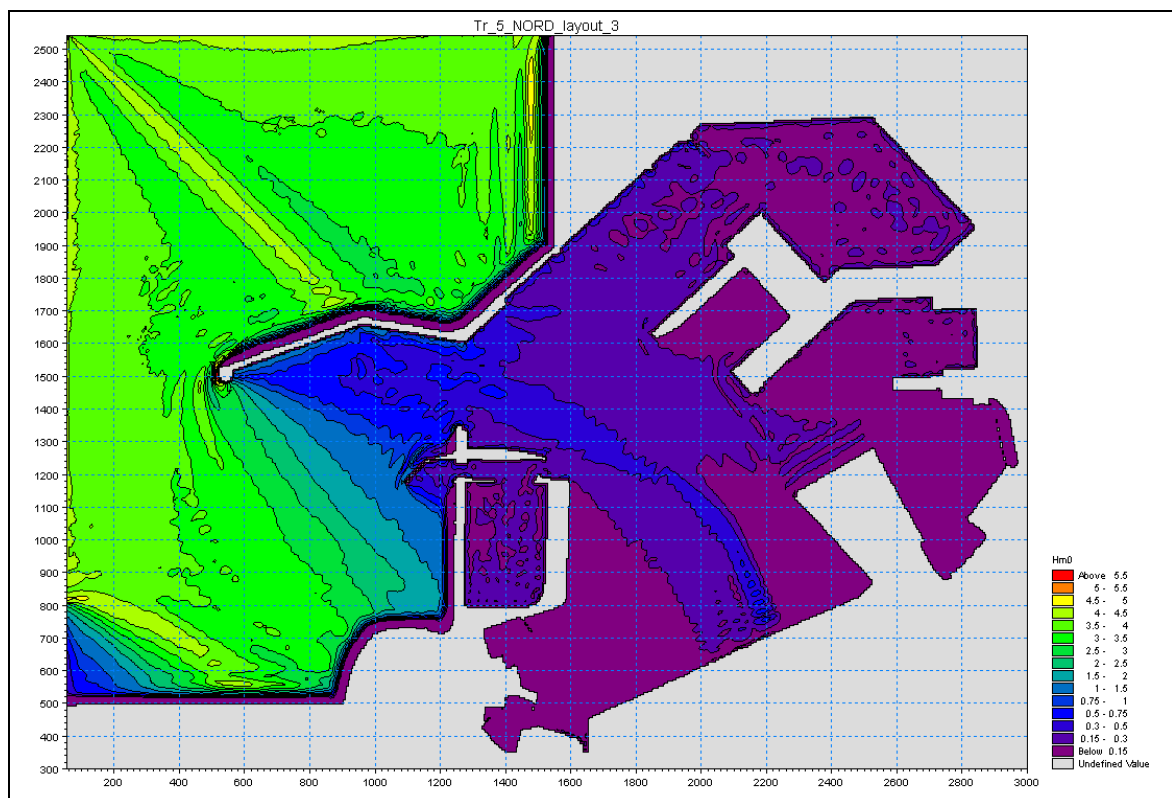


Figura 3.3.3.44 - LAYOUT 3 - Onda da Nord - Tr = 5 anni

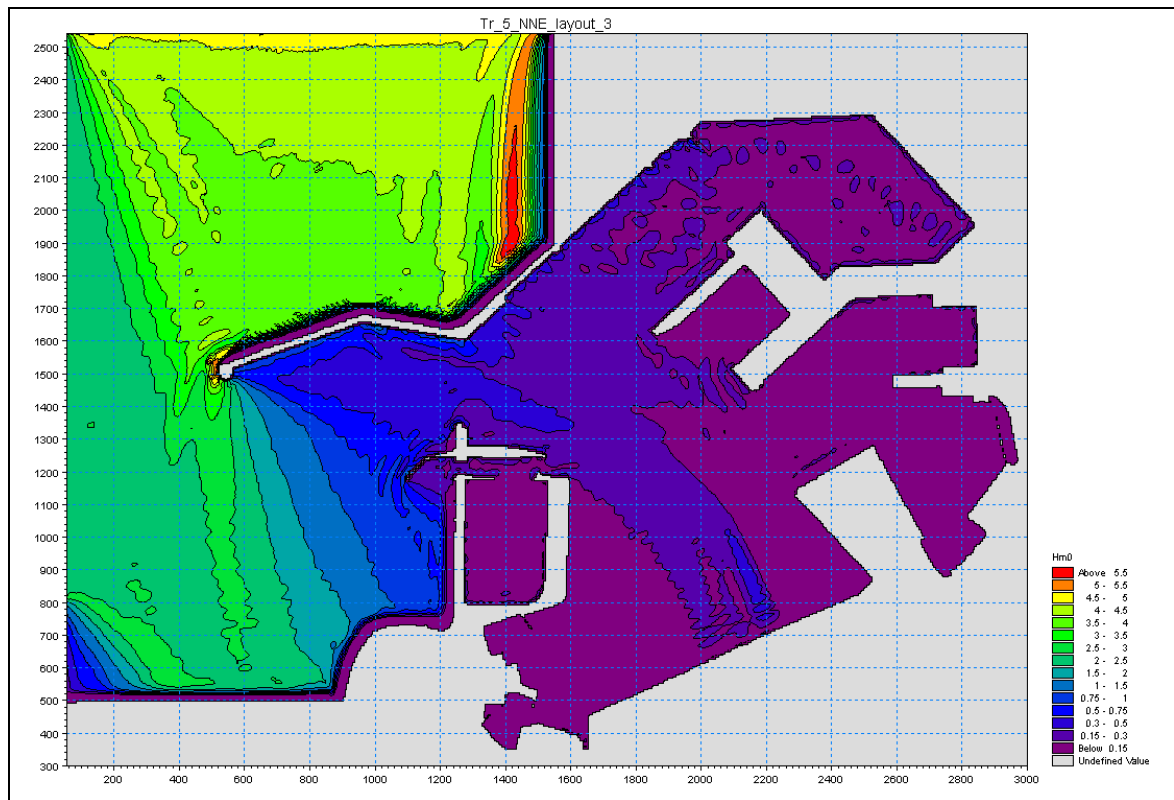


Figura 3.3.3.45 - LAYOUT 3 - Onda da NNE - Tr = 5 anni

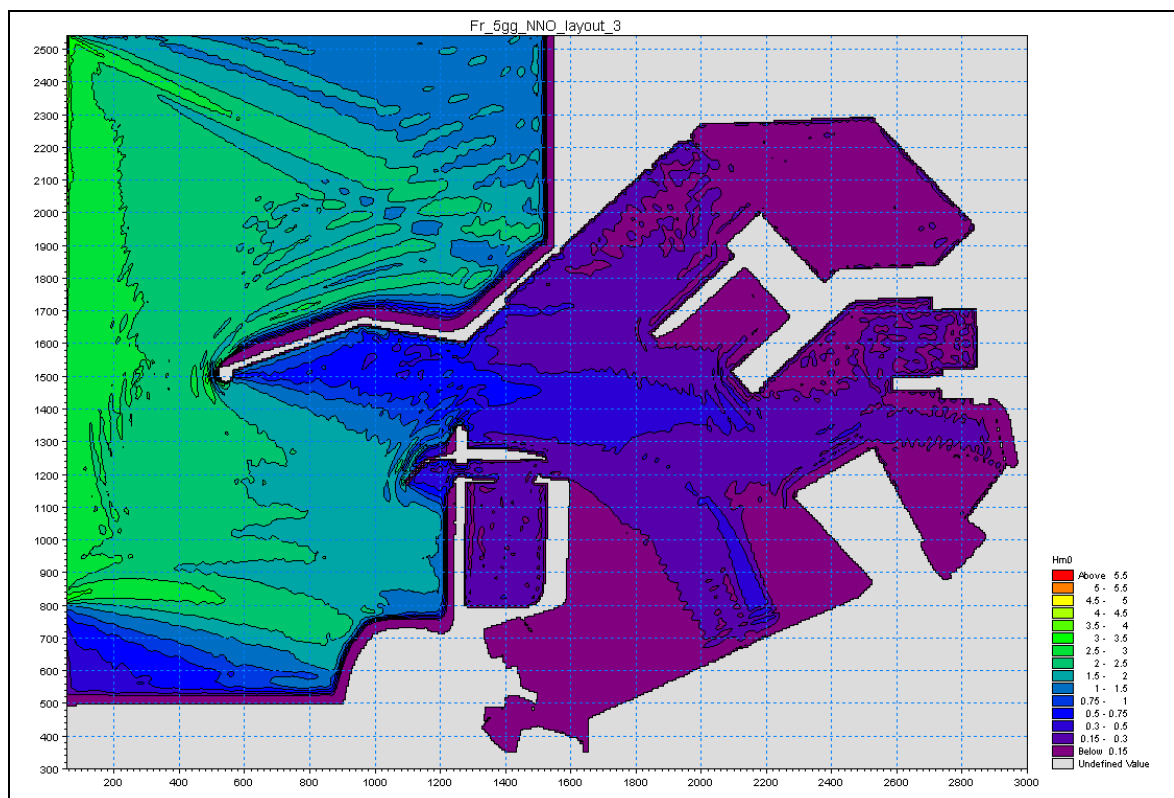


Figura 3.3.3.46 - LAYOUT 3 - Onda da NNO - Fr = 5gg/anno

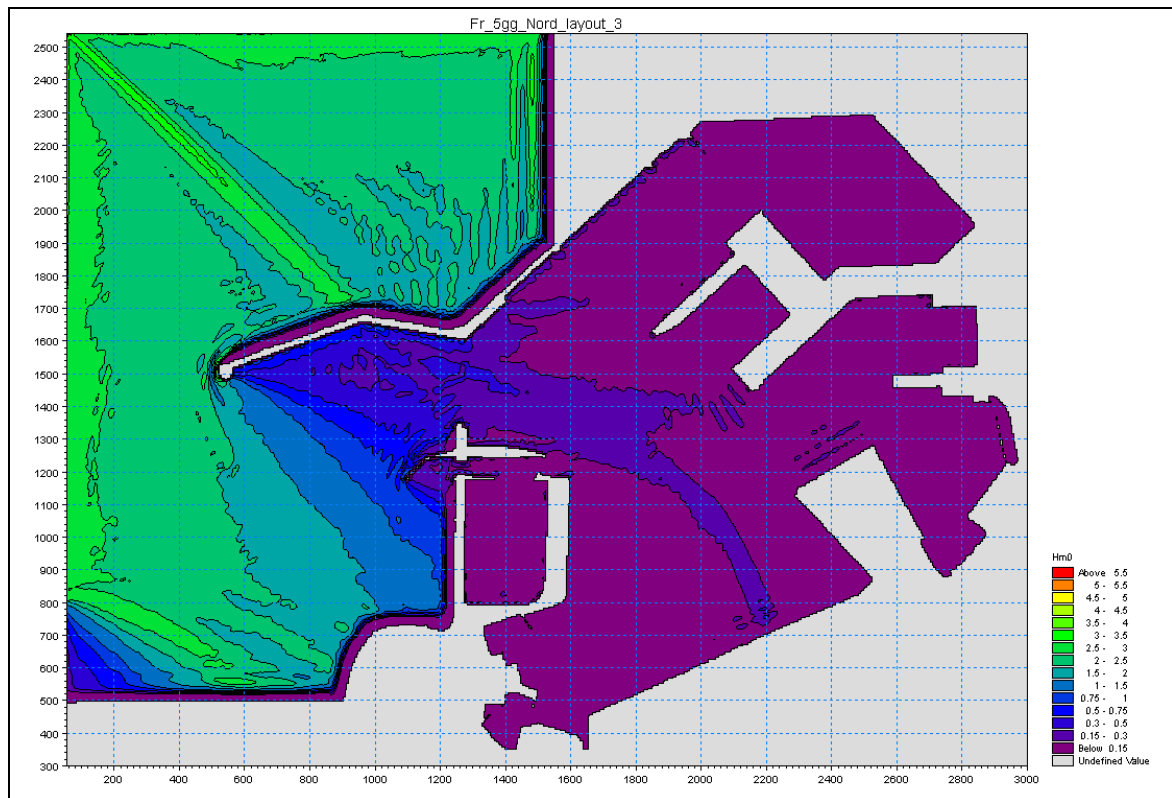


Figura 3.3.3.47 - LAYOUT 3 - Onda da Nord - Fr = 5gg/anno

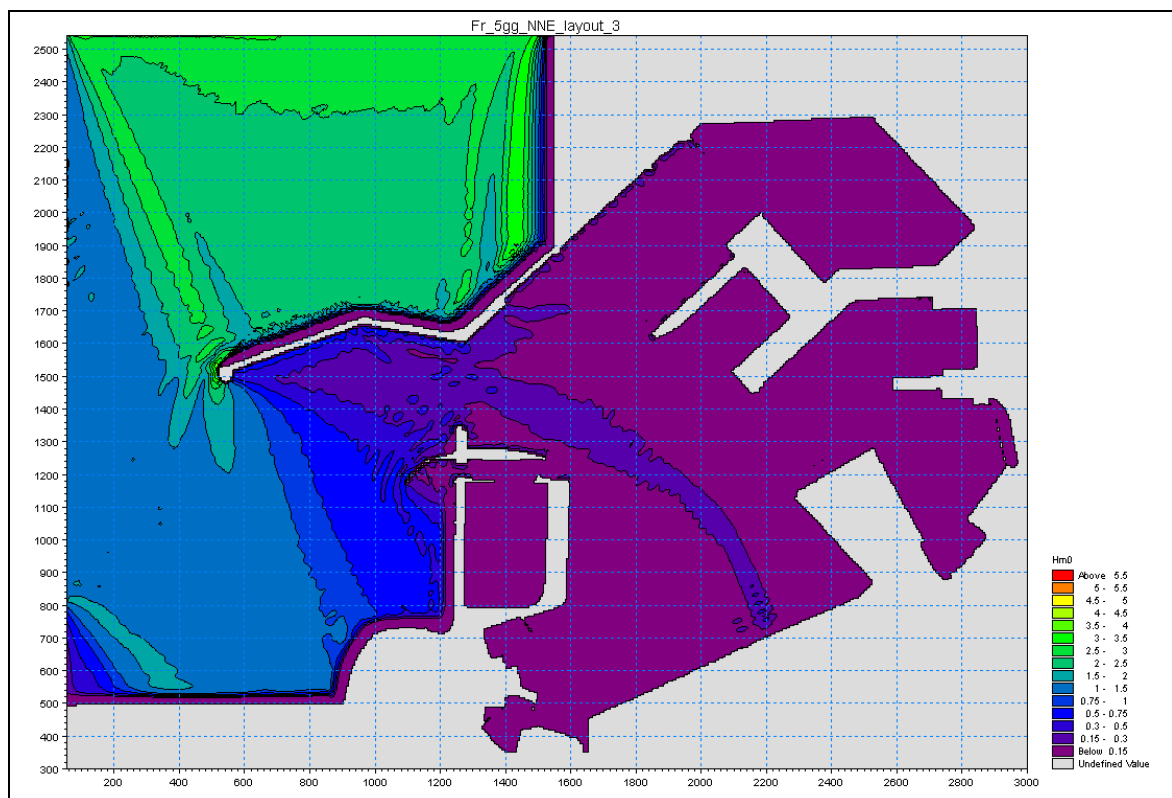


Figura 3.3.3.48 - LAYOUT 3 - Onda da NNE - Fr = 5gg/anno

3.3.3.1 LAYOUT 0

Le mappe di agitazione ondosa relative all'attuale configurazione del porto di Bari hanno evidenziato che il bacino interno portuale non risulta adeguatamente protetto rispetto alle mareggiate provenienti da NNO, ed in parte da quelle provenienti da Nord.

Le mareggiate da NNO, infatti, riescono a penetrare attraverso l'imboccatura portuale sviluppando degli stati ondosi residui in tutto lo specchio acqueo protetto. Le aree più esposte risultano essere il bacino di evoluzione, le banchine di ormeggio della darsena di Ponente ed il fronte a mare della colmata di Marisabella; il moto ondoso riesce a propagarsi anche nella darsena di Levante, lungo il versante interno del molo San Cataldo e nella darsena vecchia ma con minore intensità.

Nel caso delle mareggiate da Nord si registra una minore estensione delle aree maggiormente esposte rispetto alle simulazioni effettuate con le onde da NNO; in questo caso il moto ondoso da Nord non riesce a propagarsi nella darsena vecchia e nello specchio acqueo sottoflutto del molo S. Cataldo, mentre una minima agitazione ondosa si registra ancora nella darsena di Levante.

Per quanto riguarda le mareggiate da NNE non si rilevano significativi valori di altezza d'onda all'interno del porto, se non in corrispondenza del varco portuale e lungo le banchine della darsena di Ponente, con una minima agitazione interna anche nella darsena di Levante.

3.3.3.2 LAYOUT 1

La configurazione corrispondente al LAYOUT 1 comprende gli interventi infrastrutturali già previsti dagli strumenti di pianificazione portuali vigenti.

Rispetto all'attuale assetto delle banchine portuali sono stati analizzati gli effetti sull'agitazione ondosa residua determinati dal completamento della colmata di Marisabella e dalla realizzazione del nuovo molo Pizzoli, insieme ai dragaggi nella darsena interna (- 7.0m) e nella darsena vecchia (- 6.0m) nonché lungo il canale di accesso alle nuove aree a terra previste (-12.0m).

Dall'analisi delle simulazioni relative alle mareggiate da NNO e da Nord risulta un sostanziale incremento dell'altezza d'onda residua sia nella darsena vecchia ma soprattutto in quella interna; anche in corrispondenza del fronte a mare

della colmata di Marisabella si registra un sensibile aumento dei valori massimi di altezza d'onda rilevati. Nessuna variazione rispetto alle simulazioni relative al LAYOUT 0 è stata invece registrata nella darsena di Ponente ed in quella di Levante.

Per quanto riguarda le simulazioni relative alle mareggiate da NNE non sono state rilevate differenze significative rispetto alle simulazioni effettuate per il LAYOUT 0.

In definitiva dall'analisi dei risultati è emerso che l'approfondimento dei fondali nello specchio acqueo in prossimità della colmata di Marisabella determina una maggiore trasmissione del moto ondoso nelle darsene interna e vecchia; in tal senso è rilevante anche il contributo dovuto alla riflessione delle onde incidenti sulla testata del molo Pizzoli, benché le nuove strutture in progetto siano state implementate nel modello con un coefficiente di riflessione pari a 0.7 (banchine in cassoni cellulari con celle antirisacca sul perimetro esterno).

3.3.3.3 LAYOUT 2.a

Nella configurazione LAYOUT 2.a è stato analizzato l'effetto sull'agitazione interna portuale che determinerebbe la realizzazione di un nuovo molo radicato sul braccio posto a nord della darsena di Ponente; la nuova struttura in previsione sarà destinata all'ormeggio di navi da crociera.

In questa configurazione il nuovo molo crocieristico, lungo circa 350m e largo 50m, è stato riprodotto così come previsto in progetto, ossia costituito da cassoni cellulari in c.a. con celle antirisacca sui bordi esterni; nel modello matematico alle banchine è stato assegnato un coefficiente di riflessione pari a 0.7.

Nella configurazione LAYOUT 2.a è stato altresì introdotto il dragaggio a -12m di un ampio specchio acqueo in prossimità dell'imboccatura portuale, a ridosso della testata del molo San Cataldo.

Dall'analisi delle simulazioni relative alle mareggiate da NNO e da Nord risulta che la realizzazione del nuovo molo crocieristico determina un netto abbattimento dell'agitazione ondosa sulle banchine interne della darsena di Ponente, mentre al contrario si rileva un incremento delle altezze d'onda nella darsena di Levante e nello specchio di mare tra il nuovo molo ed il molo foraneo.

Dall'analisi delle mappe di agitazione si evince inoltre che l'approfondimento dei fondali in prossimità della testata del molo San Cataldo determina in generale

una maggiore trasmissione del moto ondoso all'interno del bacino portuale, ed in particolare sulla testata del nuovo molo Pizzoli.

3.3.3.4 LAYOUT 3

Nella configurazione LAYOUT 3 è stata studiata la propagazione del moto ondoso all'interno di un nuovo bacino portuale dedicato alla nautica da diporto la cui realizzazione è prevista in corrispondenza del molo San Cataldo.

In particolare il modello matematico MIKE 21 BW è stato applicato per riprodurre le mappe di agitazione ondosa interna portuale attraverso cui verificare le condizioni ondose ammissibili all'interno di un porto turistico riportate nelle *Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici*.

Nel dettaglio sono stati determinati i valori di altezza d'onda all'interno del porto turistico generati dalle mareggiate con periodo di accadimento 50 anni, 5 anni e 5gg/anno; i valori di altezza d'onda ricavati sono stati quindi confrontati con i valori massimi corrispondenti alle tre condizioni limite riportate nelle *Raccomandazioni tecniche*.

Dall'analisi delle mappe di agitazione è emerso che nella configurazione prevista per il bacino portuale turistico, lo specchio acqueo interno assicura un'adeguata protezione delle imbarcazioni all'ormeggio per ciascuna delle tre condizioni limite simulate ($T_r = 50$ anni, $T_r = 5$ anni, $F_r = 5$ gg/anno).

I valori di altezza d'onda all'interno del bacino portuale turistico risultano in generale inferiori a quelli massimi riportati nelle *Raccomandazioni tecniche*, a prescindere dalla direzione di provenienza del moto ondoso; unica eccezione è il caso della mareggiata da NNO con $T_r = 5$ anni che determina in alcuni punti valori di altezza d'onda compresi tra 0.3 ÷ 0.5m, superiori al valore raccomandato di 0.3m.

Condizioni ondose di poco più alte dei valori raccomandati sono stati invece rilevate lungo il canale di accesso allo specchio acqueo interno sia in corrispondenza dell'imboccatura del porto turistico sul versante esterno del molo San Cataldo, sia in corrispondenza dell'imboccatura rivolta verso il bacino interno del porto di Bari.

3.3.3.5 Soluzioni alternative LAYOUT 2

Il presente studio ha riguardato in particolar modo l'analisi della migliore soluzione costruttiva, in termini di agitazione residua interna, del nuovo molo crocieristico previsto in corrispondenza della darsena di Ponente.

In particolar modo, sono state simulate 5 ipotesi costruttive alternative per la realizzazione di tale opera in progetto, caratterizzate rispettivamente da:

- banchina in cassoni cellulari con celle antirisacca sul perimetro esterno (LAYOUT 2.a);
- banchina a platea poggiata su moduli in cassoni cellulari con celle antirisacca sul perimetro esterno (LAYOUT 2.b);
- banchina a platea poggiata su piloni circolari (LAYOUT 2.c);
- banchina a platea poggiata su pile imbasate su cassoni cellulari sommersi fino alla profondità -2.0m (LAYOUT 2.d);
- banchina in cassoni cellulari senza celle antirisacca sul perimetro esterno (LAYOUT 2.e).

Per l'analisi di confronto, oltre alle mappe di agitazione ondosa interna relative alla configurazione LAYOUT 2.a precedentemente presentate, sono state elaborate analoghe mappe anche per le altre soluzioni costruttive alternative; nel dettaglio nel modello matematico MIKE 21 BW sono state simulate le onde con tempo di ritorno T_r 120 anni, i cui risultati sono stati riportati nelle figure seguenti:

- **LAYOUT 2.b** → da figura 3.3.3.5.1 a figura 3.3.3.5.3;
- **LAYOUT 2.c** → da figura 3.3.3.5.4 a figura 3.3.3.5.6;
- **LAYOUT 2.d** → da figura 3.3.3.5.7 a figura 3.3.3.5.9;
- **LAYOUT 2.e** → da figura 3.3.3.5.10 a figura 3.3.3.5.12.

Per una migliore lettura dei risultati sono state altresì elaborate le mappe degli scarti tra gli stati ondosi ottenuti per la configurazione LAYOUT 1 (interventi strutturali già previsti dagli strumenti di pianificazione portuali vigenti), e le 5 configurazioni relative alla realizzazione del nuovo molo crocieristico (LAYOUT 2.a, LAYOUT 2.b, LAYOUT 2.c, LAYOUT 2.d, LAYOUT 2.e).

Le mappe degli scarti sono state così suddivise:

- onda da NNO (T_r 120 anni) → da figura 3.3.3.5.13 a 3.3.3.5.17;
- onda da Nord (T_r 120 anni) → da figura 3.3.3.5.18 a 3.3.3.5.22;

- onda da NNE (T_r 120 anni) → da figura 3.3.3.5.23 a 3.3.3.5.27.

Dall'analisi delle mappe degli scarti si rileva che, ad eccezione della configurazione LAYOUT 2.d, relativa alla soluzione con banchina piena senza celle antirisacca sul perimetro esterno, si registrano aumenti dei valori di altezza d'onda rispetto alla configurazione LAYOUT 1 molto modesti, mediamente inferiori ai 10cm.

Aumenti più significativi delle altezze d'onda sono stati rilevati localmente in prossimità dell'area in cui è prevista la realizzazione del nuovo crocieristico sia nel caso del LAYOUT 2.c che nel caso del LAYOUT 2.d..

Nel primo caso tale effetto è legato alla riflessione delle onde incidenti sulla superficie perimetrale dei piloni circolari su cui non sono stati previsti sistemi per attenuare l'energia del moto ondoso, nel secondo caso invece l'aumento dell'altezza d'onda è legato agli effetti dell'interazione tra onda e struttura sommersa.

Dall'analisi delle figure è stato inoltre evidenziato che il dragaggio a -12.0m previsto in prossimità dell'imboccatura portuale, a ridosso della testata del molo San Cataldo, determina un maggiore trasmissione del moto ondoso all'interno del bacino portuale ed in particolare nelle darsene interna e vecchia, provocando invece una minore intensità del moto ondoso sul fronte a mare della colmata di Marisabella.

Ciò è dovuto al fatto che l'approfondimento dei fondali determina una minore dissipazione dell'energia del moto ondoso entrante ed una minore deviazione delle traiettorie che le onde in ingresso nel bacino portuale subiscono per effetto della rifrazione.

In definitiva dal confronto tra le varie soluzioni costruttive ipotizzate per la realizzazione del nuovo molo crocieristico nella darsena di Ponente, emerge in particolar modo la necessità di adottare soluzioni che riducano gli effetti della riflessione delle onde incidenti.

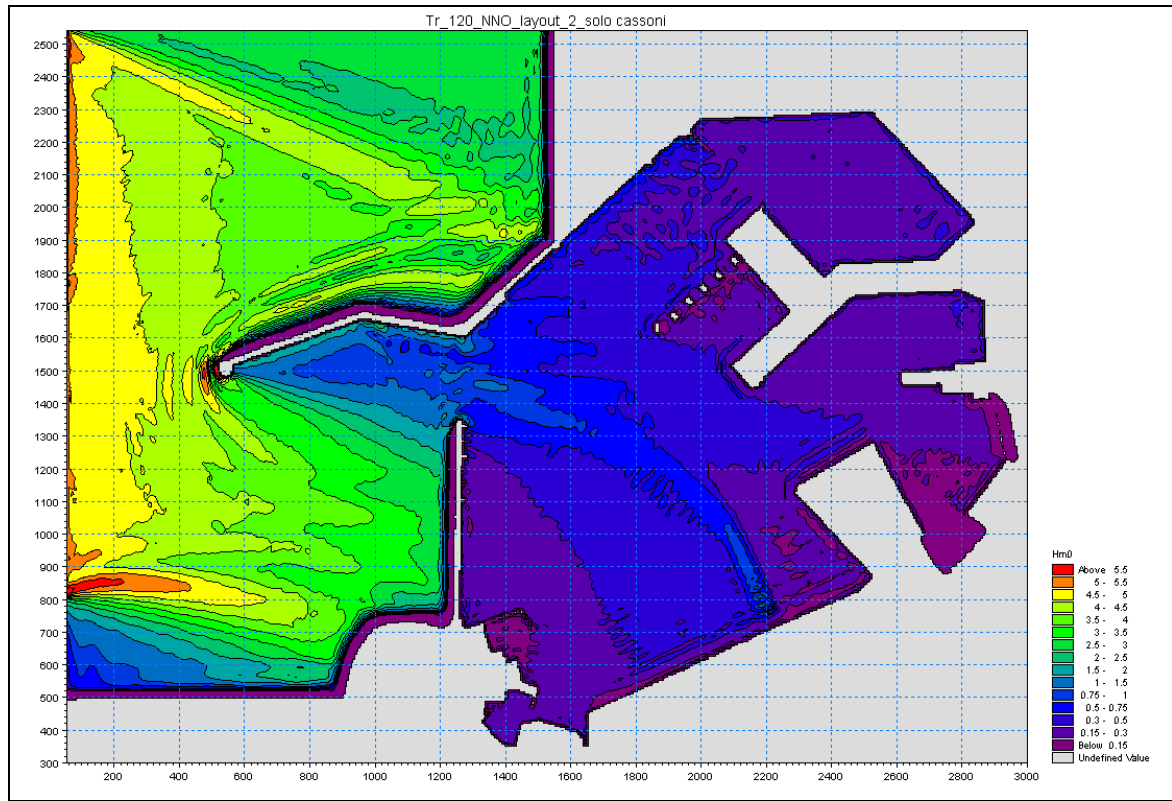


Figura 3.3.3.5.1 - LAYOUT 2.b - banchina molo crocieristico su cassoni
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

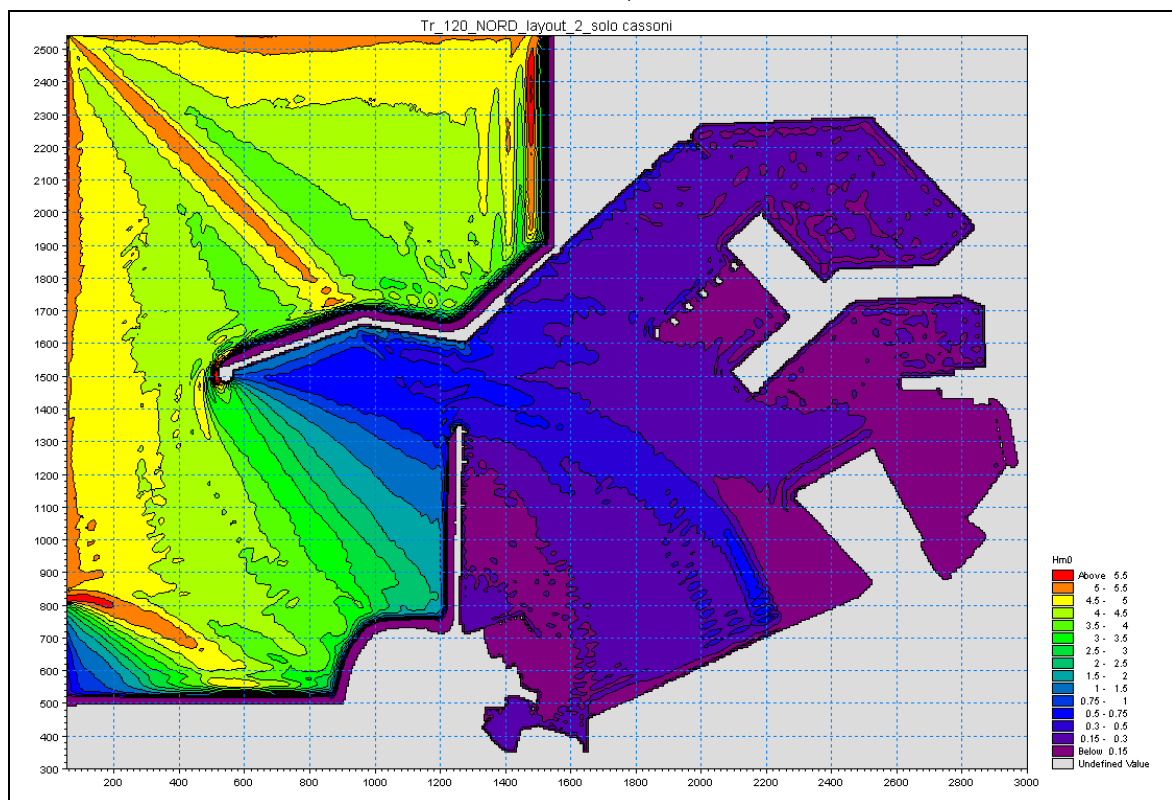


Figura 3.3.3.5.2 - LAYOUT 2.b - banchina molo crocieristico su cassoni
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

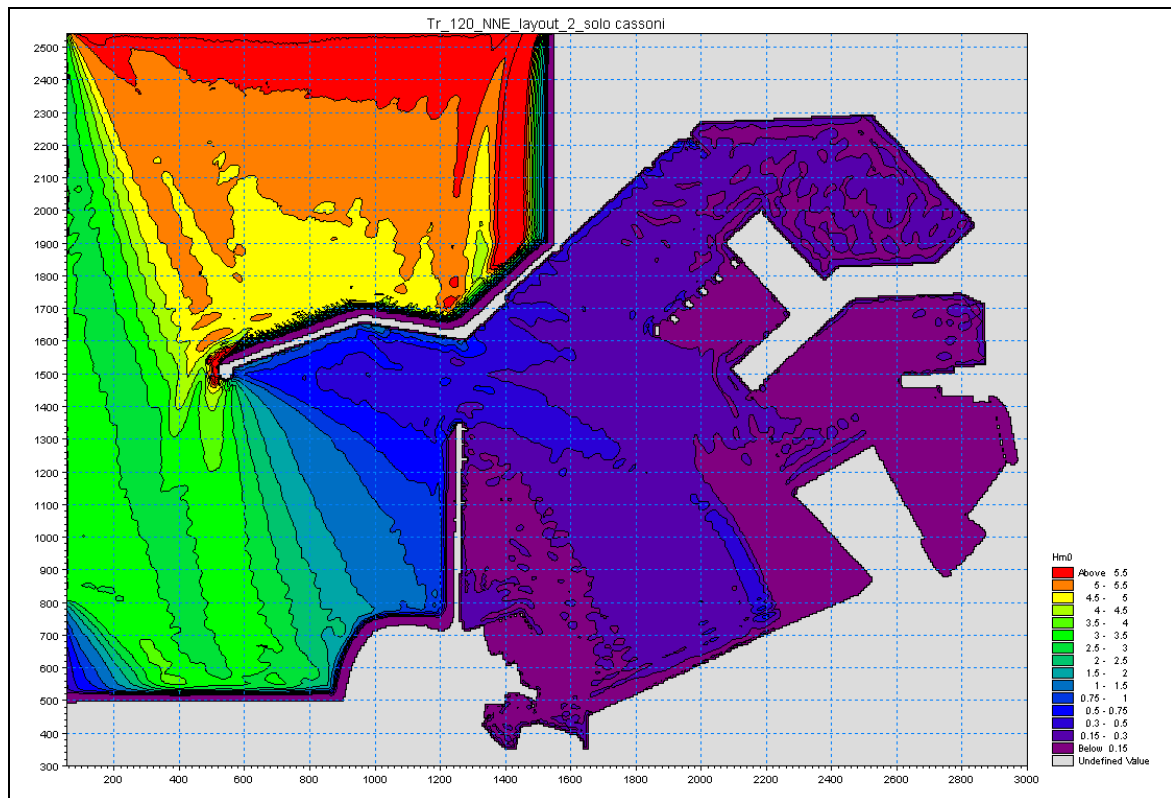


Figura 3.3.3.5.3 - LAYOUT 2.b - banchina molo crocieristico su cassoni
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

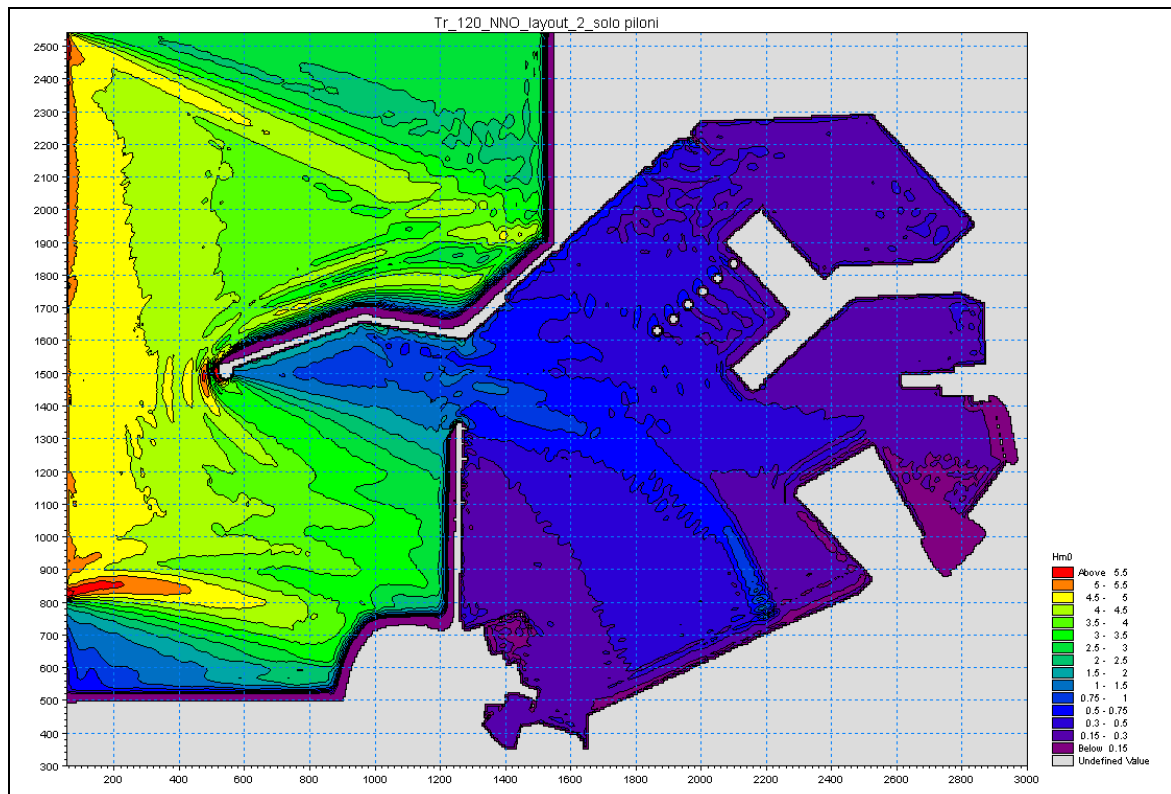


Figura 3.3.3.5.4 - LAYOUT 2.c - banchina molo crocieristico su piloni
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

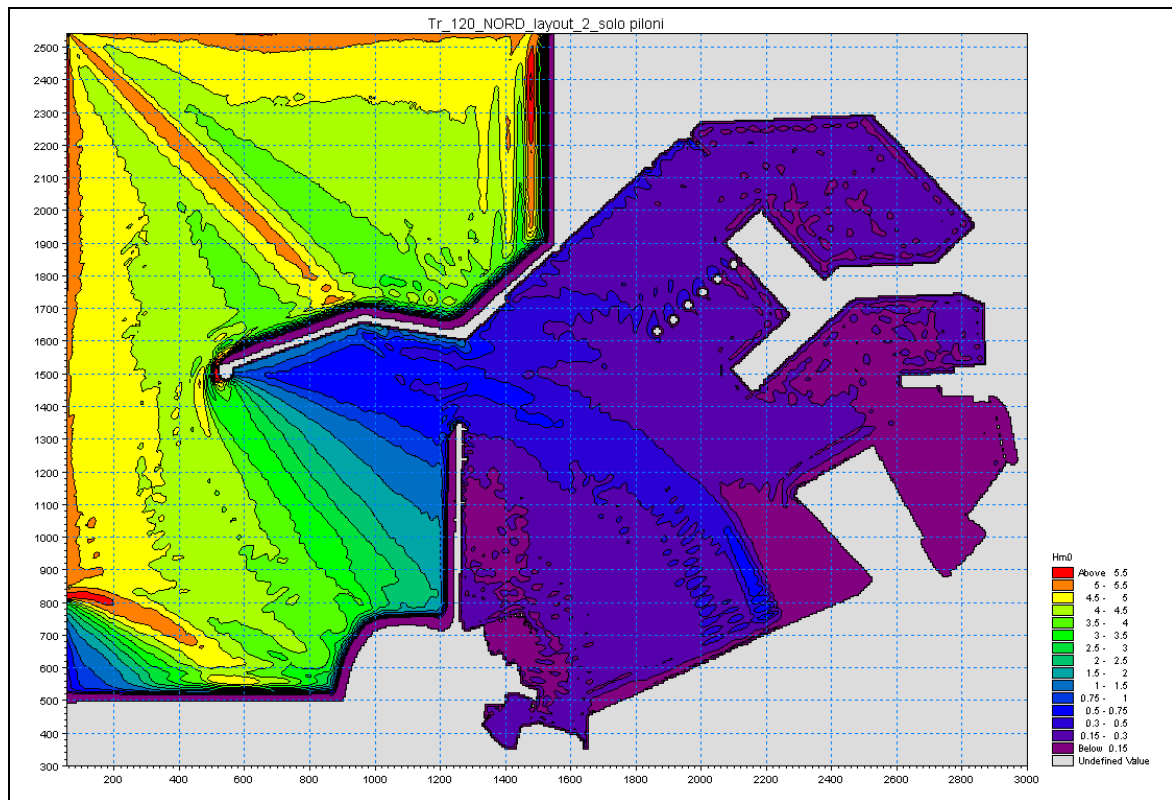


Figura 3.3.3.5.5 - LAYOUT 2.c - banchina molo crocieristico su piloni
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

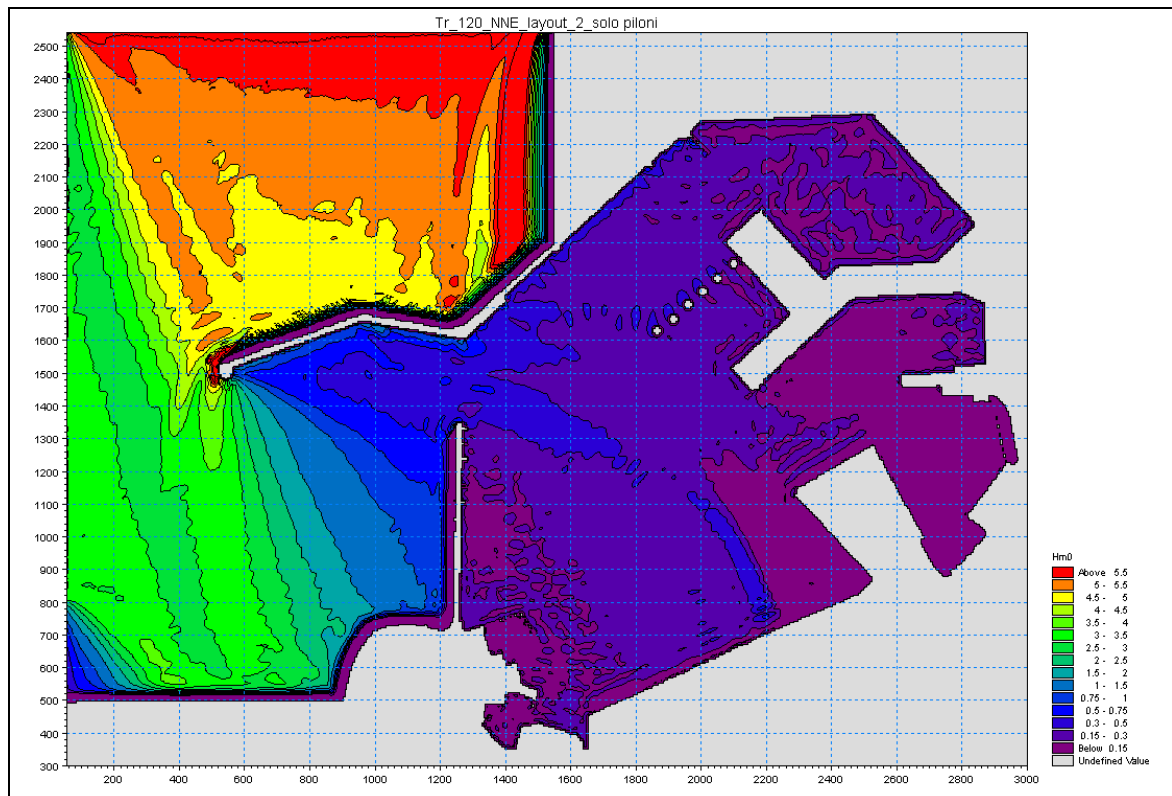


Figura 3.3.3.5.6 - LAYOUT 2.c - banchina molo crocieristico su piloni
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

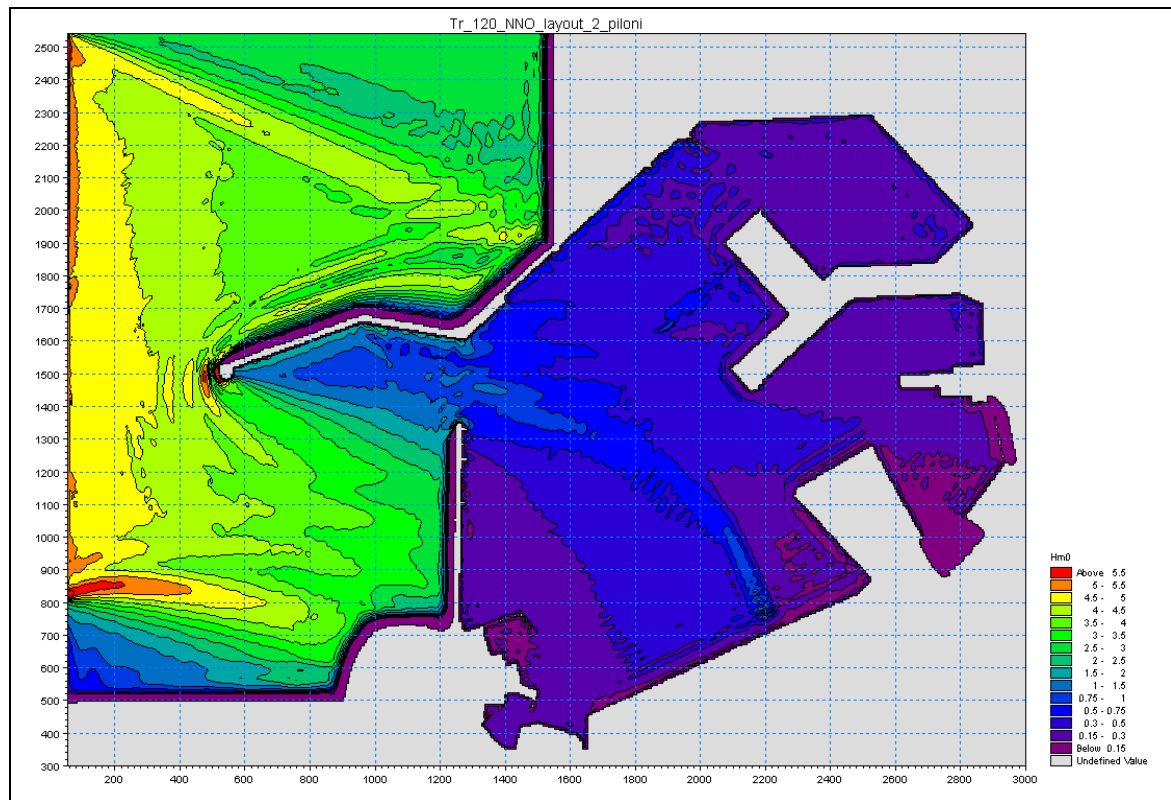


Figura 3.3.3.5.7 - LAYOUT 2.d - banchina molo crocieristico su piloni poggiati su cassoni sommersi
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

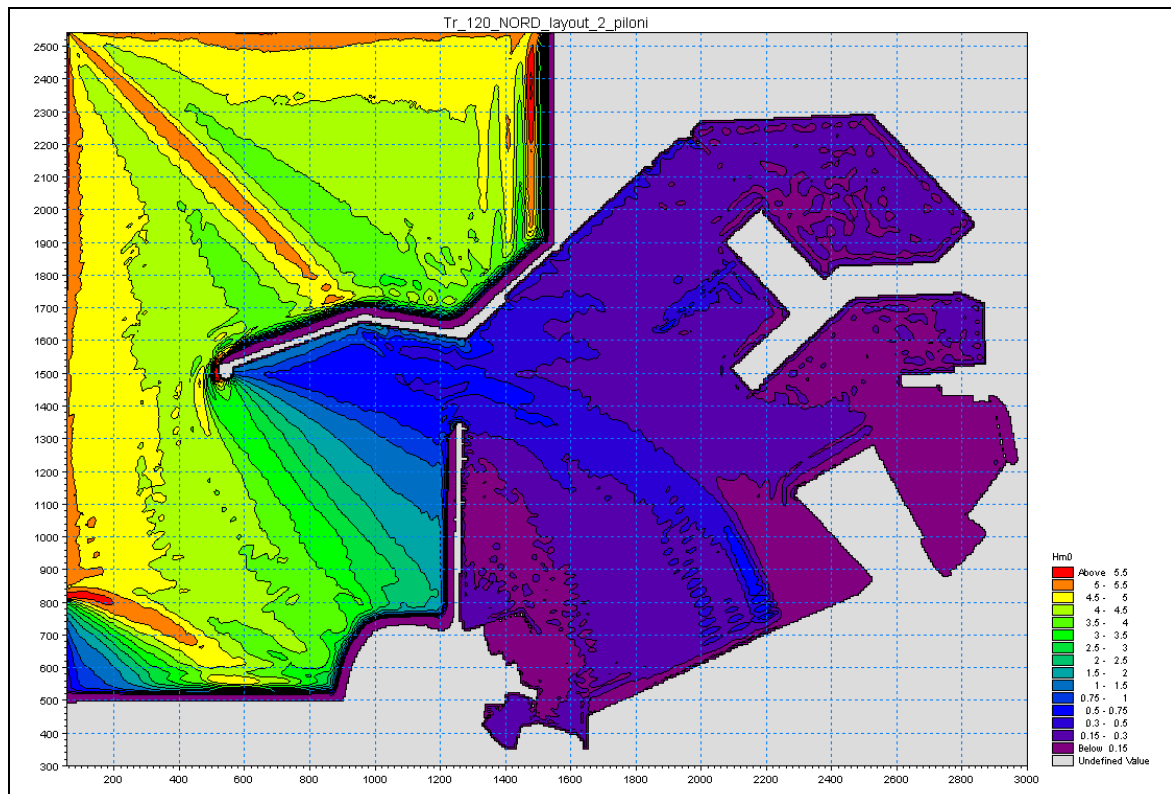


Figura 3.3.3.5.8 - LAYOUT 2.d - banchina molo crocieristico su piloni poggiati su cassoni sommersi
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

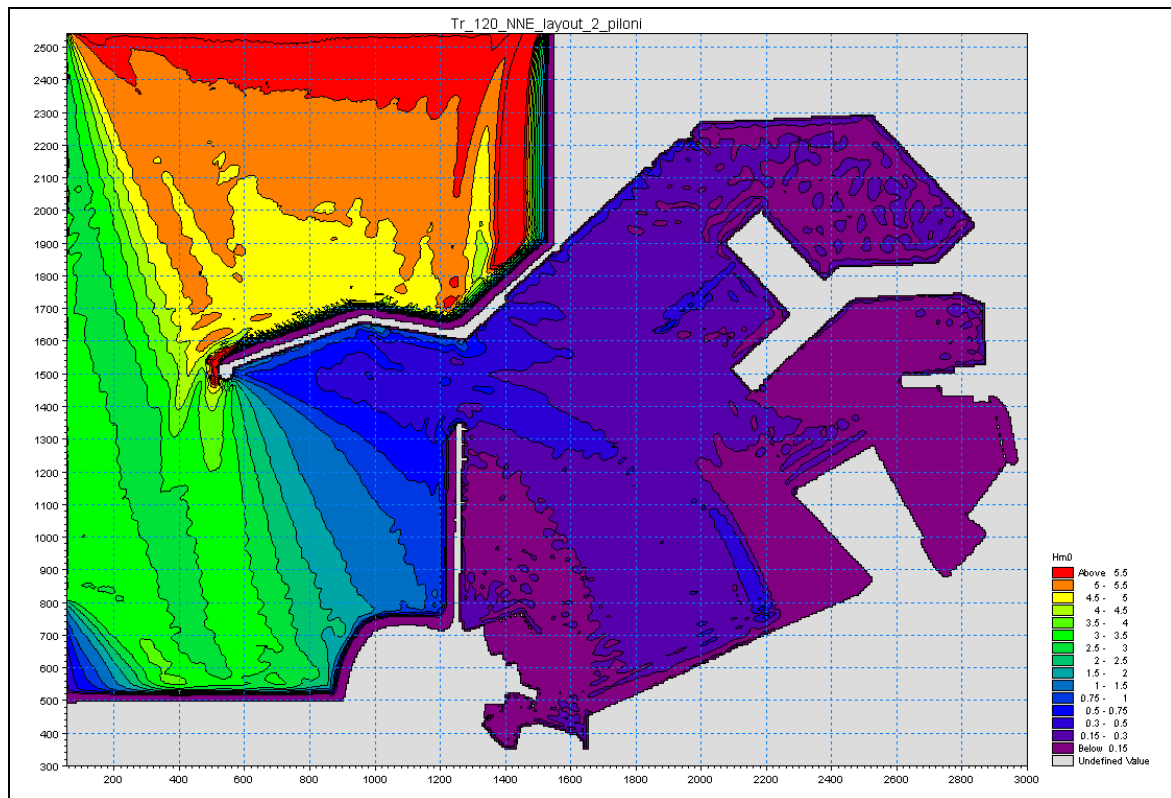


Figura 3.3.3.5.9 - LAYOUT 2.d – banchina molo crocieristico su piloni poggiati su cassoni sommersi
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

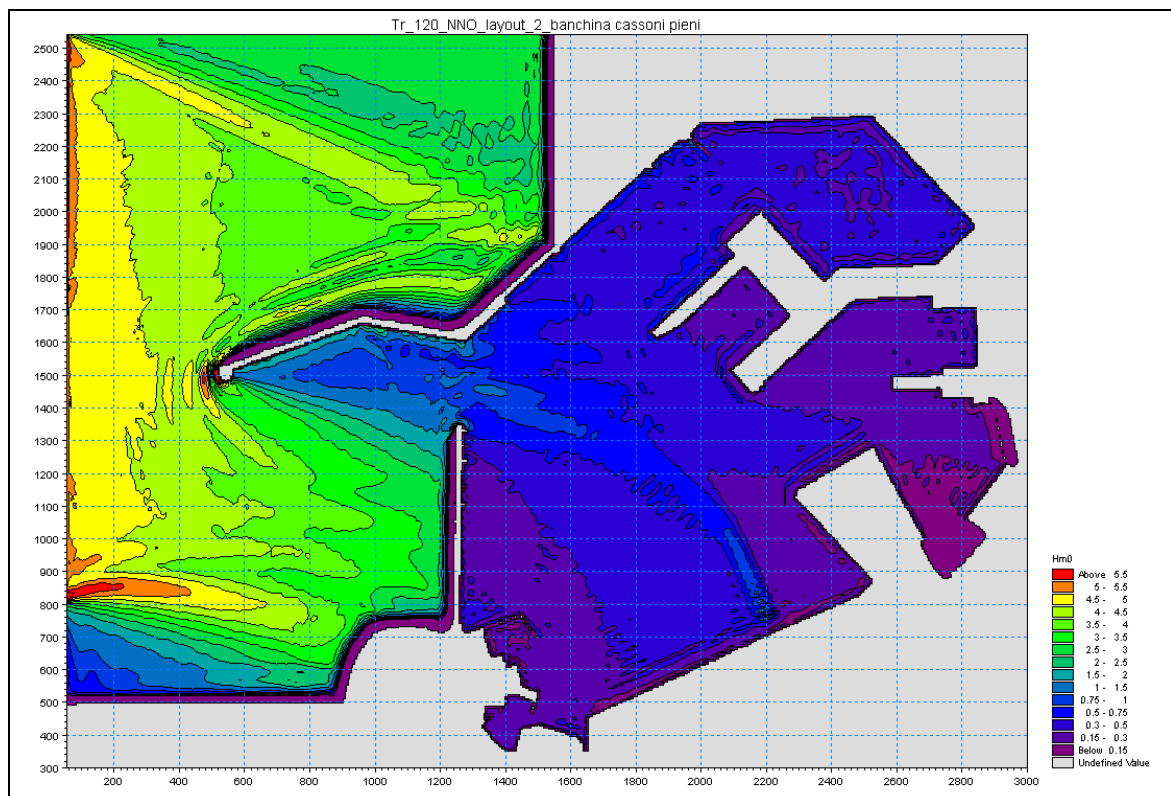


Figura 3.3.3.5.10 - LAYOUT 2.e – banchina molo crocieristico in cassoni riflettenti
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

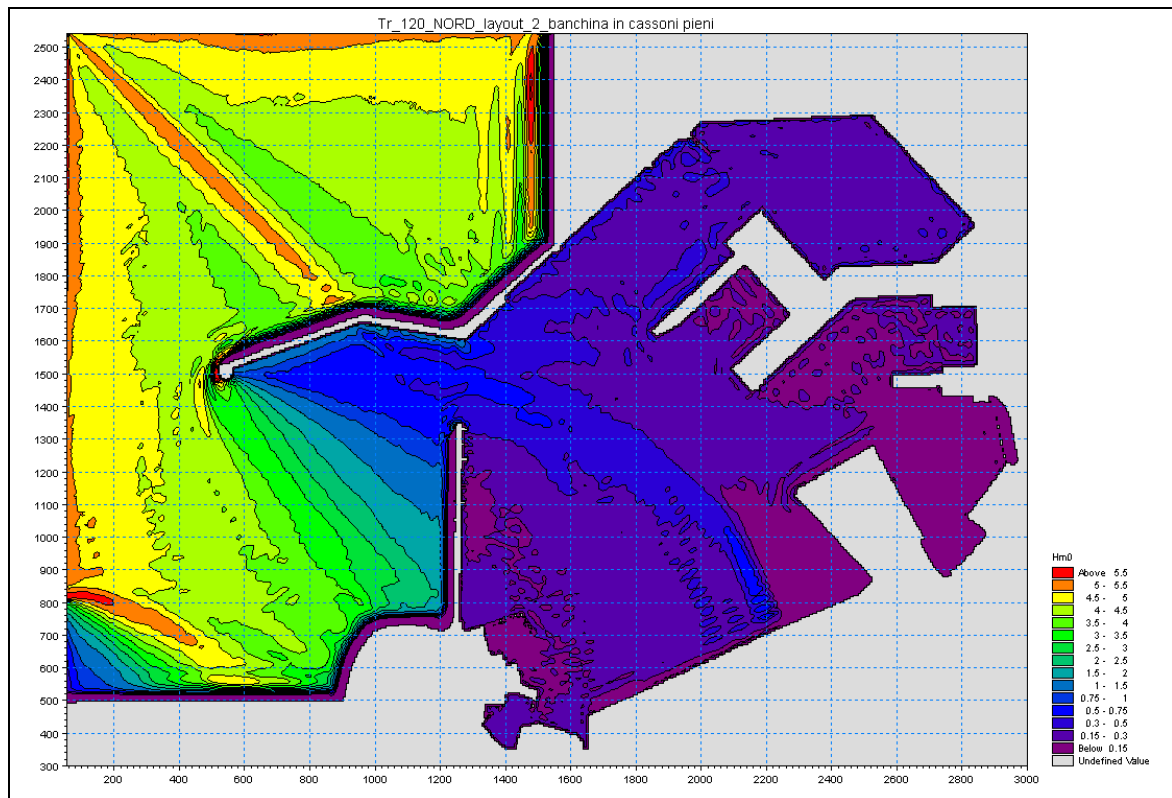


Figura 3.3.3.5.11 - LAYOUT 2.e – banchina molo crocieristico in cassoni riflettenti
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

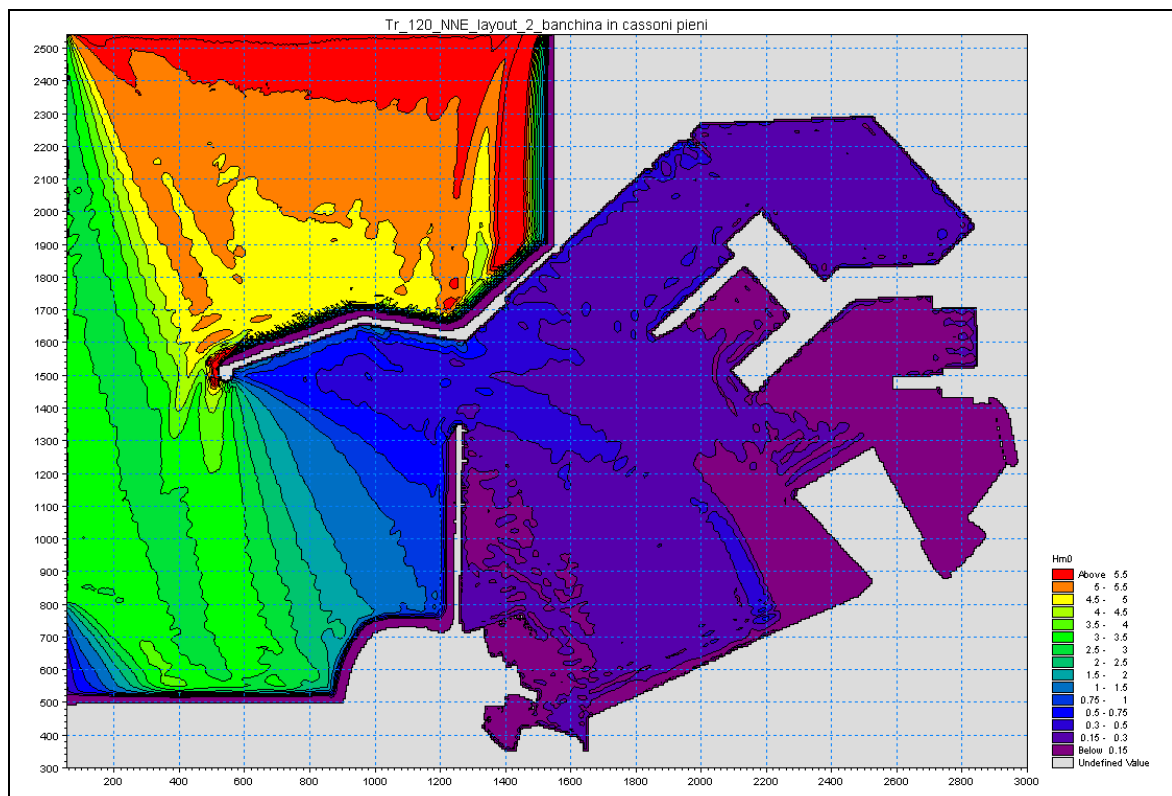


Figura 3.3.3.5.12 - LAYOUT 2.e – banchina molo crocieristico in cassoni riflettenti
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

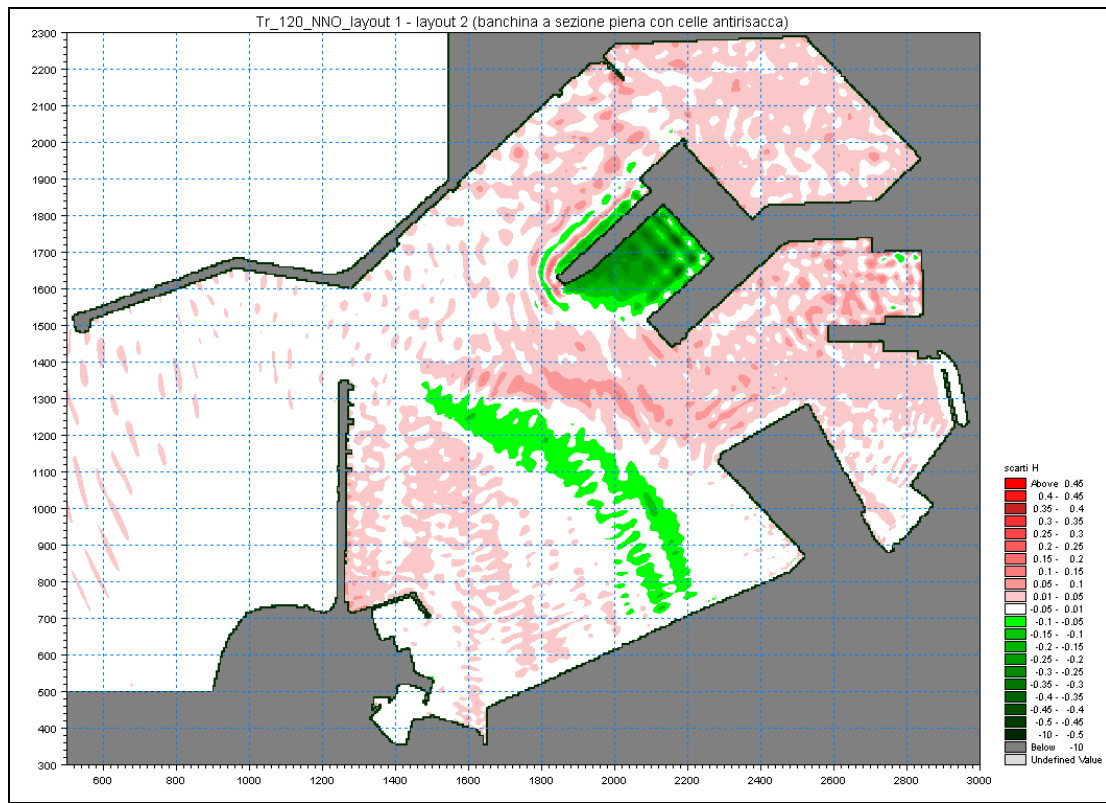


Figura 3.3.3.5.13 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.a
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

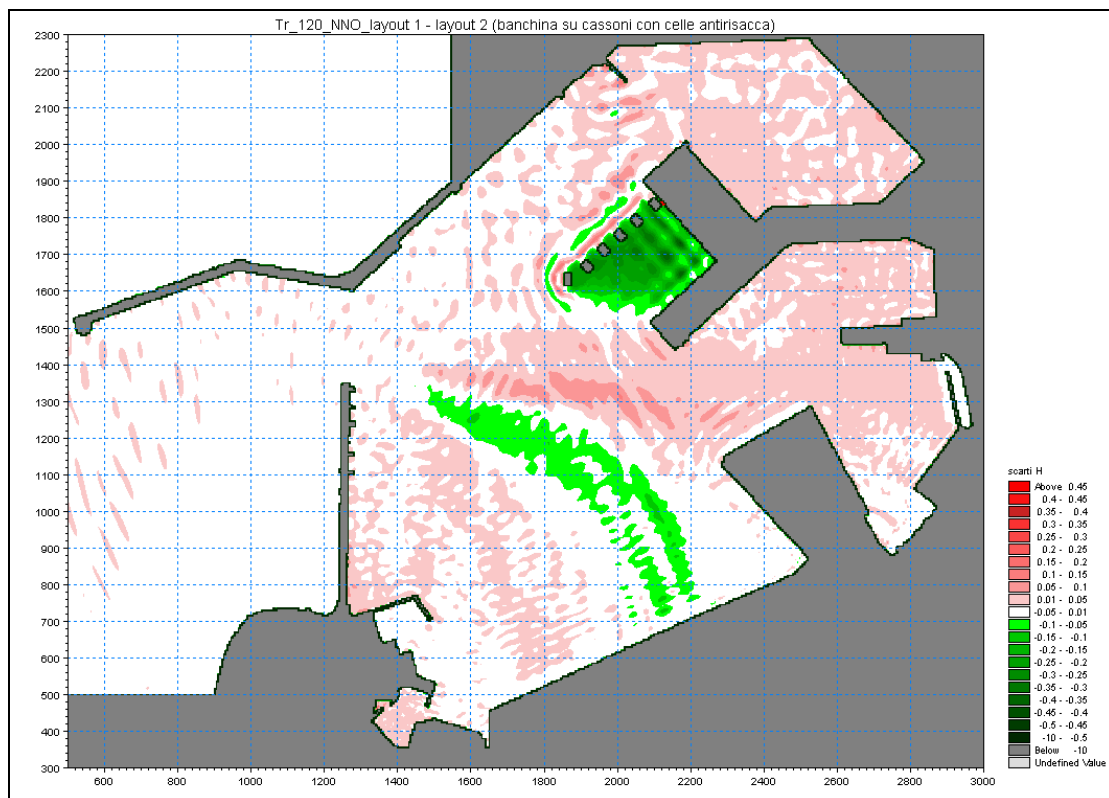


Figura 3.3.3.5.14 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.b
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

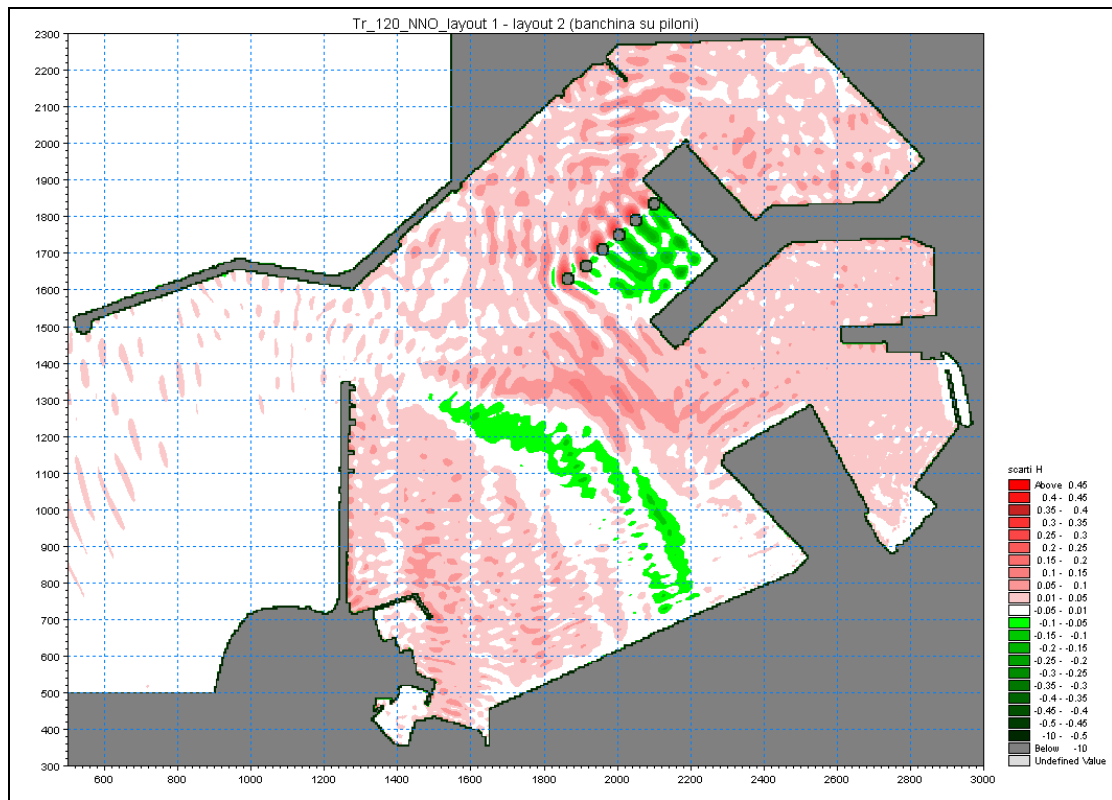


Figura 3.3.3.5.15 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.c
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

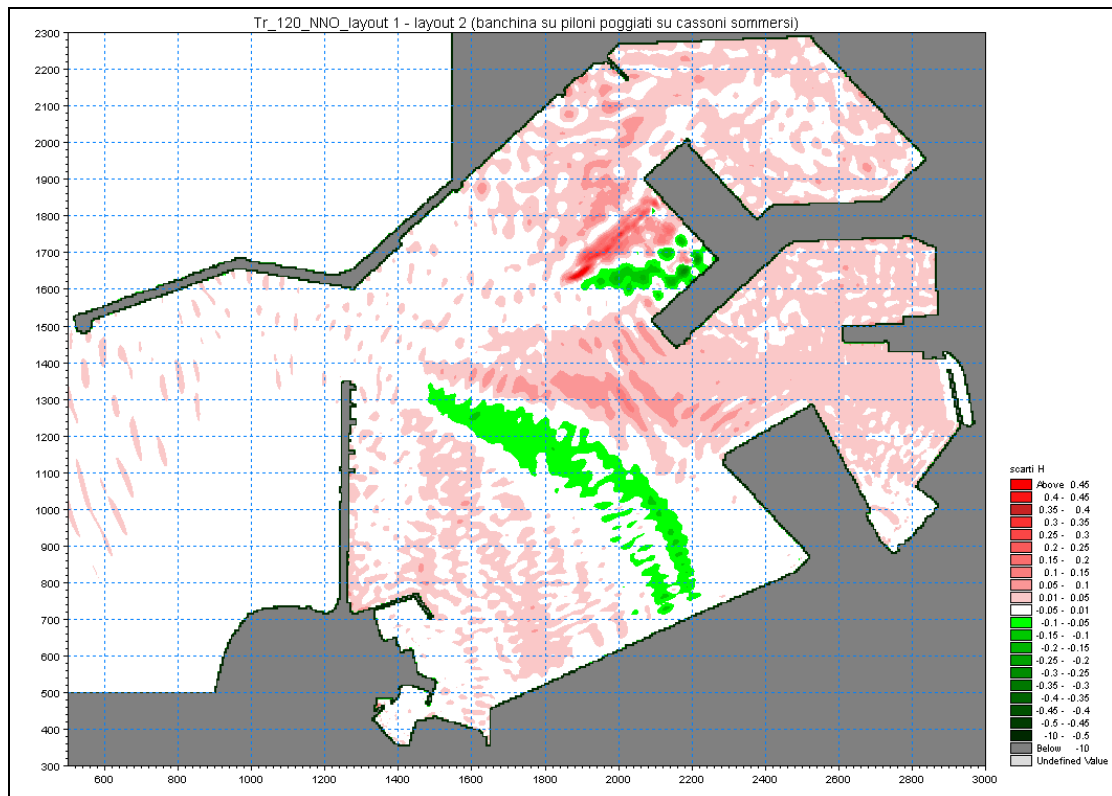


Figura 3.3.3.5.16 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.d
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

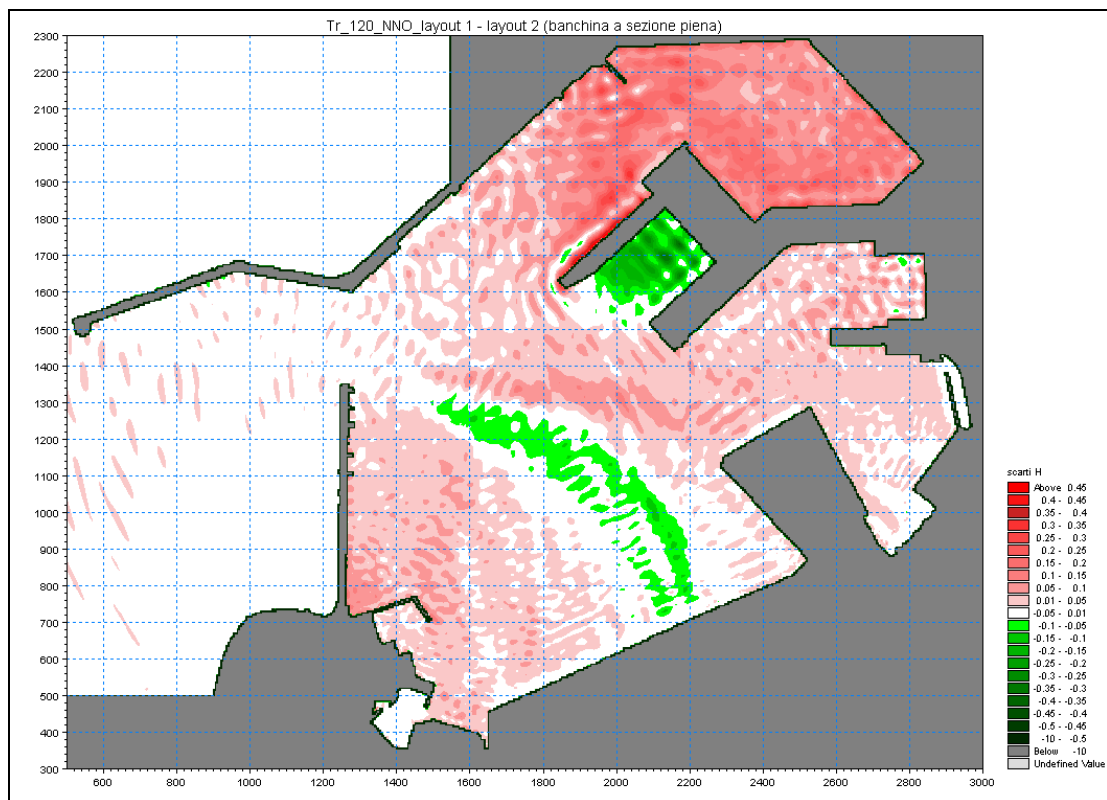


Figura 3.3.3.5.17 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.e
Onda da NNO - $T_r = 120$ anni

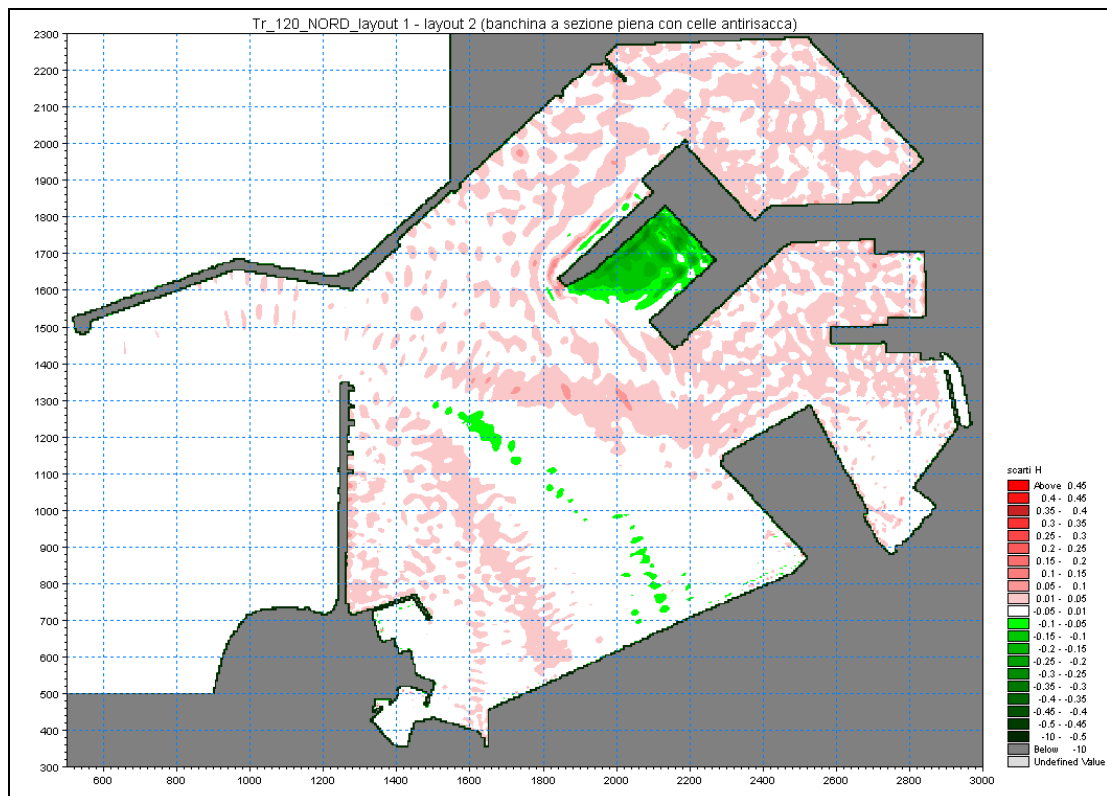


Figura 3.3.3.5.18 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.a
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

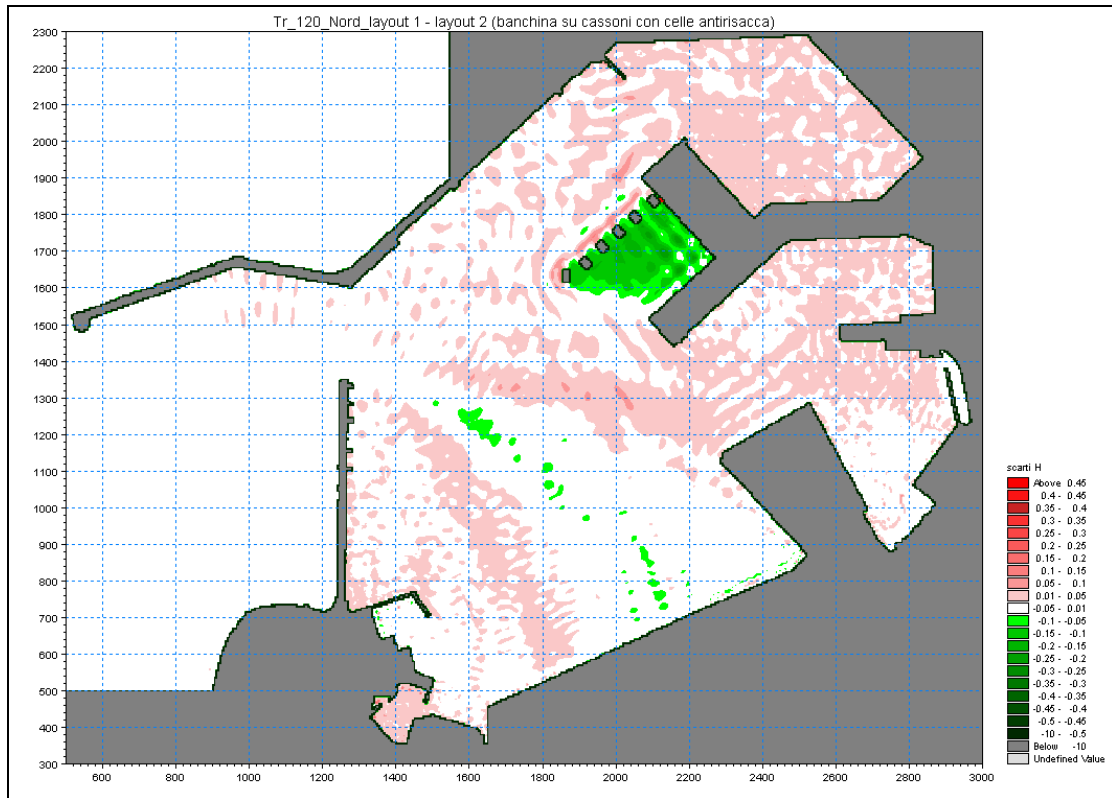


Figura 3.3.3.5.19 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.b
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

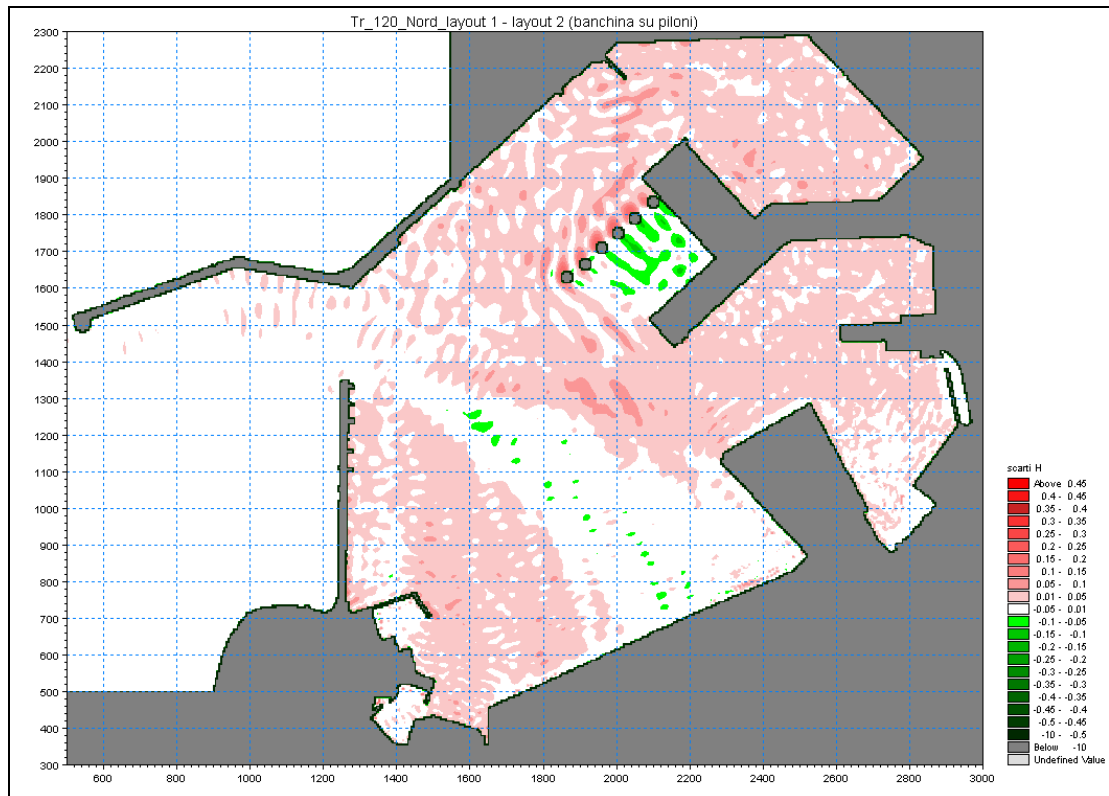


Figura 3.3.3.5.20 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.c
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

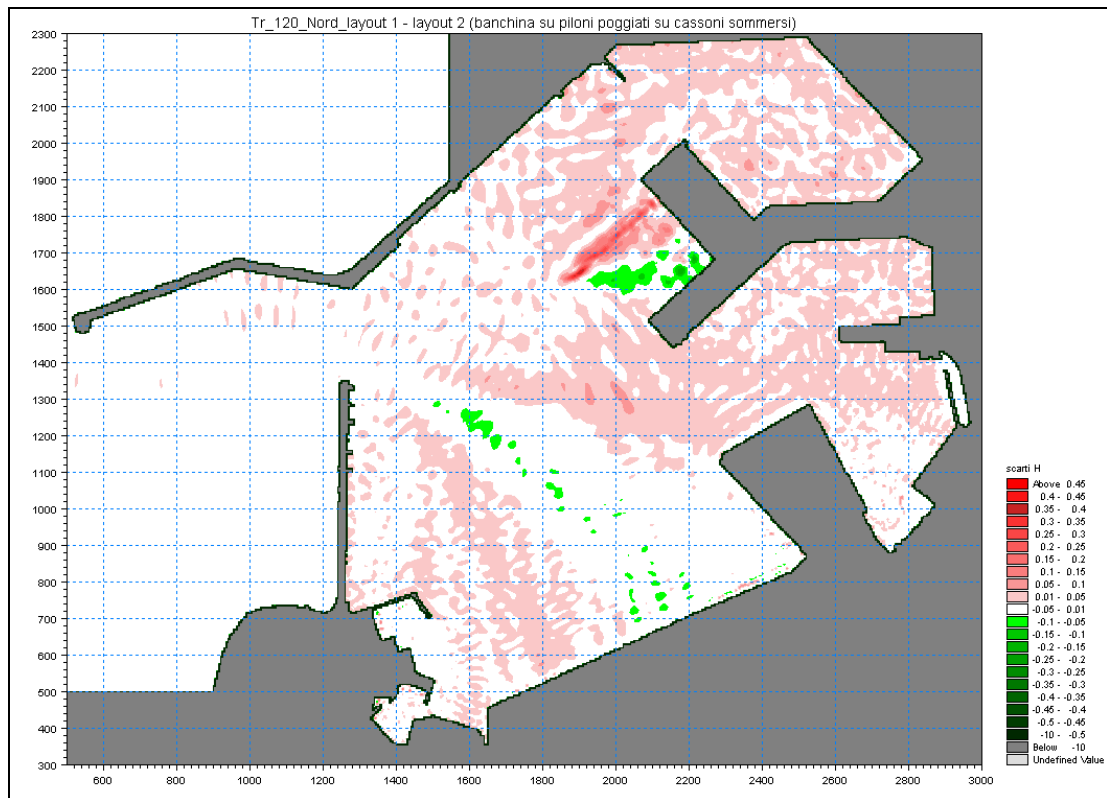


Figura 3.3.3.5.21 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.d
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

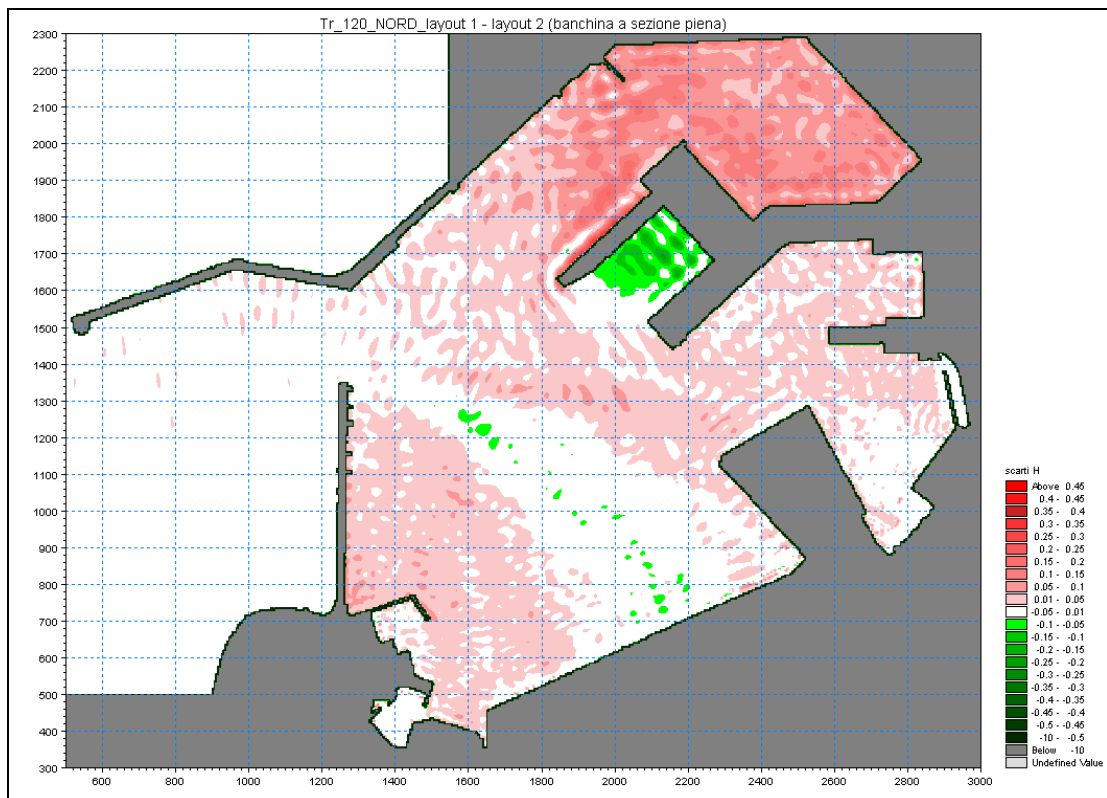


Figura 3.3.3.5.22 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.e
Onda da Nord - $T_r = 120$ anni

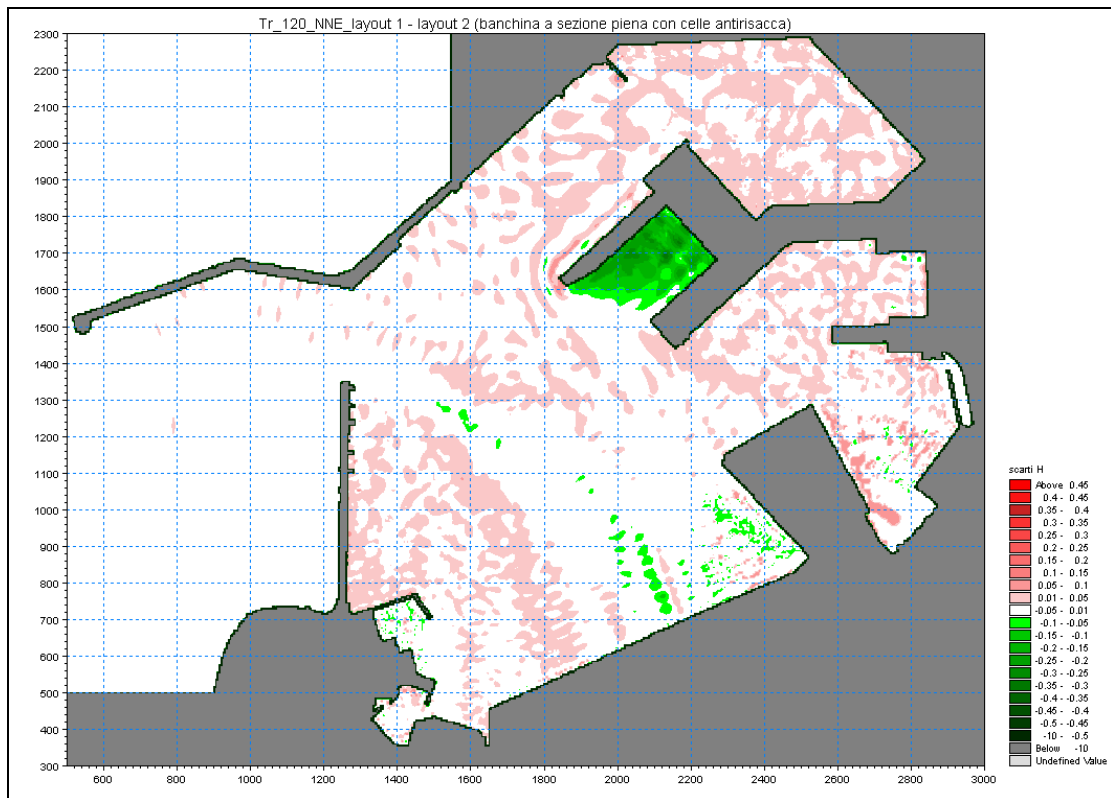


Figura 3.3.3.5.23 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.a
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

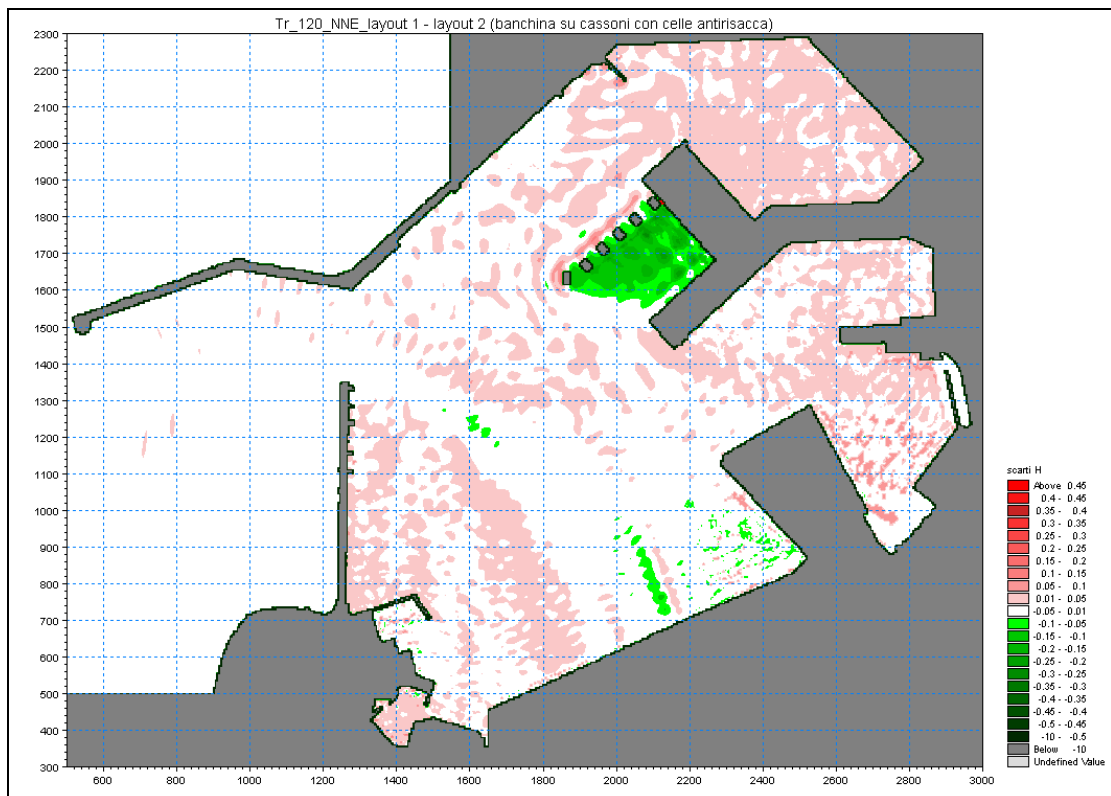


Figura 3.3.3.5.24 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.b
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

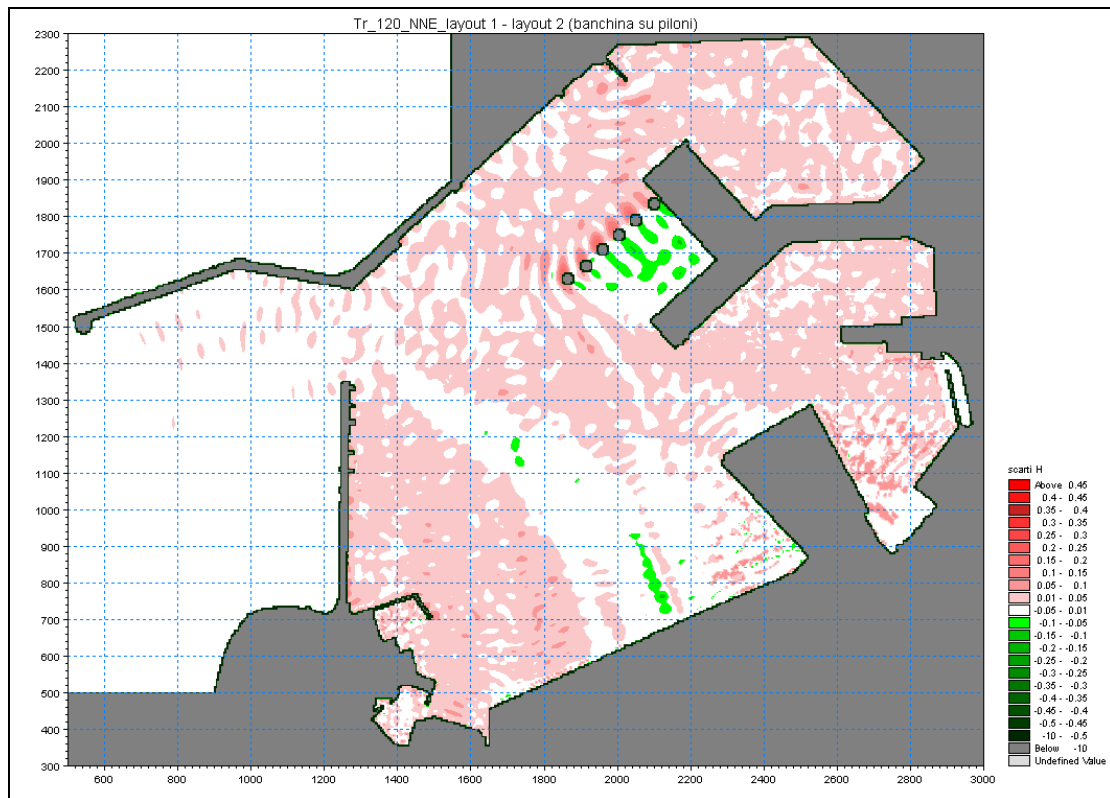


Figura 3.3.3.5.25 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.c
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

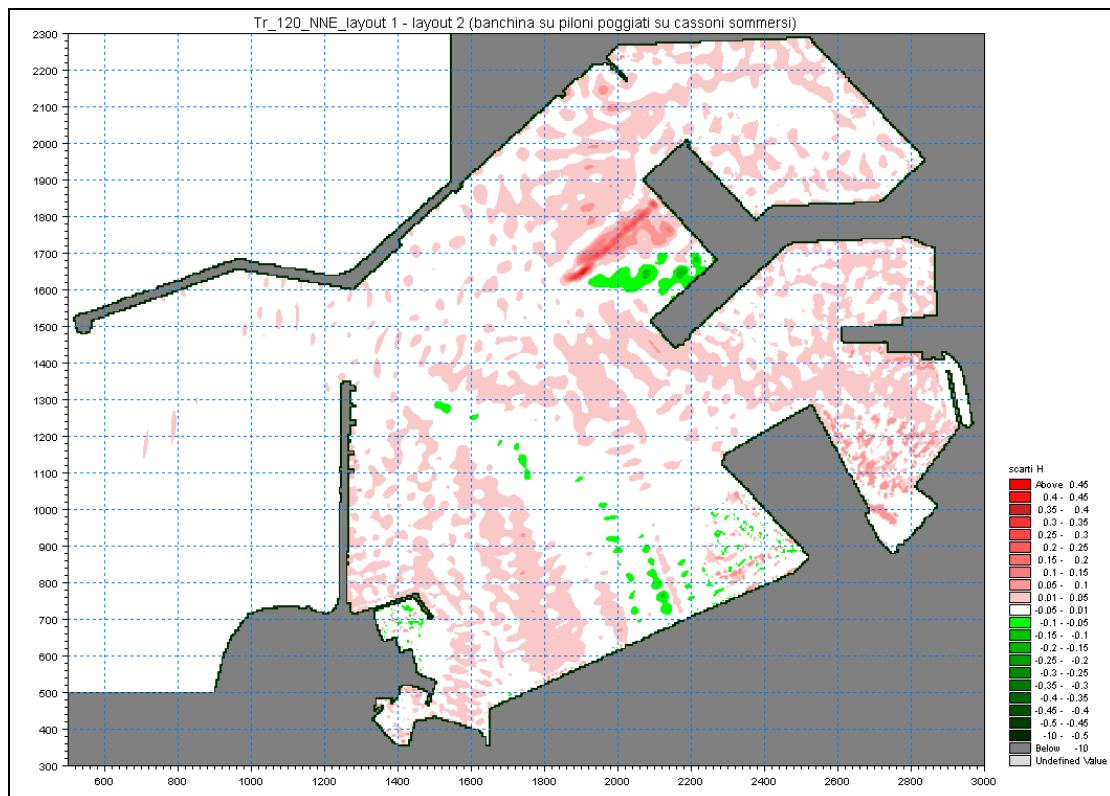


Figura 3.3.3.5.26 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.d
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

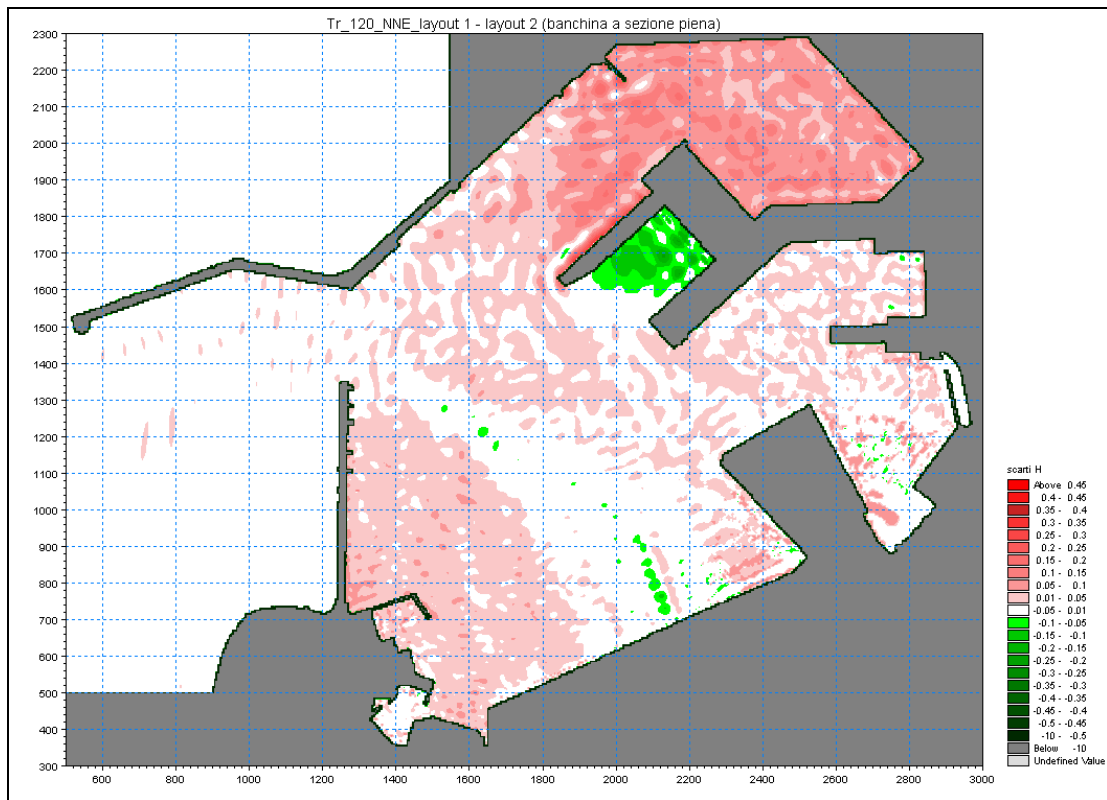


Figura 3.3.3.5.27 – Scarti altezze d'onda LAYOUT 1 - LAYOUT 2.e
Onda da NNE - $T_r = 120$ anni

4 CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA

4.1 IL MODELLO MATEMATICO MIKE 21 HD

4.1.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO

Lo studio della circolazione idrodinamica all'interno del bacino portuale è stato effettuato mediante il software MIKE 21, prodotto dal DHI (Danish Hydraulic Institute).

Tale codice di calcolo è stato scelto a seguito di un'analisi di dati di campo registrati nell'area in esame durante la primavera del 2010. Durante quell'indagine erano state effettuate sia misure di velocità della corrente, mediante l'utilizzo di un Vessel Mounted Acoustic Doppler Current Profiler della Nortek (VM-ADCP), sia misure di salinità e temperatura dell'acqua mediante CTD. Le suddette misure avevano evidenziato una modesta variazione della velocità della corrente lungo la verticale, in termini di direzione e di velocità. Anche la temperatura e la salinità risultavano pressoché invariati lungo la colonna d'acqua, tanto da poter assumere nulla la stratificazione. Per questi motivi si è adoperato per le simulazioni il modello bidimensionale MIKE 21, approssimando una sostanziale omogeneità dell'idrodinamica lungo la verticale. Si noti inoltre che la profondità massima del bacino in questione è pari a circa 13m, pertanto l'ipotesi di acque basse è pienamente accettabile.

Il codice di calcolo MIKE 21 è un sistema di modellazione bidimensionale adatto a simulare fenomeni idraulici e ambientali all'interno di corpi idrici a superficie libera. In particolare, consente lo studio delle variazioni di livello e l'andamento delle correnti, attraverso l'utilizzo di un modulo idrodinamico HD. Altri moduli aggiuntivi permettono l'analisi della dispersione di traccianti, della qualità delle acque, del trasporto solido. Nel presente studio si è scelto di utilizzare il modulo HD, nell'ipotesi di temperatura e salinità costanti (condizioni barotropiche).

Il modulo idrodinamico HD risolve le equazioni complete del moto nel caso bidimensionale piano, non stazionario (shallow waters equations). Le caratteristiche del moto vengono mediate lungo la profondità. Il sistema risolutivo è formato da tre equazioni: un'equazione di continuità e due equazioni di conservazione della quantità di moto nel piano orizzontale lungo le due direzioni x e y . Le equazioni del modello

sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).

4.1.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO

Come per lo studio dell'agitazione ondosa, anche in questo caso sono state utilizzate come dominio di calcolo, griglie a maglia quadrata e passo pari a 5m, al fine di ottenere un adeguato dettaglio nella descrizione degli elementi strutturali riportati nei vari layout riprodotti. Come già descritto nel paragrafo 3.3.2, quattro differenti configurazioni sono state analizzate, in base alle diverse ipotesi progettuali, già denominate layout 0, layout 1, layout 2, layout 3 (figure 4.1.2.1 ÷ 4.1.2.4)

Le griglie sono orientate con l'asse X secondo la direzione SE (135°N) e l'asse Y secondo la direzione NE (45°N) e, rispetto alle simulazioni effettuate per lo studio dell'agitazione ondosa, sono state ulteriormente ridimensionate, ottenendo matrici composte da 410 righe x 490 colonne. In questo modo, si è fatto coincidere il confine Ovest del dominio con l'imboccatura del porto, in modo da poter prendere in considerazione nelle prove numeriche un solo confine cosiddetto aperto, sul quale si sono imposte le opportune condizioni iniziali ed al contorno.

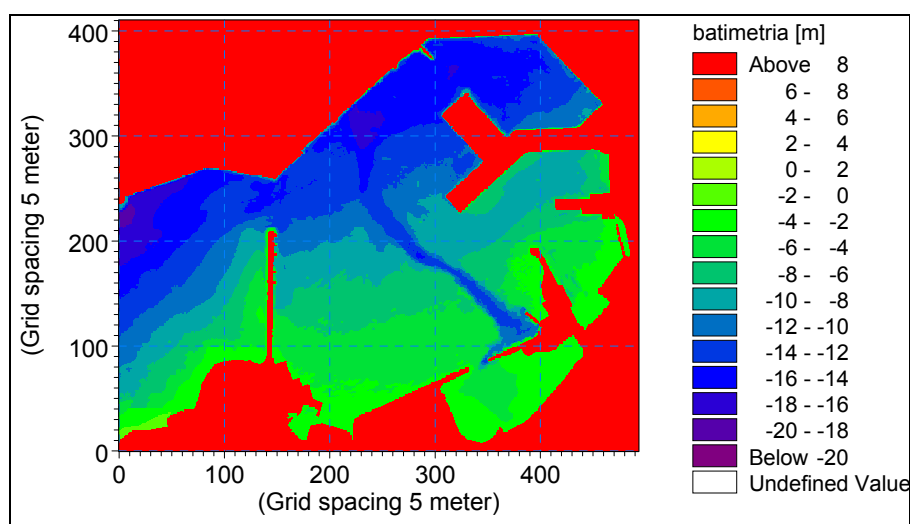


Figura 4.1.2.1 – Griglia di calcolo - LAYOUT 0.

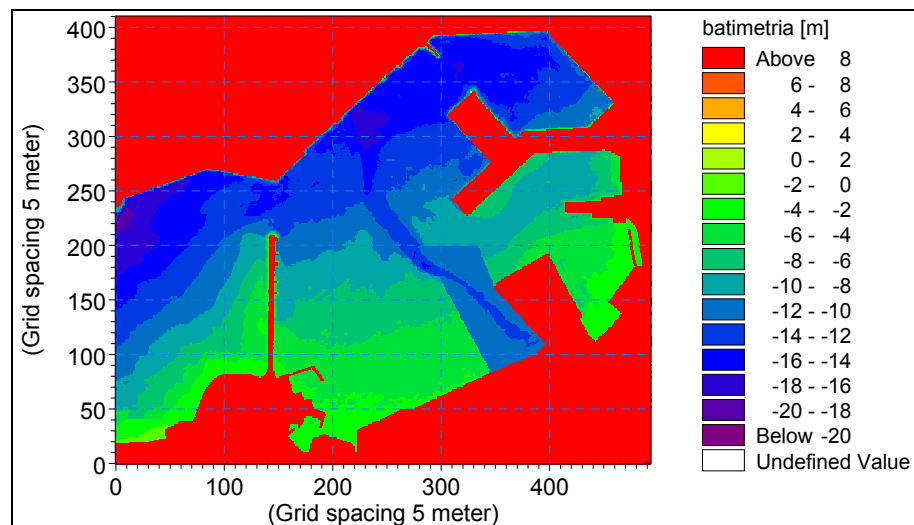


Figura 4.1.2.2 – Griglia di calcolo - LAYOUT 1.

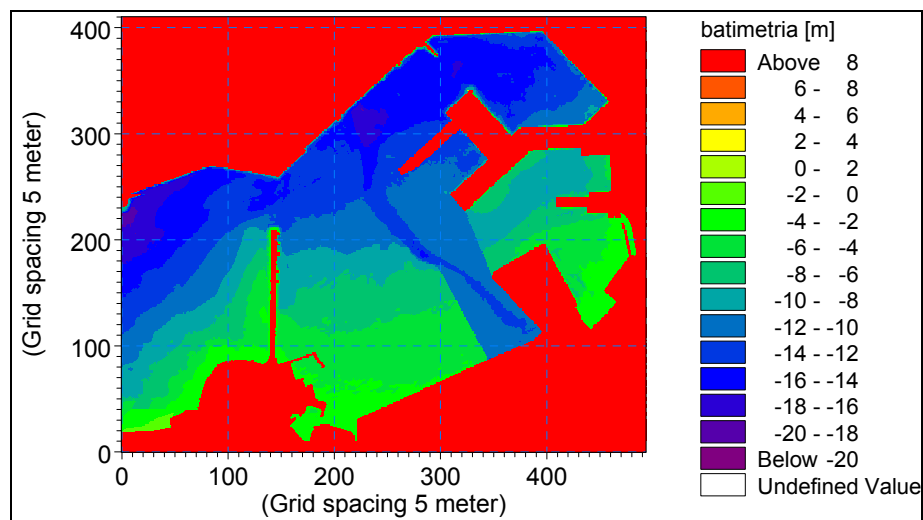


Figura 4.1.2.3 – Griglia di calcolo - LAYOUT 2.

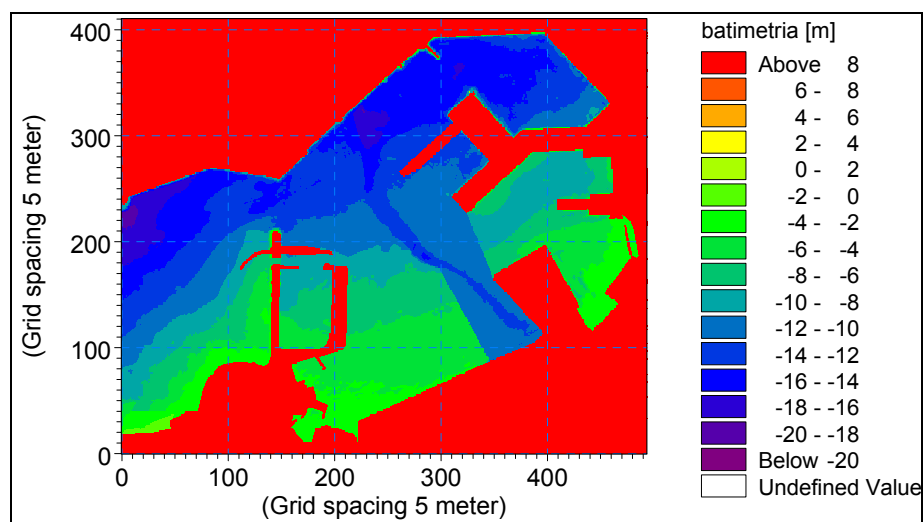


Figura 4.1.2.4 – Griglia di calcolo - LAYOUT 3.

Per ridurre i tempi computazionali del programma, l'area superiore dello specchio acqueo esterno al porto, ininfluyente ai fini della circolazione interna, è stata implementata come area a terra.

Nella figura 4.1.2.5 si riporta la griglia batimetrica di calcolo relativa ad una sola delle tre soluzioni costruttive alternative per la realizzazione del nuovo molo crocieristico nella darsena di Ponente, già illustrate nel paragrafo 3.3.2. Tra quelle proposte, nel seguito si fa riferimento alla sola configurazione layout 2.b (banchina a platea poggiata su piloni circolari), avendo osservato una sostanziale invarianza in termini di idrodinamica tra il suddetto caso e quello del layout 2.c (banchina a platea poggiata su moduli in cassoni cellulari) e 2.d (banchina a platea poggiata su pile imbasate su cassoni cellulari sommersi).

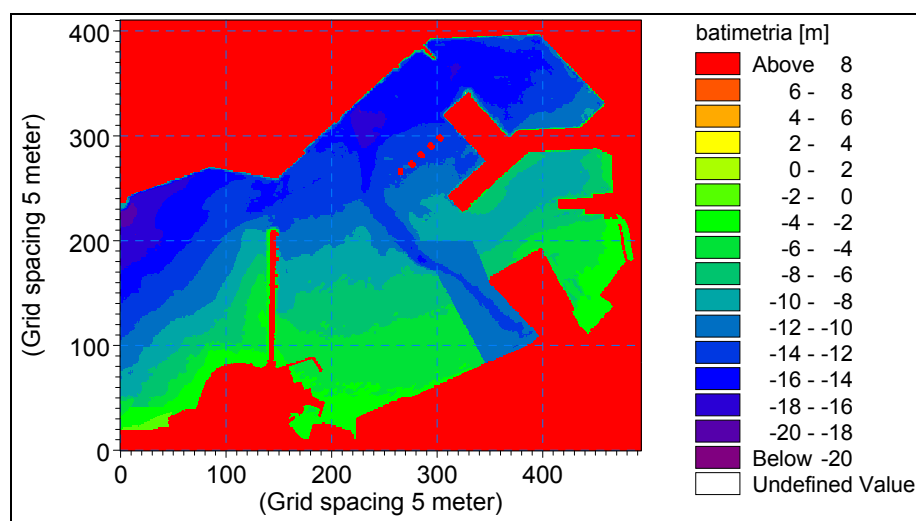


Figura 4.1.2.5 – Griglia di calcolo - LAYOUT 2.b.

Per quanto riguarda i parametri caratterizzanti il modello MIKE 21, sono stati adottati idonei valori del periodo totale di simulazione e del passo temporale di integrazione.

Il periodo di simulazione è stato posto pari a tre giorni, avendo rilevato in precedenti lavori che questa durata consente il superamento del transitorio ed il raggiungimento di una condizione praticamente stazionaria in corrispondenza dell'ultimo giorno di simulazione.

Il passo temporale di integrazione (time step) è stato determinato in modo tale da verificare la condizione di Courant, al fine di garantire la stabilità dell'algoritmo. Definito il numero di Courant come:

$$C_R = c \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

essendo:	$c = \sqrt{gh}$	celerità di propagazione delle onde;
	h	profondità massima del bacino
	g	accelerazione di gravità
	Δt	passo temporale di integrazione (time step);
	Δx	risoluzione spaziale griglia,

si è scelto un Δt che fornisca valori del numero di Courant $C_R < 10$. In particolare, per tutte le simulazioni condotte si è assunto $\Delta t = 2s$, valore questo in corrispondenza del quale si è ottenuto $C_R \approx 5.4$, considerando una profondità massima del dominio $h = 13m$.

Con riferimento alle azioni utilizzate in input quali forzanti del modello, in tutte le prove si sono imposte: a) una variazione del livello della superficie libera sul confine aperto ovvero all'imboccatura del porto, ipotizzando condizioni di marea variabili con legge sinusoidale; b) un vento omogeneo e stazionario.

Per ciò che riguarda le escursioni di marea, si è assunta un'altezza massima dell'onda sinusoidale pari a $H = 30cm$, conformemente a quanto rilevato mediamente dalle osservazioni dell'escursione del livello lungo la costa barese e dai conseguenti studi meteo-marini (escursioni positive di 0.21m e negative di 0.17m).

Con riferimento al campo di vento, si è ipotizzato un vento omogeneo sul dominio in questione, trattandosi di un bacino piuttosto limitato. Anche l'ulteriore approssimazione fatta, ovvero quella di un vento stazionario, è lecita se si considera che le simulazioni hanno durata anch'essa limitata, ovvero pari a tre giorni. In particolare, l'intensità e la direzione del vento sono state scelte a partire dalle condizioni meteo-marine medie annuali. Pertanto si è imposto in input al modello un vento di intensità pari a 5m/s e proveniente da Ovest ($270^\circ N$), secondo quanto registrato dalla stazione anemometrica di Bari Palese (figura 2.1.3.1.1).

Si osservi tuttavia che questa scelta non deriva solo dall'analisi delle condizioni meteo-marine medie annuali. Infatti tale direzione scelta risulta essere, tra tutte, quella che può influire maggiormente sulla circolazione interna del bacino, considerando che l'imboccatura del porto è disposta proprio secondo la direttrice

ortogonale all'asse Est - Ovest. La circolazione interna quindi è sicuramente sollecitata in misura maggiore da un vento proveniente da Ovest, che attraversa l'imboccatura senza trovare alcun ostacolo di carattere topografico.

Preme sottolineare che una preliminare operazione di calibrazione del modello si è resa necessaria valutando i possibili valori che possono essere assunti da due parametri significativi del modello, quali il coefficiente di attrito del vento C_W (coefficiente di drag) ed il coefficiente di attrito al fondo C_B .

Le tensioni tangenziali indotte dal vento sulla superficie dell'acqua sono espresse dalla legge quadratica:

$$\tau_w = \rho_{air} C_W W_{10} |W_{10}|$$

dove ρ_{air} è la densità dell'aria, W_{10} è la velocità del vento alla quota di 10m sul livello del mare.

Il coefficiente di drag C_W può assumere un valore costante o dipendente dalla velocità del vento. In quest'ultimo caso è possibile calcolarlo tramite la seguente formula empirica (Wu, 1980):

$$C_W = \begin{cases} c_a & W_{10} < W_a \\ c_a + \frac{c_b - c_a}{W_b - W_a} (W_{10} - W_a) & W_a < W_{10} < W_b \\ c_b & W_{10} > W_b \end{cases}$$

dove: $C_a = 0.00125$

$C_b = 0.0026$

W_a e W_b sono dei valori di velocità del vento opportunamente scelti.

È stato dimostrato in precedenti studi effettuati sulle dinamiche di circolazione all'interno dello specchio acqueo del porto di Bari che le migliori riproduzioni del modello si ottengono per un C_W variabile, imponendo $W_a = 3\text{m/s}$ e $W_b = 5\text{m/s}$. Pertanto tali valori sono stati utilizzati anche in queste prove.

L'attrito al fondo viene valutato dal modello MIKE 21 attraverso la legge quadratica:

$$\tau_B = \rho_w C_B U |U|$$

dove U è la velocità media della corrente lungo verticale e ρ_w è la densità dell'acqua. A sua volta, il coefficiente di attrito al fondo C_B dipende parametro di Manning M , secondo la legge:

$$C_B = \frac{g}{(M h^{1/6})^2}$$

Anche questo parametro è stato tarato in precedenti studi effettuati per il porto di Bari; pertanto nelle presenti simulazioni si è adottato il valore $M = 32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Il software MIKE 21 può utilizzare diversi modelli di turbolenza per la chiusura del sistema di equazioni. Nel caso in esame si è scelto il modello di Smagorinsky, che lega la viscosità turbolenta alla spaziatura della griglia di calcolo e ai gradienti di velocità del campo di flusso.

4.1.3 ANALISI DEI RISULTATI

Dall'esame dei risultati emerge come una simulazione numerica sia opportuna ed utile per una prima indagine della struttura della circolazione. Infatti, si evidenzia in generale la capacità del modello di riprodurre i trend fondamentali delle correnti nel bacino di indagine, alla luce anche di alcuni dati di campo disponibili relativi ad una campagna di rilievi effettuati nel febbraio – marzo 2010. Da tali rilievi è stato ricavato l'andamento delle correnti mediate sulla profondità, all'interno del porto di Bari nelle condizioni attuali. Dall'analisi dei risultati è stato evidenziato il buon accordo tra misure di campo effettuate ed i risultati del modello MIKE 21, forzato dalle opportune condizioni di vento e marea, registrate proprio in quel periodo.

A titolo di esempio, si riporta in figura 4.1.3.1 la mappa di circolazione relativa ad una delle giornate investigate, nella quale sono sovrapposti i vettori misurati (in rosso) e quelli riprodotti dal modello (in nero). E' evidente un sostanziale buon accordo sulla quasi totalità delle stazioni di misura per quanto riguarda sia le intensità che le direzioni dei vettori velocità.

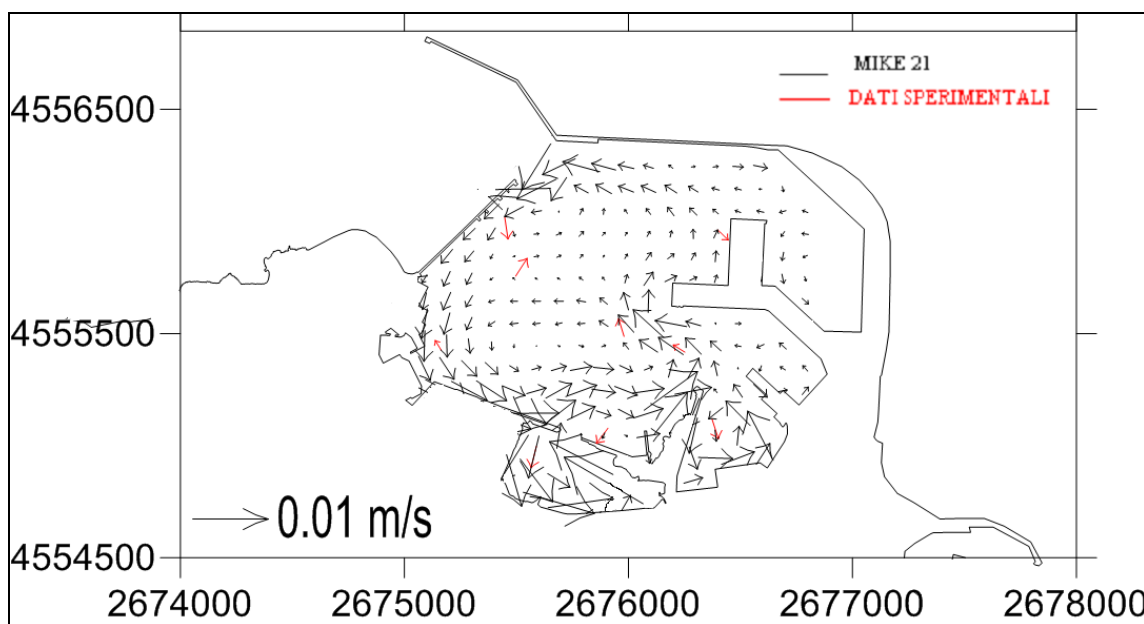


Figura 4.1.3.1 – Confronto tra dati misurati e risultati del modello MIKE 21 (Ben Meftah et al., 2011).
Giorno 24.02.2010 - Sistema di riferimento Gauss Boaga.

La figura 4.1.3.1 mostra anche come la circolazione all'interno del bacino portuale sia in realtà molto limitata, con valori di velocità delle correnti estremamente bassi, soprattutto in prossimità delle insenature delimitate dai moli, dove tendono a formarsi anche zone di ristagno.

Come anticipato, si sono condotte cinque simulazioni in corrispondenza dei cinque differenti layout di progetto. In tutti i casi si è partiti da una condizione di quiete fino al raggiungimento di uno stato quasi stazionario nell'ultimo giorno investigato.

Nel seguito si illustrano in dettaglio per ciascuna prova i risultati ottenuti, facendo riferimento alle circolazioni mediate sulla verticale. Avendo osservato una sostanziale invarianza dell'andamento delle correnti all'interno del porto nei diversi istanti temporali, eccetto che in corrispondenza dell'imboccatura, si presentano le circolazioni riprodotte dal modello in corrispondenza delle ore 12:00 del 4° giorno di simulazione.

4.1.3.1 LAYOUT 0

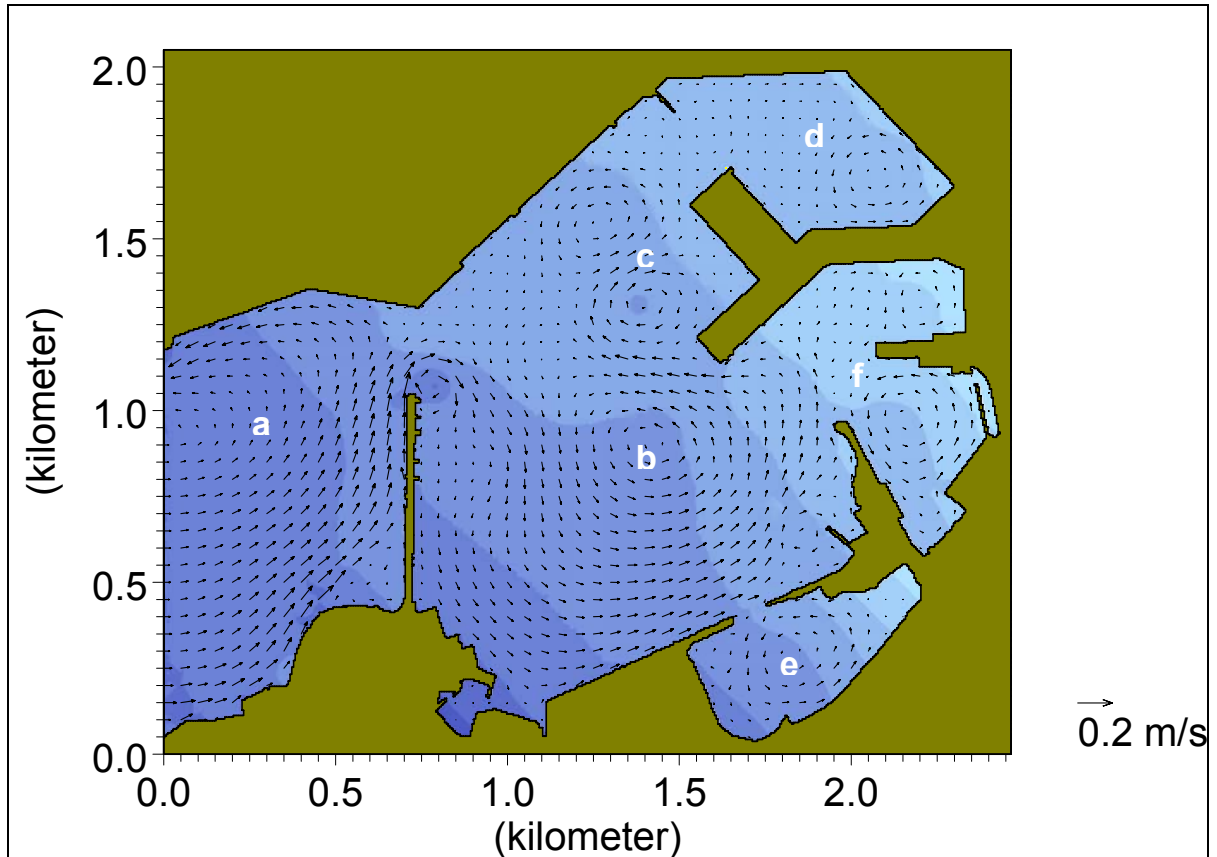


Figura 4.1.3.1.1 – Mappa orizzontale delle correnti – Layout 0 – Ore 12:00 del 4° giorno di run.

Nella situazione attuale, la circolazione è caratterizzata dalla presenza di un trend antiorario sia nella zona 'a' di ingresso al porto sia nella parte centrale 'b' del bacino. Due piccoli vortici opposti si instaurano nell'area 'c', mentre nell'insenatura 'd' si osservano velocità molto basse e un piccolo trend antiorario. Anche nelle parti più confinate 'e' ed 'f' si osservano due vortici antiorari.

4.1.3.2 LAYOUT 1

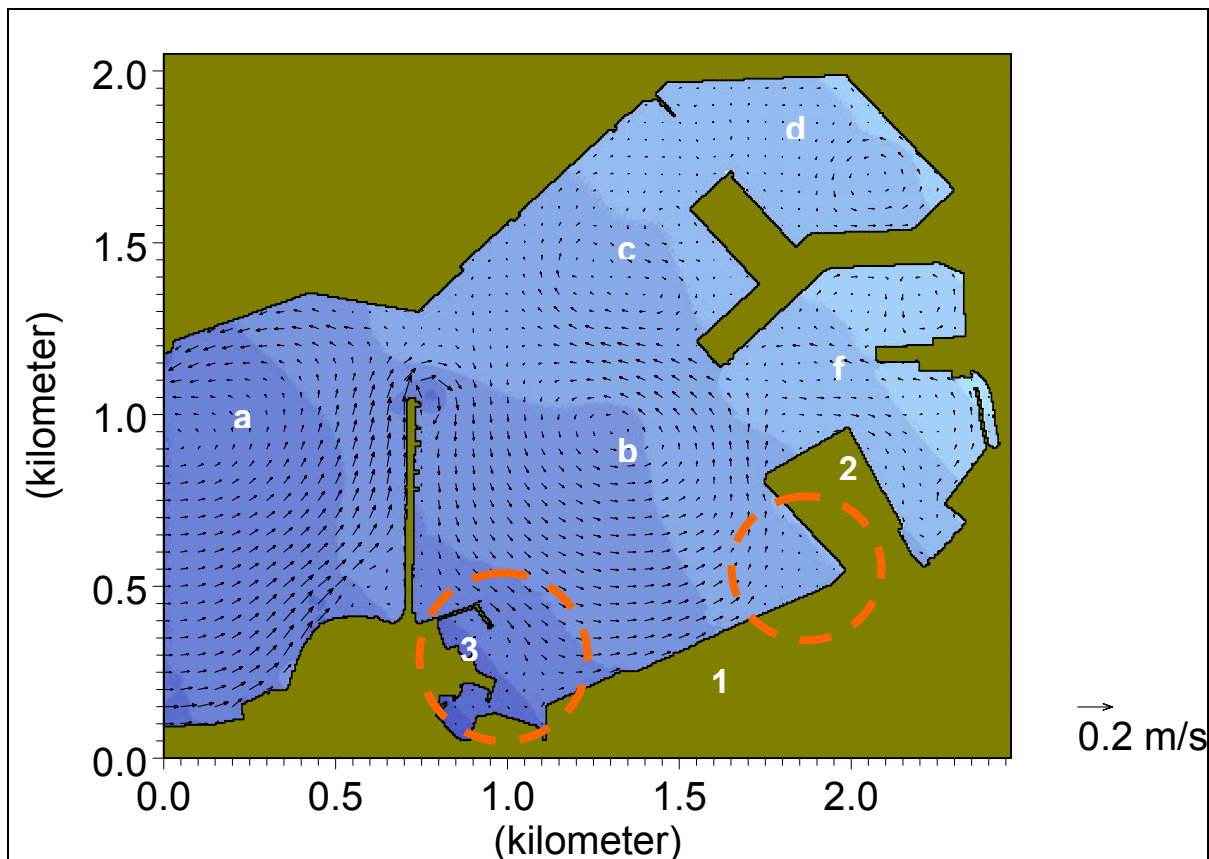


Figura 5.2.2.1 – Mappa orizzontale delle correnti – Layout 1 – Ore 12:00 del 4° giorno di run.

La situazione relativa al layout 1 evidenzia ancora la presenza dei due trend antiorari nella zona di ingresso 'a' e nella parte centrale 'b' del bacino. Nell'area 'c' permane il solo piccolo vortice antiorario, mentre nell'insenatura 'd' si conservano ancora valori molto bassi di corrente alimentati dal piccolo trend antiorario. Nell'area 'f' il trend antiorario si è indebolito rispetto alla simulazione relativa al layout 0. Si può notare che la colmata di Marisabella (1) e la realizzazione del nuovo molo Pizzoli (2) determinano un ristagno nella parte sopraflutto. Anche l'inserimento della nuova darsena (3) induce un ulteriore abbattimento dei valori di velocità, già molto ridotti.

4.1.3.3 LAYOUT 2.a

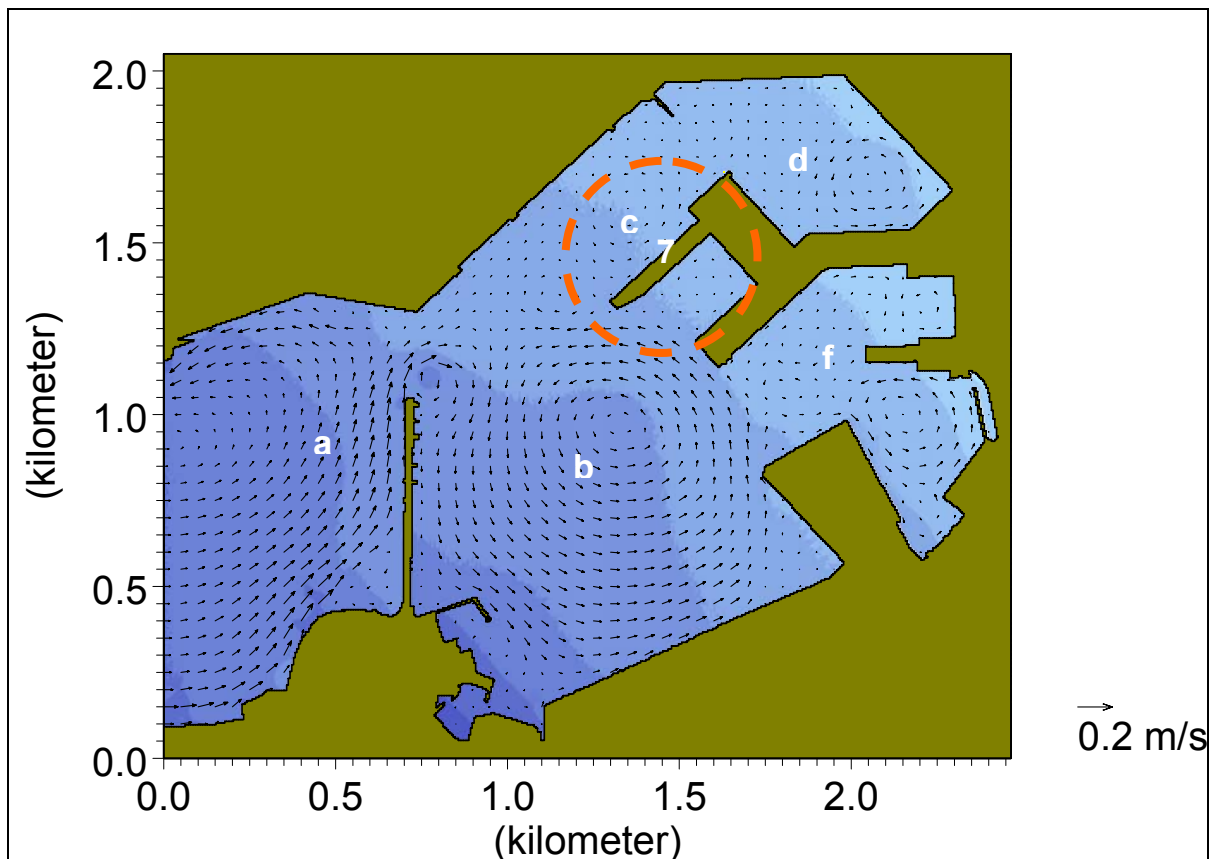


Figura 5.2.3.1 – Mappa orizzontale delle correnti – Layout 2 – Ore 12:00 del 4° giorno di run.

Rispetto al layout 1, la circolazione relativa alla configurazione layout 2 resta sostanzialmente invariata. L'unica differenza di rilievo si osserva nell'ulteriore indebolimento del flusso in corrispondenza dell'area 'c', per effetto della realizzazione del nuovo molo crocieristico (7). Nelle altre zone permangono le stesse strutture antiorarie già evidenti nei casi precedenti.

4.1.3.4 LAYOUT 3

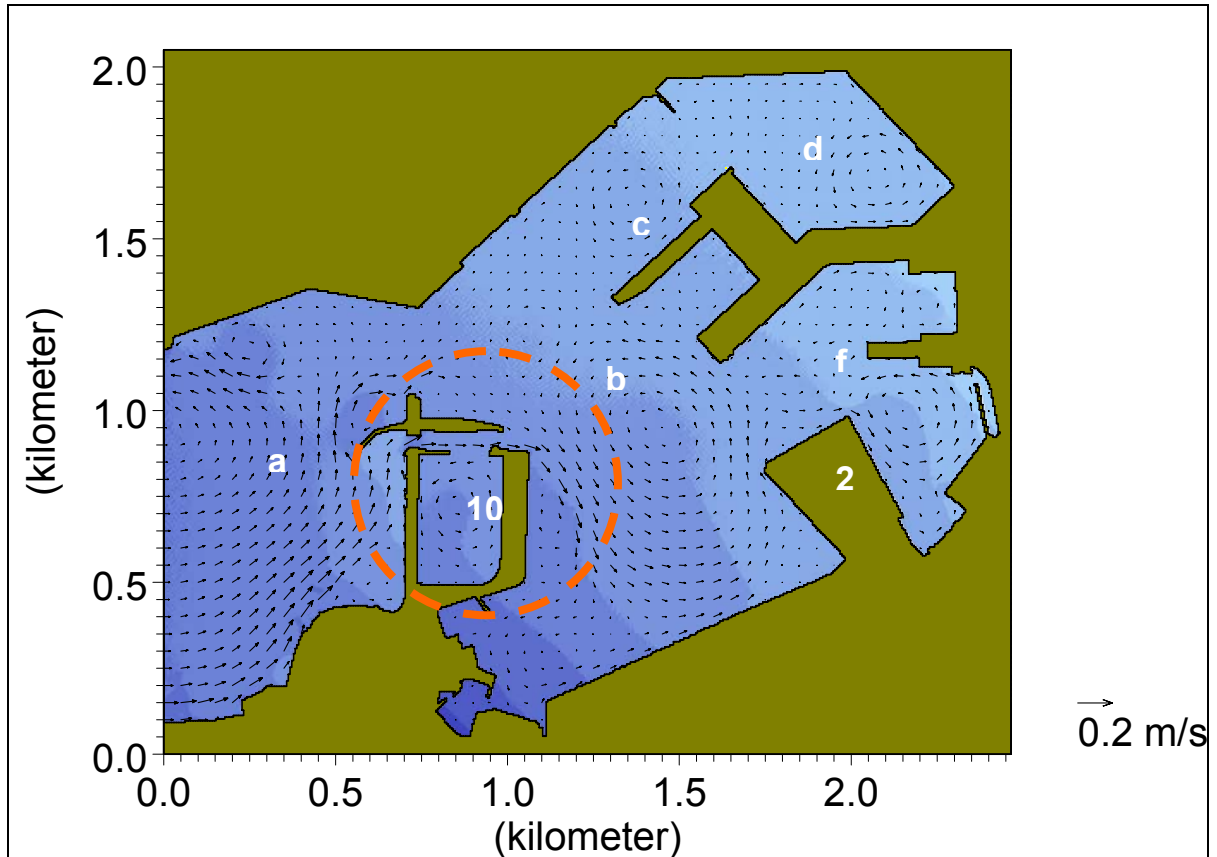


Figura 5.2.4.1 – Mappa orizzontale delle correnti – Layout 3 – Ore 12:00 del 4° giorno di run.

L'inserimento del porto turistico sul molo di san Cataldo (10) modifica parzialmente la circolazione nella parte 'b', ed infatti il vortice antiorario viene confinato verso il nuovo molo Pizzoli (2) dal getto che si forma in corrispondenza delle aperture del porto turistico.

Le zone di ristagno già evidenziate nelle simulazioni relative ai layout 1 e 2 nelle aree 'c', 'd' ed 'f' persistono anche nella attuale simulazione relativa al layout 3, mentre a sud del porto turistico si estende ulteriormente l'area caratterizzata da ridotti valori di velocità.

4.1.3.5 LAYOUT 2.b

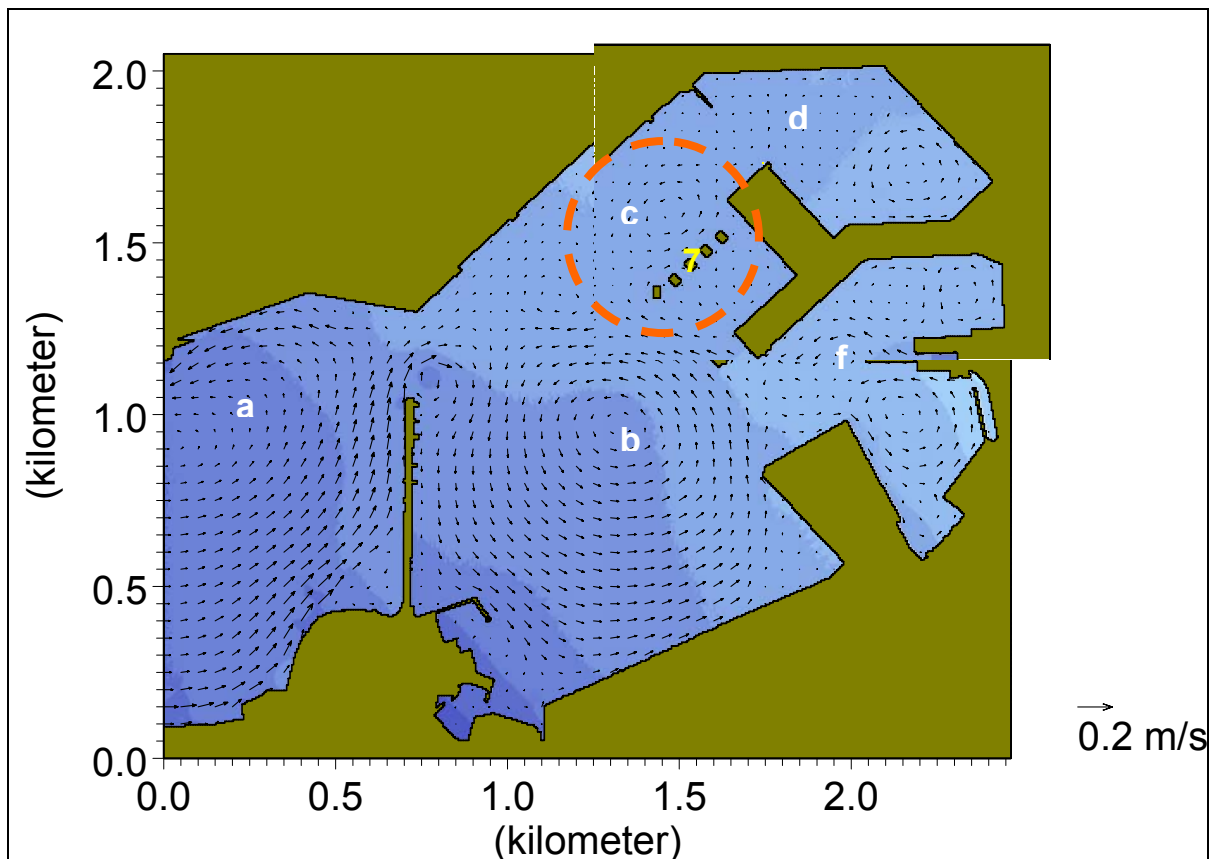


Figura 5.2.5.1 – Mappa orizzontale delle correnti – Layout 2b – Ore 12:00 del 4° giorno di run.

La simulazione relativa al layout 2.b, alternativo al layout 2.a per la differente realizzazione del molo crocieristico (7), non più pieno bensì con banchina a platea poggiata su piloni circolari, evidenzia praticamente le stesse strutture di circolazione già osservate nel caso già analizzato.

La presenza dei piloni non altera sostanzialmente la circolazione già esaminata in quanto non si osserva alcun intensificarsi di getti nelle luci tra i piloni stessi, proprio a causa delle velocità molto contenute in questa parte del dominio 'c'.

4.1.4 VALUTAZIONE DELL'INDICE DI VELOCITA'

La descrizione qualitativa degli andamenti idrodinamici all'interno del porto fatta nei paragrafi precedenti viene ora seguita da un'analisi quantitativa, mediante lo studio di un opportuno indice di velocità I . Per ciascuna prova condotta, e con riferimento allo stesso istante temporale già analizzato (ore 12:00), si definisce l'indice I nel modo seguente:

$$I = \frac{\text{velocità locale simulazione in esame}}{\text{velocità media simulazione L0}}$$

dove si adimensionalizza la velocità puntuale nel dominio mediante la velocità media della simulazione L0, pari a $V_{m0} = 0.021$ m/s.

In figura 4.1.4.1 si riporta l'andamento dell'indice I con riferimento alla configurazione attuale L0.

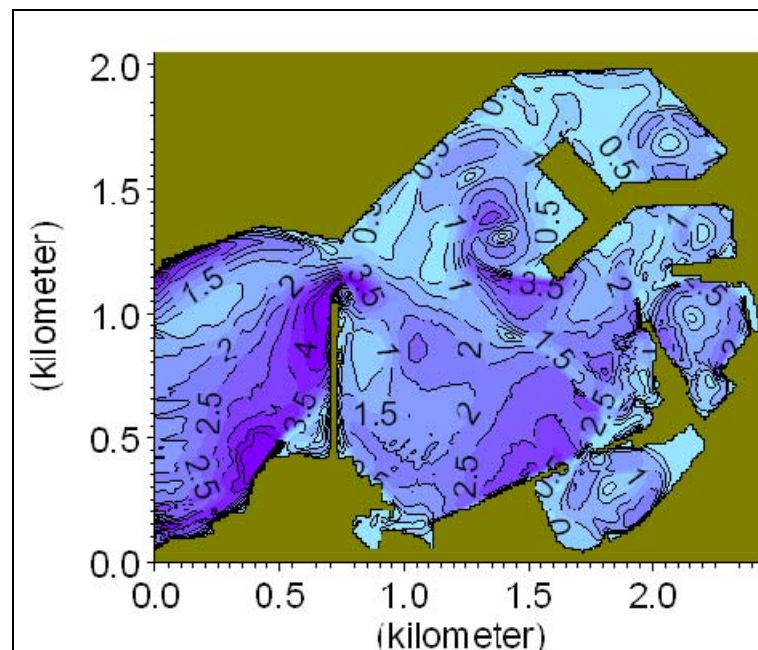


Figura 4.1.4.1 – Distribuzione orizzontale dell'indice I . Simulazione L0.

Nelle figure 4.1.4.2 ÷ 4.1.4.4 seguenti si riportano le analoghe distribuzioni orizzontali dell'indice I , ottenute rispettivamente per le simulazioni relative ai layout 1, 2 e 3. Si tralascia la simulazione relativa al layout 2.b in quanto l'andamento dell'indice per questa configurazione risulta praticamente analogo a quello della configurazione 2.

Confrontando la distribuzione di figura 4.1.4.2 con quella di figura 4.1.4.1 si evince una riduzione dei valori di I relativo al layout 1 rispetto ai valori ricavati nel caso del layout 0, in corrispondenza delle aree evidenziate. Nel caso della simulazione relativa alla configurazione 2 non si rileva una sostanziale variazione nell'andamento dell'indice (figura 4.1.4.3). In particolare si nota un'ulteriore riduzione di I nella parte centrale e verso la darsena di Ponente, rispetto al caso layout 0.

Confrontando la figura 4.1.4.4 con le precedenti, si nota un evidente incremento di I in corrispondenza del getto di ingresso attraverso il nuovo porto turistico, mentre nella restante parte del dominio interna al porto il valore dell'indice si riduce.

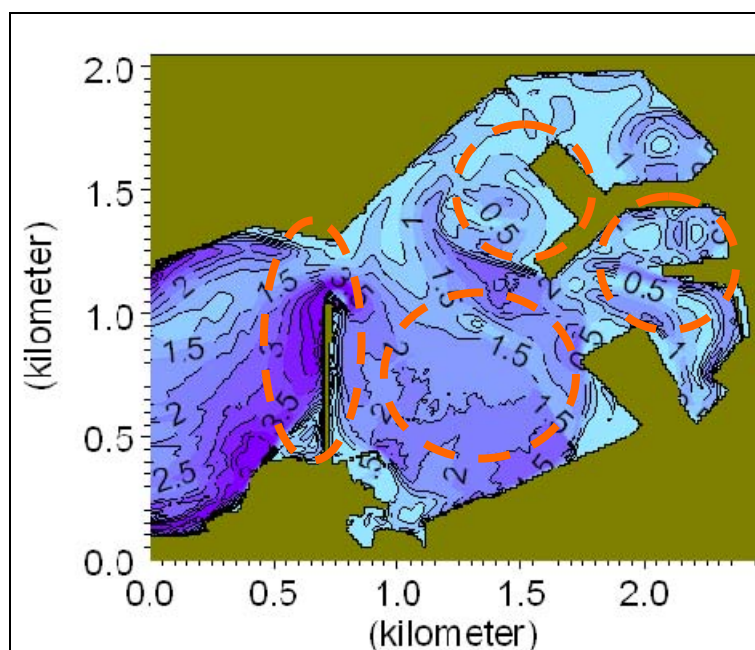


Figura 4.1.4.2 – Distribuzione orizzontale dell'indice I . Simulazione Layout 1.

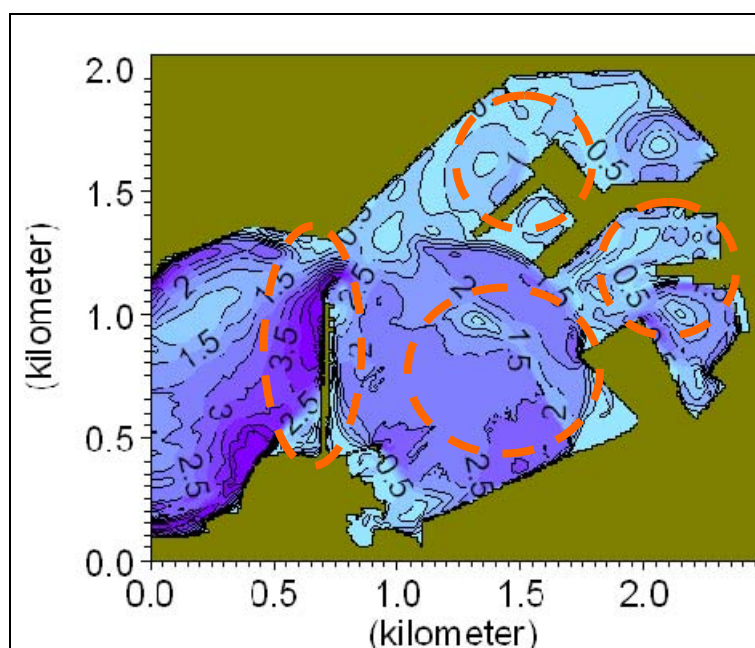


Figura 4.1.4.3 – Distribuzione orizzontale dell'indice I. Simulazione Layout 2.

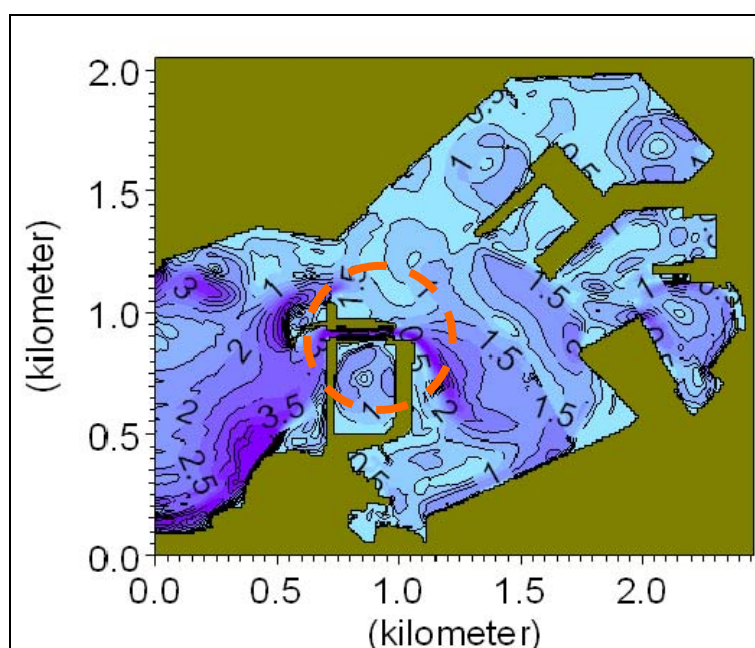


Figura 4.1.4.4 – Distribuzione orizzontale dell'indice I. Simulazione Layout 3.

Nel complesso può concludersi che tutti gli interventi programmati nelle soluzioni progettuali gradualmente tendono a ridurre l'intensità della circolazione all'interno del bacino. Permangono tuttavia dei trend piuttosto deboli che garantiscono un flusso idrodinamico, in particolare nella parte centrale del dominio e



Definizione del clima meteomarinario del paraggio del Porto di Bari e studio, con idonei modelli matematici, dell'agitazione ondosa e delle correnti di circolazione all'interno e all'esterno del bacino portuale, sia con l'attuale configurazione delle opere che con quelle in progetto e/o in programmazione



nell'area prossima all'imboccatura. Le parti confinate e più periferiche del porto risultano essere invece maggiormente a rischio di ristagno.

Il Responsabile Scientifico della Convenzione

(prof. ing. Antonio Felice Petrillo)

