



AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE
DEL MAR TIRRENO CENTRALE
NAPOLI · SALERNO · CASTELLAMMARE DI STABIA

AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE - PORTO DI NAPOLI

PROLUNGAMENTO DELLA DIGA DUCA D'AOSTA A PROTEZIONE DEL NUOVO TERMINAL CONTENITORI DI LEVANTE - I STRALCIO

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato :

Studio Meteomarino

Scala:

1 9 0 0 2 D R 0 0 4 0 1 M A R

Committente:



AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE
DEL MAR TIRRENO CENTRALE

Responsabile Unico del Procedimento:
Dott. Ing. Rosa PALMISANO

Mandataria



Via Monte Zebio, 40
00195 ROMA

Coordinamento di progetto
Dott. Ing. Marco TARTAGLINI

PROGETTISTI

Responsabile integrazione
prestazioni specialistiche
Prof. Ing. Alberto NOLI

Mandanti



Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Controllato:	Validato:
	15.10. 2019	1	REVISIONE	M. Castellino	P. Contini	M. Tartaglini
	05.06. 2019	0	EMISSIONE	M. Castellino	P. Contini	M. Tartaglini

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo disegno con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:



AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE
PORTO DI NAPOLI
PROLUNGAMENTO DIGA DUCA D'AOSTA A PROTEZIONE DEL NUOVO
TERMINAL CONTENITORI DI LEVANTE – I STRALCIO
PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO METEOMARINO

Indice

1. Premessa	3
2. Introduzione	3
3. Metodologia e dati base	5
4. Inquadramento geografico	9
5. Fetch geografico ed efficace	9
6. Regime dei venti al largo di Napoli sulla base dei dati DICCA	15
7. Analisi delle registrazioni ondometriche della boa di Ponza	19
8. Clima di moto ondoso al largo del porto di Napoli	21
8.1 Curva di durata	24
8.2 Correlazione altezza significativa periodo di picco	25
9. Statistica degli eventi estremi di moto ondoso al largo	26
9.1 Preparazione del campione	26
9.2 Individuazione del modello probabilistico per i dati selezionati	28
9.3 Statistica dei valori estremi	29
9.3.1 Settore di traversia principale	30
9.3.2 Settore di traversia secondario	31
10. Clima di moto ondoso sottocosta	32
10.1 Griglia di calcolo	32
10.2 Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo	33
10.3 Distribuzione degli eventi per classi di altezza d'onda e direzione	34

10.4 Curva di durata.....	37
10.5 Propagazione nel punto sottocosta P0.....	38
11. Analisi delle variazioni del livello del mare	42
11.1 Premessa e metodologia seguita	42
11.2 Serie storica dei livelli misurata dalla stazione RMN di Napoli	42
11.3 Marea astronomica ed analisi armonica dei livelli misurati.....	43
11.4 Analisi del residuo (componente meteorologica).....	45

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

1. Premessa

Con Bando di Gara del 21 marzo 2018, l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale ha dato avvio ad una procedura aperta ex art. 60, D.Lgs 50/2016 (delibera A.P. 71/18 del 5 marzo 2018) per l'affidamento dei servizi tecnici di architettura e ingegneria per la progettazione definitiva ed esecutiva, il coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, la direzione dei lavori, il coordinamento della sicurezza in fase esecutiva, oltre a prestazioni integrative, inerenti ai lavori del "Prolungamento della diga Duca d'Aosta a protezione del nuovo terminal contenitori di levante – I stralcio". CUP: I61H12000220006, CIG: 74271749DE.

Il raggruppamento temporaneo costituito fra MODIMAR s.r.l. (mandataria) e VDP s.r.l., VAMS Ingegneria s.r.l., React Studio s.r.l., G.I.A. Consulting s.r.l., S.I.S.P.I. s.r.l., Install s.r.l. (mandanti) – RT Modimar nel prosieguo - è risultato aggiudicatario del servizio, giusta delibera n. 412/18 del Presidente dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale del 21 dicembre 2018 e successiva integrazione del 4 aprile 2019. La presente relazione è parte del Progetto Definitivo.

2. Introduzione

La presente relazione descrive i risultati dello studio meteomarinario condotto nell'ambito del progetto definitivo del *Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante - I° Stralcio*.

L'obiettivo dello studio è la definizione: (i) delle forzanti meteomarine (moto ondoso) necessarie per effettuare le verifiche idraulico-strutturali delle opere in progetto, (ii) delle onde di modellazione per le considerazioni in merito all'evoluzione dei fondali e della spiaggia di Vigliena, (iii) del regime dei venti e (iv) delle variazioni dei livelli (marea astronomica e metereologica).

Lo studio ha pertanto riguardato i seguenti aspetti:

- inquadramento geografico del paraggio e definizione del settore di traversia che lo contraddistingue;
- determinazione dell'area di generazione efficace per il moto ondoso;

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

- definizione delle caratteristiche di moto ondoso, a largo e in prossimità del sito in esame per mezzo di idonea modellistica numerica per l'analisi quantitativa del regime di moto ondoso;
- valutazione, su base statistica, della legge di distribuzione dei valori estremi di moto ondoso al largo in modo da poter definire l'evento di progetto associato ad un determinato tempo di ritorno;
- definizione del clima anemometrico al largo ed in costa;
- definizione del regime dei livelli ed analisi degli estremi congiunti moto ondoso-livelli.

Il presente Studio Meteomarinario definisce le grandezze di progetto in modo definitivo.

Tuttavia esso costituisce riferimento per definizione in costante aggiornamento, in generale per la valenza statistica dello scorrere del tempo, da intendersi come possibilità di ottenere una sempre più lunga serie di dati.

Non solo, nello specifico caso sono in corso di acquisizione i dati della boa ondometrica presente in prossimità del Porto di Napoli (dell'Università della Campania) ed al contempo è in corso di progetto l'installazione di una nuova boa ondometrica. Il prezioso insieme di dati che ne scaturirà sarà la base su cui emettere un successivo aggiornamento dello Studio stesso.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

3. Metodologia e dati base

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso al largo di Napoli sono state prese in esame le fonti di dati maggiormente attendibili e attualmente disponibili:

- dati di moto ondoso ricostruiti in ri-analisi (hindcasting) tra il 1979 e il 2018 per l'intero bacino del mediterraneo dal MetOcean Group del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova ("**dati del DICCA**" nel prosieguo) con il modello di generazione e propagazione del moto ondoso WaveWatch III, con una risoluzione spaziale pari a 0.1° ed una risoluzione temporale pari a 1 ora; tale database, allo stato attuale, è unico nel suo genere data la grande accuratezza spaziale delle serie storiche di moto ondoso ricostruite e l'arco temporale delle stesse serie storiche che risulta essere pari a 39 anni;
- registrazioni ondometriche direzionali (da luglio 1989 a giugno 2005) effettuate dalla boa posta al largo di Ponza con cadenza trioraria appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale gestita dall' Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale ("**ISPRA**" nel prosieguo, già A.P.A.T.).

La seguente tabella 1 riassume quanto sopra riportato.

Rif.	Fonte dati	Descrizione	Posizione	Periodo
2	DICCA 39-Year Wave Hindcast	Dati di vento e di moto ondoso ricostruiti con il modello di generazione e propagazione WWIII al largo di Napoli	40.71° N 14.21° E	1979 2018
1	Rete Ondometrica Nazionale (RON). Boa di Ponza	Dati di moto ondoso misurati dalla boa ondometrica di Ponza (RON 1.0-2.0)	40.86°N 12.85°E	1989 2007

Tabella 1 – Fonti considerate per lo studio meteomarinario

In Figura 1 è riportata l'ubicazione del punto 3561 di cui alla serie di dati del DICCA sopra descritta. La figura mette in evidenza il punto scelto assieme ai diversi punti limitrofi di discretizzazione spaziale per i quali sono fornite le serie storiche ricostruite. Il punto 3561 è stato scelto per la sua posizione ottimale e la sua rappresentatività delle condizioni "al largo" del Golfo di Napoli.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019				
		19	002	DR	004	01

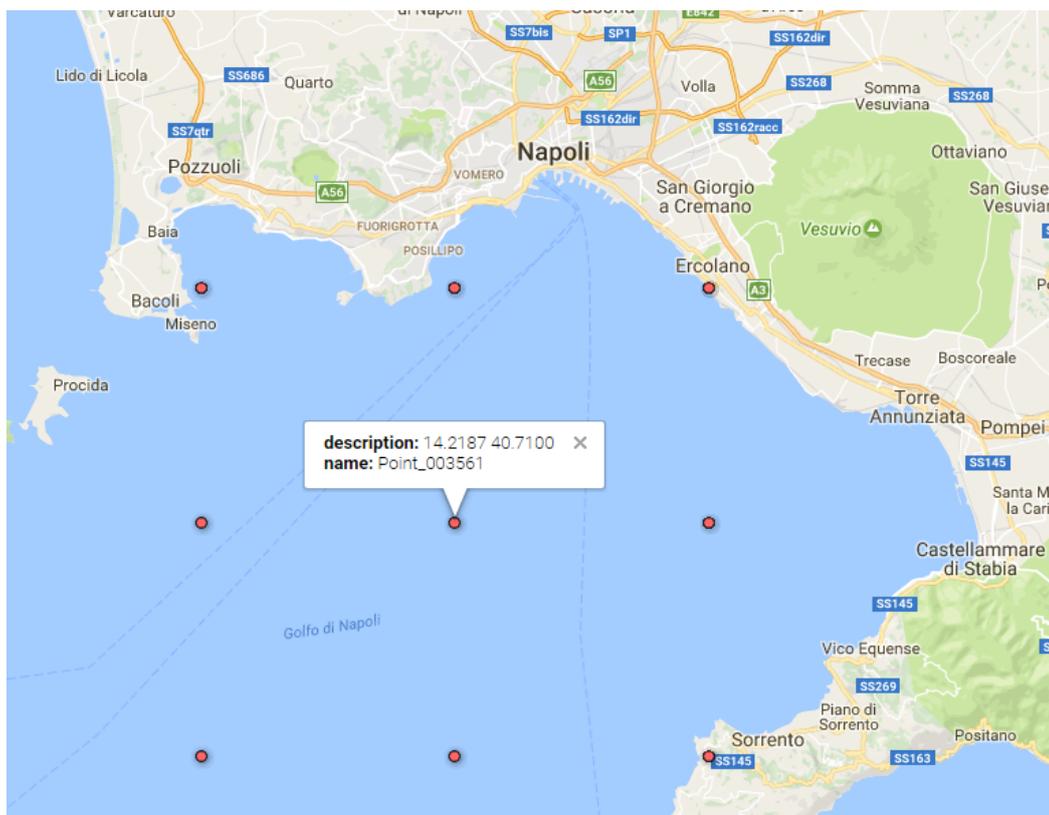


Figura 1 – Punto della rete MeteOcean dal DICCA, Università di Genova.

In Figura 2 è riportata la localizzazione della stazione ondametrica di Ponza e del punto di ricostruzione DICCA considerati nel presente studio.

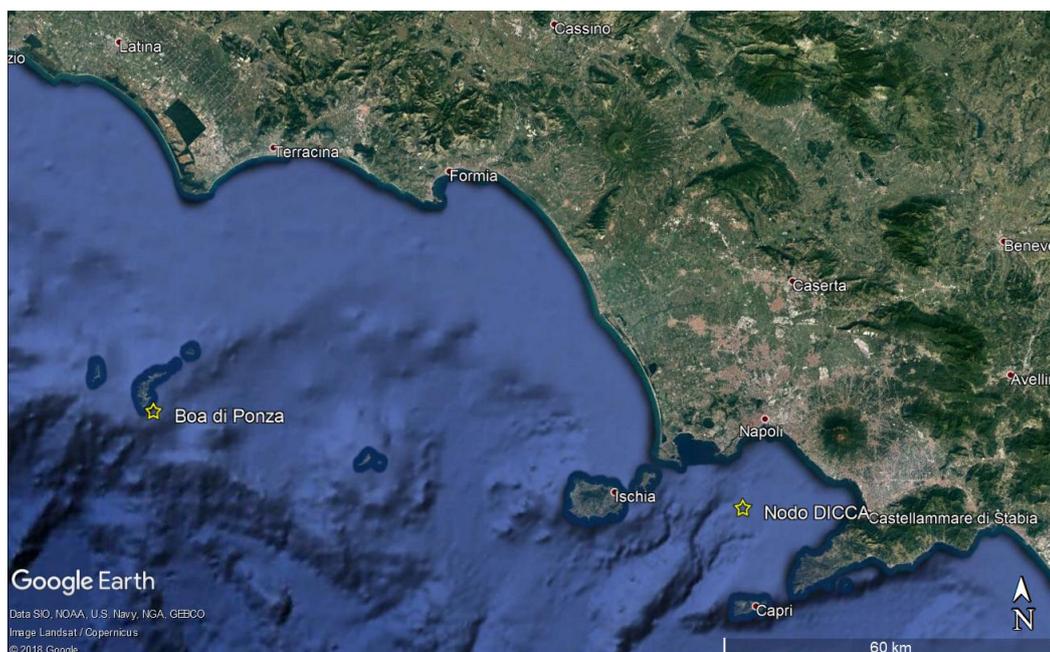


Figura 2 – Localizzazione della stazione ondametrica RON di Ponza e del punto di ricostruzione DICCA.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarino. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

Precedentemente alla disponibilità dei dati del DICCA, la boa di Ponza è stata sovente utilizzata per valutare le condizioni di moto ondoso in diversi paraggi della zona costiera del Tirreno Centrale e Meridionale, utilizzando modelli concettuali di trasposizione, stimolati dalla necessità di calibrare i modelli di previsione del moto ondoso in zone con fetch molto diversi ma omogenei dal punto di vista meteorologico. Tuttavia, la brevità della serie storica e il rendimento non elevato della stazione hanno sempre costituito una limitazione concettuale per la ricostruzione statistica delle serie trasposte, specialmente degli eventi estremi (vedi descrizione dello stato di mare a Ponza riportata nel paragrafo 7).

Si è ritenuto pertanto più rappresentativo il clima di moto ondoso ricostruito al largo del paraggio in base alla serie storica del DICCA nel punto di coordinate 40.71°N - 14.2187°E, poiché consente di disporre di una serie di dati di moto ondoso avente 39 anni di durata con un rendimento sostanzialmente costante e non affetto dalle metodiche di trasposizione, che seppur consolidate non possono preferirsi ai dati “locali”.

Si è quindi proceduto alla valutazione del regime di moto ondoso al largo del Porto di Napoli ed alla valutazione della legge di distribuzione dei valori estremi di moto ondoso sulla base dell’analisi statistica delle altezze d’onda al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica del DICCA, in funzione dei settori di traversia che caratterizzano il paraggio, applicando la metodologia proposta da Goda (1988).

Si mette in evidenza che la serie storica così ricostruita sarà comunque oggetto di opportuna validazione con i dati ondametrici *nel* golfo di Napoli che sono in corso di acquisizione (dati della boa ondametrica dell’Università degli Studi della Campania), appena questi ultimi saranno disponibili. Il confronto sarà poi incluso in un opportuno aggiornamento del presente Studio Meteomarino. Contestualmente al fine di rendere ancora più solida la calibrazione dei dati del DICCA, si procederà a confrontare i dati della boa di Ponza con il punto della serie DICCA più prossimo alla posizione della boa di Ponza.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

Per l'analisi dei livelli di marea astronomica e meteorologica si è fatto riferimento alla stazione idrometrica ubicata nel Porto di Napoli della Rete Mareografica Nazionale dell'ISPRA, la cui ubicazione nel porto è riportata nella seguente

Figura 3.

La serie di dati disponibili copre il periodo da ottobre 2010 a novembre 2015.

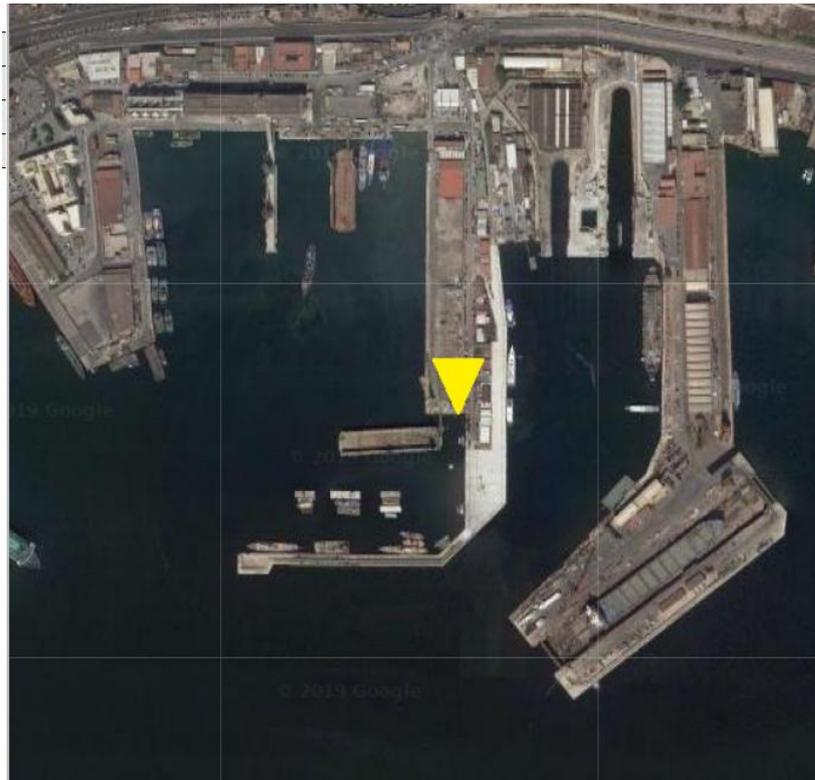


Figura 3 – Ubicazione del mareografo di Napoli dell'ISPRA all'interno del Porto di Napoli - presso il molo Carmine.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

4. Inquadramento geografico

Il porto di Napoli è ubicato nell'omonima baia, rappresentata in figura 3. Compreso tra il monte di Procida e la penisola sorrentina, risulta geograficamente esposto agli eventi meteomarinari (moto ondoso e vento) provenienti dal II° e III° quadrante.

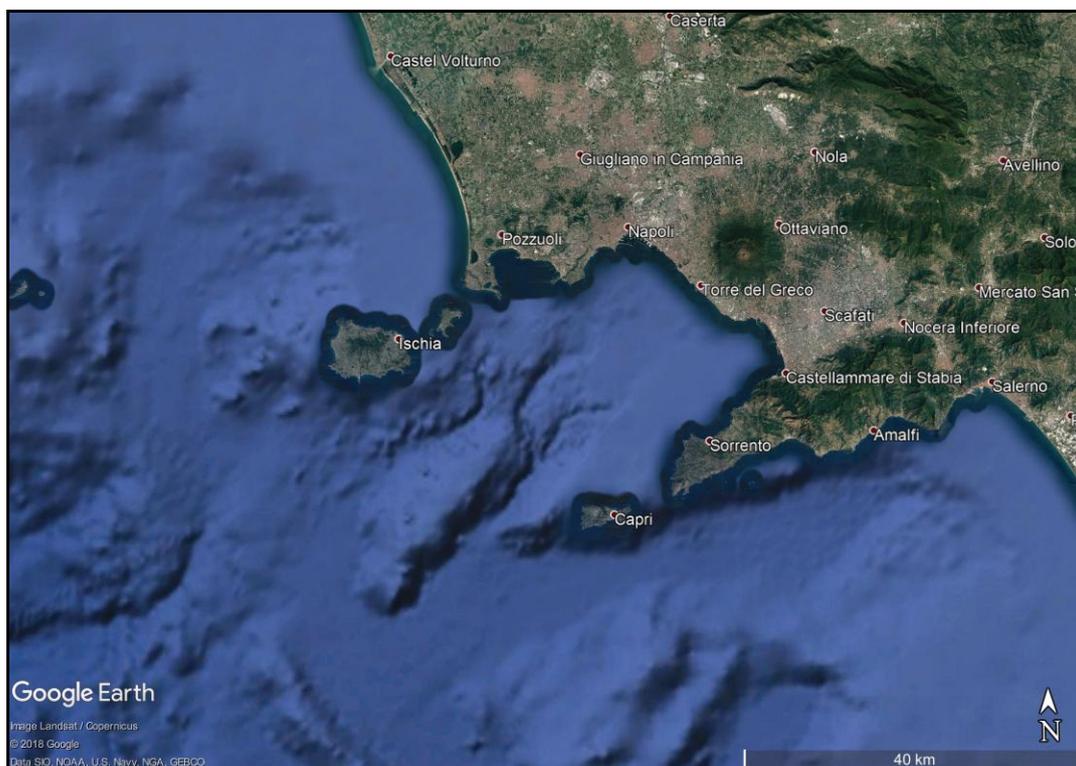


Figura 4 – Inquadramento geografico Baia di Napoli

5. Fetch geografico ed efficace

Una prima valutazione delle condizioni “potenziali” di esposizione al moto ondoso del sito in esame può essere effettuata sulla base dei settori di traversia geografica, rappresentativi dell'estensione della superficie marina che può contribuire alla generazione del moto ondoso (fetch).

In Figura 1 è mostrato il fetch geografico (tracciato con passo angolare di 1°) per il punto di coordinate 40.71°N, 14.2187°E, posizionato all'interno della baia di Napoli ad una distanza di circa 8 miglia nautiche dal porto di Napoli.

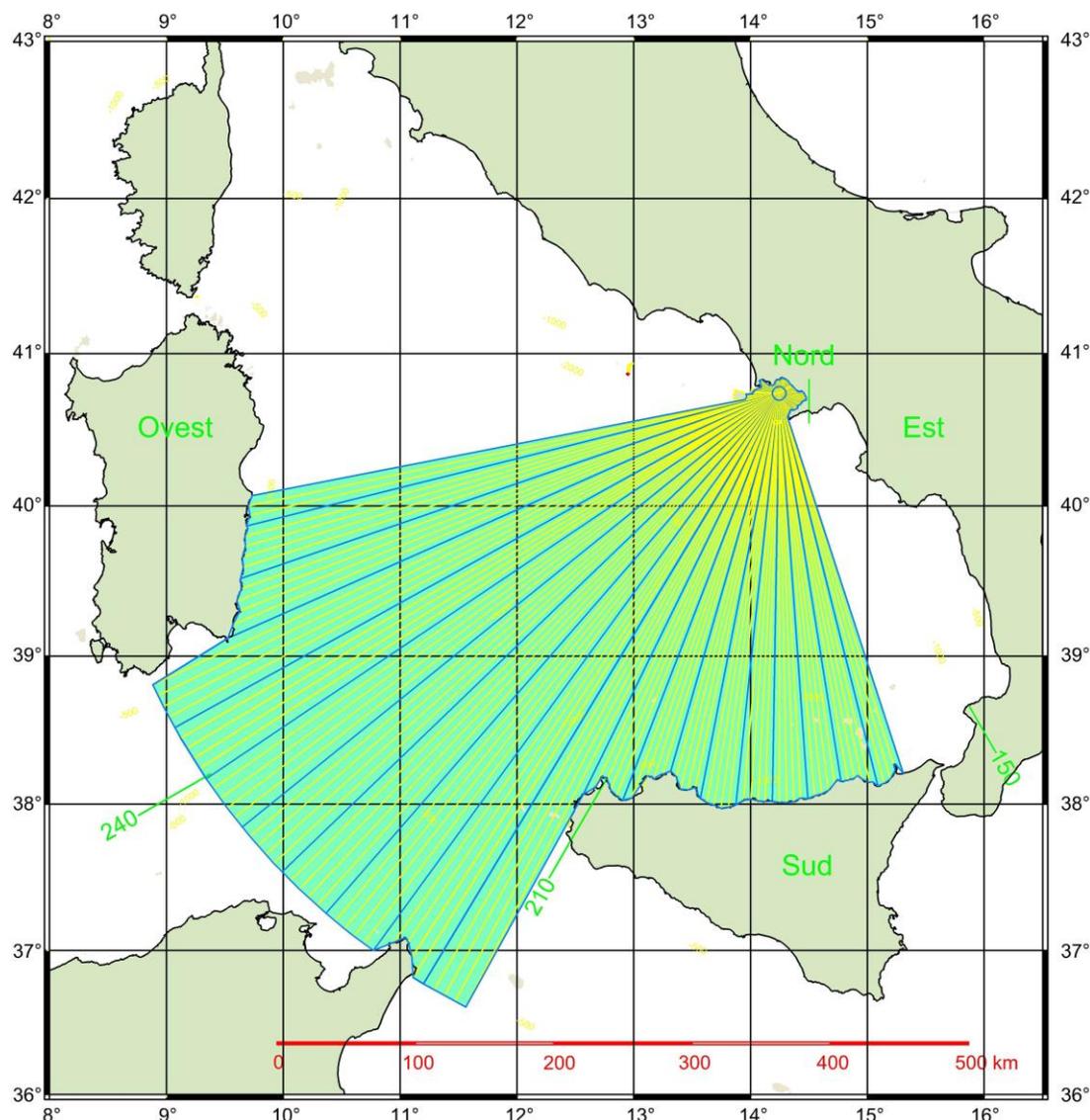


Figura 5 - Fetch geografici della Baia di Napoli.

Il paraggio risulta esposto al mare aperto per il settore di traversia compreso tra le direzioni 160°N e 259°N. Il fetch geografico a Sud (160°N e 206°N) risulta limitato dalla costa tirrenica della Sicilia settentrionale, con un'estensione di circa 300 km. Tra Ovest-SudOvest ed Ovest il fetch è delimitato dalla costa orientale della Sardegna con un'estensione di circa 400 km.

All'interno del settore compreso tra 210°N e 250°N il fetch risulta non limitato geograficamente, pertanto la sua estensione è stata limitata a 500 km, in considerazione della massima estensione che hanno le perturbazioni cicloniche che usualmente si generano nel bacino del Mar Mediterraneo.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

Il fetch efficace è la porzione di mare sulla quale si esplica “effettivamente” l’azione del vento responsabile della generazione del moto ondoso. Esso è funzione dei valori dei fetch geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i fetch efficaci tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso oltre alla superficie marina individuata nella direzione media ϕ_w lungo la quale spirava il vento contribuiscono anche le porzioni di mare dalle direzioni comprese in un settore di $\pm\theta$ rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei fetch efficaci risulta essere diversa da quella dei fetch geografici.

Il calcolo dei fetch efficaci può essere effettuato in base alla seguente relazione:

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

nella quale i simboli che compaiono rappresentano i seguenti parametri:

$F_{e,w}$: lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w ;

F_i : lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima ϕ_i ;

ϕ_w : direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso;

$\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$ direzione i-esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di 2θ considerato nell’intorno della direzione ϕ_w ;

θ ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta = \pm 45^\circ$ mentre quello di Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta = \pm 90^\circ$);

n termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume $n = 4$).

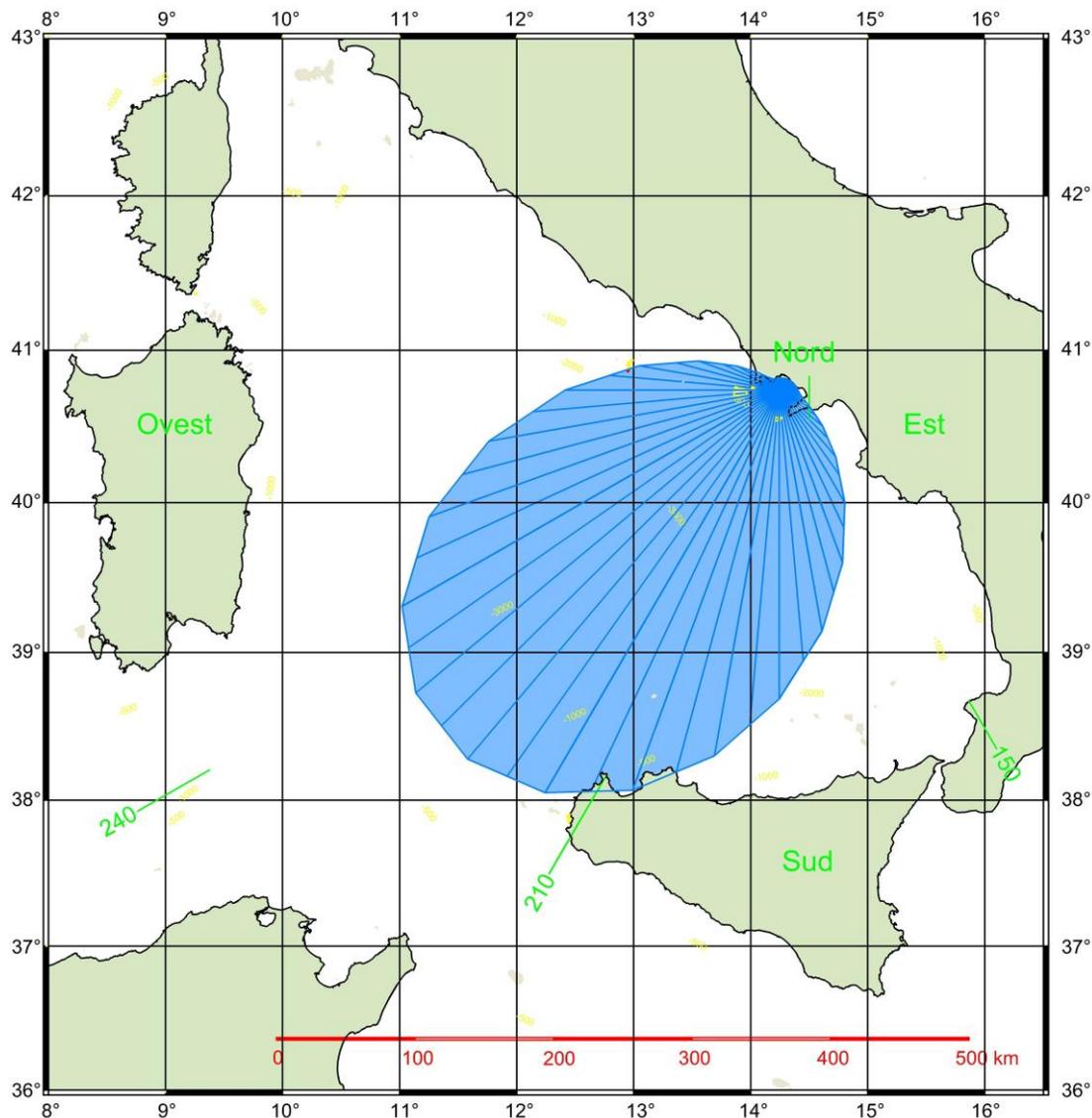


Figura 6 – Fetch efficaci della Baia di Napoli.

L'espressione di $F_{e,w}$ deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretshneider, 1947) e dai successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, Smith 1991). Il calcolo del fetch efficace è stato eseguito utilizzando l'applicativo ENIF (sviluppato dalla Modimar s.r.l.), che risolve la precedente equazione.

I risultati dell'elaborazione sono riportati graficamente nel diagramma polare di Figura 6. La Figura 7 mostra il confronto fra i fetch geografici e quelli efficaci, mentre la Figura 8 mostra l'andamento della direzione del vento e quella del moto ondoso da esso generato, in valore assoluto e differenziale. L'esame della Figura 7 e della Figura 8 mostra che gli eventi di vento di compresi fra 120° e 170° così come gli eventi fra 270° e

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

300° Nord abbiano potenziale di generare moto ondoso pur se significativamente schermati geograficamente, ricevendo energia dalle direzioni contigue: la significativa maggiore deviazione angolare vento-moto ondoso di figura 7 per tali intervalli lo conferma. Di contro la dispersione energetica direzionale su ampi fetch geografici, così come previsto dai citati autori, attenua gli eventi con direzione del vento compresa fra 170° e 270°.

In Tabella 2 sono riportati comparativamente i valori dell'estensione dei fetch geografici ed efficaci di cui alle figure precedenti, in funzione della direzione. Le colonne evidenziate con la scala dei blu fanno riferimento al fetch geografico. La massima estensione di questo appartiene all'intervallo 200°N - 250°N (pari a circa 500 km). Le colonne evidenziate dalla scala di rosa fanno riferimento al calcolo del fetch efficace. La massima estensione è relativa all'intervallo 210°N - 230°N (attorno a circa 330 Km). L'applicazione del modello numerico ha consentito inoltre di definire la legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione del moto ondoso generato.

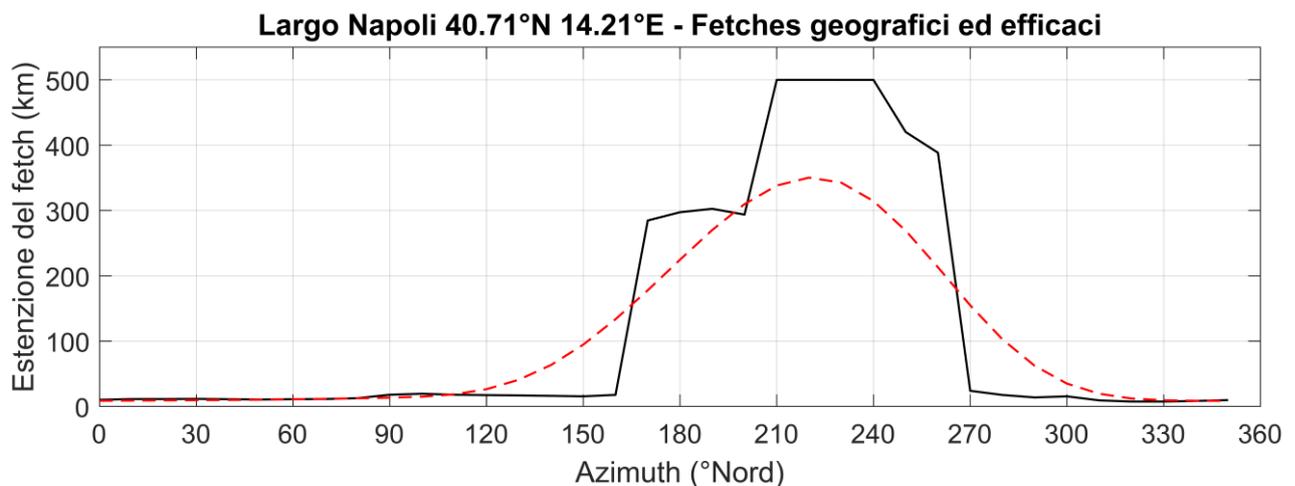


Figura 7 – confronto fra Fetch geografici (linea nera continua) ed efficaci (linea rossa tratteggiata).

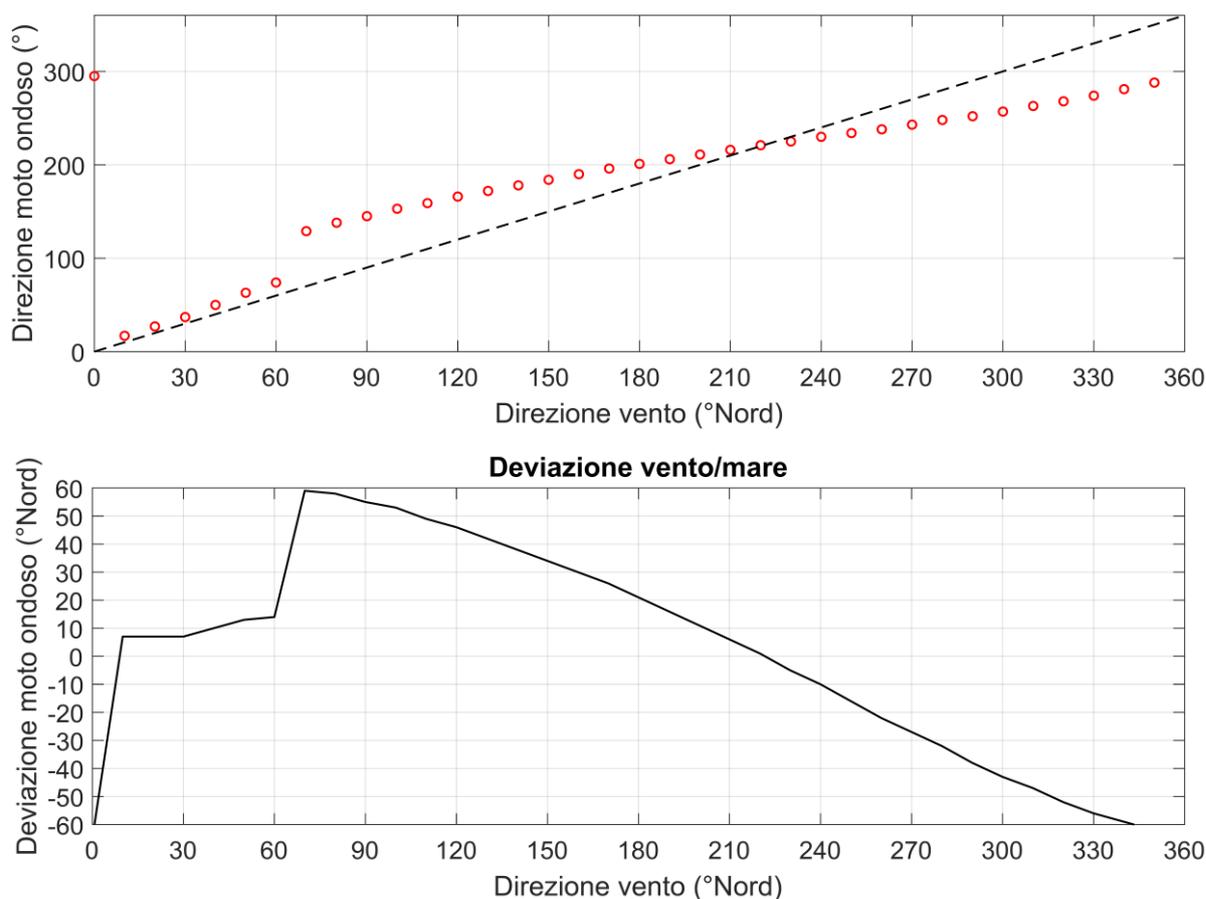


Figura 8 – Deviazione fra direzione del vento (linea nera tratteggiata) e direzione del moto ondoso generato (simboli circolari rossi vuoti).

Azimuth	Fetch Geografico	Fetch Efficace	Deviazione vento/mare	Azimuth	Fetch Geografico	Fetch Efficace	Deviazione vento/mare
(°N)	(km)	(km)	(gradi)	(°N)	(km)	(km)	(gradi)
0	8.7	-65.0	10.2	180	297.3	224.6	21.0
10	8.9	7.0	11.3	190	302.6	270.1	16.0
20	9.3	7.0	11.3	200	293.6	309.7	11.0
30	9.6	7.0	11.5	210	500.0	338.2	6.0
40	9.9	10.0	11.1	220	500.0	350.3	1.0
50	10.3	13.0	10.6	230	500.0	342.6	-5.0
60	10.9	14.0	11.1	240	500.0	314.5	-10.0
70	11.6	59.0	11.3	250	420.1	269.1	-16.0
80	12.5	58.0	12.6	260	388.4	213.0	-22.0
90	13.4	55.0	17.9	270	23.9	154.8	-27.0
100	15.0	53.0	19.5	280	17.6	102.7	-32.0
110	18.6	49.0	17.9	290	13.8	62.2	-38.0
120	26.4	46.0	17.3	300	15.4	35.0	-43.0
130	40.8	42.0	16.8	310	9.3	19.4	-47.0
140	63.4	38.0	16.2	320	7.5	12.2	-52.0
150	94.6	34.0	15.4	330	7.5	9.5	-56.0
160	133.5	30.0	17.7	340	8.4	8.7	-59.0
170	177.8	26.0	284.7	350	9.7	8.5	-62.0

Tabella 2 – Fetch geografici, efficaci e deviazione direzione vento/mare al largo di Napoli nel punto di coordinate 40.71°N - 14.2187°E.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

6. Regime dei venti al largo di Napoli sulla base dei dati DICCA

Per la definizione del regime dei venti che caratterizzano il golfo ed il porto di Napoli sono stati presi in considerazione i dati di vento orari, alla quota +10 m sul l.m.m., ricostruiti al largo di Napoli dal DICCA i quali coprono il periodo storico 1979-2018.

La serie storica dei dati di vento del DICCA ricostruita al largo di Napoli è stata suddivisa per classi di direzione e velocità del vento (Tabella 3). In termini di frequenza di accadimento (Tabella 4) i venti regnanti (più frequenti) provengono dai settori di libeccio (210°N – 240°N) e da levante (75°N – 105°N) con una frequenza complessiva rispettivamente pari a 19.37% e 16.82%.

Le calme (stati di vento con velocità inferiore a 2 m/s) di scarso interesse ai fini della generazione del moto ondoso, si verificano con frequenza pari al 12.47%.

I venti dominanti (più intensi), con velocità del vento superiore a 16 m/s, si verificano in media poche ore all'anno e provengono prevalentemente dal settore di Libeccio. In misura minore si possono verificare venti intensi dai settori di Ponente.

L'esame della distribuzione stagionale dei venti (Figura 8) rivela una congruenza tra il regime dei venti estivi ed invernali, contraddistinti da una marcata prevalenza di venti da Libeccio con velocità generalmente inferiore a 10m/s.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

Direzione di provenienza °N	Classi di velocità del vento(m/s)												Tot
	calm	1.00 2.00	2.00 4.00	4.00 6.00	6.00 8.00	8.00 10.00	10.00 12.00	12.00 14.00	14.00 16.00	16.00 18.00	18.00 20.00	>20	
0	835	1342	3644	2379	1431	929	473	234	98	13	1	0	11379
15	414	1293	3678	2208	1443	899	544	230	85	27	8	3	10832
30	430	1302	3624	2391	1596	1006	654	323	130	46	14	2	11518
45	456	1279	4198	2980	1755	1133	815	375	135	38	12	1	13177
60	464	1371	4652	4079	2430	1319	820	480	183	56	16	2	15872
75	406	1376	4518	5218	3733	1831	1219	673	272	97	21	6	19370
90	459	1350	4511	5579	4801	2471	1320	665	217	66	11	7	21457
105	435	1324	3974	4856	4097	1985	927	382	170	46	12	6	18214
120	438	1254	3604	3736	2929	1358	505	243	101	26	11	9	14214
135	407	1261	3065	2572	1690	521	207	118	37	13	5	2	9898
150	396	1206	2544	1664	901	343	192	76	19	4	1	0	7346
165	393	1227	2262	1441	800	523	383	122	35	4	1	0	7191
180	410	1224	2541	1560	1230	882	598	246	59	9	1	0	8760
195	426	1349	3169	2533	2348	1808	1183	629	283	112	56	12	13908
210	439	1516	4125	4426	4658	3659	2556	1341	643	292	126	49	23830
225	445	1637	4738	5189	5258	4349	2633	1154	397	135	66	8	26009
240	453	1549	4401	4134	3572	2051	898	347	80	10	14	6	17515
255	426	1488	3575	2772	1479	738	280	120	29	6	2	0	10915
270	472	1487	3399	2475	1546	736	376	134	47	17	0	0	10689
285	431	1451	3564	3242	2566	947	362	136	19	3	2	0	12723
300	447	1405	4233	4707	4141	2015	794	317	129	39	4	0	18231
315	461	1518	4896	5081	3829	2313	1407	683	263	101	28	13	20593
330	447	1350	4456	3603	2545	1421	810	372	100	28	11	6	15149
345	441	1365	3967	2574	1779	947	500	203	55	13	1	0	11845
N° di eventi	10831	32924	91338	81399	62557	36184	20456	9603	3586	1201	424	132	350635

Tabella 3 – Suddivisione dei dati di vento del DICCA ricostruiti al largo di Napoli (1979-2018)

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE		Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
	19	002	DR	004	01	MAR		

Direzione di provenienza °N	Classi di velocità del vento(m/s)												Tot	>= 2.00
	calm	1.00 2.00	2.00 4.00	4.00 6.00	6.00 8.00	8.00 10.00	10.00 12.00	12.00 14.00	14.00 16.00	16.00 18.00	18.00 20.00	>20		
0	0.238	0.383	1.039	0.678	0.408	0.265	0.135	0.067	0.028	0.004			3.245	2.624
15	0.118	0.369	1.049	0.630	0.412	0.256	0.155	0.066	0.024	0.008	0.002	0.001	3.089	2.602
30	0.123	0.371	1.034	0.682	0.455	0.287	0.187	0.092	0.037	0.013	0.004	0.001	3.285	2.791
45	0.130	0.365	1.197	0.850	0.501	0.323	0.232	0.107	0.039	0.011	0.003	0.000	3.758	3.263
60	0.132	0.391	1.327	1.163	0.693	0.376	0.234	0.137	0.052	0.016	0.005	0.001	4.527	4.003
75	0.116	0.392	1.289	1.488	1.065	0.522	0.348	0.192	0.078	0.028	0.006	0.002	5.524	5.016
90	0.131	0.385	1.287	1.591	1.369	0.705	0.376	0.190	0.062	0.019	0.003	0.002	6.119	5.604
105	0.124	0.378	1.133	1.385	1.168	0.566	0.264	0.109	0.048	0.013	0.003	0.002	5.195	4.693
120	0.125	0.358	1.028	1.065	0.835	0.387	0.144	0.069	0.029	0.007	0.003	0.003	4.054	3.571
135	0.116	0.360	0.874	0.734	0.482	0.149	0.059	0.034	0.011	0.004	0.001	0.001	2.823	2.347
150	0.113	0.344	0.726	0.475	0.257	0.098	0.055	0.022	0.005	0.001			2.095	1.638
165	0.112	0.350	0.645	0.411	0.228	0.149	0.109	0.035	0.010	0.001			2.051	1.589
180	0.117	0.349	0.725	0.445	0.351	0.252	0.171	0.070	0.017	0.003			2.498	2.032
195	0.121	0.385	0.904	0.722	0.670	0.516	0.337	0.179	0.081	0.032	0.016	0.003	3.967	3.460
210	0.125	0.432	1.176	1.262	1.328	1.044	0.729	0.382	0.183	0.083	0.036	0.014	6.796	6.239
225	0.127	0.467	1.351	1.480	1.500	1.240	0.751	0.329	0.113	0.039	0.019	0.002	7.418	6.824
240	0.129	0.442	1.255	1.179	1.019	0.585	0.256	0.099	0.023	0.003	0.004	0.002	4.995	4.424
255	0.121	0.424	1.020	0.791	0.422	0.210	0.080	0.034	0.008	0.002	0.001		3.113	2.567
270	0.135	0.424	0.969	0.706	0.441	0.210	0.107	0.038	0.013	0.005			3.048	2.490
285	0.123	0.414	1.016	0.925	0.732	0.270	0.103	0.039	0.005	0.001	0.001		3.629	3.092
300	0.127	0.401	1.207	1.342	1.181	0.575	0.226	0.090	0.037	0.011	0.001	0.000	5.199	4.671
315	0.131	0.433	1.396	1.449	1.092	0.660	0.401	0.195	0.075	0.029	0.008	0.004	5.873	5.309
330	0.127	0.385	1.271	1.028	0.726	0.405	0.231	0.106	0.029	0.008	0.003	0.002	4.320	3.808
345	0.126	0.389	1.131	0.734	0.507	0.270	0.143	0.058	0.016	0.004			3.378	2.863
Freq (%)	3.089	9.390	26.049	23.215	17.841	10.320	5.834	2.739	1.023	0.343	0.119	0.038	100	87.520
Freq cumulate		12.479	38.528	61.743	79.584	89.903	95.737	98.476	99.499	99.841	99.961	100		

Tabella 4 – Frequenza di accadimento dei venti ricostruiti al largo di Napoli dal DICCA (periodo 1979-2018)

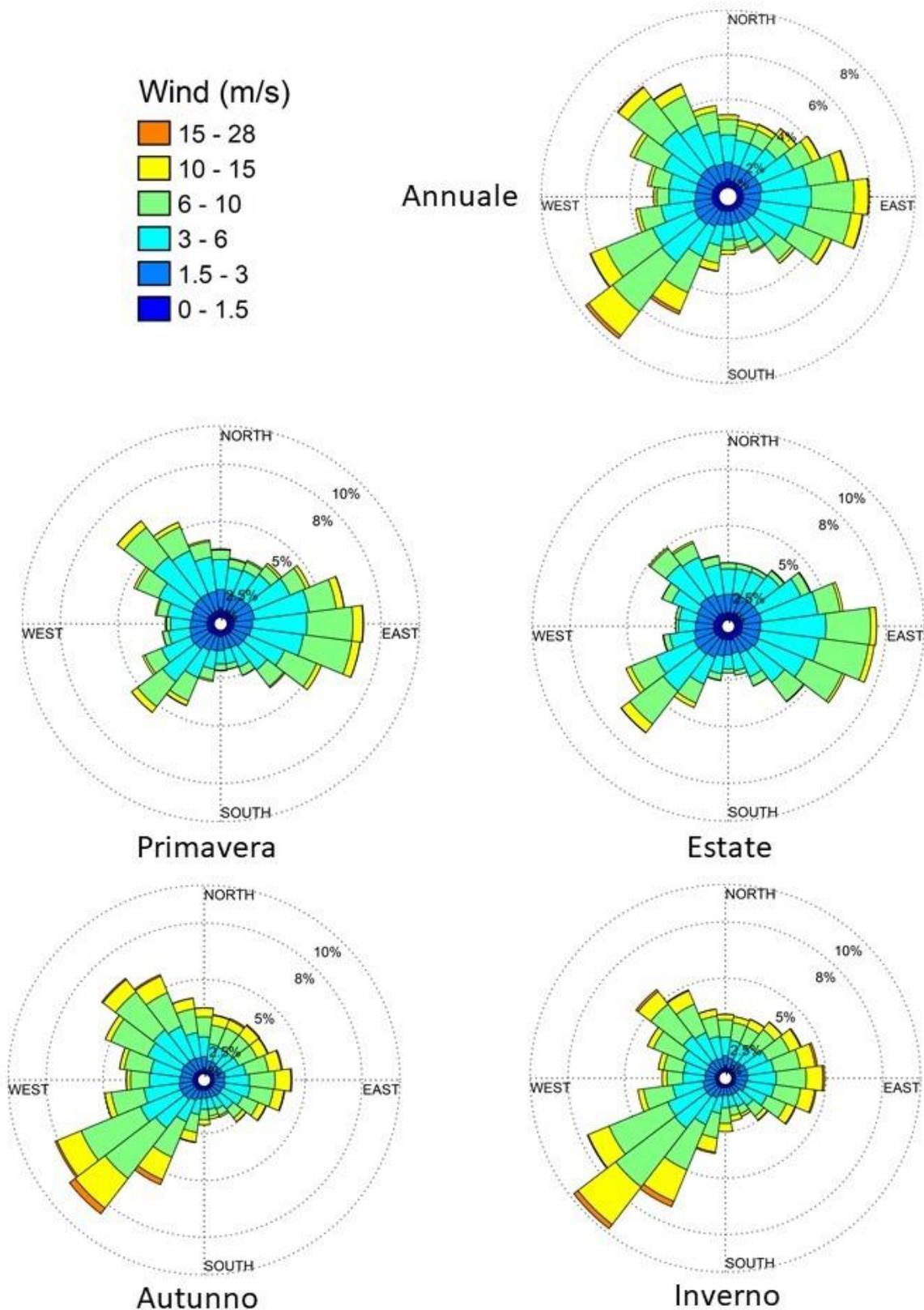


Figura 9 – Rose dei venti annuale (in alto a destra) e stagionali (riportate in basso) riferite al periodo 1979-2018.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

7. Analisi delle registrazioni ondamiche della boa di Ponza

La stazione ondometrica di Ponza appartenente alla RON (Rete Ondometrica Nazionale gestita dall'ISPRA) ha iniziato ad operare nel luglio 1989.

Tra il 1989 ed il 2002 (RON 1.0) ha operato una boa a disco del tipo WAVEC della società olandese Datawell posizionata in corrispondenza delle coordinate 40.86°N, 12.95°E a Sud dell'Isola di Ponza su fondali di circa 100 m. Dal 2002, a seguito di un importante rinnovamento della rete di misura (RON 2.0), è stata adottata una boa ondometrica del tipo TRIAXYS, prodotta dalla società canadese AXYS, che ha operato fino a luglio del 2007.

Nel periodo indicato il rendimento complessivo dell'ondametro è risultato pari al 82.6%, ma come si evince dal rendimento annuale riportato in Figura 10, nel periodo 2005 – 2007 l'ondametro ha avuto diversi periodi di inattività con rendimenti molto bassi.

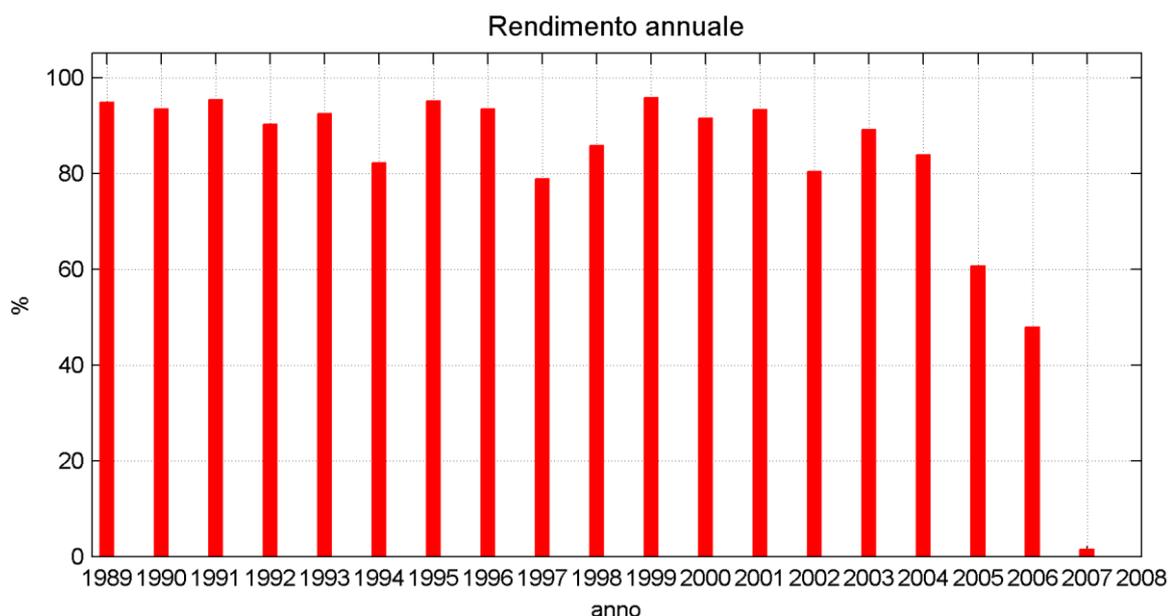


Figura 10 – Rendimento della boa ondometrica RON di Ponza – luglio 1989 – luglio 2007

A fine 2009 la rete ondometrica è stata rinnovata (RON 3.0) con l'adozione di boe meteo-ondamiche del tipo WatchKeeper, prodotte dalla società canadese AXYS. La boa di Ponza ha ripreso ad operare da fine dicembre 2009 fino ad agosto 2014 ma con un rendimento scarso e con ripetuti malfunzionamenti.

Pertanto nel presente studio sono state prese in considerazione le misure di moto ondoso (H_s , T_p , T_m , Dir) registrate con cadenza trioraria dalla boa di Ponza tra il luglio 1989 e giugno 2005.

In Figura 11 è rappresentata la distribuzione direzionale e la frequenza di accadimento degli stati di mare con $H_s > 0.5$ m registrati dall'ondametro.

Gli eventi di moto ondoso prevalenti provengono da Ponente e in misura minore da Libeccio e da Levante.

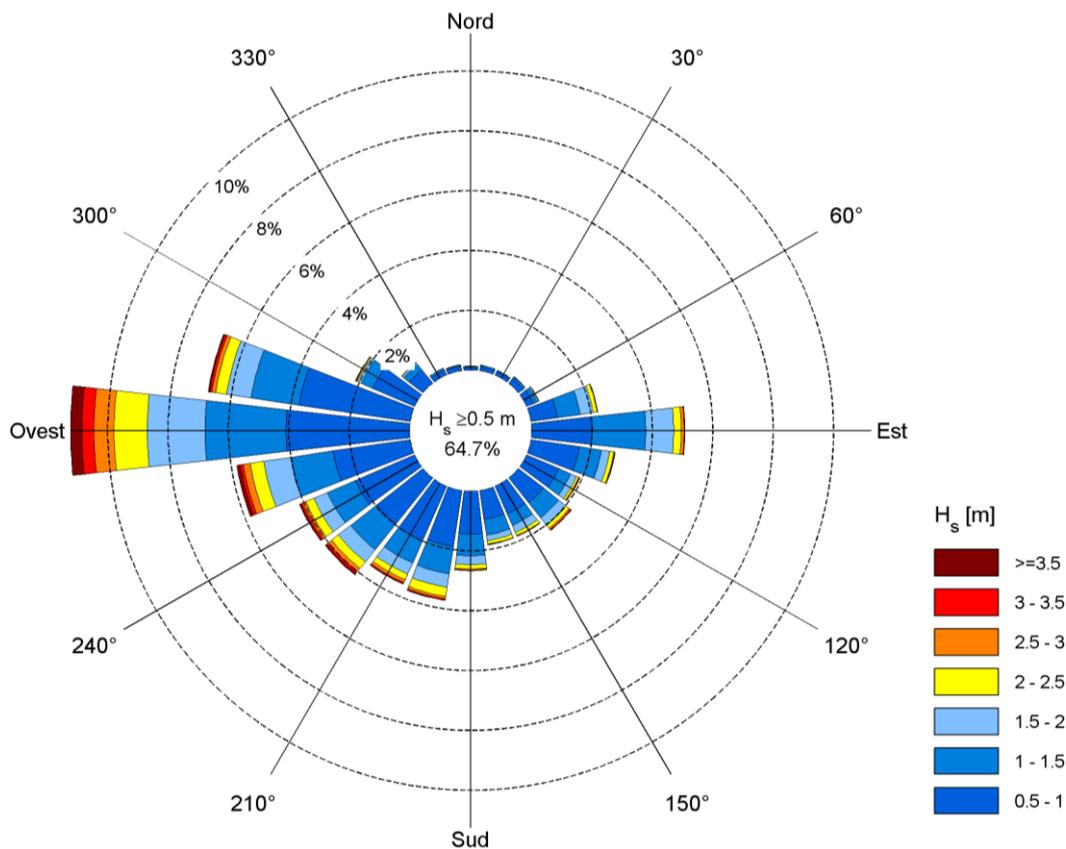


Figura 11 – frequenza di accadimento direzionale degli stati di moto ondoso con $H_s > 0.5$ m registrati dalla boa di Ponza (luglio 1989-giugno 2005).

8. Clima di moto ondoso al largo del porto di Napoli

In Figura 14 viene mostrata la rosa ondometrica annuale. Tale diagramma, ottenuto utilizzando i dati dell'intera serie storica del DICCA, mostra la presenza di due settori di traversia, rispettivamente:

- Settore principale compreso tra 195°N e 285°N
- Settore secondario compreso tra 150°N e 195°N

Regime ondometrico annuale (P_{003561} hindcasting dal 1979 al 2018)

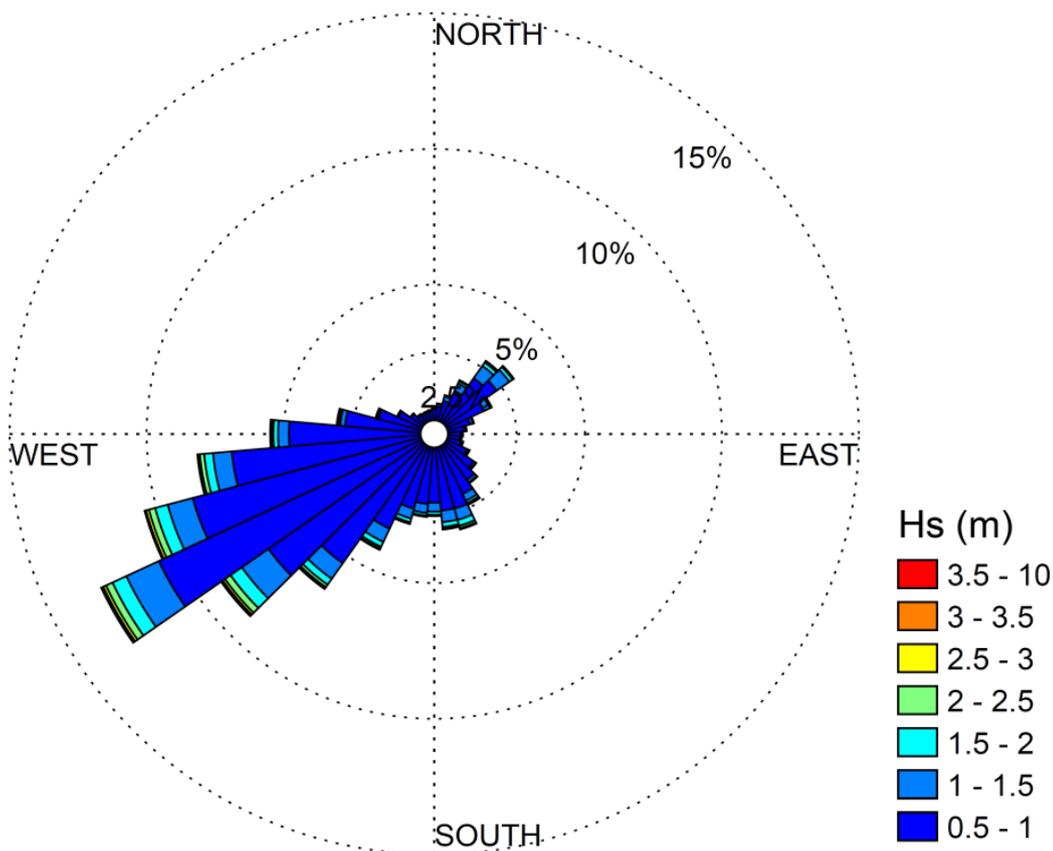


Figura 12 – Rosa ondometrica annuale. Dati del DICCA, intera serie storica (1979-2018).

La Tabella 5 riporta in forma numerica la rosa ondometrica climatica mostrata in Figura 12.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

Dir °Nord	Altezza d'onda significativa (m)											
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 5.00	5.00 6.00	>6.00
0	383	823	1330	460	75	8	0	0	0	0	0	0
15	641	1499	2419	1052	248	59	29	1	0	0	0	0
30	956	3013	5474	2541	739	255	70	3	0	0	0	0
45	1122	3593	6315	2522	632	174	47	5	0	0	0	0
60	848	2175	2270	731	154	23	13	5	0	0	0	0
75	643	1259	1140	288	72	6	3	0	0	0	0	0
90	588	930	884	251	70	5	0	0	0	0	0	0
105	783	1140	1118	323	117	19	0	0	0	0	0	0
120	1970	2449	1633	428	109	20	8	0	0	0	0	0
135	3541	2765	2459	796	242	33	9	2	0	0	0	0
150	4138	3196	4402	2070	1012	442	171	55	24	20	0	0
165	3844	3402	4602	2090	843	295	89	20	12	5	0	0
180	3111	3390	4355	1734	541	165	34	11	3	1	0	0
195	3428	4331	5773	2192	832	249	102	21	16	11	1	0
210	7707	8080	9258	3448	1282	553	191	101	33	32	5	0
225	14256	13375	15190	6555	2826	1330	554	259	111	67	3	0
240	18575	14454	15600	5511	2565	1295	547	203	63	45	7	0
255	15396	9667	8690	3224	1500	713	294	72	11	7	9	0
270	7638	5716	3898	1234	512	225	89	25	7	8	2	0
285	2328	3137	2054	342	125	39	9	8	1	2	0	0
300	880	1576	883	176	53	11	0	0	0	0	0	0
315	424	820	546	164	35	5	0	0	0	0	0	0
330	332	597	681	258	32	1	0	0	0	0	0	0
345	319	644	871	339	31	2	0	0	0	0	0	0
Tot	93851	92031	101845	38729	14647	5927	2259	791	281	198	27	0

Tabella 5 – Numero di eventi di moto ondoso al largo di Napoli suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e direzione, ricostruiti dal DICCA. Periodo di riferimento 1979-2018.

Gli stati di mare più frequenti presentano generalmente altezza d'onda compresa tra $0.5 < H_s < 1.5$ m. Le calme (stati di mare di altezza significativa H_s inferiore a 0.5 m) si verificano in media il 53% del tempo, circa 193 giorni/anno.

La suddivisione degli eventi per classi di altezza significativa e direzione (Tabella 5) e le conseguenti frequenze di accadimento delle classi riportate in Tabella 6 rivelano che gli stati di moto ondoso più significativi (H_s maggiore di 0.5 m) si presentano da Libeccio (57.22%) e da Scirocco (12.58%) con una frequenza di accadimento complessiva pari al 69.8%. Dal settore di Libeccio si presentano inoltre gli eventi con altezza d'onda significativa più elevata. Molto meno frequenti risultano gli stati di mare da Grecale e da Maestrale, con valori di H_s generalmente inferiori a 2.5 – 3.0 m. Durante il corso dell'anno il regime di moto ondoso presenta poca variabilità.

Gli stati di mare caratterizzati da altezza superiore a 2 m si verificano in media 238 ore/anno. La persistenza degli stati di mare con $H_s > 3.0$ m si riduce a 34 ore/anno e circa 7 ore/anno per altezze d'onda ancora maggiori, cioè con $H_s > 4.0$ m.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE		Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
	19	002	DR	004	01	MAR		

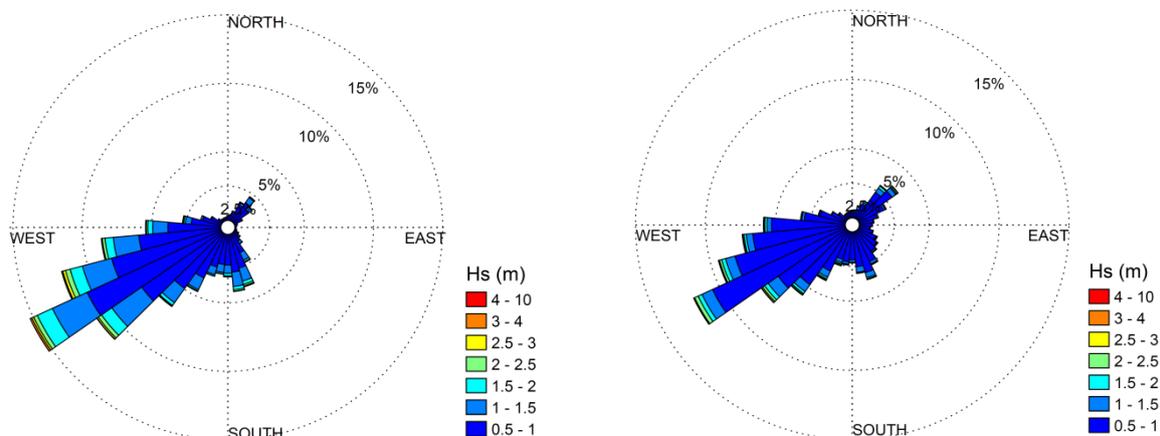
Dir °Nord	Altezza d'onda significativa (m)												Tot	H _s >0.5
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 5.00	5.00 6.00	>6.00		
0	0.11	0.23	0.38	0.13	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0.88	0.53
15	0.18	0.43	0.69	0.30	0.07	0.02	0.01	0	0	0	0	0	1.70	1.09
30	0.27	0.86	1.56	0.72	0.21	0.07	0.02	0	0	0	0	0	3.72	2.59
45	0.32	1.02	1.80	0.72	0.18	0.05	0.01	0	0	0	0	0	4.11	2.77
60	0.24	0.62	0.65	0.21	0.04	0.01	0.00	0	0	0	0	0	1.77	0.91
75	0.18	0.36	0.33	0.08	0.02	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0.97	0.43
90	0.17	0.27	0.25	0.07	0.02	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0.78	0.35
105	0.22	0.33	0.32	0.09	0.03	0.01	0.00	0	0	0	0	0	1.00	0.45
120	0.56	0.70	0.47	0.12	0.03	0.01	0.00	0	0	0	0	0	1.89	0.63
135	1.01	0.79	0.70	0.23	0.07	0.01	0.00	0	0	0	0	0	2.81	1.01
150	1.18	0.91	1.26	0.59	0.29	0.13	0.05	0.02	0.01	0.01	0	0	4.43	2.34
165	1.10	0.97	1.31	0.60	0.24	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0	0	4.34	2.27
180	0.89	0.97	1.24	0.49	0.15	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0	0	3.81	1.95
195	0.98	1.24	1.65	0.63	0.24	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0	0	4.84	2.62
210	2.20	2.30	2.64	0.98	0.37	0.16	0.05	0.03	0.01	0.01	0.001	0	8.75	4.25
225	4.07	3.81	4.33	1.87	0.81	0.38	0.16	0.07	0.03	0.02	0	0	15.55	7.67
240	5.30	4.12	4.45	1.57	0.73	0.37	0.16	0.06	0.02	0.01	0	0	16.79	7.37
255	4.39	2.76	2.48	0.92	0.43	0.20	0.08	0.02	0	0	0	0	11.29	4.14
270	2.18	1.63	1.11	0.35	0.15	0.06	0.03	0.01	0	0	0	0	5.52	1.71
285	0.66	0.89	0.59	0.10	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0	2.29	0.74
300	0.25	0.45	0.25	0.05	0.02	0	0	0	0	0	0	0	1.02	0.32
315	0.12	0.23	0.16	0.05	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.57	0.21
330	0.09	0.17	0.19	0.07	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.54	0.28
345	0.09	0.18	0.25	0.10	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.63	0.35
Tot	26.77	26.25	29.05	11.05	4.18	1.69	0.64	0.23	0.08	0.06	0.01	0.00	100.00	46.98
Tot. Cumulate	53.02	82.07	93.12	97.29	98.98	99.63	99.85	99.93	99.99	100.00	100.00	100.00		

Tabella 6 - Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso, al largo di Napoli ricostruiti dal DICCA, suddivisi per altezza e direzione. Periodo di riferimento 1979-2018.

Le rose ondometriche stagionali, rappresentate escludendo stati di mare caratterizzati da $H_s < 0.5$ m, mostrano come gli eventi più severi siano caratteristici della stagione autunnale e invernale. Pur tuttavia, la direzione di provenienza del moto ondoso rimane costante al variare delle stagioni.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

Regime ondametrico stagionale Primavera (hindcasting dal 1979 al 2018) Regime ondametrico stagionale Estate (hindcasting dal 1979 al 2018)



Regime ondametrico stagionale Autunno (hindcasting dal 1979 al 2018) Regime ondametrico stagionale Inverno (hindcasting dal 1979 al 2018)

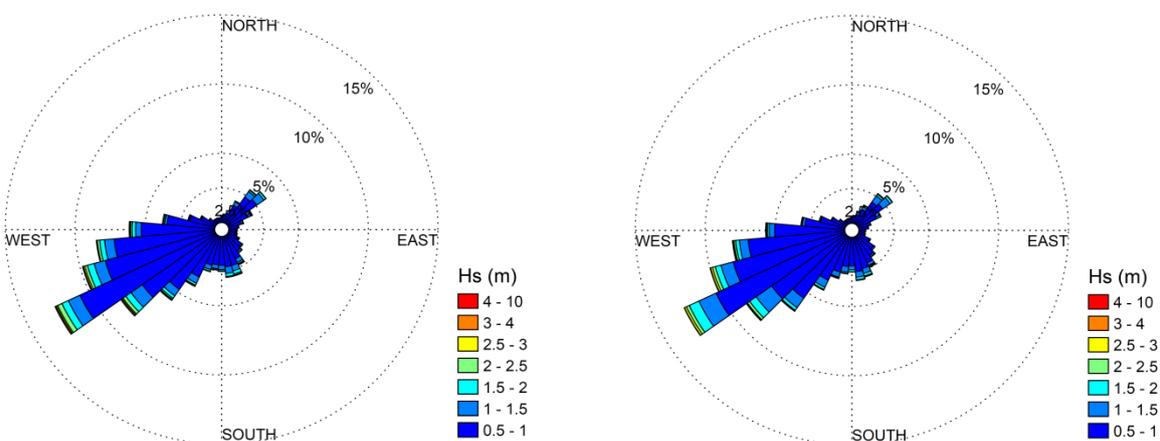


Figura 13 – Rose ondametriche stagionali.

8.1 Curva di durata

Al fine di rappresentare la persistenza degli eventi di moto ondoso si può far riferimento alla curva di durata riportata in Figura 14. La curva è ottenuta ordinando la serie storica e determinando così la durata media annua associata a diverse soglie di altezza d'onda significativa. Con riferimento alla Figura 14 si osserva in particolare:

- durata media degli eventi con $H_s \geq 1.0$ m circa 1545 ore/anno,
- durata media degli eventi con $H_s \geq 2.0$ m circa 237 ore/anno,
- durata media degli eventi con $H_s \geq 3.0$ m circa 33 ore/anno,
- durata media degli eventi con $H_s \geq 4.0$ m circa 7 ore/anno.

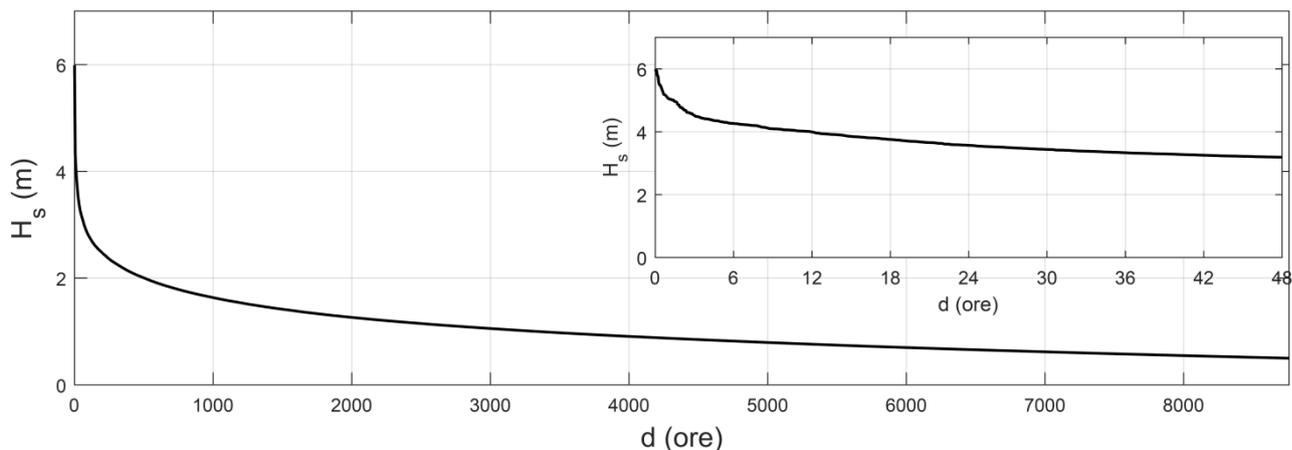


Figura 14 – Curva di durata degli eventi di moto ondoso al largo di Napoli.

8.2 Correlazione altezza significativa periodo di picco

L'analisi di correlazione, riportata nel grafico di Figura 17 relativo a tutti i valori di H_s e T_p forniti dal DICCA, ha permesso di definire una legge del tipo $T_p = a \cdot (H_s)^b$ per la determinazione del periodo di picco da associare ai valori estremi di altezza d'onda. Il valore di a risulta pari a 5.82, il valore di b risulta invece pari a 0.36, cosicché:

$$T_p = 5.82 \cdot H_s^{0.36}.$$

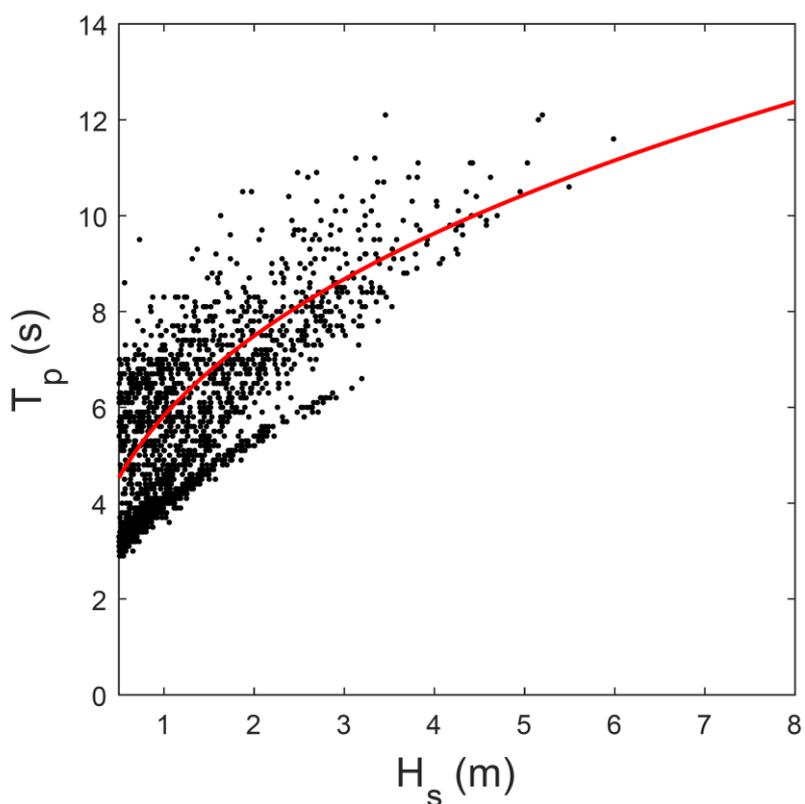


Figura 15 – Correlazione altezza significativa periodo di picco.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

9. Statistica degli eventi estremi di moto ondoso al largo

Per determinare l'onda di progetto al largo è stata eseguita l'analisi statistica dei valori estremi estratti dalla serie storica dei dati di ricostruzione del DICCA a largo della baia di Napoli, nel punto di coordinate 40.71°N, 14.2187°E.

La serie oraria ricostruita tra il 1979 e il 2018 consente di operare con campione di dati molto numeroso ed un elevato numero di anni ($K = 39$ anni).

9.1 Preparazione del campione

L'analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso richiede necessariamente di definire dei criteri al fine di selezionare un campione di dati rappresentativo delle mareggiate più significative per eseguire un'analisi di inferenza statistica.

Per eseguire l'analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso risulta necessario selezionare preliminarmente dei dati che rispondano al doppio requisito di essere tra loro statisticamente omogenei e indipendenti.

È regola caratterizzare una mareggiata assegnandole i valori di altezza significativa, periodo e direzione corrispondenti al massimo, ovvero al culmine, dell'intensità raggiunta durante il singolo evento estremo.

Per l'individuazione delle mareggiate (evento estremo) all'interno della serie temporale, costituita da K anni di registrazione, si considerano le successioni di stati di mare caratterizzate da una persistenza dell'altezza significativa sopra la soglia di $H_s > 1.0$ m maggiore a 12 ore consecutive e valore di altezza d'onda al colmo $H_s \geq 2.5$ m. Per il settore di mezzogiorno, che presenta mareggiate di minore intensità, il valore al colmo è stato ridotto ad $H_s \geq 2.0$ m e la durata a 9 ore.

L'indipendenza tra le singole mareggiate viene assicurata imponendo un valore di soglia per l'intervallo che intercorre tra due mareggiate successive. Generalmente tale intervallo, come raccomandato da Mathiesen (Mathiesen et al., 1994), è pari a 48 ore.

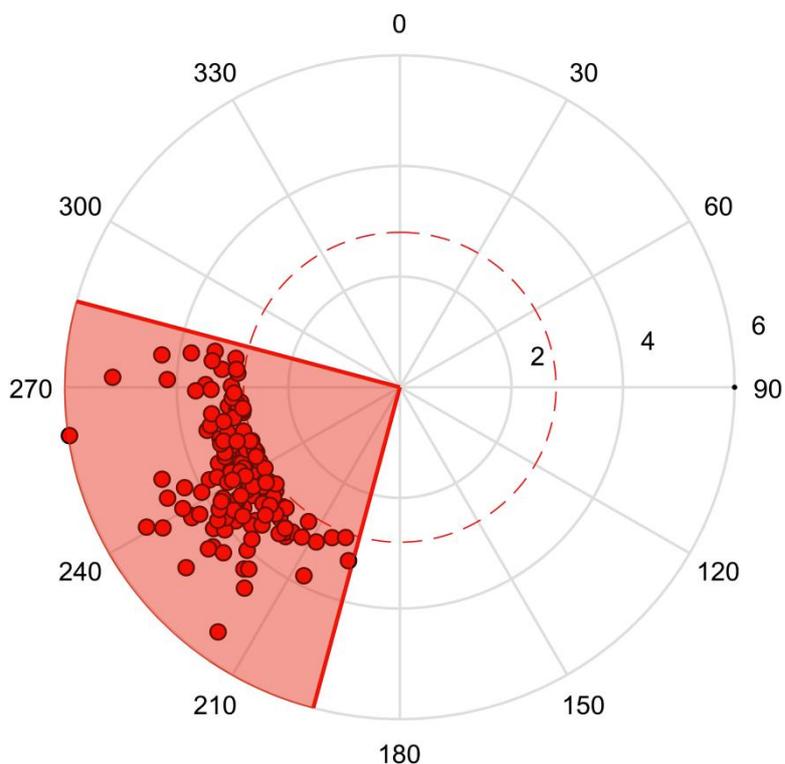


Figura 16 – Valori al colmo delle mareggiate al largo di Napoli nel periodo 1979–2018 ricostruite dal DICCA per il settore di traversia principale (195- 285°N).

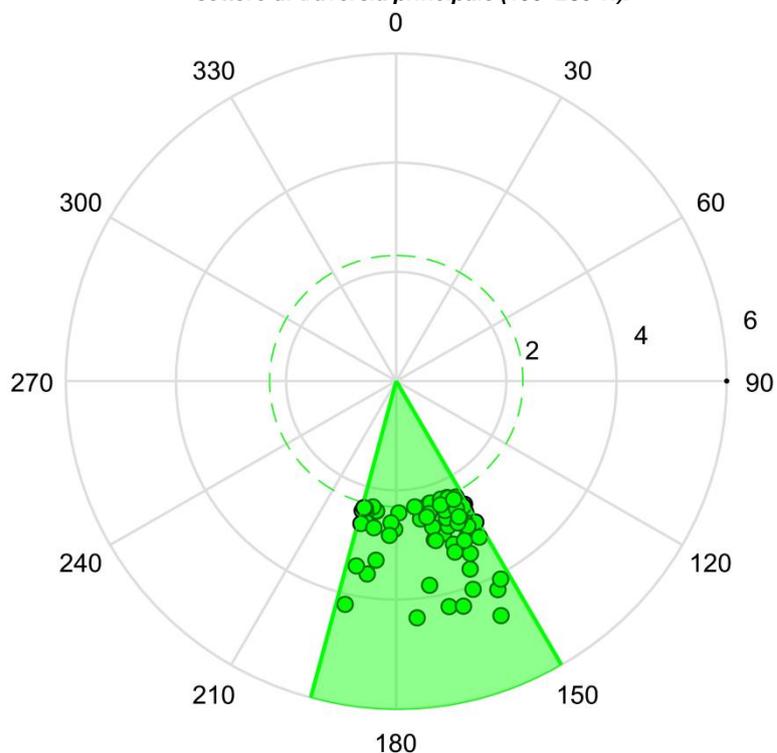


Figura 17 – Valori al colmo delle mareggiate al largo di Napoli nel periodo 1979–2018 ricostruite dal DICCA per il settore di traversia secondario (150-195°N).

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

In tabella 7 sono riportati i primi venti eventi estremi ordinati per intensità decrescente. Come è possibile notare sono presenti in tabella i due eventi che hanno provocato i maggiori danni, riferiti rispettivamente all'anno 1999 e all'anno 2004.

Data	H _s (m)	Tp (s)	Dir (°N)
28/12/1999	6.0	11.6	261.6
27/12/2004	5.5	10.6	216.4
12/01/1987	5.2	12.1	240.8
31/12/1979	5.2	12.0	272.0
29/11/2012	5.0	11.1	229.6
10/02/1986	5.0	10.5	239.1
22/12/1979	4.7	10.0	156.1
13/05/1995	4.6	10.8	244.3
26/03/1992	4.6	9.9	217.5
03/12/1997	4.5	9.8	248.7
30/01/2015	4.5	10.0	229.6
01/01/2010	4.5	10.4	240.6
28/11/1980	4.4	11.1	229.3
24/01/2007	4.4	10.0	237.7
26/02/1989	4.4	11.1	238.2
29/10/2018	4.4	10.5	226.6
24/11/1987	4.3	9.6	220.4
01/01/1994	4.3	9.8	277.8
24/03/2004	4.3	10.1	244.8
28/12/2017	4.3	9.8	237.4

Tabella 7 – Tabella dei primi venti eventi estremi

9.2 Individuazione del modello probabilistico per i dati selezionati

Tra le distribuzioni statistiche per l'analisi dei valori estremi, la distribuzione di probabilità di non superamento (funzione di ripartizione) di Weibull (limitata inferiormente) si adatta particolarmente bene agli eventi estremi di moto ondoso. La distribuzione è rappresentata dalla seguente funzione:

$$P_{X_{\min}}(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right]$$

in cui X è la variabile aleatoria, x il valore di non superamento mentre A , B sono i parametri della distribuzione e k è il parametro di forma della distribuzione.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

La valutazione dei parametri della distribuzione richiede la preliminare stima della frequenza campionaria dei dati.

Per fare questo il campione dei dati viene ordinato in senso decrescente e per ogni m -esimo evento viene calcolata la frequenza campionaria di non superamento utilizzando la formula di Gringorten¹:

$$\hat{F}_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, m = 1, 2, \dots, N$$

In seguito introducendo la variabile ridotta:

$$y_{(m)} = \left[-\ln(1 - \hat{F}_m) \right]^{1/k}$$

viene applicato il metodo dei minimi quadrati per determinare i parametri A e B della retta:

$$x_{(m)} = B + A \cdot y_{(m)}.$$

Ottenuta la funzione di probabilità di non superamento è possibile valutare il corrispondente valore al colmo della mareggiata corrispondente ad un tempo di ritorno assegnato.

Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

$$Tr(X \leq x) = \frac{1}{(1 - P(X \leq x))}$$

si possono stimare le altezze d'onda significative al colmo associate a diversi tempi di ritorno.

9.3 Statistica dei valori estremi

I risultati delle analisi statistiche svolte sui campioni di valori di H_s al colmo delle mareggiate, rappresentativi dei due settori di traversia individuati, sono presentati nei grafici e nelle tabelle dei paragrafi a seguire.

¹ I valori dei parametri α e β sono forniti da Goda (1988), per la distribuzione Weibull sono $\alpha = 0.20 + 0.27/\sqrt{k}$, $\beta = 0.20 + 0.23/\sqrt{k}$

9.3.1 Settore di traversia principale

Applicando il metodo POT per il settore A (195-285 °N) , utilizzando una soglia di 2.0 m sono stati selezionati NT = 446 eventi di mareggiata con un valore medio di 3.1 m ed una deviazione standard di 0.65 m.

La mareggiata più intensa appartenente alla serie storica si è verificata nel Dicembre del 1999 con un valore di altezza significativa al colmo $H_s = 5.98$ m proveniente da ponente (261°) e periodo 11.6 s. Il secondo evento più elevato si è verificato a fine dicembre del 2004, con $H_s = 5.49$ m $T_p = 10.6$ s proveniente da libeccio (~216°N).

In Figura 20 è mostrato il risultato dell'adattamento dei valori al colmo di mareggiata alla distribuzione tipo Weibull 1.0 che è risultata quella che meglio si adatta al campione.

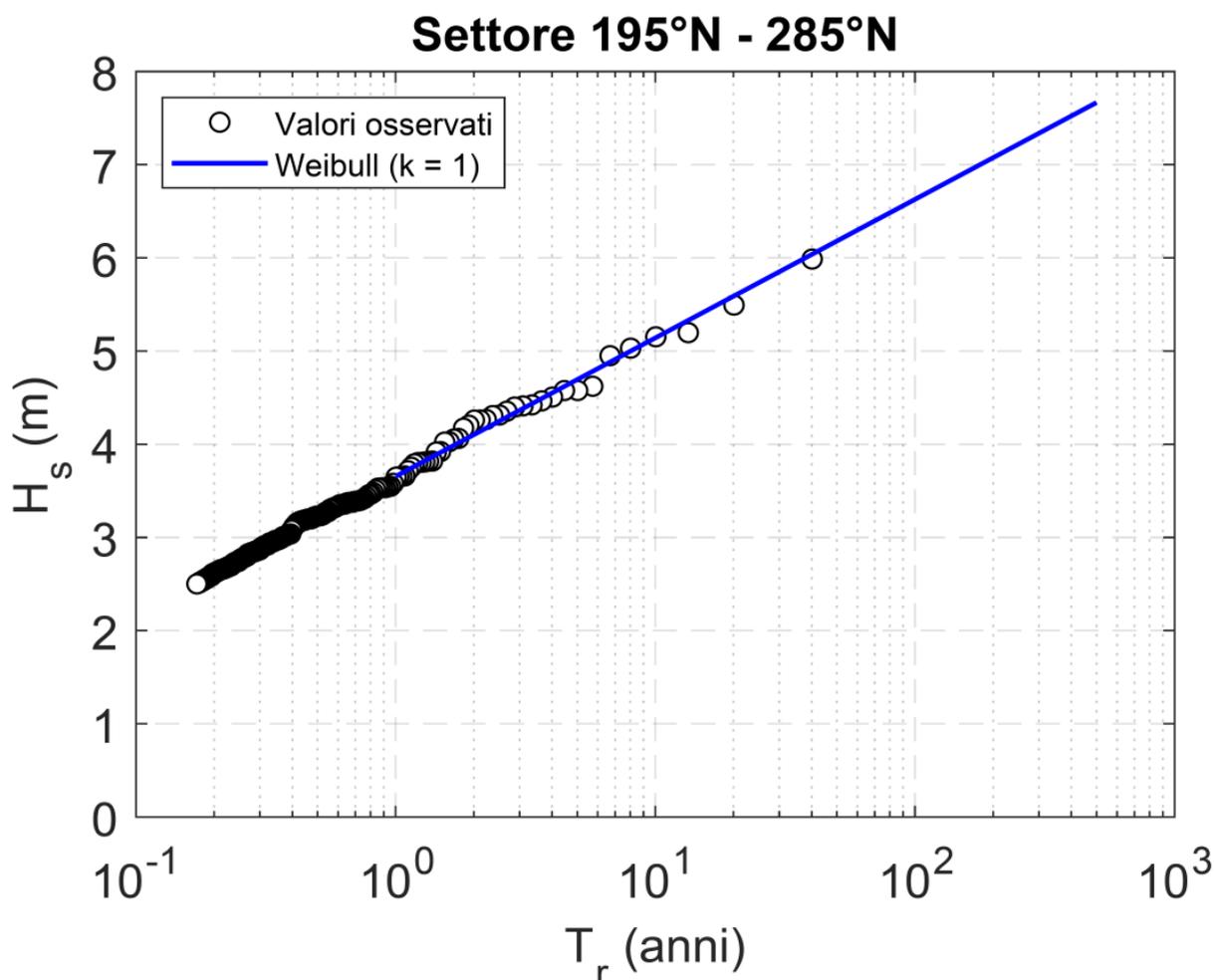


Figura 18 – Settore di traversia 195-285°N. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull 1.0 dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica del DICCA tra il 1979-2018.

9.3.2 Settore di traversia secondario

Per il settore secondario, fissata la soglia di 2.5 m, sono stati selezionati $N_T=74$ eventi con un valore medio di 3.07 m ed una deviazione standard di 0.59 m.

In Figura 21 è mostrato il risultato dell'adattamento dei valori al colmo di mareggiata alla distribuzione tipo Weibull 1.0 che è risultata quella che meglio si adatta al campione.

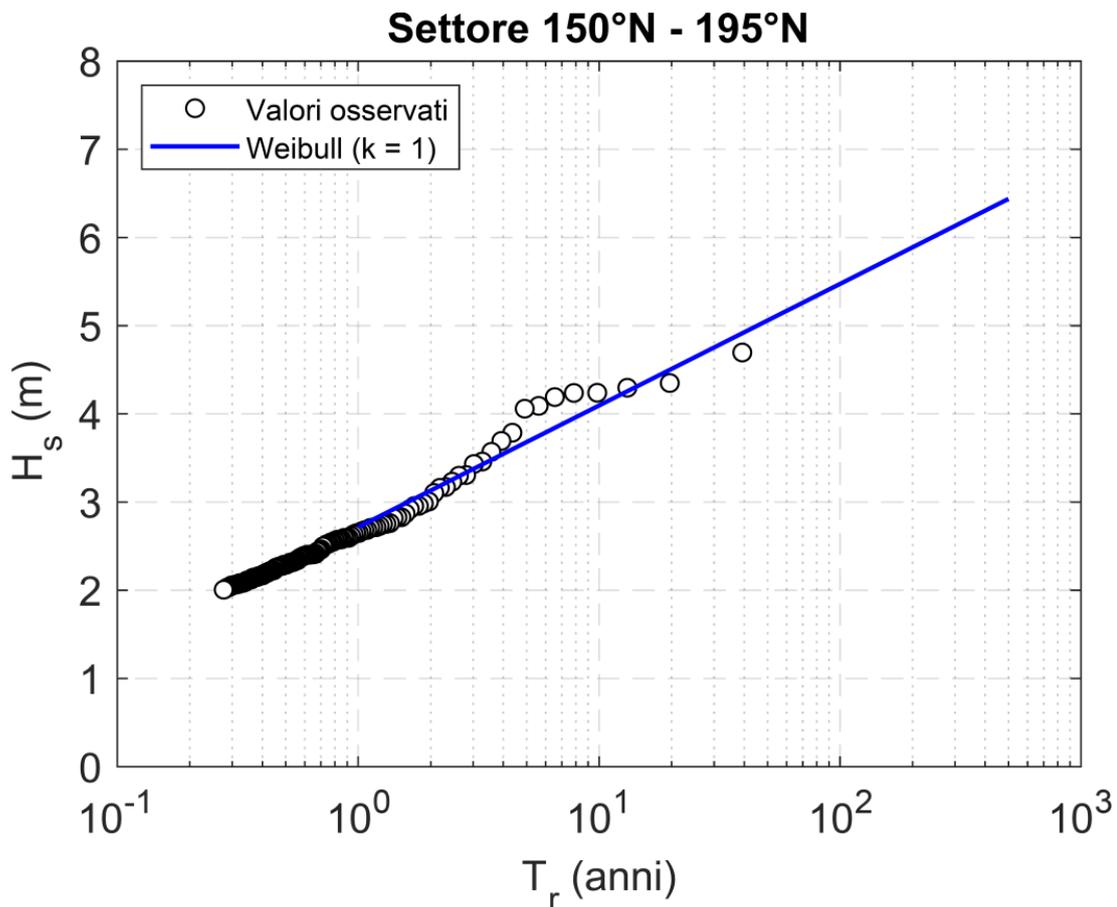


Figura 19 - Settore di traversia 150-195°N. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull 1.0 dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica del DICCA tra il 1979-2018.

T_r (anni)	H_s (m)	T_r (anni)	H_s (m)
2	4.1	2	3.1
5	4.7	5	3.7
10	5.2	10	4.2
20	5.7	20	4.6
50	6.3	50	5.2
100	6.7	100	5.7
250	7.4	250	6.3

Tabella 8 – Tabella riassuntiva delle altezze d'onda con associato tempo di ritorno T_r . Sulla sinistra sono riportati i risultati relativi al settore principale (195 – 285 °N) sulla destra quelli relativi al settore secondario (150 – 195°N).

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

10. Clima di moto ondoso sottocosta

Per definire le condizioni di moto ondoso che si vengono a realizzare in prossimità della Diga Duca d'Aosta è stato necessario effettuare una propagazione del moto ondoso da largo verso riva utilizzando un opportuno modello matematico.

A tal fine si è in primo luogo scelto il modello numerico più appropriato per lo studio in questione. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata a valle di una attenta analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la loro propagazione.

Per quanto riguarda i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde su fondali via via decrescenti, che collegano il mare aperto alla zona di intervento, la sufficiente regolarità dell'andamento delle linee batimetriche che caratterizzano il Golfo di Napoli ha permesso di ritenere che essi siano costituiti in modo dominante dalla rifrazione e dallo shoaling e che possono essere ritenuti trascurabili i processi diffrattivi (diffrazione esterna ed interna).

Per quanto riguarda i processi dissipativi (attrito sul fondo e frangimento), nel caso in esame, si può affermare che la loro importanza diventa rilevante solo su fondali aventi profondità inferiori a 10÷15 m.

Sulla base delle considerazioni appena effettuate si è scelto in primis, per la propagazione sotto costa della serie di dati di moto ondoso, di utilizzare il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE, sviluppato dalla società MODIMAR srl.

Il modello numerico MEROPE risolve la rifrazione inversa spettrale dei fronti d'onda a partire da un punto utilizzando una griglia di calcolo costruita sulla base dei dati batimetrici del paraggio in esame.

10.1 Griglia di calcolo

In Figura 21 è rappresentato il dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni effettuate con il modello MEROPE, definito sulla base dei dati batimetrici desunti dalla carta nautica del paraggio (CN 11).

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante 1° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019				
		19	002	DR	004	01

Il suddetto dominio ha dimensioni 28000x18000 m, ed è numericamente definito da una griglia regolare con passo di discretizzazione di 25 m in entrambe le direzioni, per un totale di 1121x721 nodi. La griglia è orientata con l'asse verticale a 40° Nord.

All'interno della griglia di calcolo è stato selezionato un punto di propagazione, indicato in Figura 21 dal punto in rosso. La posizione è stata scelta in modo tale che il punto si trovi in prossimità del prolungamento della diga Duca d'Aosta. Tale punto è posizionato in corrispondenza della batimetrica -24 m sul l.m.m. Il punto in verde è rappresentativo del punto di hindcasting del DICCA, il quale è posizionato in corrispondenza della batimetrica -200 m sul l.m.m.

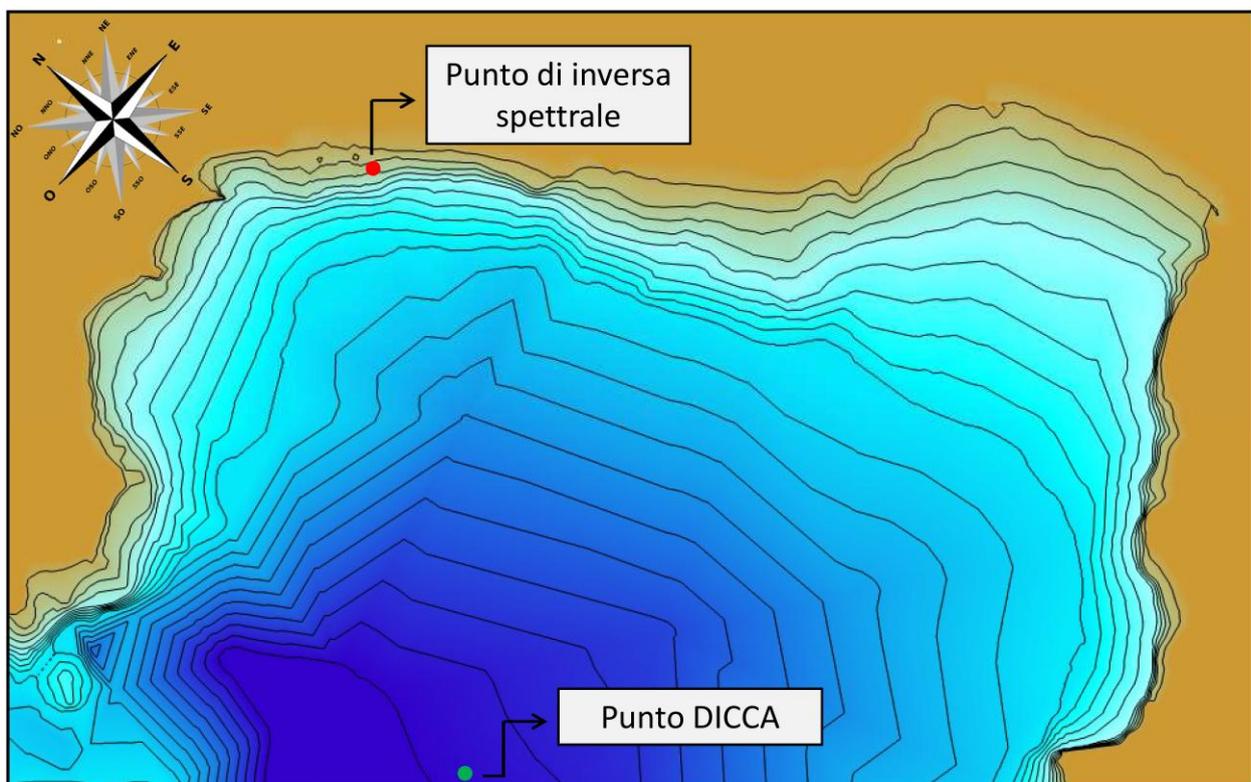


Figura 20 – Griglia di calcolo utilizzata dal modello di inversa spettrale MEROPE

10.2 Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo

Per i punti scelti sono stati calcolati 20 piani d'onda d'inversa per altrettanti periodi compresi tra 2 e 22 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda), spazati di 0.5°, sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia effettivo sottocosta (245 °N – 320 °N).

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarino. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

I 4.000 piani d'onda inversi (20x200) così calcolati hanno consentito di costruire un data-base di correlazione. Mediante questo data-base l'intera serie storica dei dati DICCA al largo della baia di Napoli è stata propagata sotto costa nel punto prescelto. Per simulare la dispersione dell'energia in frequenza e direzione si è utilizzata la funzione densità spettrale:

$$S(f, \theta) = S(f) G(f, \theta)$$

dove la funzione $S(f)$ è stata espressa con uno spettro di tipo JONSWAP con $\gamma = 3.3$.

La funzione $G(f, \theta)$ viene esplicitata nel modello MEROPE sulla base dell'equazione fornita da Goda ponendo $s_{max} = 18$ (onde di mare vivo). Si ricorda che le "onde di mare vivo" (sea), tipiche dell'area di generazione (fetch), hanno una elevata dispersione direzionale dell'energia e per tale ragione vengono anche chiamate "onde a cresta corta".

10.3 Distribuzione degli eventi per classi di altezza d'onda e direzione

L'applicazione del modello MEROPE ha consentito di propagare nel punto di inversa spettrale P0 tutti gli stati di mare della serie storica 1979-2018 al largo e di valutare pertanto le caratteristiche di clima di moto ondoso in prossimità della diga Duca d'Aosta. La rosa del moto ondoso di Figura 21 mostra la distribuzione direzionale su base annuale degli stati di moto ondoso di altezza superiore a 0.5 m ottenute nel punto P0.

La Figura 22 mette a confronto il regime onda metrico annuale a largo e a riva (in prossimità della diga Duca d'Aosta). Come è possibile notare gli eventi, durante il processo di propagazione largo/riva, subiscono una rotazione verso la direzione 210 – 220 °N, con una contestuale fortissima attenuazione degli eventi che provengono dal secondo quadrante.

La Tabella 9 riporta i dati rappresentati nella Figura 21: del più ampio spettro direzionale di provenienza al largo del Golfo di Napoli, le mareggiate provengono solamente dal settore 180 °N – 240 °N.

Tabella 10, Tabella 11, Tabella 12, Tabella 13 riportano i valori climatici nelle quattro stagioni, rispettivamente dalla Primavera all'Inverno.

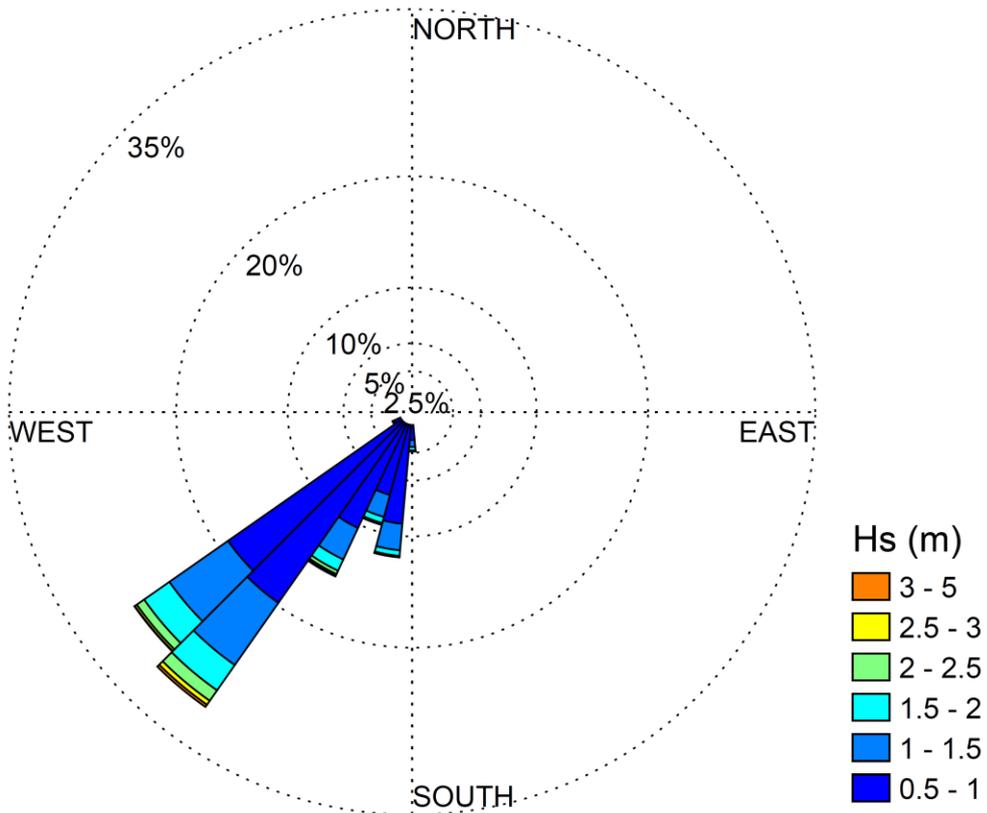


Figura 21 – Punto sotto costa P0 – Distribuzione degli eventi di moto ondoso con altezza d'onda superiore a 0.5 m.

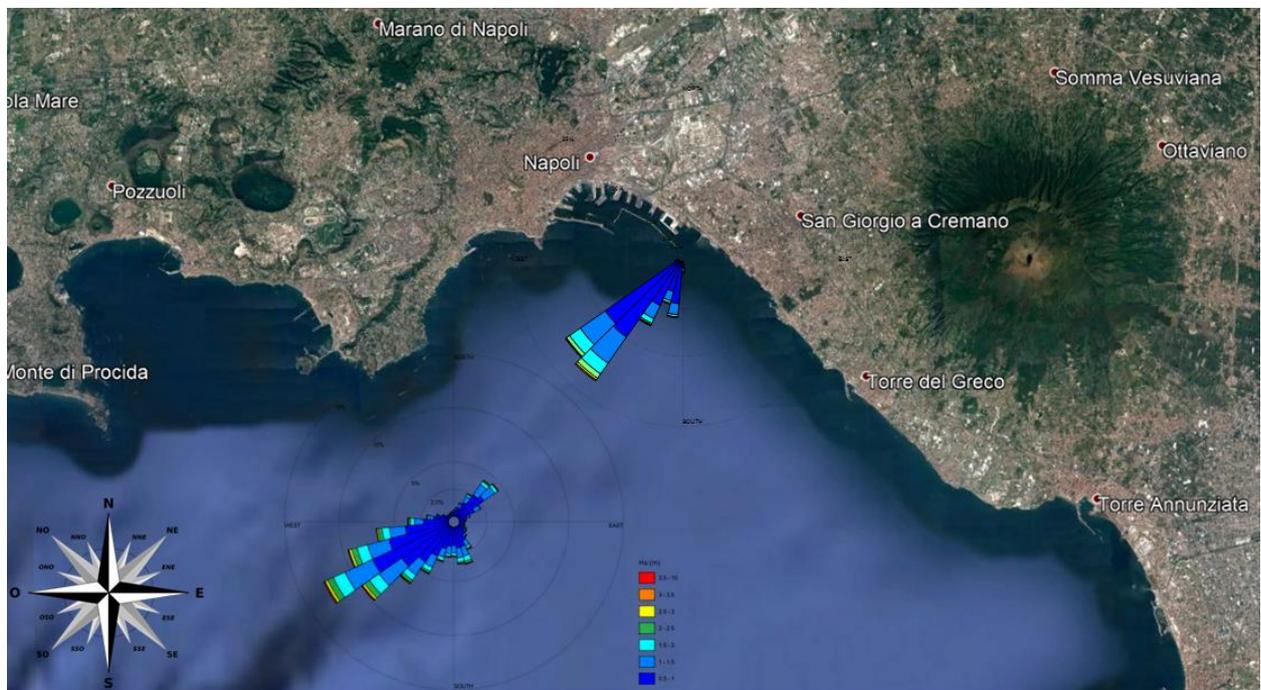


Figura 22 - Combinazione delle rose ondamiche a largo e propagata al piede della struttura.

Dir °Nord	Altezza d'onda significativa (m)											Tot	H _s > 0.5
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 5.00	> 6		
0												0	0
15												0	0
30												0	0
45												0	0
60												0	0
75												0	0
90												0	0
105												0	0
120												0	0
135												0	0
150												0	0
165	9.137											9.1	0
180	8.233	3.404	2.283	0.492	0.053	0.009	0.002					14.5	2.8
195	2.175	2.675	3.159	0.961	0.262	0.051	0.014	0.004	0.003	0.0006		9.3	4.5
210	5.199	5.596	7.380	2.850	1.204	0.439	0.162	0.060	0.022	0.005		22.9	12.1
225	18.184	10.316	7.282	1.763	0.417	0.056	0.003					38.0	9.5
240	5.094	0.804	0.243	0.002								6.1	0.2
255												0	0
270												0	0
285												0	0
300												0	0
315												0	0
330												0	0
345												0	0
Tot	48.022	22.795	20.347	6.068	1.936	0.556	0.180	0.065	0.025	0.006	0.0	100.0	29.2
Tot. Cumulato	70.817	91.165	97.233	99.169	99.725	99.905	99.970	99.994	100.000	100.000	100.000		

Tabella 9 – Punto sottocosta P0. Tabella climatica annuale.

Dir °Nord	Altezza d'onda significativa (m)											Tot	H _s > 0.5
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 5.00	> 5		
150												0	0
165	5.77											5.77	0
180	6.84	1.41	0.51	0.05								8.80	0.55
195	2.34	2.09	1.38	0.16								5.96	1.53
210	7.14	5.76	4.00	0.56	0.17	0.03						17.65	4.75
225	32.26	14.24	6.79	0.72	0.10							54.10	7.61
240	6.26	1.18	0.27									7.70	0.27
255												0	0
Tot	60.61	24.67	12.94	1.48	0.27	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	100.0	14.7
Tot. Cumulato	85.3	98.2	99.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

Tabella 10 - Punto sottocosta P0. Tabella climatica primavera.

Dir °Nord	Altezza d'onda significativa (m)													Tot	H _s > 0.5
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 5.00	> 5				
150													0	0	
165	3.53												3.53	0	
180	7.00	3.58	1.94	0.21	0.024								12.75	2.17	
195	2.60	3.22	2.96	0.56	0.074	0.015	0.015						9.44	3.62	
210	6.46	6.57	7.07	2.11	0.494	0.206	0.206	0.067	0.006	0.002			23.19	10.16	
225	22.01	13.68	8.21	1.36	0.215	0.023	0.023						45.52	9.83	
240	4.60	0.94	0.27										5.81	0.27	
255													0	0	
Tot	46.20	27.99	20.45	4.24	0.81	0.24	0.24	0.07	0.01	0.00	0.000	100.2	26.1		
Tot. Cumulato	74.2	94.6	98.9	99.7	99.9	100.2	100.2	100.2	100.2	100.2	100.2				

Tabella 11 - Punto sottocosta P0. Tabella climatica estate.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE		Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
	19	002	DR	004	01	MAR		

Dir °Nord	Altezza d'onda significativa (m)											Tot	H _s > 0.5
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 5.00	> 5		
150												0	0
165	13.77											13.77	0
180	11.47	4.56	3.55	0.88	0.12	0.01	0.01					20.60	4.57
195	2.02	2.99	4.54	1.78	0.64	0.13	0.05	0.011	0.002	0.002		12.17	7.16
210	3.87	4.91	8.31	4.04	2.01	0.85	0.35	0.124	0.037	0.014		24.52	15.74
225	8.31	6.08	6.79	2.29	0.61	0.07	0.01					24.16	9.77
240	4.13	0.47	0.19									4.79	0.19
255												0	0
Tot	43.57	19.00	23.39	9.00	3.38	1.06	0.41	0.14	0.04	0.02	0.000	100.0	37.4
Tot. Cumulato		62.6	86.0	95.0	98.3	99.4	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0		

Tabella 12 - Punto sottocosta P0. Tabella climatica autunno.

Dir °Nord	Altezza d'onda significativa (m)											Tot	H _s > 0.5
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 5.00	> 5		
150												0	0
165	13.706											13.71	0
180	7.646	4.100	3.194	0.844	0.067	0.028						15.88	4.13
195	1.712	2.403	3.805	1.375	0.336	0.062	0.008	0.006	0.011			9.72	5.60
210	3.239	5.125	10.254	4.780	2.195	0.686	0.236	0.114	0.048	0.006		26.68	18.32
225	9.710	7.093	7.332	2.728	0.759	0.133	0.005					27.76	10.96
240	5.386	0.618	0.245	0.006								6.25	0.25
255												0	0
Tot	41.40	19.34	24.83	9.73	3.36	0.91	0.25	0.12	0.06	0.01	0.000	100.0	39.3
Tot. Cumulato		60.7	85.6	95.3	98.7	99.6	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0		

Tabella 13 - Punto sottocosta P0. Tabella climatica inverno.

10.4 Curva di durata

In merito alla persistenza degli eventi di moto ondoso si può far riferimento alla curva di durata rappresentata in Figura 26. Dall'analisi della serie storica è stato possibile determinare la durata media annuale associata a diverse soglie di altezza d'onda significativa:

durata media degli eventi con $H_s \geq 1.0$ m circa 800 ore/anno

durata media degli eventi con $H_s \geq 2.0$ m circa 80 ore/anno

durata media degli eventi con $H_s \geq 3.0$ m circa 9 ore/anno

durata media degli eventi con $H_s \geq 4.0$ m circa 1 ora/anno

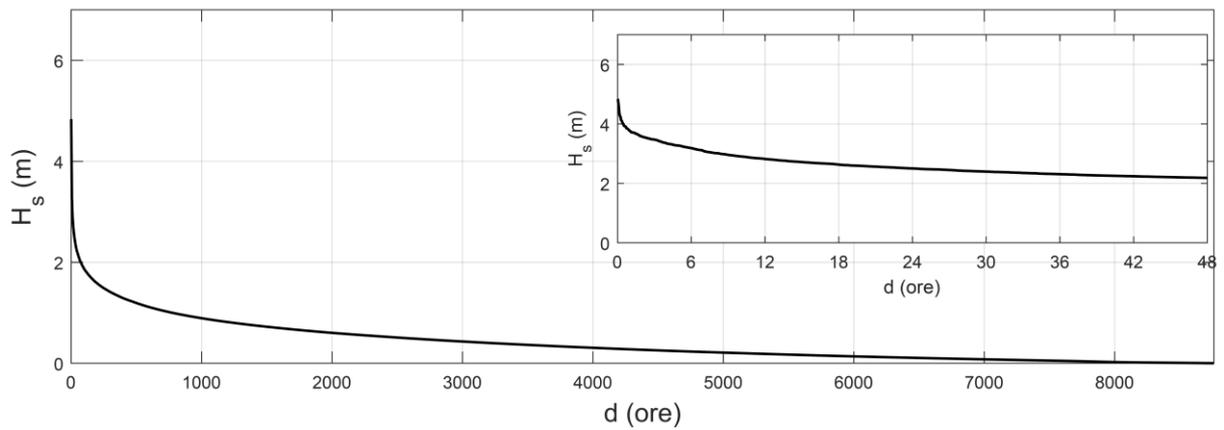


Figura 23 – Curva di durata degli eventi di moto ondoso nel punto di inversa spettrale

10.5 Propagazione nel punto sottocosta P0

I diagrammi riportati in Figura 24 e Figura 25 mostrano la correlazione largo/riva per gli spettri di moto ondoso più rappresentativi. Nella Figura 24 è rappresentato il campo di variazione del coefficiente di rifrazione e shoaling, $K = K_r \cdot K_s = H_s/H_{s0}$, rappresentativo del rapporto tra i valori di altezza d'onda nel punto di propagazione ed al largo, in funzione della direzione al largo e del periodo di picco dello spettro dell'onda. Nella Figura 25 è riportata la direzione del moto ondoso sottocosta in funzione della direzione del moto ondoso al largo per i diversi periodo di picco dello spettro dell'onda.

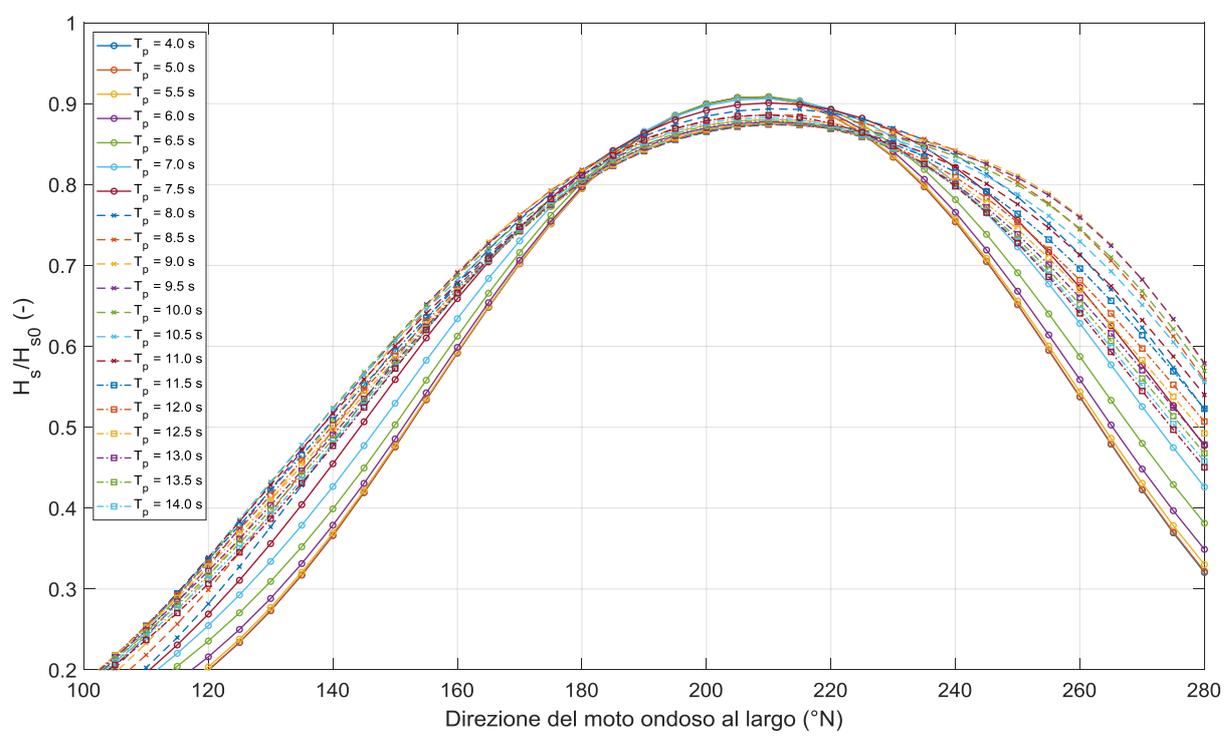


Figura 24 – Diagramma correlazione largo riva. Rapporto tra H_s/H_{s0} in funzione della direzione del moto ondoso a largo.

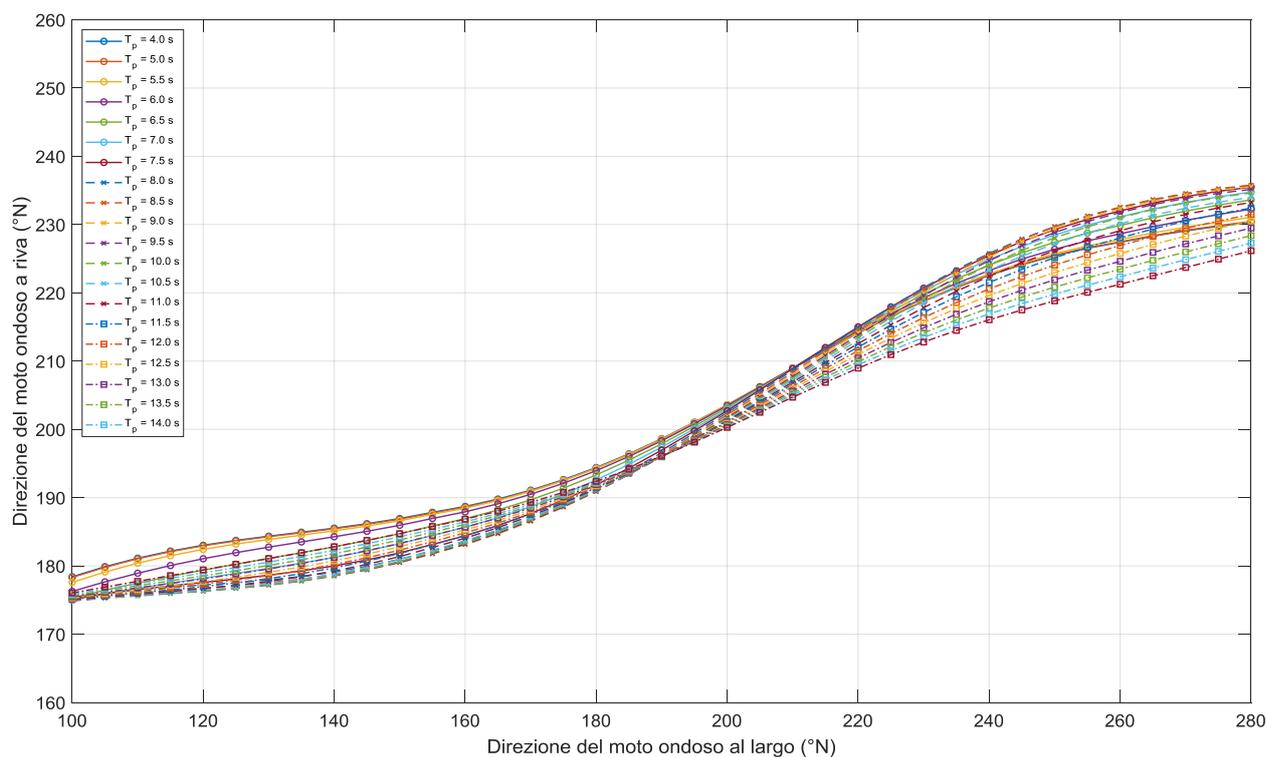


Figura 25 - Diagramma correlazione largo riva. Rapporto tra direzione del moto ondoso a largo e a riva.

L'andamento molto appiattito del grafico di Figura 25 illustra ulteriormente il restringimento del settore di traversia sottocosta già osservato nelle rose e nelle tabelle precedenti: tutte le direzioni provenienti da 100°N a 180°N gradi circa sull'asse delle ascisse (al largo) si trovano ad un ordinata approssimativamente uguale o maggiore di 180°N (a riva). Analogamente: tutte le direzioni di provenienza maggiori di 240°N sull'asse delle ascisse (al largo) si trovano ad un'ordinata sempre inferiore 235°N (a riva).

In Figura 26 è mostrato (attraverso l'utilizzo della mappa a colori) il campo di variazione del coefficiente di rifrazione e shoaling $K = K_r \cdot K_s = H_s / H_{s0}$ rappresentativo del rapporto tra i valori di altezza d'onda nel punto di propagazione e al largo, in funzione della direzione al largo e del periodo di picco dello spettro dell'onda. La figura fornisce in modo immediato e compatto i valori di attenuazione d'onda.

La direzione 210°N presenta lo stesso valore di attenuazione per tutti i periodi ed è quello che si propaga praticamente con direzione inalterata.

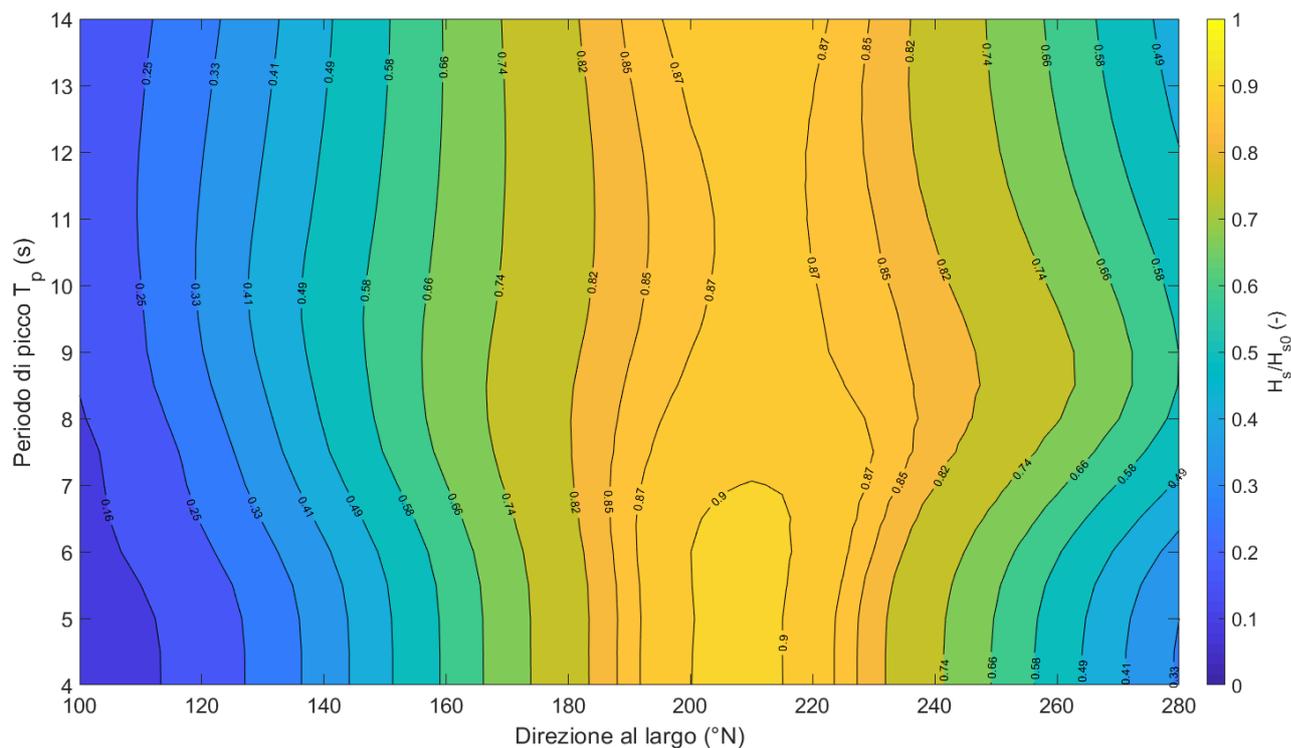


Figura 26 – Diagramma di correlazione largo riva per gli spettri più rappresentativi.

In Tabella 14 sono riportate in maniera sintetica le informazioni fornite nelle precedenti tre figure per le mareggiate estreme di progetto: per ogni tempo di ritorno T_r viene fornito il valore di altezza significativa al largo (tabella di sinistra) e sottocosta o “a riva” (tabella di destra), periodo di picco (tabella di sinistra) e rapporto tra altezza significativa a riva e altezza significativa a largo (tabella di destra).

Nella parte superiore, le informazioni si riferiscono al settore di traversia principale, nella parte inferiore sono relative al settore di traversia secondario.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

SETTORE DI TRAVERSIA PRINCIPALE CONDIZIONI LARGO		
T_r (anni)	H_{s0} (m)	T_{p0} (s)
2	4.1	9.6
5	4.7	10.1
10	5.2	10.5
20	5.7	10.9
50	6.3	11.3
100	6.7	11.5
250	7.4	11.9

SETTORE DI TRAVERSIA PRINCIPALE CONDIZIONI RIVA		
T_r (anni)	H_{sr} (m)	H_{sr}/H_{s0}
2	3.6	0.8743
5	4.1	0.8746
10	4.5	0.8746
20	5.0	0.8746
50	5.5	0.8746
100	5.9	0.8749
250	6.5	0.8759

SETTORE DI TRAVERSIA SECONDARIO CONDIZIONI LARGO		
T_r (anni)	H_{s0} (m)	T_{p0} (s)
2	3.1	8.7
5	3.7	9.3
10	4.2	9.7
20	4.6	10.1
50	5.2	10.5
100	5.7	10.9
250	6.3	11.3

SETTORE DI TRAVERSIA SECONDARIO CONDIZIONI RIVA		
T_r (anni)	H_{sr} (m)	H_{sr}/H_{s0}
2	2.7	0.8791
5	3.2	0.8762
10	3.7	0.8752
20	4.0	0.8746
50	4.5	0.8746
100	5.0	0.8746
250	5.5	0.8746

Tabella 14 – Propagazione largo/riva per il settore di traversia principale e secondario delle onde di progetto.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

11. Analisi delle variazioni del livello del mare

11.1 Premessa e metodologia seguita

Le variazioni del livello del mare in prossimità della costa sono dovute a varie cause inquadrabili nei seguenti fenomeni:

- variazioni dovute alla componente astronomica della marea (assimilabili a deterministiche);
- variazioni dovute alla componente meteorologica della marea (tipo probabilistico) indotte essenzialmente da due fenomeni: (i) effetto barometrico inverso e (ii) azione esercitata dal vento sulle masse d'acqua ("wind set-up"); in presenza di aree cicloniche (perturbazioni atmosferiche), la componente meteorologica della marea dà luogo ad un aumento del livello del mare; tale aumento è comunemente indicato con il termine sovrizzo di tempesta ("storm surge");
- aumento del livello del mare indotto dal moto ondoso dal moto ondoso frangente ("wave set-up").

In questa sezione sono analizzate le variazioni di livello dovute alla marea astronomica e alla componente meteorologica, il wave set-up sarà analizzato in seguito con l'ausilio di un modello numerico di propagazione del moto ondoso.

11.2 Serie storica dei livelli misurata dalla stazione RMN di Napoli

La stazione mareografica più vicina al sito in esame è quella situata presso il porto di Napoli, nel punto di coordinate 40° 50' N, 14° 16' E, facente parte della Rete Mareografica Nazionale (RMN) gestita dall'ISPRA.

Sono state acquisite e analizzate le misure di livello dal 2010 al 2015 con un intervallo temporale di acquisizione variabile tra 1 ora e 20 minuti. Il rendimento del mareografo risulta molto buono per tutto il periodo dei dati a disposizione.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio meteomarinario. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	004	01	MAR

11.3 Marea astronomica ed analisi armonica dei livelli misurati

Nel grafico di Figura 27 sono riportate a titolo di esempio le misure di livello registrate dal 2010 al 2015. I livelli rappresentati sono riferiti allo zero dello strumento (che in generale non è detto che coincida con il livello medio del mare).

Tali misure sono state processate mediante l'algoritmo Matlab T-TIDE (Pawlowicz et al., 2002), comunemente utilizzato a livello mondiale per l'analisi armonica delle misure di livello. Le costanti armoniche sono quindi state utilizzate per la generazione della serie storica della sola componente astronomica di marea nel periodo di riferimento.

La Figura 28 mostra per l'intero periodo di misura il risultato dell'analisi condotta. Nel grafico sono rappresentate: le misure di livello (in nero), la componente armonica (in rosso) e la componente residua dovuta prevalentemente alla marea meteorologica (in blu).

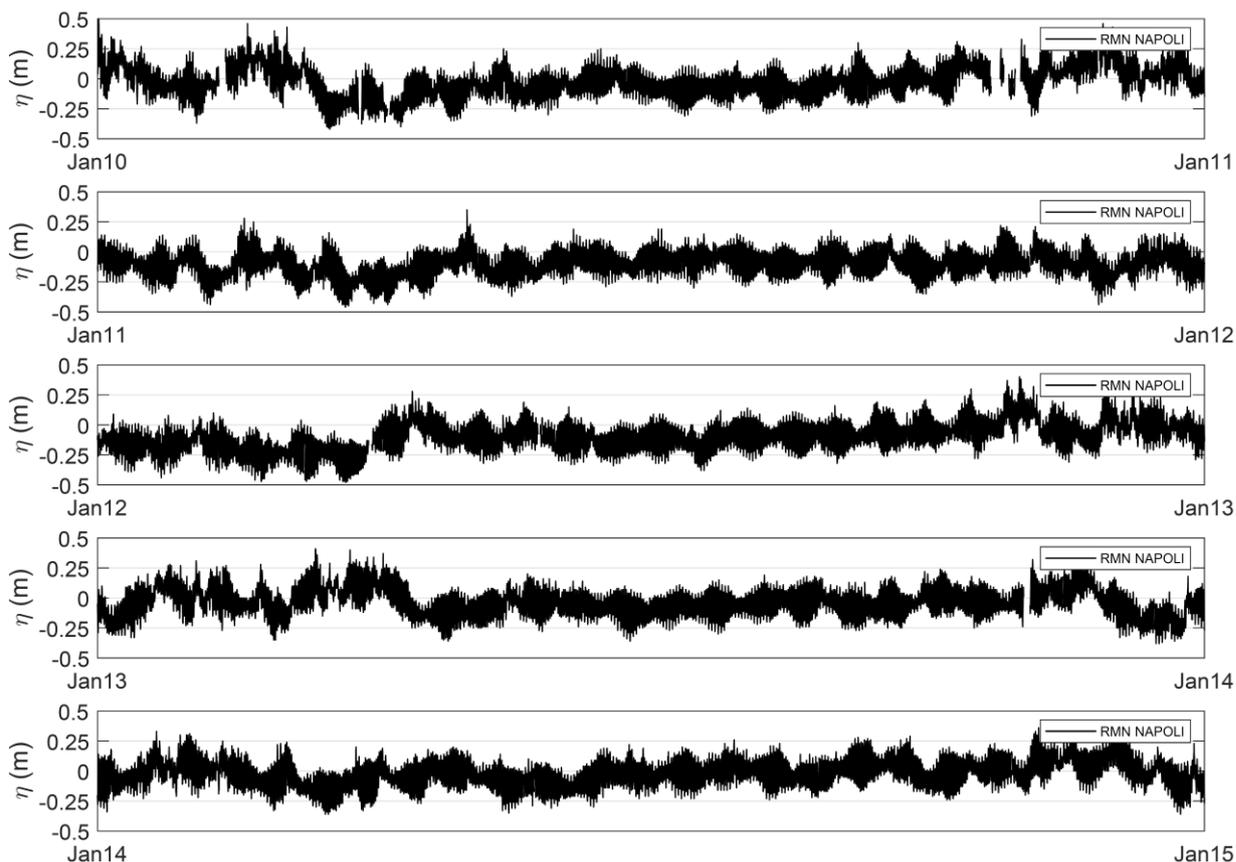


Figura 27 – Livelli registrati dalla stazione mareografica di Napoli relativi al periodo di misura 2010-2015

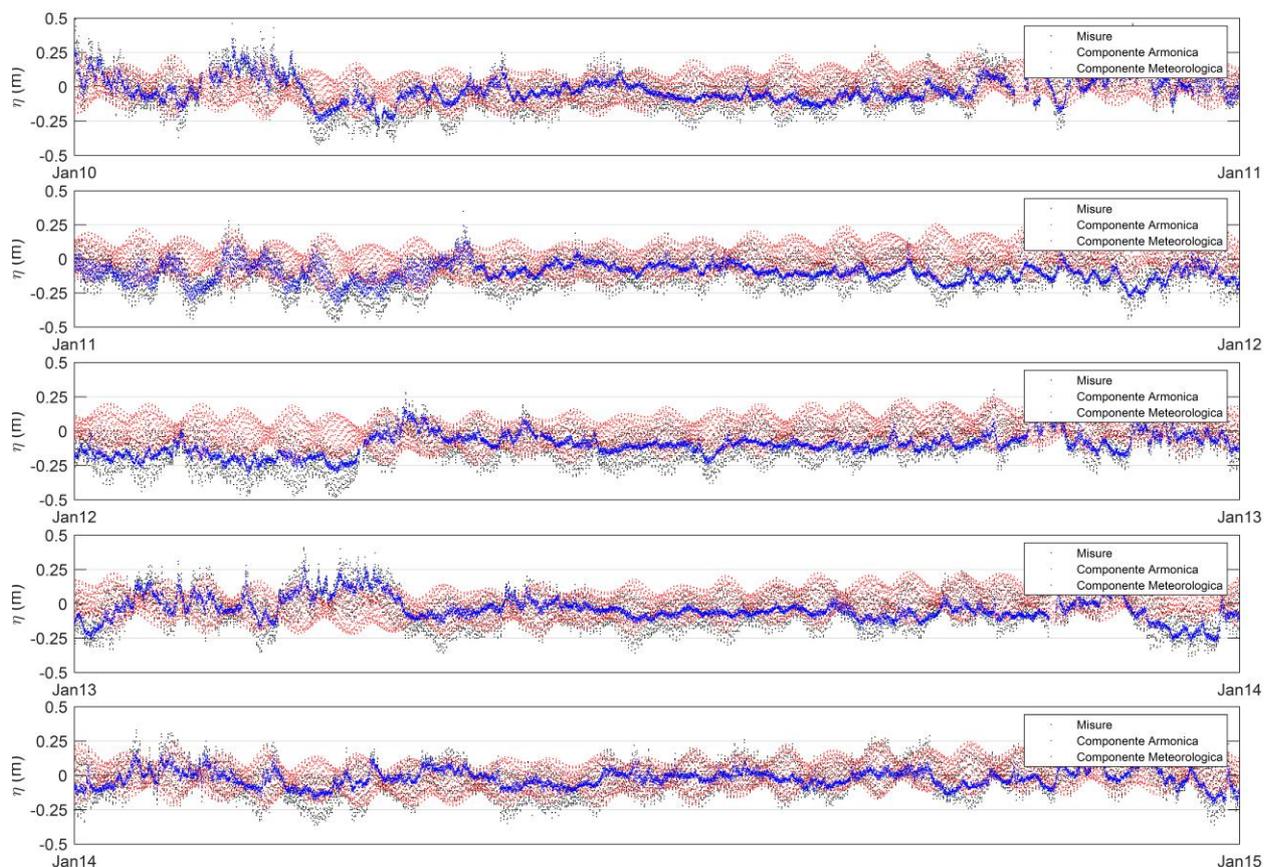


Figura 28 – Analisi della serie storica delle misure di livello misurate presso la stazione RMN di Napoli: identificazione delle componenti armonica e meteorologica.

La marea astronomica è di tipo misto semidiurno con due alte e due basse maree, di ampiezza diversa. L'ampiezza di marea risulta molto contenuta con escursioni di livello comprese mediamente tra +/-6 cm. Durante le fasi sigiziali si ha un aumento dell'ampiezza della marea che può raggiungere occasionalmente +/-12 cm.

I valori riportati in Tabella 15 presentano i livelli di marea sintetici di riferimento.

Highest Astronomical Tide	HAT	0.20	m
Mean High Water Spring	MHWS	0.12	m
Mean Higher High Water	MHHW	0.06	m
Mean Sea Level	MSL	0.00	m
Mean Lower Low Water	MLLW	-0.16	m
Mean Low Water Spring	MLWS	-0.23	m
Lowest Astronomical Tide	LAT	-0.30	m

Tabella 15 – Livelli di marea presso la stazione di Napoli. Ricostruzione livelli di marea su 5 anni sulla base delle costanti armoniche di marea determinate analizzando le misure di livello.

11.4 Analisi del residuo (componente meteorologica)

Una volta identificata la serie storica della sola componente meteorologica (residuo) è stata effettuata l'analisi dei valori estremi di tale forzante. L'analisi degli eventi estremi è stata effettuata utilizzando il metodo dei picchi sopra soglia (POT) con valore di soglia del sovranzo meteorologico pari a +0.1 m sul l.m.m. Anche in questo caso la distribuzione di probabilità che meglio approssima i dati è risultata essere la distribuzione di Weibull ($k = 1$).

$$P_{X_{\min}}(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right]$$

In Figura 29 viene riportato l'andamento del sovranzo meteorologico in funzione del tempo di ritorno, mentre i valori significativi per tempi di valori dei tempi di ritorno di riferimento sono riportati in Tabella 16.

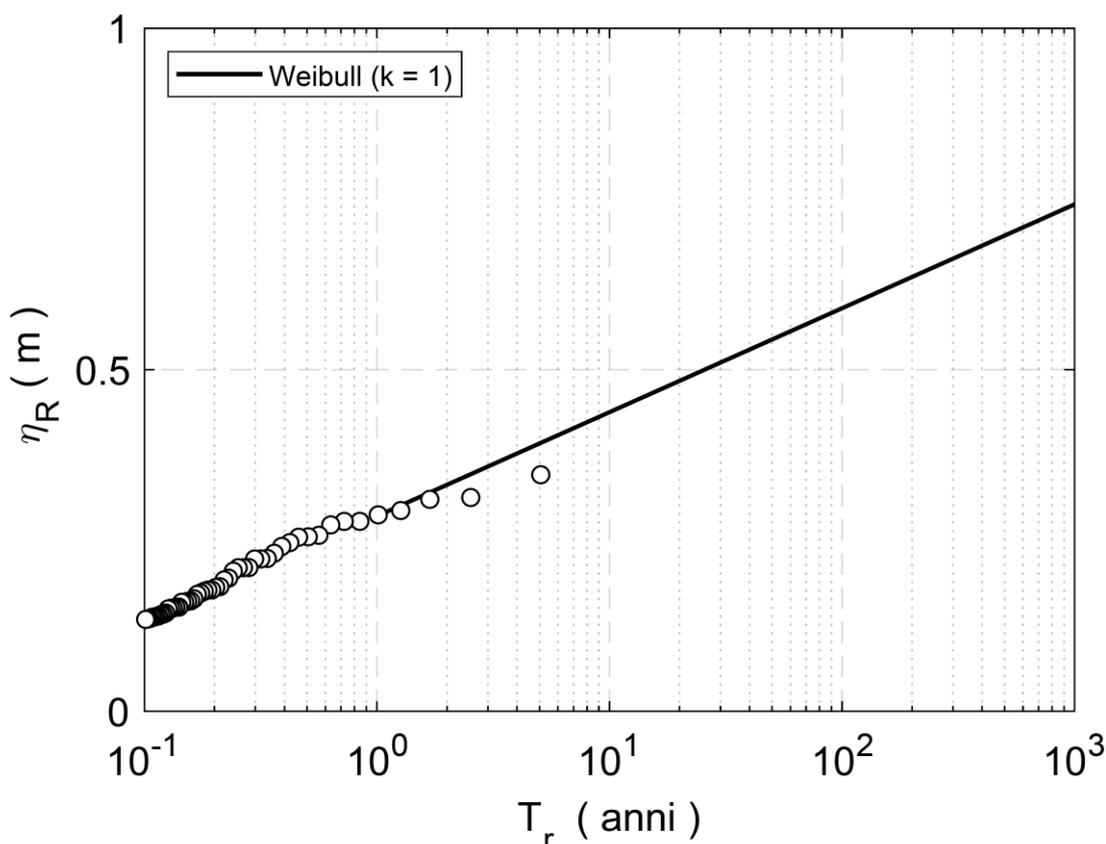


Figura 29 – Adattamento dei massimi residui di marea mensili con la legge tipo Weibull (soglia a 0.05 m) nel Porto di Napoli.

 <small>AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE NAPOLI-CAPOLIBRO - COSTA LIGURIA DI GIUGIA</small>	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE		Titolo elaborato: studio meteomarino. Data: 15.10.2019					
	19	002	DR	004	01	MAR		

Tr (anni)	Sovralzo (m)
1	0.29
2	0.33
5	0.39
10	0.44
15	0.46
20	0.48
25	0.50
30	0.51
50	0.54
100	0.59
250	0.65

Tabella 16 – Valori relativi ai valori di sovrалzo in relazione al tempo di ritorno per il porto di Napoli.