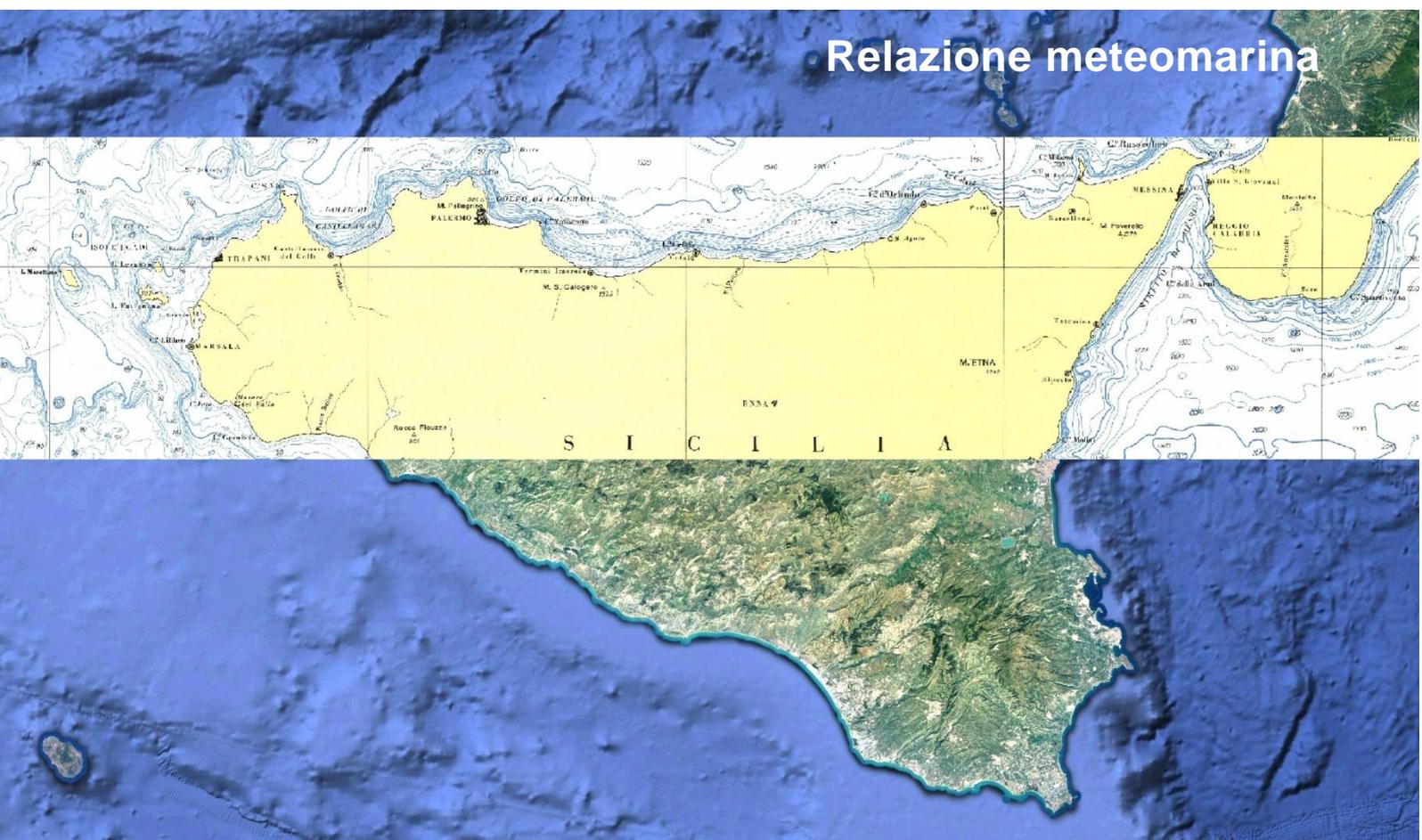


Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Domanda di Autorizzazione Unica ex art. 12 DLgs 387/2003

Ministero dell'Ambiente  
Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ex DLgs.152/2006

PROGETTO PRELIMINARE  
PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO  
OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA



Relazione meteomarina

Progetto

Dott. Ing. Luigi Severini

Elaborazioni

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

Concept & Innovations:

**NiceTechnology®**

**R11**

F0119U.R11.RELMET.00.c

00	24/07/2019	EMESSO PER APPROVAZIONE	L.Carrieri	L.Severini
REV	DATA	DESCRIZIONE	DESIGNER	PLANNER

Codice:

<b>F</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>U</b>	<b>R</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>R</b>	<b>E</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>E</b>	<b>T</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>c</b>
NUM.COMM.		ANNO		COD.SET	NUM.ELAB.			DESCRIZIONE ELABORATO							REV.	R.I.		

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>		Pagina <b>3</b>	Di <b>43</b>

<b>1</b>	<b>SCOPO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
	2.1 Generalità .....	4
	2.2 Ubicazione .....	5
	2.3 Layout dell’impianto.....	5
<b>3</b>	<b>PROFILO ANEMOLOGICO .....</b>	<b>7</b>
	3.1 Analisi dei dati anemometrici.....	8
<b>4</b>	<b>PROFILO ONDAMETRICO.....</b>	<b>13</b>
	4.1 Caratterizzazione del clima ondoso ordinario.....	13
	4.2 Correlazione vento – onda ( <i>wind – wave misalignment</i> ).....	20
	4.3 Caratterizzazione degli eventi estremi .....	20
<b>5</b>	<b>PROFILO MAREOGRAFICO.....</b>	<b>28</b>
	5.1 Temperatura del mare.....	28
	5.2 Presenza di ghiaccio .....	32
	5.3 Densità dell’acqua .....	32
	5.4 Marine growth mass.....	32
	5.5 Livello relativo di marea .....	33
	5.6 Livello di salinità .....	36
	5.7 Profilo batimetrico.....	38
	5.8 Correnti marine .....	39
<b>6</b>	<b>RIFERIMENTI.....</b>	<b>42</b>

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE		Data <b>Luglio 2019</b>
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>			Pagina <b>4</b> Di <b>43</b>

## 1 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione fornisce un inquadramento del profilo meteo marino del sito individuato per l'installazione dell'impianto eolico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo offshore galleggiante (Floating Offshore Wind Farm – FOWF), proposto dalla società 7SEASmed s.r.l. nel Canale di Sicilia.

## 2 INTRODUZIONE

L'analisi svolta ha valutato le caratteristiche meteomarine pertinenti il contesto operativo del parco eolico offshore.

I principali parametri investigati sono:

- il *profilo anemologico* della località (caratterizzazione statistica della direzione e dell'intensità del vento con la quota),
- il *profilo ondometrico* (caratterizzazione statistica del moto ondoso nei termini della direzione media di provenienza, periodo medio e di picco, altezza d'onda significativa, rispetto a condizioni ordinarie ed estreme),
- il *profilo mareografico*, (caratterizzazione delle condizioni termo-fisiche del mare, andamento annuale del livello di marea, correnti marine, stima del livello di salinità medio, etc.).

### 2.1 Generalità

L'impianto eolico offshore in progetto è composto da 25 turbine eoliche, ciascuna con potenza nominale di 10 MW, per una capacità totale dell'impianto pari a 250 MW. Il sistema comprende anche una rete di cavi marini in media tensione, una sottostazione elettrica offshore per la trasformazione della tensione elettrica da 66 kV a 220 kV, un cavo marino in alta tensione, un cavo terrestre in alta tensione e una cabina di consegna per il collegamento alla rete elettrica nazionale.

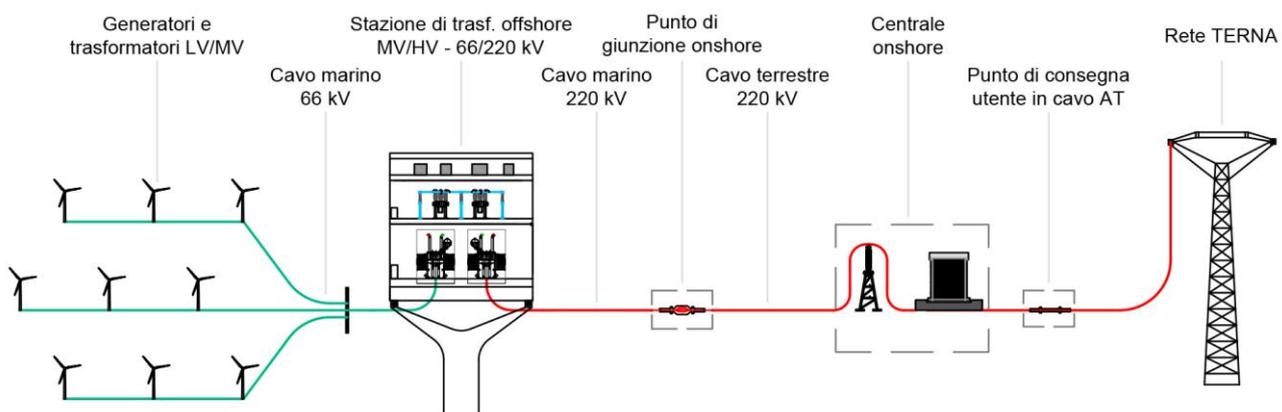


Figura 2.1 – Layout unifilare dell'impianto. Elaborazione iLStudio.

L'impianto interesserà i seguenti ambiti territoriali:

- la *Piattaforma Continentale Italiana*, per l'installazione delle torri eoliche, dei cavi marini in media tensione e del primo tratto del cavidotto marino;
- il *mare territoriale*, per il passaggio sottomarino del cavidotto marino sino alla terraferma;

 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE <b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Data <b>Luglio 2019</b>	Pagina <b>5</b> Di <b>43</b>

- parte del *territorio regionale siciliano*, per il passaggio del cavidotto terrestre dal punto di approdo a terra sino al punto di connessione con la RTN (Rete di Trasmissione Nazionale).

## 2.2 Ubicazione

L'impianto di generazione eolica è ubicato nella zona di mare antistante la costa occidentale della Sicilia, nell'area settentrionale del Canale di Sicilia, a circa 37 km SW da Marsala, 35.5 km SSW da Favignana, 32 km S da Marettimo.

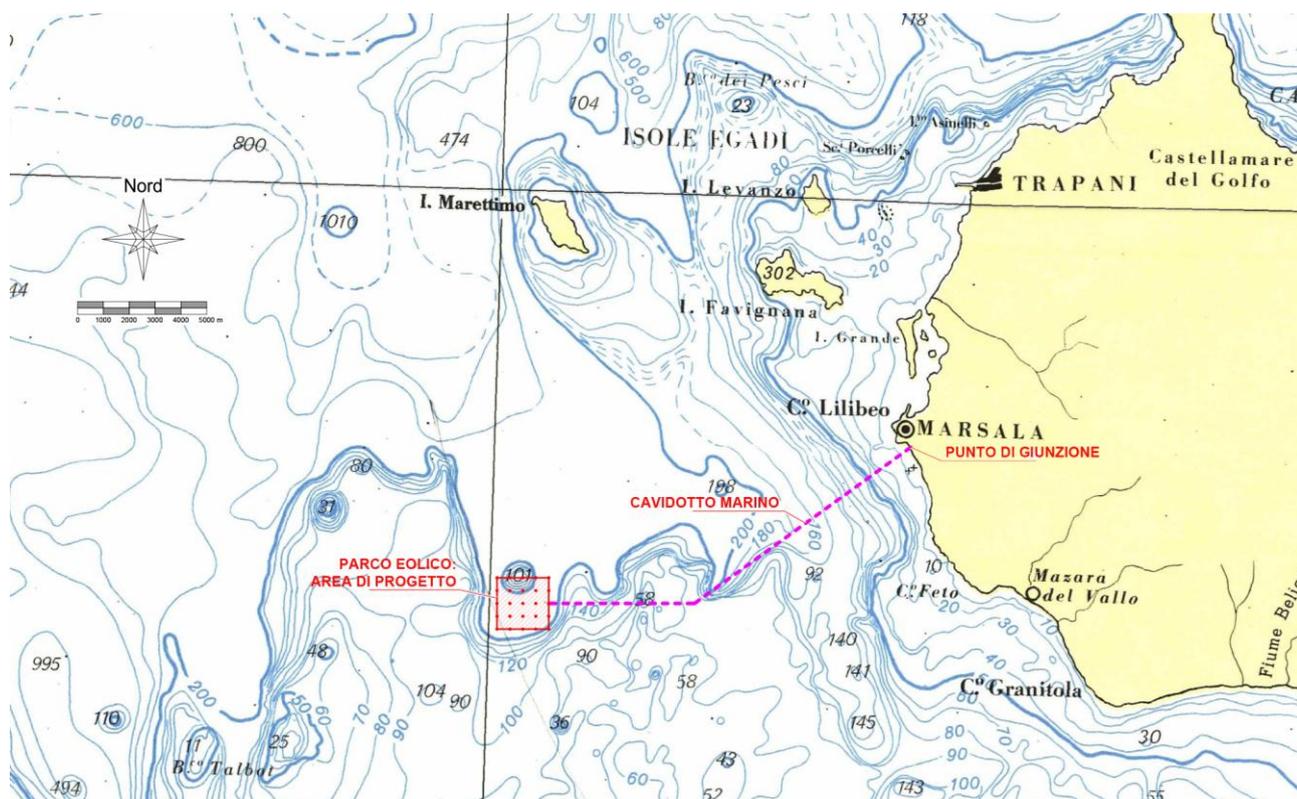


Figura 2.2 – Ubicazione impianto. Elaborazione ilStudio.

Il posizionamento del parco sintetizza diversi studi e consultazioni che hanno fornito una conoscenza preliminare delle caratteristiche del sito e delle sue criticità.

Le turbine eoliche galleggianti (a seguire FOWT: Floating Off-Shore Wind Turbine) sono un recente e innovativo sviluppo tecnologico che permette di realizzare fondazioni per parchi eolici offshore su fondali profondi con costi sostenibili e impatti ambientali trascurabili.

Le fondazioni saranno di tipo galleggiante e l'hub della navicella sarà posizionato a circa 134 m di altezza sul livello medio mare.

## 2.3 Layout dell'impianto

L'impianto eolico comprende in totale 26 fondazioni galleggianti, di cui 25 per turbine OWT e una per la sottostazione offshore (FOSS, Floating Offshore Sub Station), prevista ad Est del parco e indicata in Figura 2.3. Le turbine sono collegate l'una all'altra e alla sottostazione attraverso linee elettriche sottomarine.

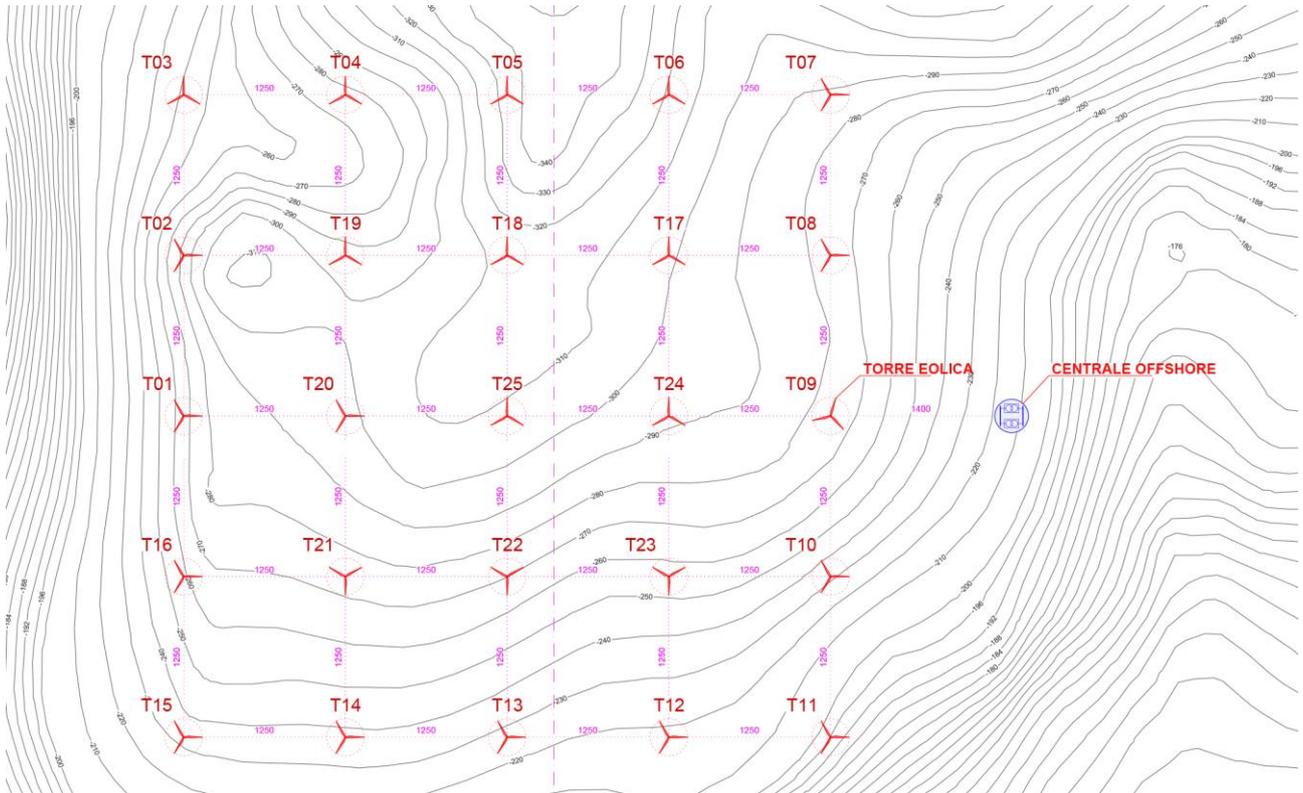


Figura 2.3 – Layout impianto. Elaborazione ilStudio.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data	<b>Luglio 2019</b>
	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Pagina	<b>7</b>
		Di	<b>43</b>

### 3 PROFILO ANEMOLOGICO

Il profilo anemologico della località, inteso come mappa di intensità e direzione del vento statisticamente significative per il sito, è stato estrapolato da dati storici del servizio MetOcean (DHI, 2019) elaborati secondo il modello NCEP CFSR (*Climate Forecast System Reanalysis*) per il periodo 1 gennaio 1979 – 31 dicembre 2018 e relativi alla quota 10 m.s.l.m.. Il modello considera l'interazione termofluidodinamica tra i domini globali aria, terra e acqua fornendone una rappresentazione di stato oraria con ottima risoluzione spaziale, inferiore a 30 km per il comparto offshore nell'immediato intorno del parco. La Figura 3.1 mostra il posizionamento relativo tra il baricentro del parco e i punti significativi del reticolo di calcolo del modello globale.



Figura 3.1 – Dataset anemologici disponibili nell'intorno del parco. Elaborazione ilStudio su dati (DHI, 2019)

I relativi dataset sono stati elaborati per determinare il regime di vento alla quota di 100 m.s.l.m. estrapolando il modulo della velocità attraverso la nota *wind logarithmic law* (Manwell & McGowan, 2009) che descrive il profilo di velocità nella regione dello strato limite atmosferico, sotto le ipotesi di superficie limite piana ed omogenea. La velocità  $v(z)$  alla generica quota  $z$  vale dunque:

$$v(z) = v(z_{rif}) \frac{\log\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\log\left(\frac{z_{rif}}{z_0}\right)} \quad eq. (1)$$

nella quale  $v(z_{rif})$  è la velocità del vento alla quota di riferimento  $z_{rif}$ ,  $z_0$  è la quota corrispondente alla rugosità caratteristica della superficie limite. Alcuni valori caratteristici di  $z_0$  sono riportati in Tabella 3.1.

 <b>SEAS med</b>	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
		Data <b>Luglio 2019</b>	
 <b>ilStudio</b> Engineering & Consulting Studio	PROGETTO PRELIMINARE		Pagina <b>8</b>
	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>		Di <b>43</b>

**Tabella 3.1 – Valori  $z_0$  per diverse tipologie di superficie limite**

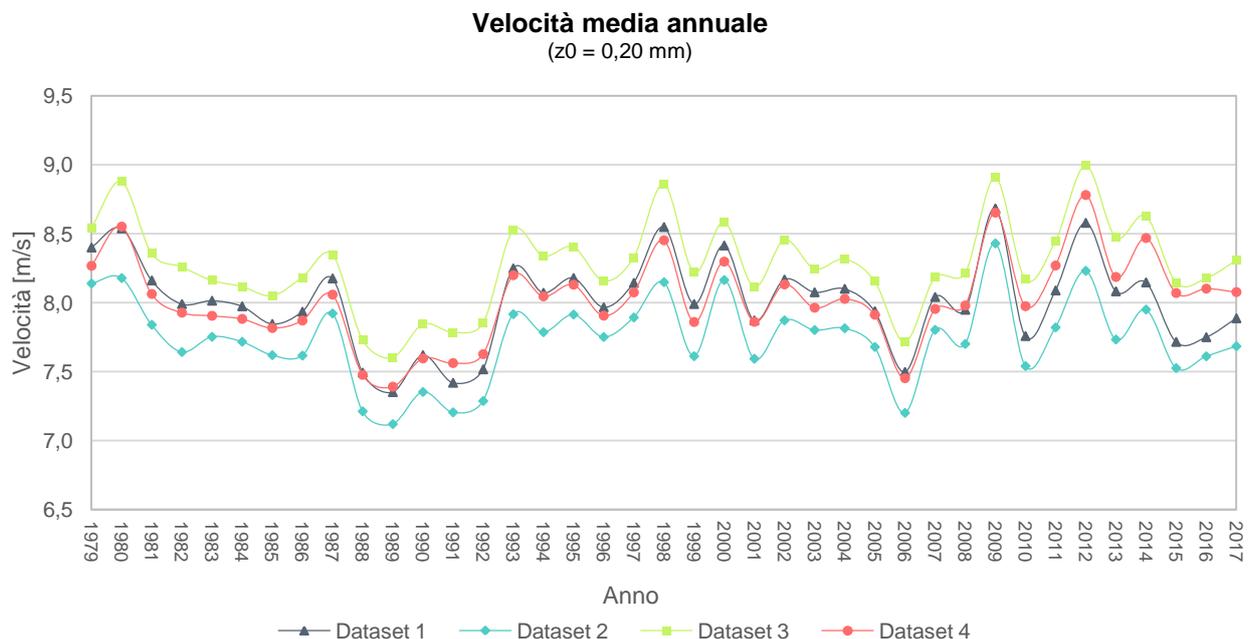
<b><math>z_0</math> [mm]</b>	<b>Caratteristiche della superficie limite</b>
0.01	Ghiaccio o fango molto lisci
0.20	Mare calmo
0.50	Mare mosso
3.00	Superficie innevata
8.00	Erba da prato
50.00	Colture
100.00	Pochi alberi
250.00	Molti alberi, siepi, pochi edifici
500.00	Foreste e boschi
1500.00	Periferia urbana
3000.00	Centro cittadino con edifici alti

Per il caso in esame, volendo tenere in conto gli effetti dei possibili stati di mare sullo sviluppo dello strato limite, il profilo di velocità è stato dedotto nelle due condizioni di “mare calmo” e “mare mosso” assumendo valori di  $z_0$  rispettivamente pari a 0.20 e 0.50 mm.

### 3.1 Analisi dei dati anemometrici

La sensibilità del dato anemometrico rispetto alle condizioni al contorno (riferimento geografico del dataset e caratteristiche della superficie limite) è stata vagliata attraverso l’analisi e il confronto diretto dei dati disponibili.

La Figura 3.2 raffronta le velocità medie annuali per ciascun dataset. Il trend generale vede la velocità media crescere nella direzione sud – ovest ove risulta più efficace l’effetto di incanalamento del flusso d’aria nell’involuppo morfologico del Canale di Sicilia. Il “dataset 2” risente invece dell’effetto di rallentamento e deviazione della corrente d’aria indotto dalla presenza dell’isola di Marettimo.



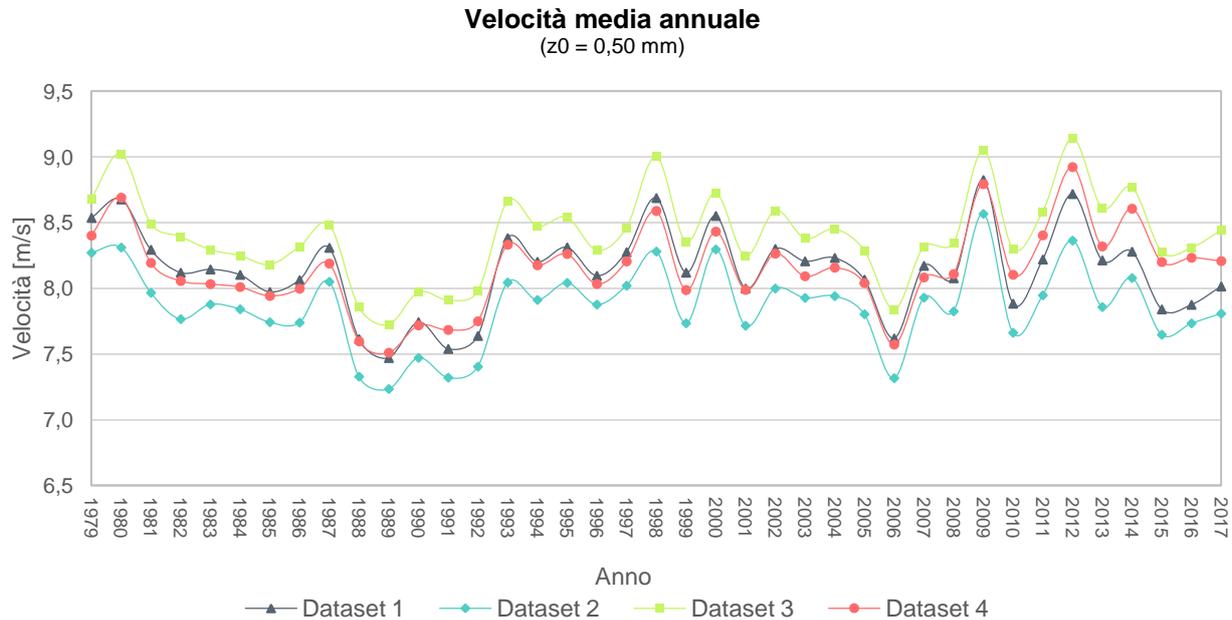


Figura 3.2 – Velocità media annuale, confronto dataset. Elaborazione ilStudio su dati (DHI, 2019).

Guardando alla velocità media annuale a 100 m.s.l.m. e alle frequenze di vento per direzione, i dataset (escludendo dalla valutazione il “dataset 2”) non esibiscono differenze significative così come non è significativo lo scostamento rispetto alle caratteristiche della superficie limite ( $z_0$ ). Ad ulteriore conferma, in Figura 3.3 si confronta la velocità media al variare sia di  $z_0$  sia della posizione geografica; nella stessa figura, fissate le velocità di cut - in e cut - off della turbina (scelte a valori 3 e 28 m/s rispettivamente) sono anche riportate le frequenze di funzionamento annuale in regime di produzione.

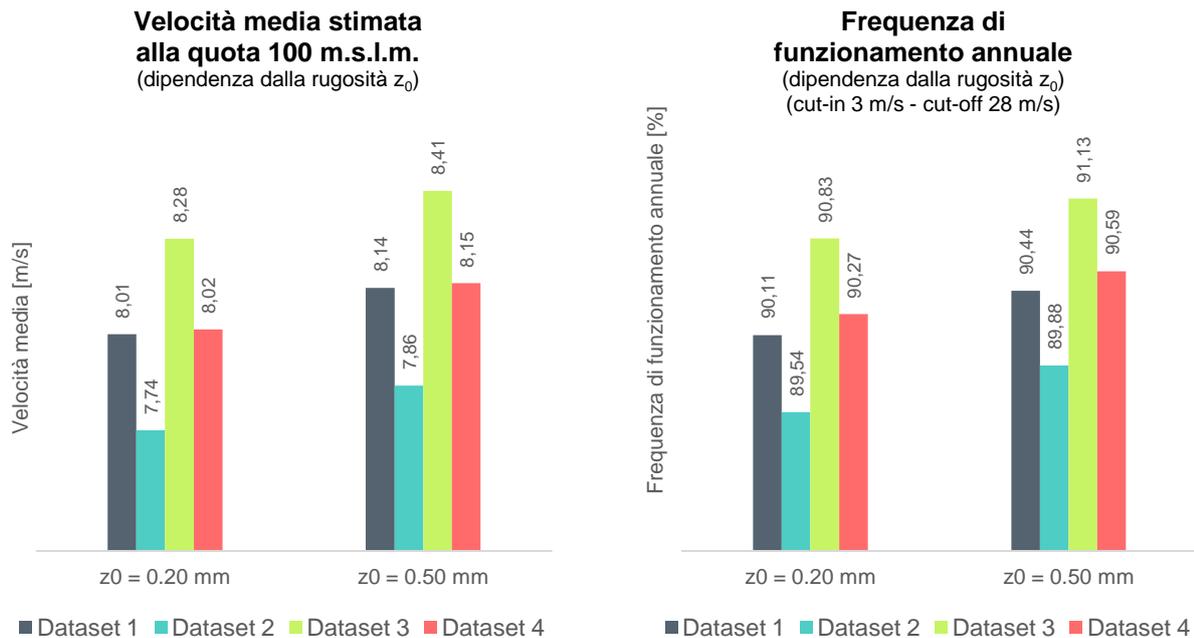
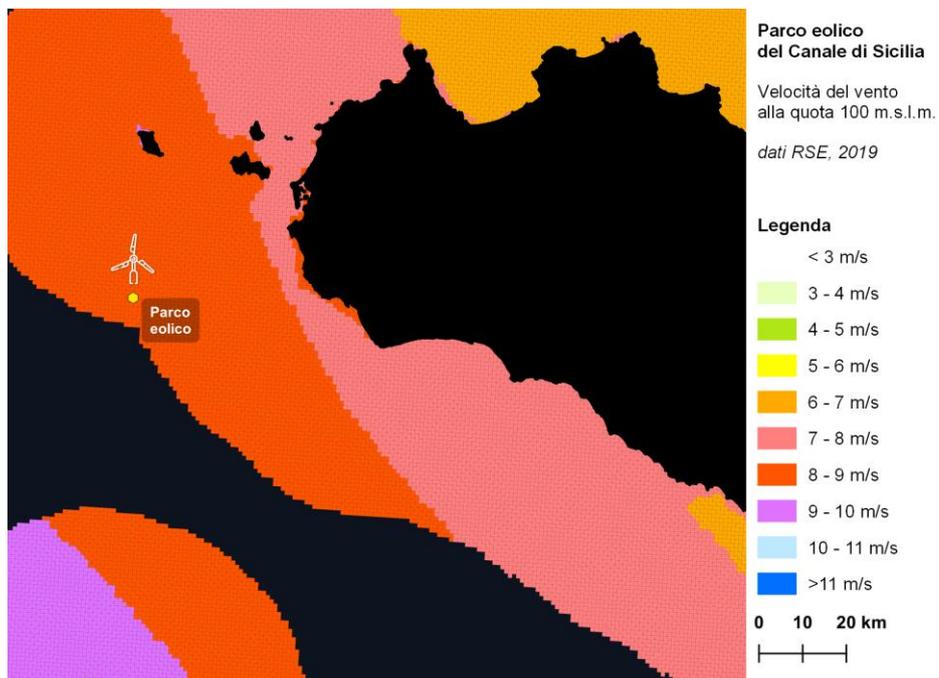


Figura 3.3 – Influenza della posizione geografica e delle caratteristiche della superficie limite sulla velocità media del vento e sulla frequenza annuale di funzionamento dell’impianto. Elaborazione ilStudio su dati (DHI, 2019).

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
<b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	Di <b>43</b>
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>		Pagina <b>10</b>	Di <b>43</b>

La velocità media nel periodo di riferimento (39 anni) varia in un intervallo di ampiezza massima pari a 0.54 m/s. Parametrando l'ampiezza di tale intervallo al valore medio di 8.5 m/s fornito da (RSE, 2019) (Ricerca Sistema Energetico), per la macro area di riferimento e per la quota 100 m.s.l.m. (Figura 3.4), si ottiene uno scarto totale massimo pari al 5% dunque assolutamente non significativo.



*Figura 3.4 – Mappa della ventosità media annuale a 100 m.s.l.m. . Elaborazione ilStudio su dati (RSE, 2019).*

Anche la direzione di vento e la relativa frequenza sono coerenti tra i diversi dataset disponibili come mostrato in Figura 3.5. Si riconosce in particolare la direzione di vento prevalente da nord – ovest verso sud – est nel settore tra 270 e 330 gradi nord.

**Frequenza vento per direzione**  
(confronto dataset disponibili)

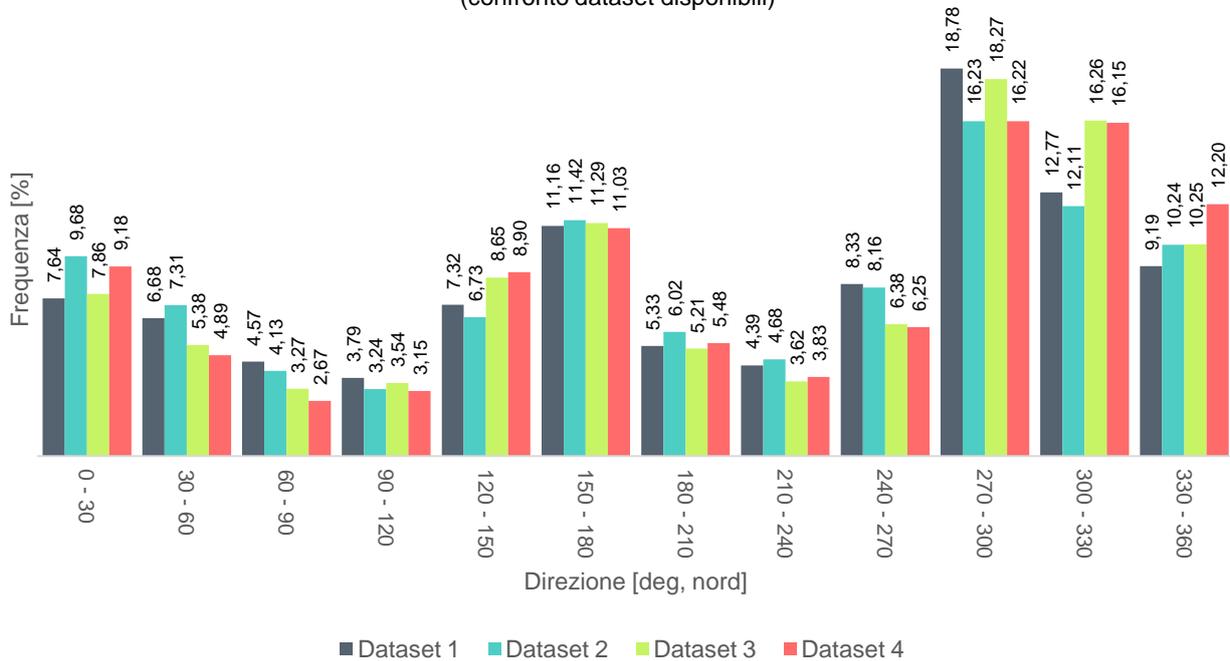


Figura 3.5 – Frequenze di vento per direzione, variazione con la posizione geografica. Elaborazione ilStudio su dati (DHI, 2019).

Eliminando dalla valutazione il “dataset 2”, la scelta della base dati più rappresentativa è stata dunque effettuata applicando un criterio basato sulla mera distanza dal baricentro del parco eleggendo così il “dataset 4” quale miglior rappresentante del regime di vento locale. La rosa dei venti e l’istogramma delle frequenze caratteristici del sito sono dunque mostrati in Figura 3.6 e Figura 3.7 (direzione di riferimento per il vento 0 deg N).

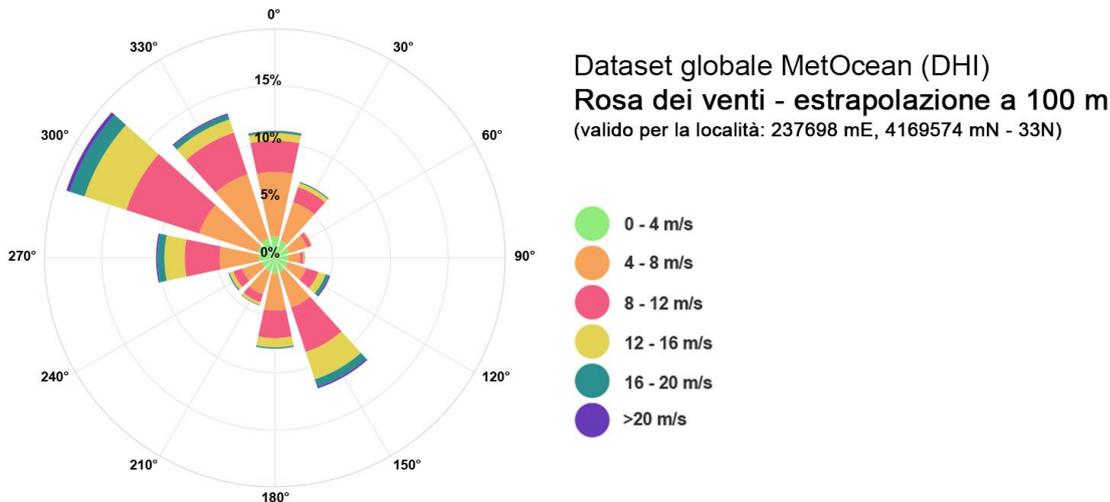
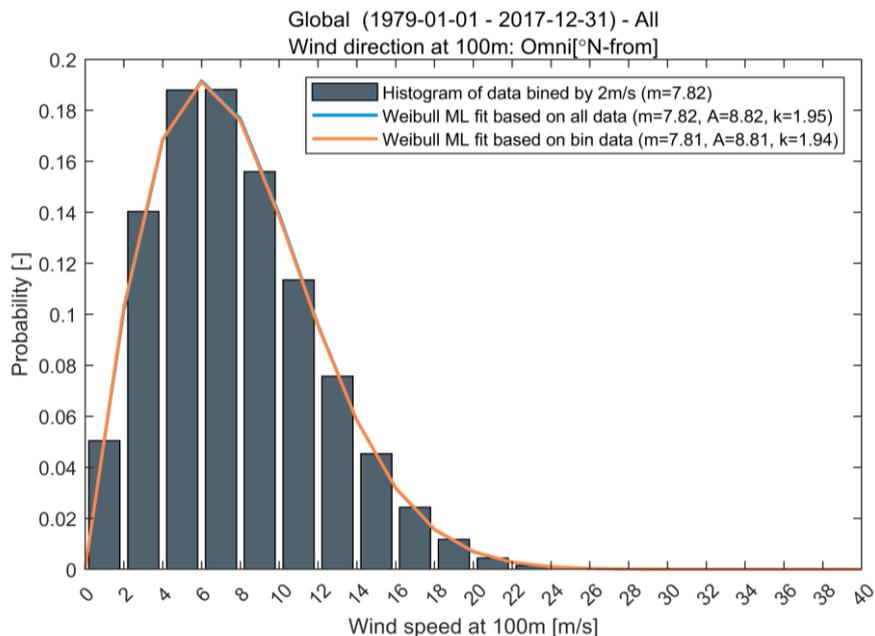


Figura 3.6 – Rosa dei venti per la località del parco. Elaborazione ilStudio su dati (DHI, 2019).

 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE <b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Data <b>Luglio 2019</b>	Pagina <b>12</b> Di <b>43</b>



*Figura 3.7 – Frequenza storica della velocità del vento per la località del parco, dati (DHI, 2019).*

La stima del tempo operativo medio dell’impianto in regime di produzione è stata ottenuta censurando il dataset storico rispetto alle velocità di cut – in e cut – off degli aerogeneratori. Epurando i record relativi a regimi di vento con velocità esterne all’intervallo [3;28] m/s il tempo operativo utile dell’impianto è statisticamente superiore al 90% (su base annuale) a conferma della stabile e cospicua risorsa energetica disponibile nel sito.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>		Pagina <b>13</b>	Di <b>43</b>

## 4 PROFILO ONDAMETRICO

La ricostruzione del moto ondoso nella località di progetto, intesa come caratterizzazione dell'onda significativa in termini di altezza, periodo, direzione e frequenza, è stata effettuata con elaborazioni dei rilievi ondametrici della Rete Ondametrica Nazionale (RON) e dei dataset MetOcean.

Il dataset della RON si basa su rilevazioni dirette del regime d'onda attraverso boe ondametriche, opportunamente strumentate, con periodo di campionamento teorico non inferiore a trenta minuti ogni tre ore e comunque variabile in ragione diretta dell'altezza d'onda (con acquisizione in continuo per onde con altezza significativa superiore a 3 m).

Il dataset MetOcean offre invece una misura ondametrica indiretta basata sul modello d'onda globale DHI (GWM) generato dal modello DHI MIKE 21 Spectral Wave di terza generazione, applicato al set di dati eolici CFSR ad alta precisione di NCEP/NOAA, i cui risultati sono comunque calibrati e convalidati attraverso dati satellitari e boe offshore.

### 4.1 Caratterizzazione del clima ondoso ordinario

I dati disponibili nel database MetOcean (DHI, 2019) per la località di progetto sono relativi al periodo 01 gennaio 1979 - 31 dicembre 2018. I dati sono stati raggruppati in classi di altezza d'onda e direzione media di provenienza (rispetto al nord geografico), così da poter mappare la situazione ondametrica di largo secondo la classica rappresentazione a rosa (Figura 4.1, Figura 4.4 e Figura 4.5).

L'analisi delle figure evidenzia che gli eventi più frequenti, nonché caratterizzati da più elevata altezza d'onda significativa, sono quelli provenienti dal quarto quadrante (setto che comprende le direzioni tra l'ovest ed il nord, nel setto tra 285 e 315 gradi). La presenza di eventi più intensi nel quarto quadrante è senz'altro imputabile alla maggiore intensità dei venti in quella direzione (vento di Maestrale).

Per la stessa ragione, dato il confinamento dell'area di mare tra la Sicilia a nord - est e la Tunisia a sud - ovest, gli eventi ondosi provenienti dal primo e dal terzo quadrante sono mediamente meno significativi non solo dal punto di vista della frequenza ma anche in termini di altezza d'onda significativa.

Globalmente (Figura 4.2), le onde inferiori ai 2 m di altezza rappresentano circa l'85% del totale con una occorrenza annuale stimata di 310 giorni / anno, il 10% circa ha un'altezza compresa tra 2 e 3 m per circa 37 giorni / anno mentre, il restante 5%, supera i 3 m con una occorrenza di circa 18 giorni / anno.

 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>		Pagina <b>14</b>	Di <b>43</b>

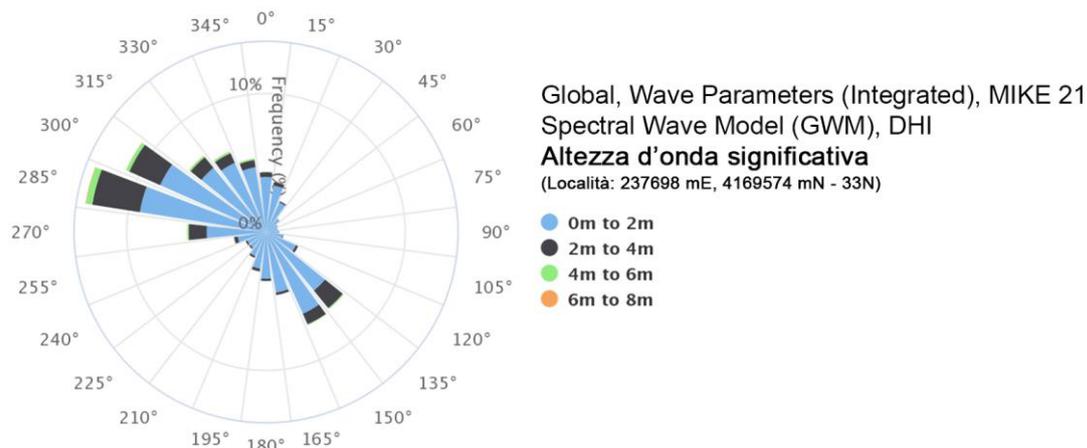


Figura 4.1 – Rose plot dell'altezza d'onda significativa, fonte (DHI, 2019).



Figura 4.2 – Frequenza media per classe di altezza d'onda significativa. Elaborazione ilStudio su dati (DHI, 2019).

I dati del servizio MetOcean (DHI) sono stati confrontati con i rilievi ondametrici della boa RON di Mazara del Vallo (coordinate geografiche 281976 mE, 4155198 mN EPSG:32633 WGS84 UTM zona 33N) la quale fornisce misure dello stato di mare per il periodo 1 luglio 1989 – 31 ottobre 2014 (elaborazione dataset in Tabella 4.1, Tabella 4.2 e Tabella 4.3).

Nonostante la distanza tra le località di riferimento dei dataset, il regime d'onda che ne risulta è assolutamente confrontabile (Figura 4.1 e Figura 4.3).

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Pagina <b>15</b>	Di <b>43</b>

**Tabella 4.1 – Frequenza rilevata dell'altezza d'onda significativa rispetto alla direzione d'onda. Elaborazione iLStudio su dataset boa ondometrica di Mazara del Vallo (ISPRA, 2019).**

		Altezza d'onda significativa, Hs [m]													Totale	
		0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	5-5.5	5.5-6	6-6.5		6.5-7
Direzione, [deg N]	0	0,084	0,045	0,013	0,002											0,143
	10	0,041	0,024	0,004												0,069
	20	0,036	0,021	0,001	0,001											0,059
	30	0,024	0,013	0,003	0,001											0,040
	40	0,034	0,015	0,001	0,001											0,051
	50	0,041	0,012	0,003	0,001											0,057
	60	0,033	0,020	0,002	0,001											0,055
	70	0,047	0,022	0,006												0,074
	80	0,062	0,031	0,010	0,004											0,108
	90	0,089	0,048	0,042	0,021	0,002	0,001		0,001	0,001						0,203
	100	0,133	0,078	0,049	0,013	0,005	0,001									0,280
	110	0,273	0,242	0,086	0,027	0,003	0,001									0,632
	120	0,469	0,680	0,466	0,285	0,127	0,088	0,028	0,006	0,003	0,003	0,004	0,001			2,160
	130	0,871	1,794	1,427	0,846	0,396	0,209	0,086	0,043	0,011	0,005	0,001	0,001			5,689
	140	1,189	2,604	1,673	0,841	0,331	0,182	0,071	0,029	0,014	0,006					6,940
	150	1,474	2,308	1,103	0,455	0,177	0,061	0,027	0,006	0,008	0,005					5,624
	160	1,448	1,692	0,560	0,216	0,048	0,016	0,006	0,003	0,008		0,001				3,998
	170	1,409	1,133	0,432	0,175	0,031	0,005	0,005	0,002	0,005			0,001			3,197
	180	1,194	0,820	0,338	0,175	0,046	0,005	0,001	0,002	0,002	0,001		0,001	0,001		2,584
	190	1,082	0,595	0,250	0,129	0,034	0,011	0,003	0,003	0,001	0,003	0,001				2,112
200	1,006	0,492	0,197	0,118	0,036	0,023	0,011	0,002		0,002	0,002				1,887	
210	0,973	0,417	0,150	0,083	0,040	0,019	0,012	0,001		0,003	0,001				1,697	
220	0,896	0,379	0,142	0,075	0,033	0,026	0,011	0,002	0,003	0,001					1,568	
230	0,829	0,383	0,151	0,086	0,036	0,014	0,007	0,006	0,004	0,004					1,519	
240	0,890	0,498	0,161	0,105	0,046	0,019	0,006	0,011	0,005	0,003	0,001				1,744	
250	1,025	0,669	0,271	0,155	0,049	0,038	0,013	0,003	0,001	0,001	0,001				2,226	
260	1,369	1,099	0,629	0,353	0,186	0,090	0,061	0,038	0,008	0,009	0,001				3,842	
270	2,030	2,981	2,178	1,270	0,752	0,431	0,238	0,105	0,055	0,026	0,015	0,008	0,001		10,089	
280	2,740	5,196	3,891	2,848	1,608	0,823	0,433	0,230	0,109	0,093	0,028	0,008	0,002	0,002	18,010	
290	2,321	3,779	2,318	1,362	0,643	0,315	0,113	0,066	0,029	0,021	0,007	0,001			10,976	
300	1,841	2,192	1,131	0,518	0,190	0,079	0,026	0,016	0,005	0,001					5,998	
310	1,323	1,472	0,476	0,177	0,065	0,033	0,009	0,001							3,557	
320	0,721	0,996	0,138	0,019	0,004	0,001									1,879	
330	0,252	0,290	0,028	0,003											0,573	
340	0,108	0,085	0,025	0,001											0,218	
345	0,066	0,061	0,011	0,001											0,140	
<b>Totale</b>	<b>28,421</b>	<b>33,187</b>	<b>18,366</b>	<b>10,366</b>	<b>4,889</b>	<b>2,490</b>	<b>1,165</b>	<b>0,573</b>	<b>0,272</b>	<b>0,184</b>	<b>0,061</b>	<b>0,019</b>	<b>0,004</b>	<b>0,002</b>	<b>100 %</b>	

**Tabella 4.2 – Frequenza rilevata dell'altezza d'onda significativa vs Periodo medio dell'onda. Elaborazione ilStudio su dataset boa ondometrica di Mazara del Vallo (ISPRA, 2019).**

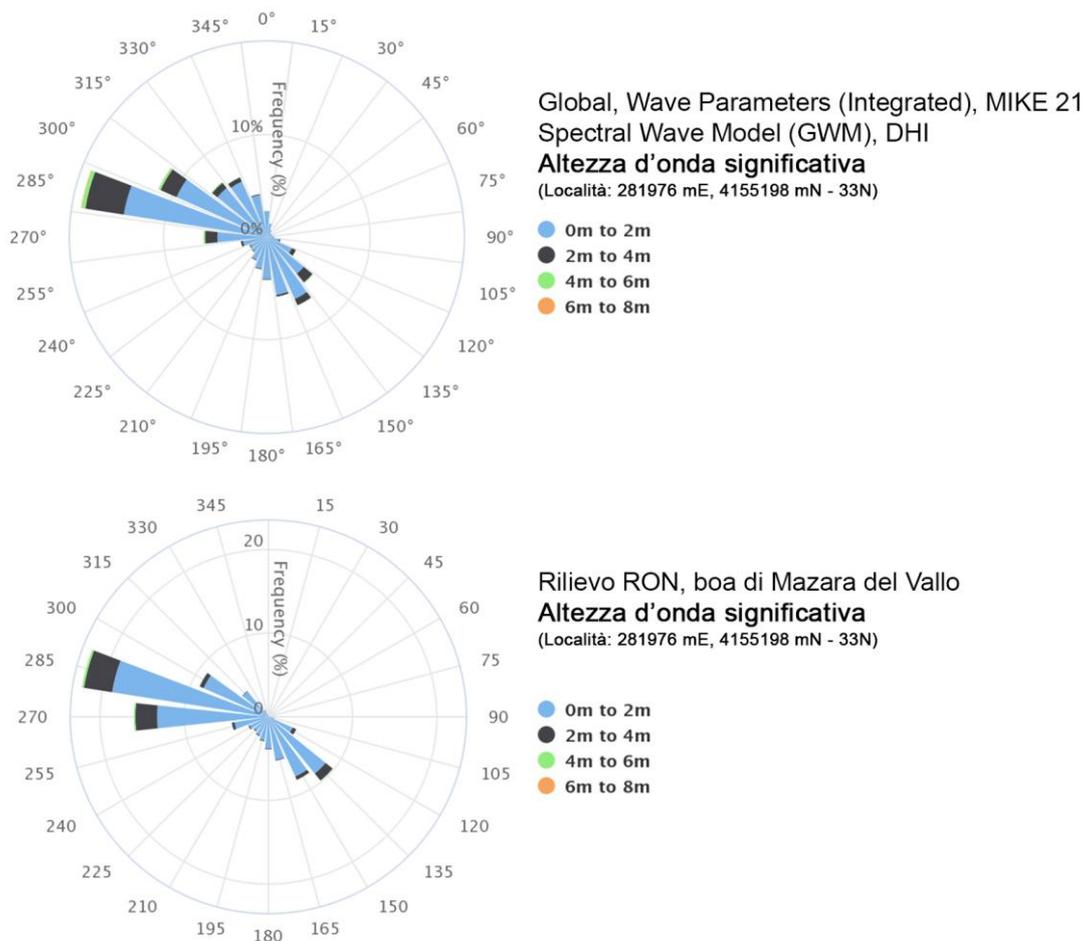
		Altezza d'onda significativa, Hs [m]													Tot.	
		0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	5-5.5	5.5-6	6-6.5		6.5-7
Periodo medio dell'onda Tm, [s]	0 - 2	0,022														0,022
	2 - 4	23,294	19,722	4,246	0,092											47,354
	4 - 6	4,794	12,572	12,911	8,927	3,758	1,519	0,331	0,013	0,001						44,826
	6 - 8	0,222	0,841	1,168	1,315	1,089	0,922	0,785	0,518	0,231	0,113	0,027	0,005			7,236
	8 - 10	0,044	0,036	0,041	0,031	0,041	0,049	0,049	0,041	0,041	0,071	0,033	0,012	0,003	0,002	0,491
	10 - 12	0,019	0,004			0,001			0,001		0,001	0,001	0,003	0,001		0,031
	12 - 14	0,004	0,004					0,001								0,009
	14 - 16	0,004	0,004													0,009
	16 - 18	0,003														0,003
	18 - 20	0,001	0,001	0,001												0,003
	20 - 22	0,005	0,001									0,001				0,006
	22 - 24	0,004	0,001													0,005
	24 - 26	0,002	0,001													0,003
	26 - 28	0,001														0,001
	28 - 30	0,001														0,001
30 - 32															0,000	
32 - 34	0,001														0,001	
<b>Totale</b>		28,421	33,187	18,366	10,366	4,889	2,490	1,165	0,573	0,272	0,184	0,061	0,019	0,004	0,002	<b>100 %</b>

**Tabella 4.3 – Frequenza rilevata dell'altezza d'onda significativa vs Periodo di picco dell'onda. . Elaborazione ilStudio su dataset boa ondometrica di Mazara del Vallo (ISPRA, 2019).**

		Altezza d'onda significativa, Hs [m]													Tot.	
		0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	5-5.5	5.5-6	6-6.5		6.5-7
Periodo di picco dell'onda Tp, [s]	0 - 2	0,02														0,022
	2 - 4	23,29	19,72	4,25	0,09											47,354
	4 - 6	4,79	12,57	12,91	8,93	3,76	1,52	0,33	0,01	0,00						44,826
	6 - 8	0,22	0,84	1,17	1,32	1,09	0,92	0,79	0,52	0,23	0,11	0,03	0,01			7,236
	8 - 10	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,491
	10 - 12	0,02	0,00			0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,031
	12 - 14	0,00	0,00					0,00								0,009
	14 - 16	0,00	0,00													0,009
	16 - 18	0,00														0,003
	18 - 20	0,00	0,00	0,00												0,003
	20 - 22	0,01	0,00									0,00				0,006
	22 - 24	0,00	0,00													0,005
	24 - 26	0,00	0,00													0,003
	26 - 28	0,00														0,001
	28 - 30	0,00														0,001
30 - 32															0,000	
32 - 34	0,00														0,001	
<b>Totale</b>		28,42	33,19	18,37	10,37	4,89	2,49	1,17	0,57	0,27	0,18	0,06	0,02	0,00	0,00	<b>100%</b>

 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data	<b>Luglio 2019</b>
	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Pagina	<b>17</b> Di <b>43</b>

La Figura 4.3 propone anche il confronto tra il rilievo della boa RON e il corrispondente set di dati del modello d'onda MetOcean interrogato nella località di installazione della boa. Sono dunque confermati i due principali settori di traversia corrispondenti al secondo e quarto quadrante con eventi di maggiore intensità nel quarto quadrante (direzione di provenienza dell'onda nord – ovest); anche l'altezza d'onda significativa e la relativa frequenza di accadimento risultano generalmente in ottimo accordo.



**Figura 4.3 – Rose plot dell'altezza d'onda significativa nella località della boa RON di Mazara del Vallo, confronto dati (DHI, 2019) e (ISPRA, 2019). . Elaborazione ilStudio.**

A livello stagionale, analizzando i risultati della Figura 4.4 e Figura 4.5, si osserva un regime d'onda con carattere bimodale durante i periodi primaverile e autunnale; in tal caso al settore di traversia del quarto quadrante si aggiunge quello nel quadrante sud - est. La stagione estiva è invece caratterizzata da onde distribuite su un più ampio spettro di direzioni con una minore altezza d'onda significativa. La stagione invernale è caratterizzata infine dal regime d'onda più intenso con eventi concentrati nel settore di traversia tra l'ovest e il nord e altezza d'onda al picco anche superiore a 6 m.

Global, Wave Parameters (Integrated), MIKE 21 Spectral Wave Model (GWM), DHI  
**Altezza d'onda significativa**  
(Località: 237698 mE, 4169574 mN - 33N)

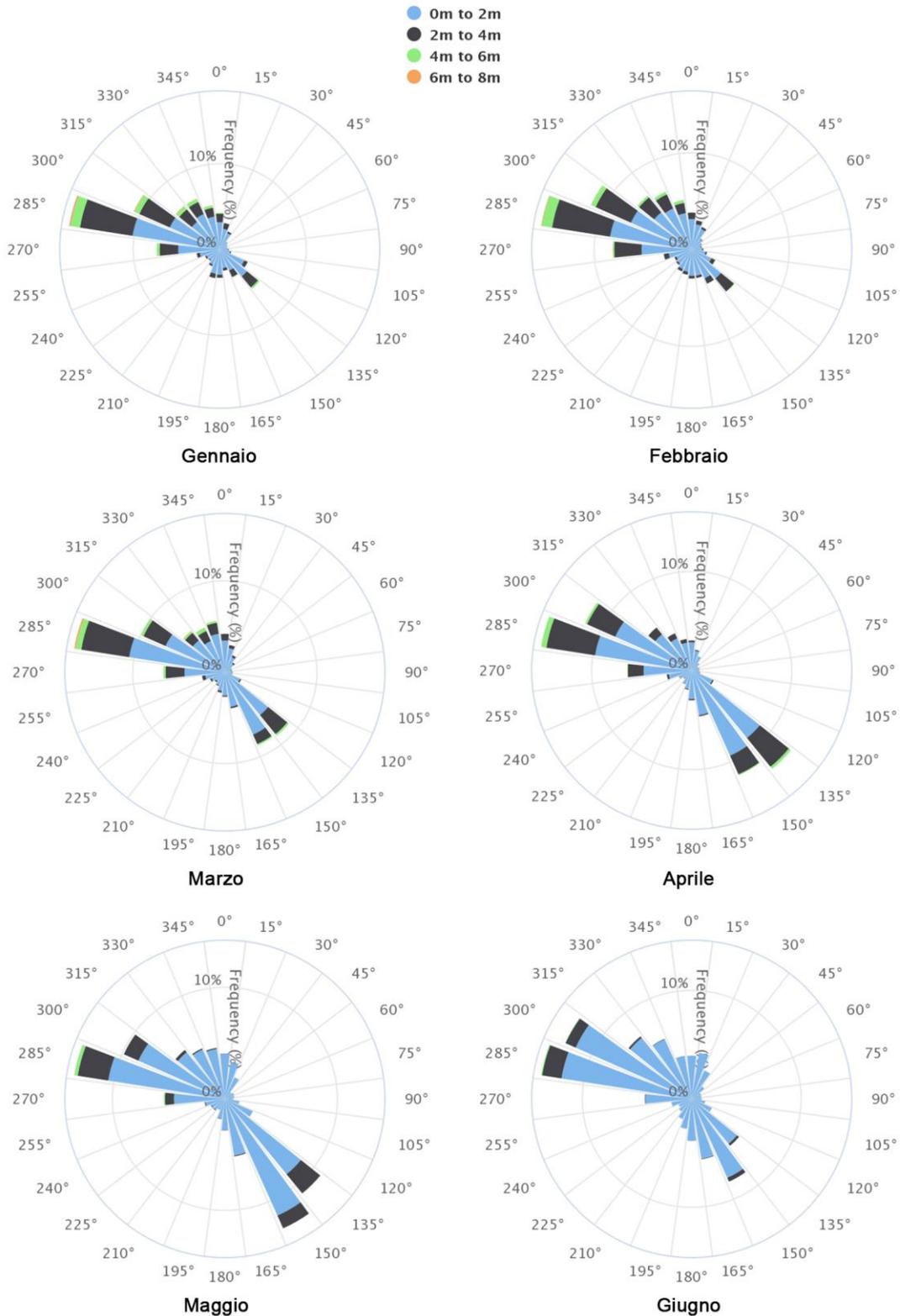


Figura 4.4 – Rose plot mensile dell'altezza d'onda significativa (/1). Elaborazione ilStudio su dati (DHI, 2019).

Global, Wave Parameters (Integrated), MIKE 21 Spectral Wave Model (GWM), DHI  
**Altezza d'onda significativa**  
(Località: 237698 mE, 4169574 mN - 33N)

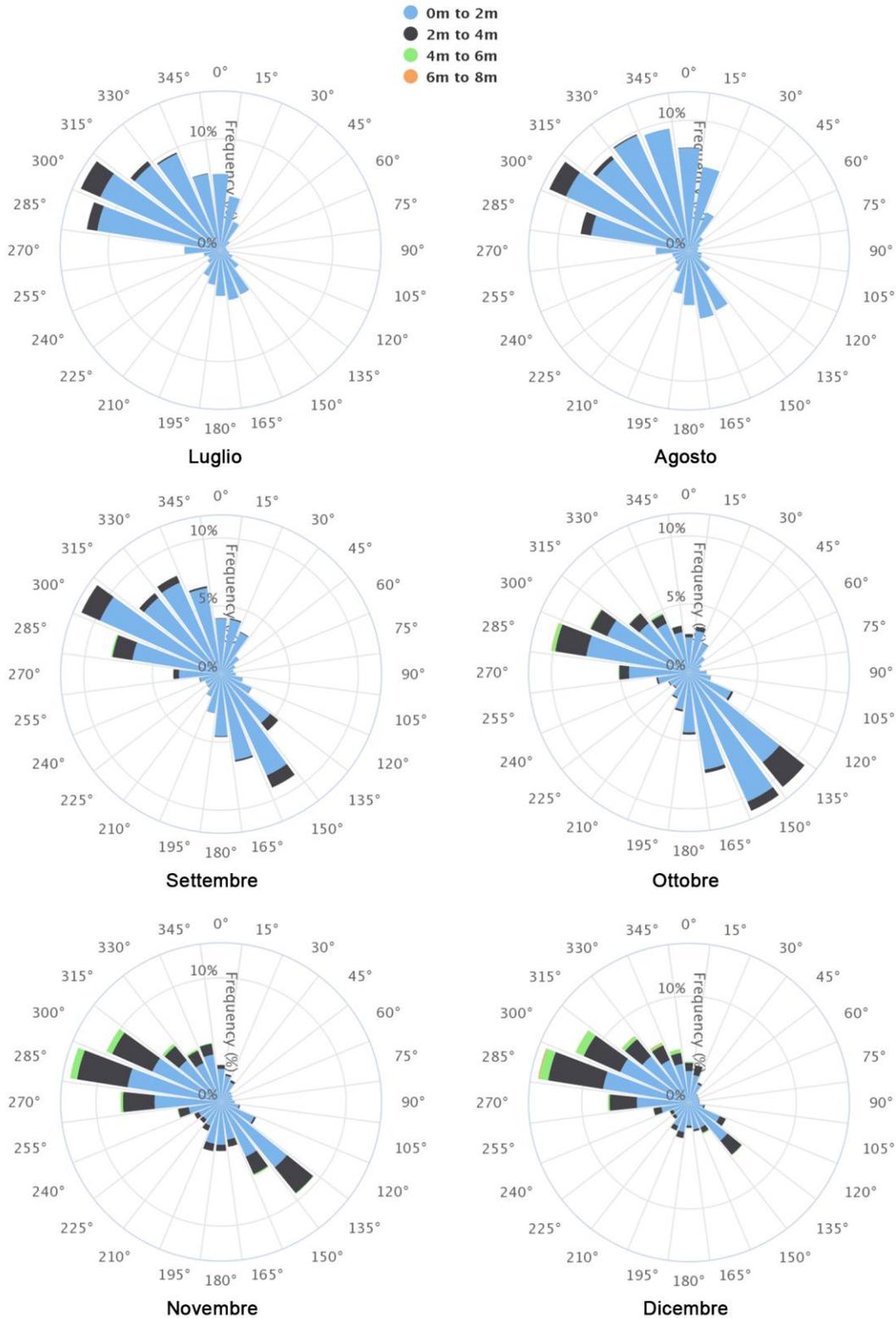


Figura 4.5 – Rose plot mensile dell'altezza d'onda significativa (2). Elaborazione ilStudio su dati (DHI, 2019).

 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE <b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Data <b>Luglio 2019</b>	Pagina <b>20</b> Di <b>43</b>

## 4.2 Correlazione vento – onda (*wind – wave misalignment*)

Al fine di consentire la stima dei carichi agenti sulle strutture degli aerogeneratori, è stato effettuato un confronto tra i dati anemometrici e ondametrici dei dataset del servizio MetOcean e della RON per valutare la coerenza temporale tra le direzione di azione del vento e quella delle onde. Riportando i dati disponibili a scale temporali coerenti e confrontabili (periodo 1 luglio 1989 – 22 ottobre 2014 con campionamento almeno orario) è stato quindi calcolato lo scostamento tra la direzione del vento (presa a riferimento) e la direzione d'onda. La frequenza di accadimento e l'entità del disallineamento sono mostrati in Tabella 4.4 per ciascuna direzione di vento (misurata rispetto al nord geografico).

Tabella 4.4 – Frequenza e modulo del disallineamento vento – onda. Elaborazione ilStudio su dati (DHI, 2019) e (ISPRA, 2019).

		Direzione del vento, $\theta_{wind}$ [deg N]																	Tot.	
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320		340
Scostamento direzione onda, [deg]	0°-10°	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,3	1,8	0,7	0,3	0,1	0,1	0,2	1,9	3,3	1,0	0,3	0,0	11,3
	10°-20°	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	1,4	0,7	0,3	0,1	0,1	0,4	1,3	2,9	1,4	0,5	0,1	10,4
	20°-30°	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,5	0,9	0,7	0,2	0,1	0,1	0,6	0,6	1,3	2,4	0,6	0,2	9,0
	30°-40°	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	0,4	0,7	0,2	0,1	0,2	0,5	0,3	0,5	1,7	1,1	0,3	7,1
	40°-50°	0,5	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3	0,3	0,8	1,5	0,4	6,6
	50°-60°	0,9	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	1,2	0,6	5,8
	60°-70°	1,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,6	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,7	5,3
	70°-80°	1,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	4,7
	80°-90°	1,3	0,5	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	4,5
	90°-100°	0,9	0,8	0,4	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,4	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	4,4
	100°-110°	0,5	1,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,7	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	4,4
	110°-120°	0,4	1,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,4	0,7	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	4,4
	120°-130°	0,5	0,4	0,5	0,1	0,0	0,0	0,2	0,7	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	4,3
	130°-140°	0,6	0,2	0,4	0,2	0,0	0,1	0,2	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,2	0,1	3,9
	140°-150°	0,5	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	0,3	0,3	0,2	3,7
	150°-160°	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	0,4	0,3	0,2	3,6
	160°-170°	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	0,5	0,2	3,4
170°-180°	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	0,6	0,2	3,3	
<b>Totale</b>	10,3	5,1	3,4	2,2	2,0	2,6	5,0	8,4	6,7	3,6	2,5	2,3	3,2	6,6	12,1	11,6	8,3	4,0	<b>100 %</b>	

## 4.3 Caratterizzazione degli eventi estremi

La caratterizzazione degli eventi di mareggiata estremi, è stata effettuata processando il dataset ondametrico generato dalla boa di Mazara del Vallo. La scelta è assolutamente ragionevole se si considerano:

- la relativa vicinanza tra la boa ondametrica ed il baricentro del parco (inferiore a 50 km),
- l'omogeneità del livello batimetrico tra la località del parco e quella di installazione della boa (vedi Figura 4.6),
- l'omogeneità delle condizioni di vento e dei regimi d'onda rispetto alle condizioni deducibili dal modello globale MetOcean (soprattutto per ciò che concerne gli eventi di picco, Figura 4.1 e Figura 4.3).

 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE <b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Data <b>Luglio 2019</b>	Pagina <b>21</b> Di <b>43</b>

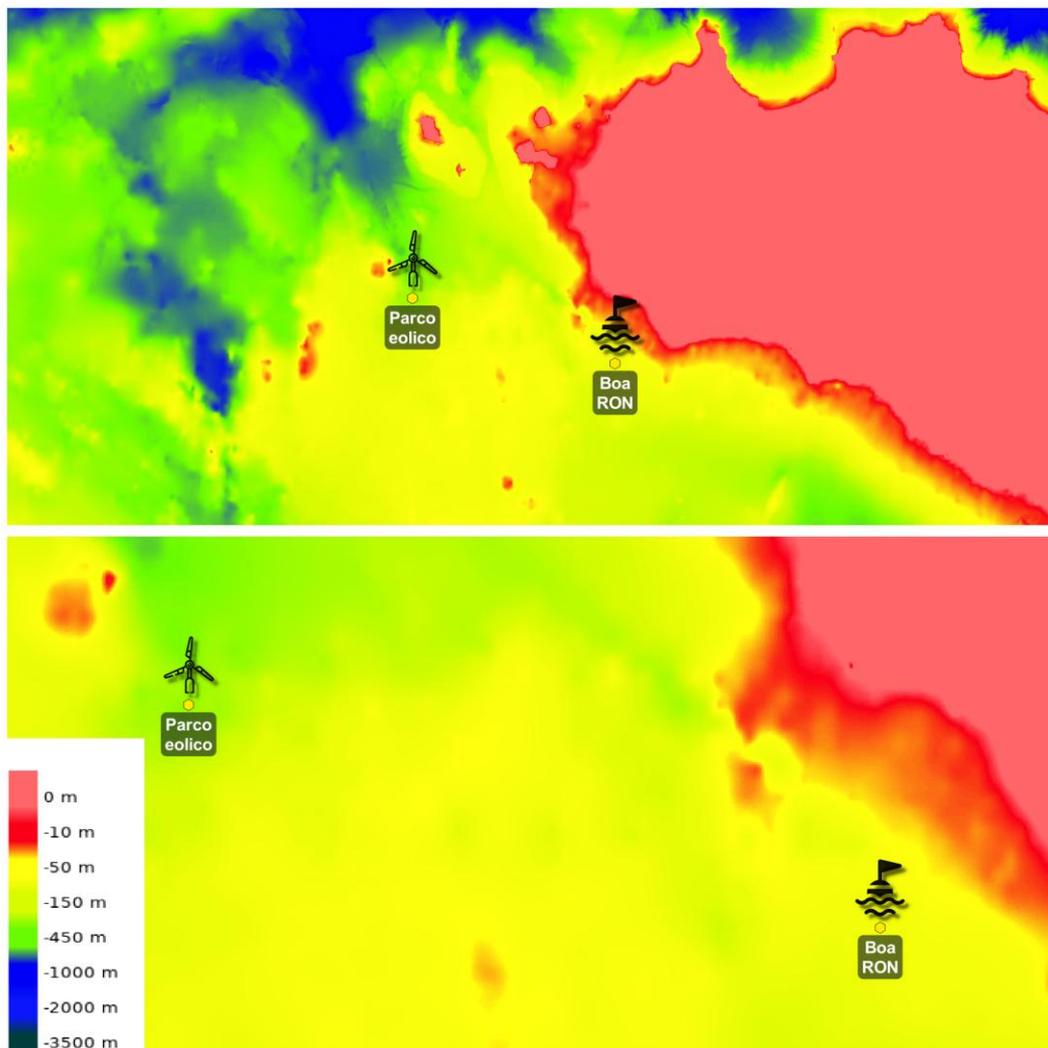


Figura 4.6 – Mappa batimetrica della zona di interesse. Elaborazione ilStudio su dati (EMODnet, 2019).

I regimi d'onda registrati sono stati raggruppati in “eventi di mareggiata” con caratteristiche di indipendenza ed omogeneità statistica applicando le linee guida dell’“Atlante delle onde nei mari italiani” (APAT, 2006).

Le caratteristiche dell'onda estrema sono generalmente descritte in relazione ad un fissato *tempo di ritorno degli stati di mare*  $T_r$ , il quale identifica il periodo minimo atteso per il manifestarsi di un'onda con altezza  $H_s$  superiore ad una certa soglia  $H_{T_r}$ . L'obiettivo è, in altri termini, la determinazione della massima altezza d'onda statisticamente prevedibile in un certo intervallo temporale compatibile con la vita media della struttura a mare. Le fasi del processo di inferenza statistica sono dunque così riassumibili:

- estrazione di un campione di dati indipendenti e omogenei a partire dal dataset disponibile,
- modellazione del campione estratto con una distribuzione di probabilità nota,
- determinazione del massimo valore d'altezza d'onda statisticamente prevedibile in un certo intervallo di tempo, stimato sulla base della distribuzione approssimante,
- calcolo dell'intervallo di confidenza del risultato.

  Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE <b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Data <b>Luglio 2019</b>	Pagina <b>22</b>

### 4.3.1 Estrazione del dataset degli eventi estremi

Il filtraggio del dataset della RON, operato nell'ottica di estrarre eventi di mareggiata statisticamente indipendenti e omogenei, è stato effettuato applicando il metodo delle durate parziali sopra soglia (POT, *Peaks Over Threshold*) e definendo l'evento mareggiata come stato di mare avente le seguenti proprietà:

- persistenza dell'altezza d'onda sopra la soglia di 1 m maggiore di 12 ore consecutive,
- attenuazione dell'altezza d'onda sotto la soglia di 1 m per meno di 6 ore consecutive,
- appartenenza della direzione di provenienza a un determinato settore angolare ( $\pm 30$  deg rispetto alla direzione iniziale).

A ciascun evento di mareggiata si è fatto quindi corrispondere il record pertinente al culmine di intensità. L'indipendenza statistica è stata infine assicurata selezionando eventi di mareggiata con sfasamento temporale non inferiore a 48 ore. Al termine della procedura, dai 160471 stati di mare registrati sono stati estrapolati 918 eventi di mareggiata statisticamente indipendenti. Infine, per affinare la descrizione statistica degli eventi di picco, il campione è stato ulteriormente censurato escludendo eventi di mareggiata con altezza d'onda inferiore a 2 m. La numerosità del campione è così passata da 918 a 97 record. La Figura 4.7 mostra le frequenze di accadimento, raggruppate per classe di altezza d'onda, relative al campione così ottenuto.

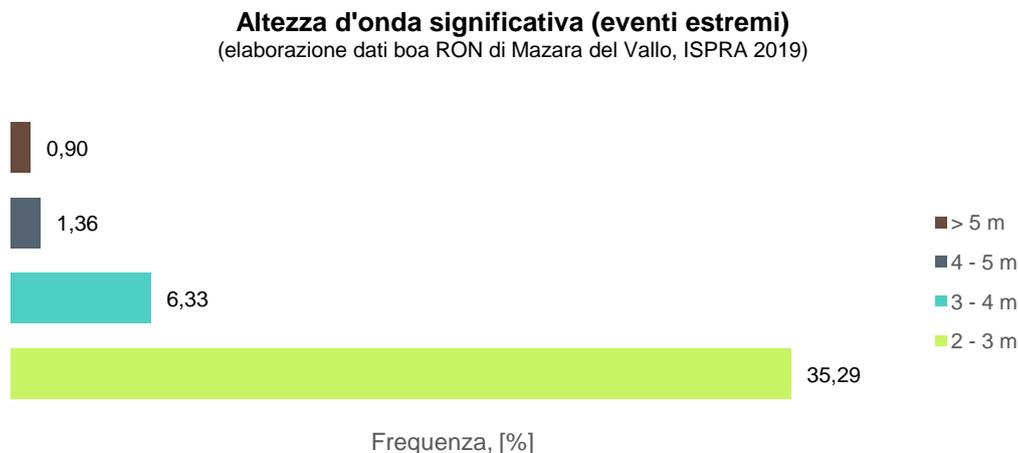


Figura 4.7 – Frequenza di accadimento per classe di altezza d'onda estrema. Elaborazione ilStudio su dati (ISPRA, 2019)

### 4.3.2 Modellazione statistica del campione

La rappresentazione statistica degli eventi estremi di mareggiata è generalmente effettuata in riferimento a due distribuzioni di probabilità notevoli, la distribuzione di *Gumbel* e quella di *Weibull* a tre parametri, le cui funzioni di probabilità cumulata sono richiamate in Tabella 4.5.

Tabella 4.5 – Distribuzioni di probabilità per l'analisi statistica delle onde estreme

Distribuzione	Funzione di probabilità cumulata
Gumbel	$F(h \leq H) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{H-B}{A} \right) \right]$
Weibull	$F(h \leq H) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{H-B}{A} \right)^k \right]$

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
<b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	PROGETTO PRELIMINARE	Data	<b>Luglio 2019</b>
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>		Pagina	<b>23</b> Di <b>43</b>

La terna di parametri  $A, B$  e  $k$  ovvero il *fattore di scala*, il *fattore di posizione* e il *fattore di forma* della distribuzione statistica, sono da ricercarsi in modo da massimizzare la fedeltà statistica tra il set di dati disponibile e il suo modello analitico. La strategia di adattamento statistico tipicamente impiegata si basa sul metodo dei minimi quadrati previa applicazione di un cambio scala agli assi coordinati del piano di rappresentazione del campione e della relativa probabilità cumulata di non superamento. Si consideri ad esempio la funzione di probabilità cumulata della distribuzione di Gumbel:

$$F(h \leq H) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{H - B}{A} \right) \right] \quad \text{eq. (2)}$$

Trasformando ai logaritmi ed isolando l'altezza d'onda  $H$  si ottiene:

$$H = -A \ln[-\ln F(H)] + B \quad \text{eq. (3)}$$

la quale può essere posta nella forma:

$$H = Ax + B \quad \text{eq. (4)}$$

mediante l'introduzione della variabile ridotta  $x$  così definita:

$$x = -\ln[-\ln F(H)] \quad \text{eq. (5)}$$

Con procedimento analogo, per la distribuzione di Weibull, la forma dell'eq. (4) si ottiene introducendo la variabile ridotta:

$$x = \{-\ln[1 - F(H)]\}^{\frac{1}{k}} \quad \text{eq. (6)}$$

La determinazione dei parametri  $A, B$  si effettua operando una regressione lineare ai minimi quadrati del campione disponibile. Per entrambe le distribuzioni, la variabile ridotta  $x$  dipende dalla probabilità (incognita)  $F(H)$  la quale può però stimarsi attraverso la *plotting position* degli elementi del campione. In altre parole, ordinando in maniera decrescente gli elementi del dataset campione la probabilità di non superamento del generico elemento  $m$  può scriversi nella forma:

$$F(H_m) = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta} \quad \text{eq. (7)}$$

ove  $N$  è la numerosità del campione non censurato,  $\alpha$  e  $\beta$  sono due costanti dipendenti dalla distribuzione di probabilità modello. Per la distribuzione di Gumbel si accettano i seguenti valori (APAT, 2006):

$$\alpha_{GUMBEL} = 0.44 \quad \beta_{GUMBEL} = 0.12 \quad \text{eq. (8)}$$

mentre per la distribuzione di Weibull (Goda, 1988):

$$\alpha_{WEIBULL} = 0.2 + 0.27k^{-0.5} \quad \beta_{WEIBULL} = 0.2 + 0.23k^{-0.5} \quad \text{eq. (9)}$$

Solo per la distribuzione di Weibull si pone l'ulteriore problema dell'indeterminazione (a priori) del fattore di forma  $k$ . Il *modus operandi* consiste in tal caso nella supposizione di un valore  $k$  di tentativo e sua successiva correzione volta alla minimizzazione dello scarto quadratico totale  $SST$  seguente:

$$SST = \sum_{i=1}^N (H_i - H'_i)^2 \quad \text{eq. (10)}$$

in cui  $H'_i$  è la stima dell'altezza d'onda restituita dal modello probabilistico per l'elemento del campione reale corrispondente all'altezza d'onda  $H_i$ .

 <b>SEAS med</b>	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data	<b>Luglio 2019</b>
 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Pagina	<b>24</b>
		Di	<b>43</b>

Ciò detto, i parametri  $A$  e  $B$ , fissato eventualmente il valore di  $k$ , possono stimarsi tramite le seguenti relazioni:

$$\begin{cases} A = \frac{\text{Cov}(x, H)}{\text{Var}(x)} \\ B = \bar{H} - A\bar{x} \end{cases} \quad \text{eq. (11)}$$

in cui  $\text{Cov}(x, H)$  è la covarianza campionaria dei vettori  $x$  ed  $H$ ,  $\text{Var}(x)$  è la varianza campionaria di  $x$ ;  $\bar{H}$  e  $\bar{x}$  sono infine le medie campionarie di  $H$  e di  $x$ . Noti i parametri  $A$ ,  $B$  e  $k$ , definite compiutamente entrambe le distribuzioni di probabilità modello, resta da capire quale tra le due meglio si adatti alla descrizione dell'onda estrema per l'assegnato dataset a disposizione. (Goda & Kobune, 1990) propongono un criterio di scelta, noto come *criterio del minimo rapporto del residuo del coefficiente di correlazione*, che considera come indice non distorto di buona correlazione della distribuzione modello rispetto ai dati disponibili, il residuo del coefficiente di correlazione  $\Delta r$  normalizzato rispetto al suo valor medio  $\Delta r_m$ . Gli stessi autori propongono la seguente come legge di stima del termine  $\Delta r_m$ :

$$\Delta r_m = \exp[\varepsilon + \delta \ln N_c + \chi(\ln N_c)^2] \quad \text{eq. (12)}$$

*Tabella 4.6 – Coefficienti per il calcolo del valor medio del residuo del coefficiente di correlazione*

Distribuzione	Coefficiente $\varepsilon$	Coefficiente $\delta$	Coefficiente $\chi$	
Gumbel	$-2.364 + 0.054\nu^{2.5}$	$-0.2665 - 0.0457\nu^{2.5}$	$-0.044$	
Weibull, $k = 0.75$	$-2.435 + 0.168\nu^{0.5}$	$-0.2083 + 0.1074\nu^{0.5}$	$-0.047$	$\nu = N_c/N$
Weibull, $k = 1.00$	$-2.355$	$-0.2612$	$-0.043$	
Weibull, $k = 1.40$	$-2.277 + 0.056\nu^{0.5}$	$-0.3169 + 0.0499\nu^{0.5}$	$-0.044$	$N_c$ numerosità del campione censurato
Weibull, $k = 2.00$	$-2.160 + 0.113\nu$	$-0.3788 + 0.0979\nu$	$-0.041$	

ove  $\varepsilon, \delta$  e  $\chi$  dipendono dalla distribuzione analitica modello secondo le indicazioni della Tabella 4.6. Il residuo del coefficiente di correlazione  $\Delta r$  vale infine:

$$\Delta r = 1 - \frac{\text{Cov}(x, H)}{\sqrt{\text{Var}(x)\text{Var}(H)}} \quad \text{eq. (13)}$$

#### 4.3.2.1 Fit mediante la distribuzione di Gumbel

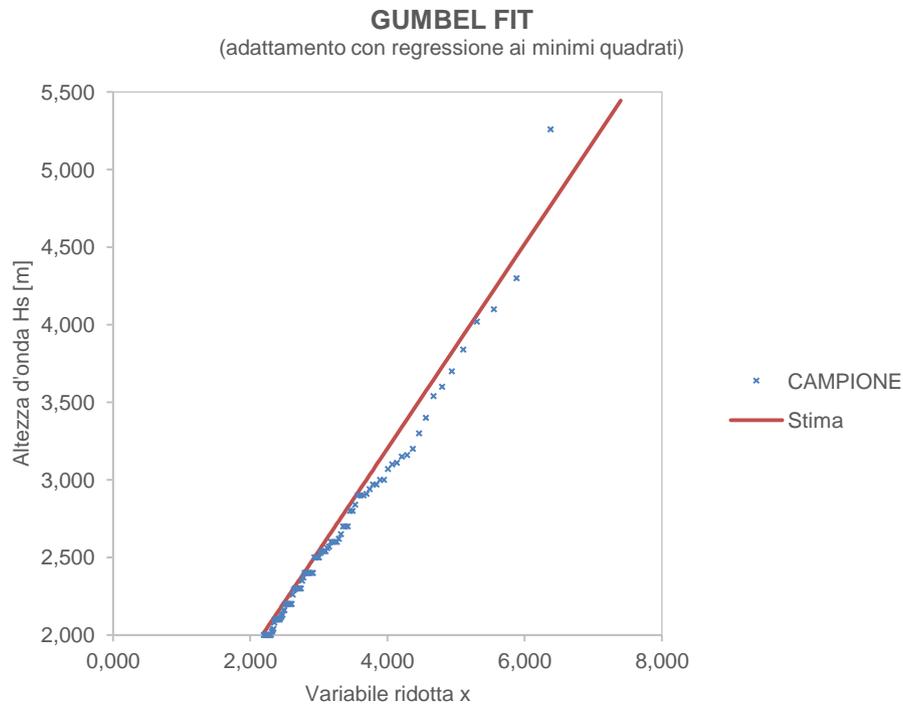
Applicando la tecnica di regressione ai minimi quadrati nell'ipotesi di distribuzione di probabilità modello di Gumbel, sono stati ottenuti valori del fattore di forma  $A$  e del fattore di posizione  $B$  rispettivamente pari a 0.66 e 0.57. La Figura 4.8 evidenzia una buona correlazione tra i dati del campione e la relativa stima attraverso il modello statistico di Gumbel a parametri  $(A, B) = (0.66, 0.57)$  per il quale si ottiene un residuo normalizzato del coefficiente di correlazione  $\Delta r/\Delta r_m$  pari a 3.54.

#### 4.3.2.2 Fit mediante la distribuzione di Weibull

La determinazione dei parametri relativi alla distribuzione statistica di Weibull è stata effettuata restringendo la variazione del fattore di forma  $k$  ai valori indicati in Tabella 4.6. Tra questi, a valle delle operazioni di fit statistico, è stato selezionato il valore  $k$  pari a 1.00 cui corrisponde

 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Pagina <b>25</b>	Di <b>43</b>

il minimo scarto quadratico totale rispetto al set dei dati campionari in ingresso. I coefficienti di regressione  $A$  e  $B$  valgono in tal caso 0.67 e 1.95 rispettivamente.



**Figura 4.8 – Probability plot – distribuzione di probabilità di GUMBEL. Elaborazione ilStudio.**

Il confronto tra i dati campionari e la relativa previsione mediante il modello statistico è mostrata in Figura 4.9; la bontà della correlazione statistica è sottolineata dal basso valore del residuo normalizzato del coefficiente di correlazione  $\Delta r / \Delta r_m$  pari a 2.96. L'applicazione del criterio di Goda e Kobune identifica dunque la distribuzione Weibull a parametri  $(A, B, k) = (0.67, 1.95, 1.00)$  come miglior stimatore statistico del clima ondoso di picco (rispetto alle caratteristiche del dataset in ingresso).

 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE <b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Data <b>Luglio 2019</b>	Pagina <b>26</b> Di <b>43</b>

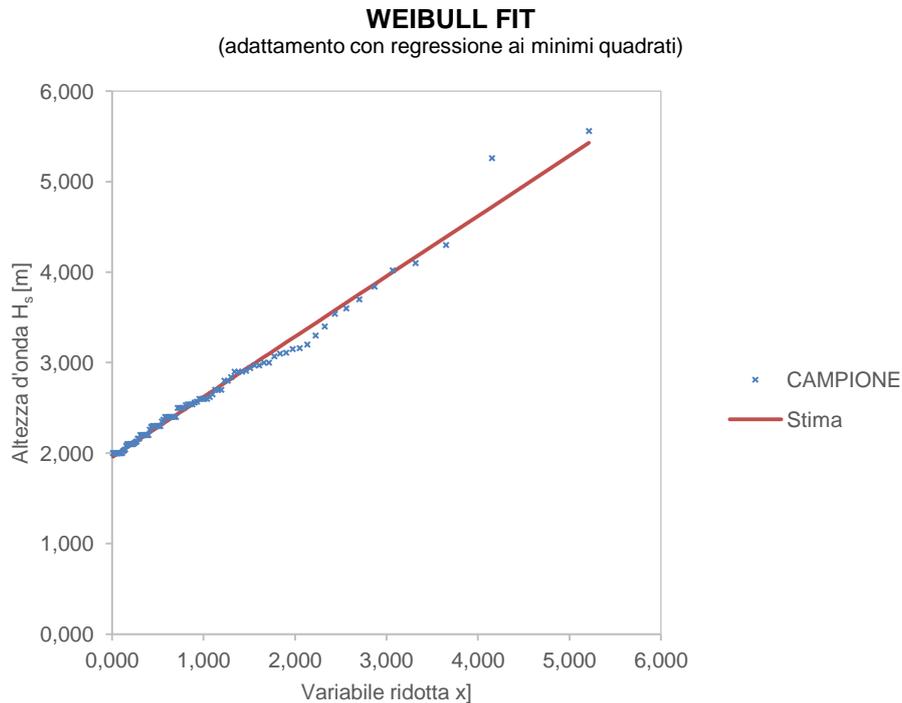


Figura 4.9 – Probability plot – distribuzione di probabilità di WEIBULL. Elaborazione ilStudio.

### 4.3.3 Massima altezza d’onda stimabile a 1, 10 e 50 anni

Nota la legge di probabilità cumulata che meglio descrive il campione di dati ondometrici della località, scaturisce immediatamente il valore atteso della massima altezza d’onda statisticamente prevedibile entro un certo intervallo temporale di riferimento (descritto dal tempo di ritorno  $T_r$ ).

Per definizione il tempo di ritorno è definito come l’intervallo di tempo entro il quale, mediamente, non è superato il valore di altezza d’onda stabilito dal livello soglia  $H_{T_r}$ . La probabilità che, al verificarsi di una mareggiata, si osservi un’onda di altezza superiore alla soglia  $H_{T_r}$  (probabilità condizionata) può scriversi, nell’ipotesi che i due eventi si possano ritenere indipendenti, nella forma:

$$F(h > H_{T_r}) = p(h > H_{T_r})p_m = (T_r\lambda)^{-1} \quad \text{eq. (14)}$$

$p_m = 1/\lambda$  è la probabilità annuale di mareggiata essendo  $\lambda$  pari al numero medio di mareggiate in un anno mentre  $p(h > H_{T_r}) = 1/T_r$  è la probabilità di avere onde con altezza sopra la soglia  $H_{T_r}$ . Se, infatti,  $p$  è la probabilità di superamento della soglia  $H_{T_r}$  durante l’anno, la probabilità che tale soglia sia superata dopo  $T$  anni può scriversi nella forma:

$$P(t = T) = [p(1 - p)^{t-1}]_{t=T} \quad \text{eq. (15)}$$

La probabilità di non superamento della soglia entro  $T_r$  anni può quindi scriversi come:

$$F(h \leq H_{T_r}) = 1 - F(h > H_{T_r}) = 1 - (T_r\lambda)^{-1} \quad \text{eq. (16)}$$

Tramite cui, sostituendo nella eq. (4) assieme ai parametri della distribuzione di probabilità approssimante, è possibile ricavare l’altezza dell’onda di progetto per l’assegnato tempo di ritorno  $T_r$ . Per il caso in esame, effettuando una proiezione a uno, dieci e cinquant’anni si ottengono i seguenti valori di altezza d’onda significativa al picco:

 <b>SEAS med</b>	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data	<b>Luglio 2019</b>
 <b>iLStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Pagina	<b>27</b>
		Di	<b>43</b>

*Tabella 4.7 – Altezza d’onda a 1, 10 e 50 anni. Elaborazione iLStudio.*

Proiezione a (anni):	H <sub>s</sub> , [m]
1	3.4014
10	4.9441
50	6.0225

#### 4.3.4 Intervallo di confidenza sull’altezza dell’onda di picco

Poiché la stima dell’altezza d’onda di picco con assegnato tempo di ritorno  $T_r$  è una misura stocastica su cui intervengono numerosi fattori quali ad esempio la numerosità e le caratteristiche del campione di partenza o l’imperfetta stima dei parametri delle distribuzioni approssimanti, essa stessa è affetta da incertezza ed è quindi opportuno inferire circa l’intervallo di confidenza della stima. (Goda, 1988) suggerisce il seguente modello per la stima dell’ampiezza dell’intervallo di confidenza sulla previsione, dipendente sia dalle caratteristiche della distribuzione di probabilità del modello sia dalle caratteristiche del campione di dati disponibile:

$$\begin{cases}
 H(T_r) = H_{T_r} \pm 1.96\sigma(H_{T_r}) \\
 \sigma(H_{T_r}) = \sigma_z \sigma_x \\
 \sigma_z = \sqrt{\left[1 + c_0(x_{T_r} - c_4 + c_5 \ln \nu)^2\right] N^{-1}} \\
 c_0 = c_1 \exp(c_2 N^{-1.3} + c_3 \sqrt{-\ln \nu})
 \end{cases}
 \quad \text{eq. (17)}$$

in cui  $\sigma_x$  è la deviazione standard del campione censurato,  $\nu$  è il rapporto di censura  $N_c/N$ ,  $c_1, c_2, c_3$  e  $c_4$  sono costanti dipendenti dal modello probabilistico adottato (Tabella 4.8, (Goda, 1988)).

*Tabella 4.8 – Coefficienti per il calcolo dell’intervallo di confidenza di  $H_T$ .*

Distribuzione	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
Gumbel	0.64	9.00	0.93	0.00	1.33
Weibull, $k = 0.75$	1.65	11.4	-0.63	0.00	1.15
Weibull, $k = 1.00$	1.92	11.4	0.00	0.30	0.90
Weibull, $k = 1.40$	2.05	11.4	0.69	0.40	0.72
Weibull, $k = 2.00$	2.24	11.4	1.34	0.50	0.54

Per il caso in esame, gli intervalli di confidenza dell’altezza d’onda di picco a 1, 10 e 50 anni, possono stimarsi rispettivamente in  $\pm 0.27$  m,  $\pm 0.14$  m e  $\pm 0.05$  m.

 <b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE <b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Data <b>Luglio 2019</b>	Pagina <b>28</b> Di <b>43</b>

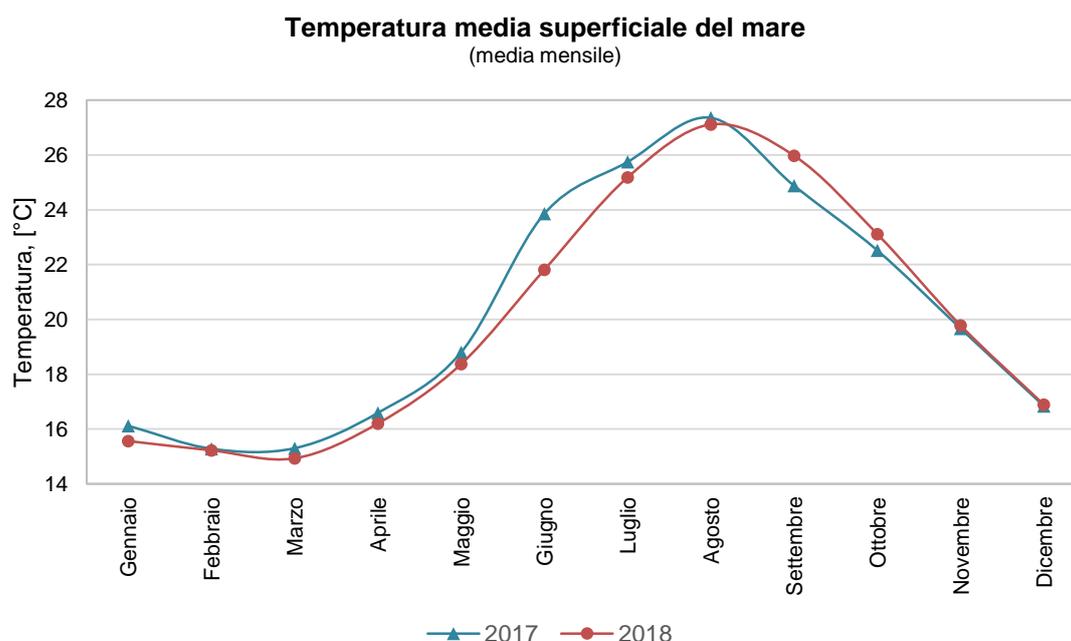
## 5 PROFILO MAREOGRAFICO

L'indagine mareografica ha generalmente lo scopo di determinare gli andamenti, su una definita scala temporale, dei principali aspetti termo-fisici del mare quali, ad esempio, il livello relativo medio di marea, il profilo di salinità, il livello termico medio, il campo delle correnti locali.

### 5.1 Temperatura del mare

I dati sui livelli di temperatura del mare per la località di progetto sono stati estratti dal database europeo del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, 2019) in riferimento al dataset MEDSEA\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHY\_006\_013 le cui informazioni coprono il periodo da gennaio 2017 ad oggi con una risoluzione spaziale di circa 4.5 km.

La Figura 5.1 mostra il confronto tra i livelli termici superficiali per gli anni 2017 e 2018 rilevati in corrispondenza del baricentro parco a partire dalle mappe termiche medie mensili in Figura 5.3 e Figura 5.4.



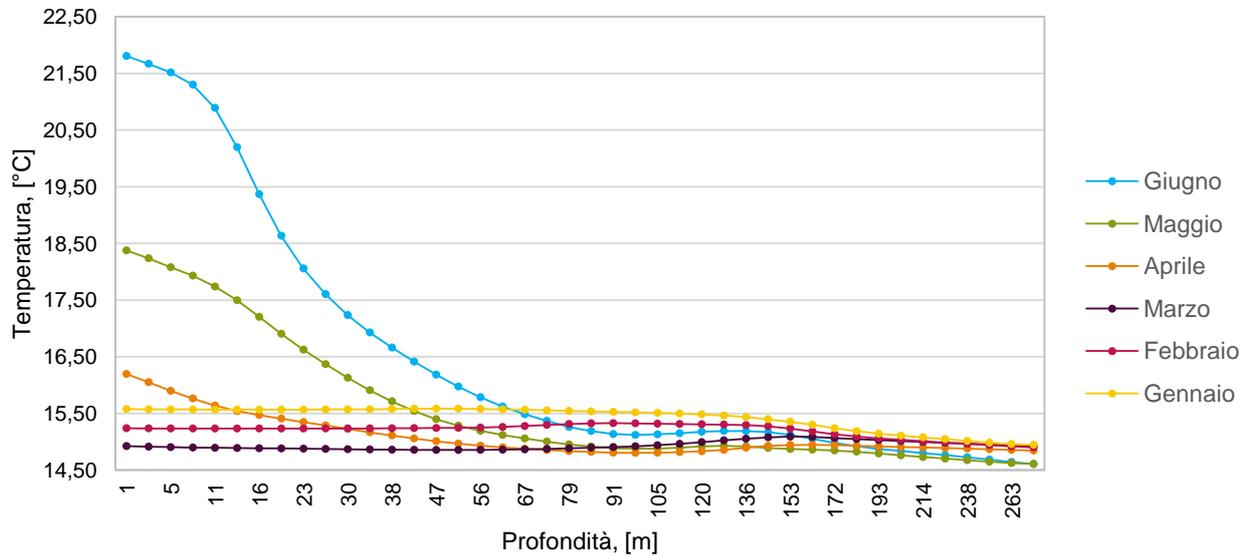
*Figura 5.1 – Temperatura superficiale del mare per gli anni 2017 e 2018, medie mensili. Elaborazione ilStudio su dati (CMEMS, 2019).*

Per gli anni investigati la temperatura superficiale oscilla tra 15 e 27°C con media pari a 20°C. Uno studio (ISPRA, 2018) riferisce inoltre che la temperatura superficiale del Mediterraneo ha subito variazioni decisamente trascurabili nel 2017 rispetto al periodo 2008 – 2016, con variazioni generalmente entro  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . Gli andamenti sono dunque riproducibili su base inter-annuale con differenze assolutamente non significative. Guardando invece al profilo di temperatura verticale, la Figura 5.2 riporta gli andamenti della temperatura dell'acqua al variare della profondità tra il livello mare e il livello batimetrico alle coordinate del baricentro parco. L'analisi delle figure indica una spiccata variabilità della temperatura superficiale, certamente più sensibile alla variazione delle condizioni climatiche esterne rispetto agli strati

più profondi la cui temperatura si mantiene infatti tra 14 e 15°C durante tutto l'anno oltre i 170 m circa di profondità.

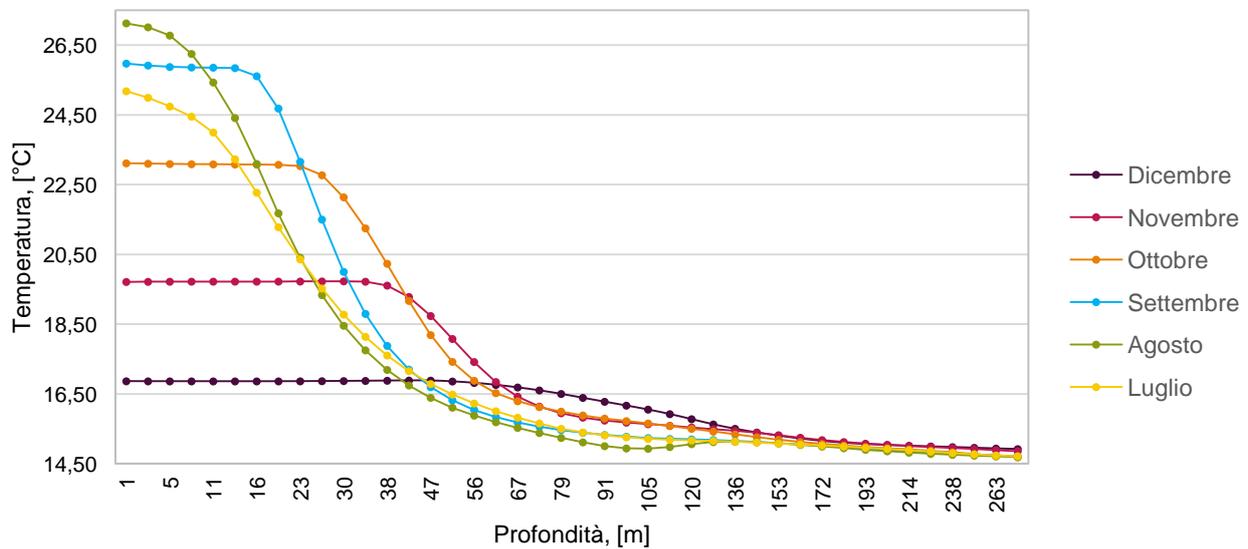
### Profilo termico verticale

(valori medi mensili - periodo Gennaio - Giugno 2018)



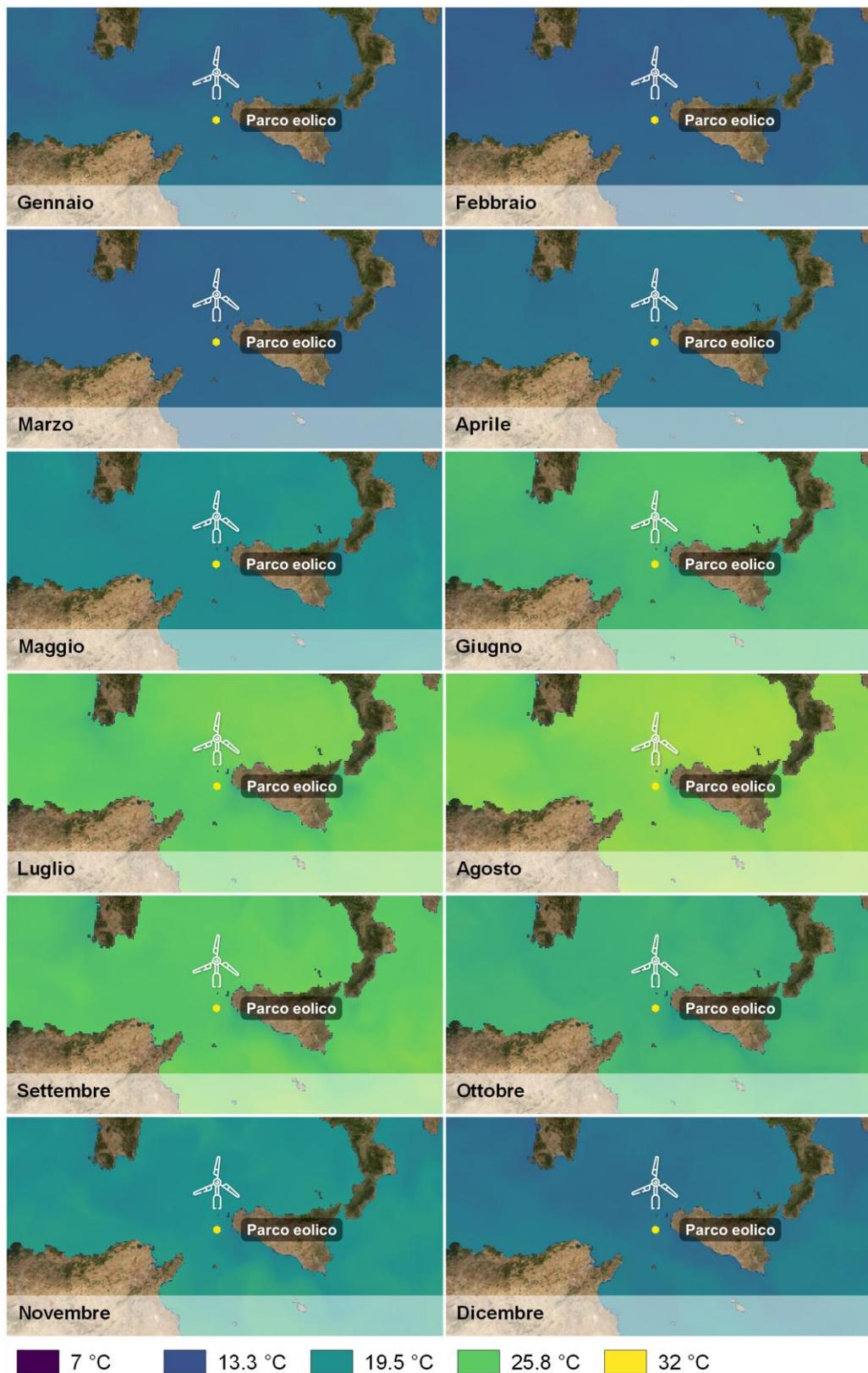
### Profilo termico verticale

(valori medi mensili - periodo Luglio - Dicembre 2018)



**Figura 5.2 – Profilo termico verticale del mare per l'anno 2018, valori medi mensili. Elaborazione ilStudio su dati (CMEMS, 2019).**

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
<b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	PROGETTO PRELIMINARE		Data <b>Luglio 2019</b>
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>			Pagina <b>30</b> Di <b>43</b>



*Figura 5.3 – Mappa della temperatura superficiale nel Mar Mediterraneo, valori medi per il primo giorno del mese, anno 2017. Elaborazione ilStudio su dati (CMEMS, 2019)*

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Pagina <b>31</b>	Di <b>43</b>

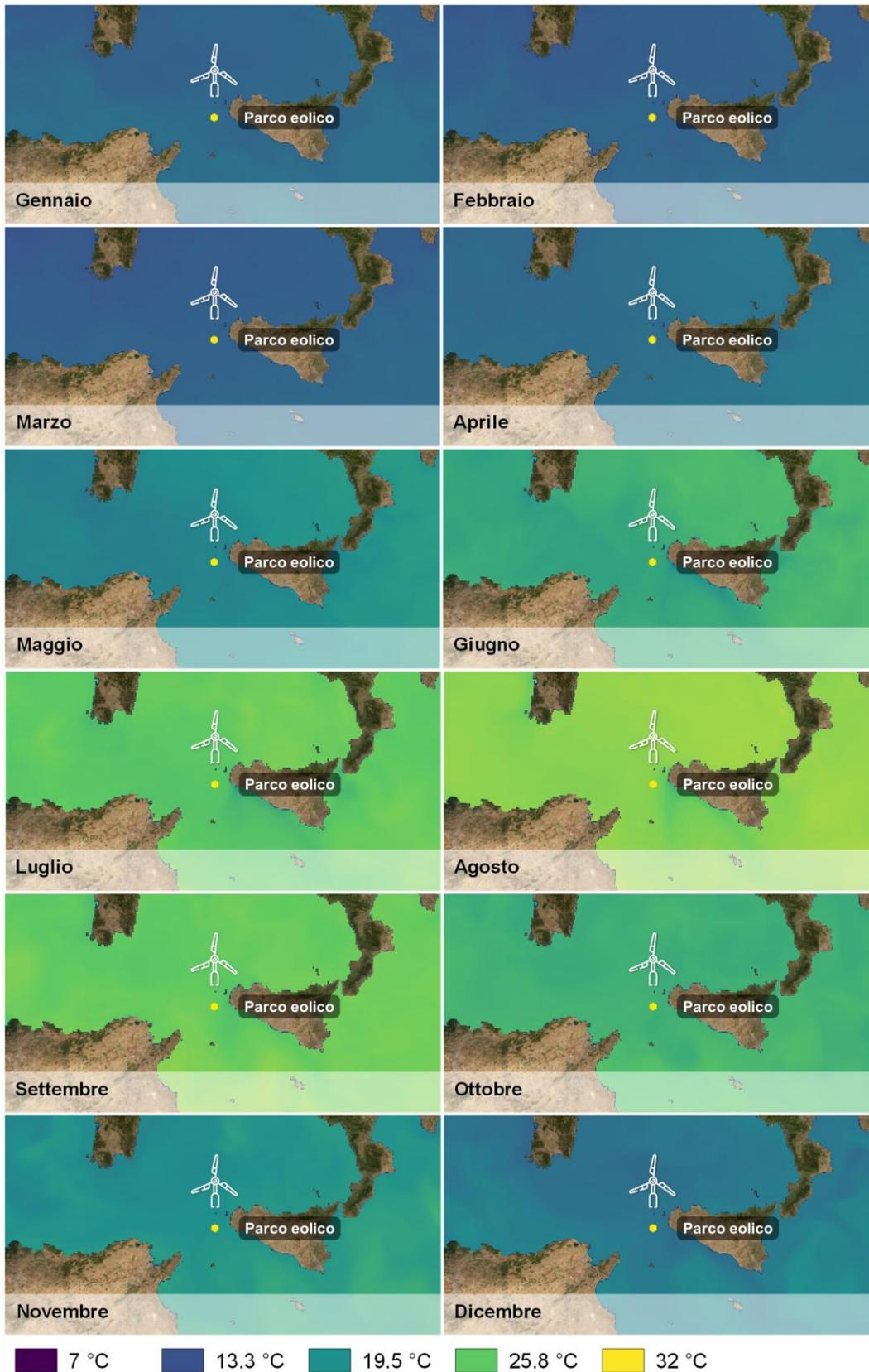


Figura 5.4 – Mappa della temperatura superficiale nel Mar Mediterraneo, valori medi per il primo giorno del mese, anno 2018.  
 Elaborazione iLStudio su dati (CMEMS, 2019)

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
<b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	PROGETTO PRELIMINARE		Data <b>Luglio 2019</b>
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>			Pagina <b>32</b> Di <b>43</b>

## 5.2 Presenza di ghiaccio

Le condizioni climatiche della località non consentono la formazione di ghiaccio sulla superficie marina.

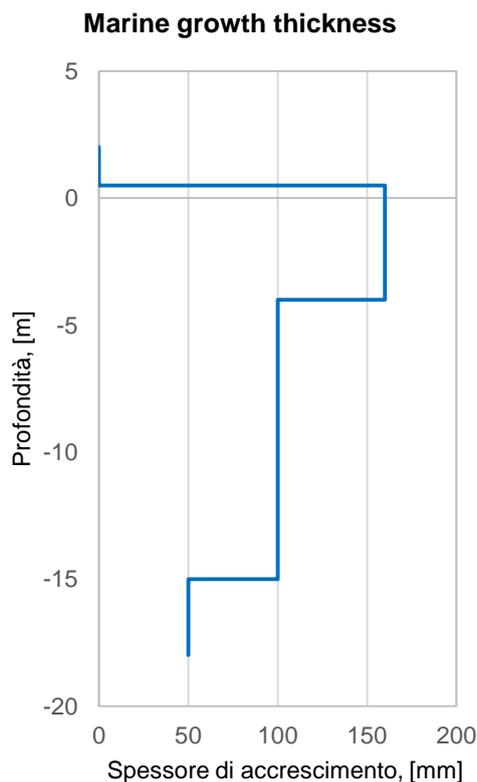
## 5.3 Densità dell'acqua

La densità dell'acqua marina può assumersi al valor medio 1026 kg/m<sup>3</sup>.

## 5.4 Marine growth mass

Qualsiasi struttura immersa nelle acque marine diviene sede di attecchimento per diversi organismi marini. Questa crescita, generalmente indicata come *biofouling*, è costituita da una varietà di specie a seconda della posizione, profondità e configurazione della struttura. La crescita marina sui dispositivi di energia rinnovabile può avere conseguenze per l'integrità strutturale o l'efficienza idrodinamica e va dunque tenuta in debito conto.

Riferendosi alle linee guida (GL Renewables Certification, 2012), l'accrescimento marino è variabile con la profondità secondo il diagramma di Figura 5.5.



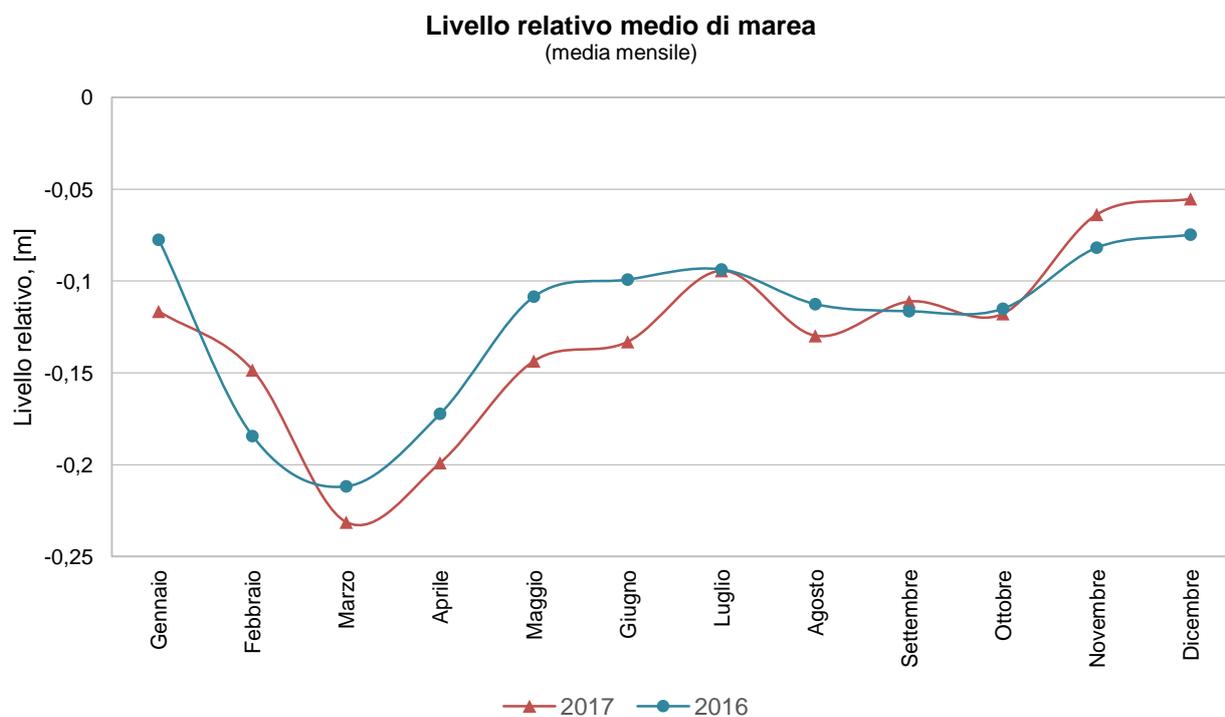
*Figura 5.5 – Spessore di accrescimento marino sulle strutture sommerse al variare della profondità. Elaborazione da (GL Renewables Certification, 2012).*

 <b>ilStudio.</b> <small>Engineering &amp; Consulting Studio</small>	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE <b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Data <b>Luglio 2019</b>	Pagina <b>33</b> Di <b>43</b>

## 5.5 Livello relativo di marea

I dati per la caratterizzazione del livello di marea della località sono stati estratti dal database europeo del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, 2019) le cui informazioni sono estrapolazioni numeriche pseudo - puntuali ottenute mediante l'applicazione di un modello numerico globale ad alta risoluzione spaziale (circa 4.5 km).

Il livello di marea restituito dal dataset Copernicus MEDSEA\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHY\_006\_013 è espresso in metri relativi al livello mare standard. L'informazione è disponibile, su base annuale dal 1 gennaio 2016 – 31 dicembre 2017, sottoforma di media mensile. La Figura 5.6 mostra la variazione del livello di marea medio mensile per gli anni 2016 e 2017. I dati mostrano una generale depressione del livello medio mare nella zona di progetto con una media di livello circa pari a -0.12 m sul livello mare standard e valori compresi tra un minimo relativo di marea di -0.23 m (mese di marzo 2017) ed un massimo pari a -0.06 m (mese di dicembre 2017). I trend sembrano infine riproducibili su base interannuale.



**Figura 5.6 – Livello relativo medio di marea per gli anni 2016 e 2017, medie mensili.**  
 Elaborazione ilStudio su dati (CMEMS, 2019).

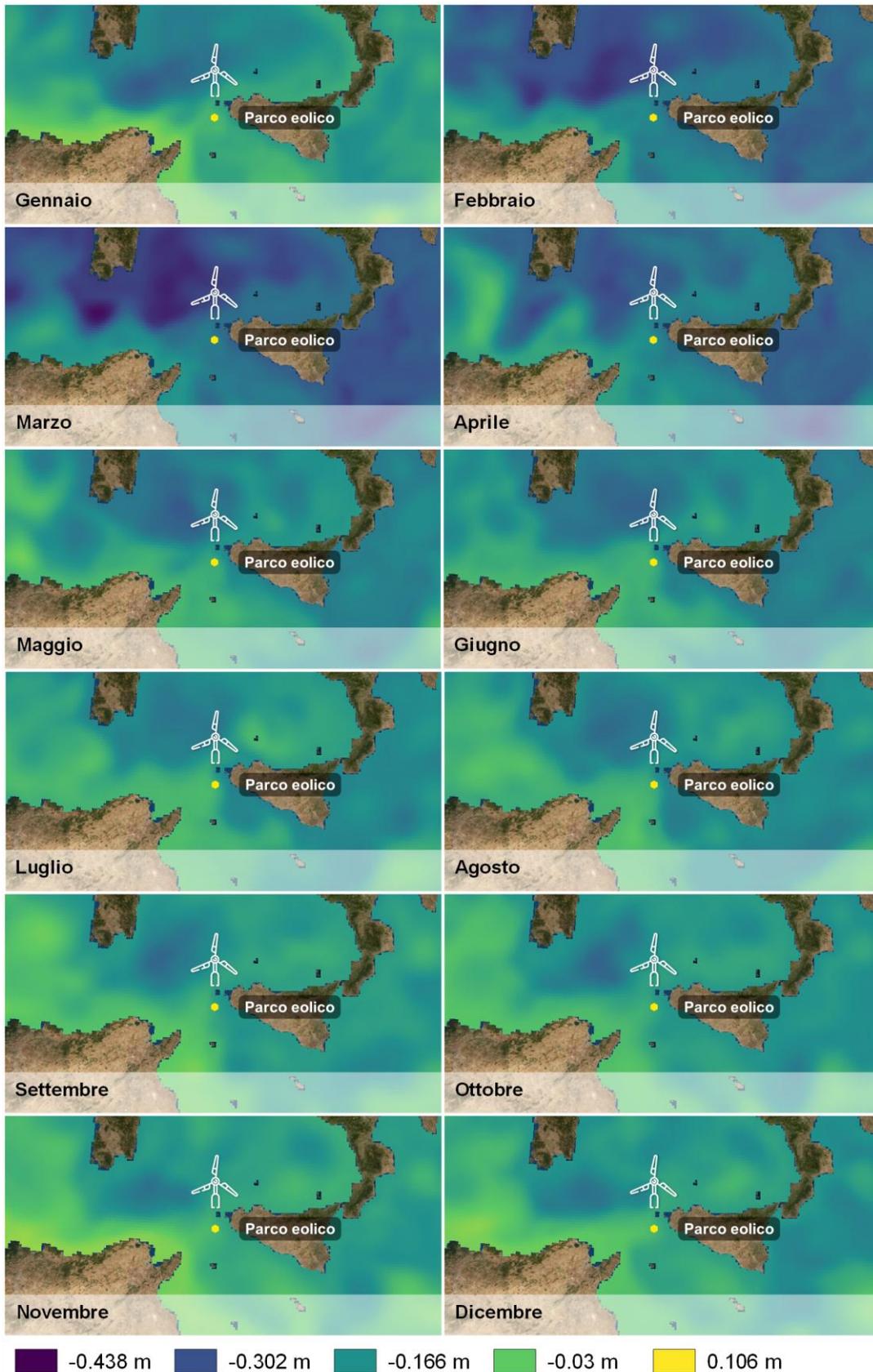


Figura 5.7 – Livello relativo di mare per l'anno 2016. Elaborazione ilStudio su dati (CMEMS, 2019).

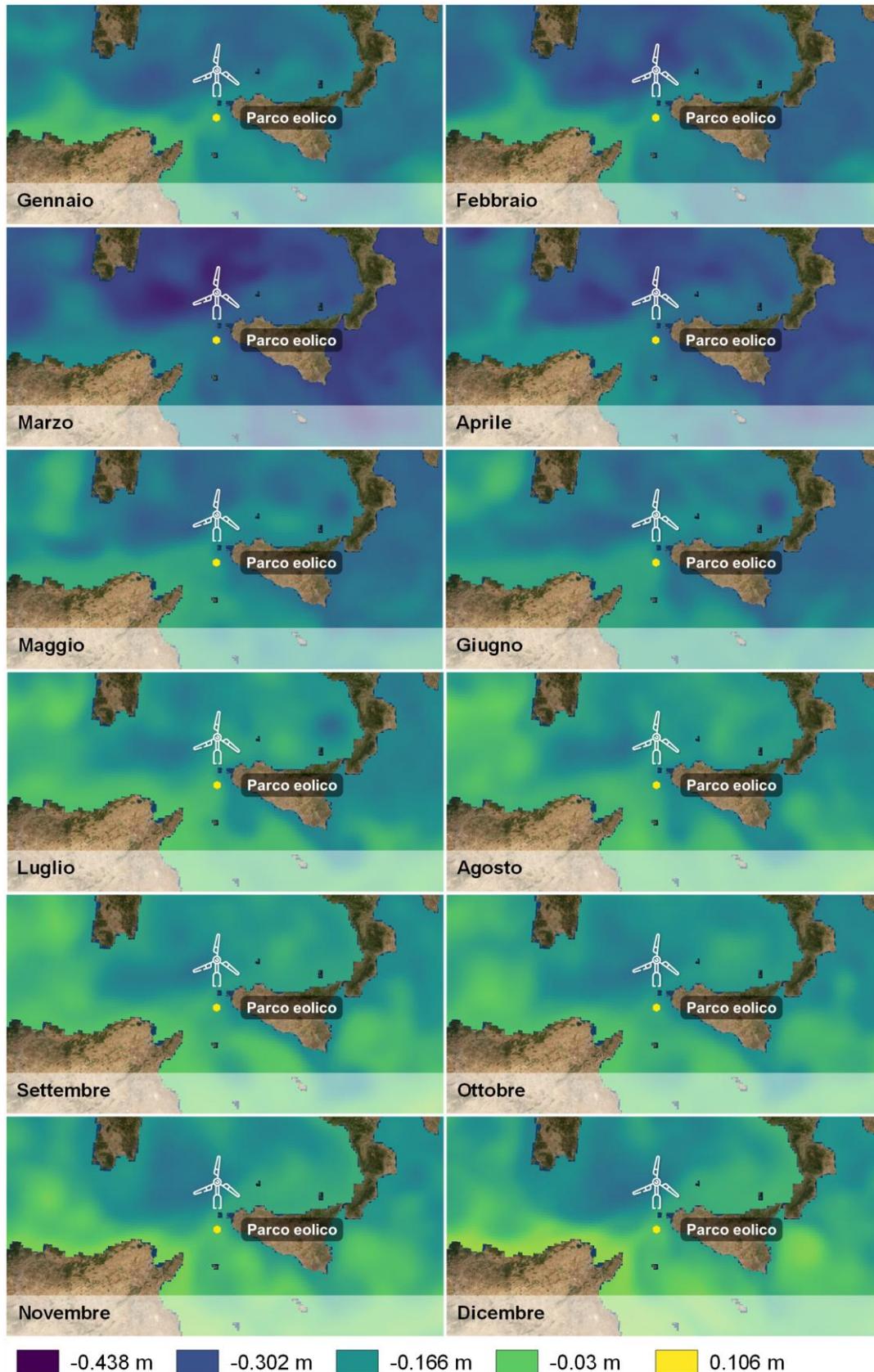


Figura 5.8 – Livello relativo di mare per l'anno 2017. Elaborazione ilStudio su dati (CMEMS, 2019).

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
<b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>		Pagina <b>36</b>	Di <b>43</b>

## 5.6 Livello di salinità

A causa dell'esigua comunicazione idrica tra il Mar Mediterraneo e gli oceani Atlantico e Indiano, oltreché per la forte evaporazione, le acque del bacino mediterraneo sono generalmente molto salate; la salinità media si aggira infatti attorno al 38,5‰ con un livello locale variabile tra il 36‰ e 39‰ muovendosi dalle regioni dello Stretto di Gibilterra verso il Mar di Levante (Treccani, 2019).

L'analisi delle mappe di salinità del Naval Research Laboratory (Figura 5.9) ottenute a partire dal modello globale Navy Coastal Ocean Model (NCOM) (NRL, 2015), evidenzia, per la località di progetto, una generale costanza del livello di salinità su base annuale; le mappe, relative al primo giorno del mese per l'anno 2012, mostrano un livello di salinità superficiale variabile con buona approssimazione nell'intervallo 37 - 38‰.

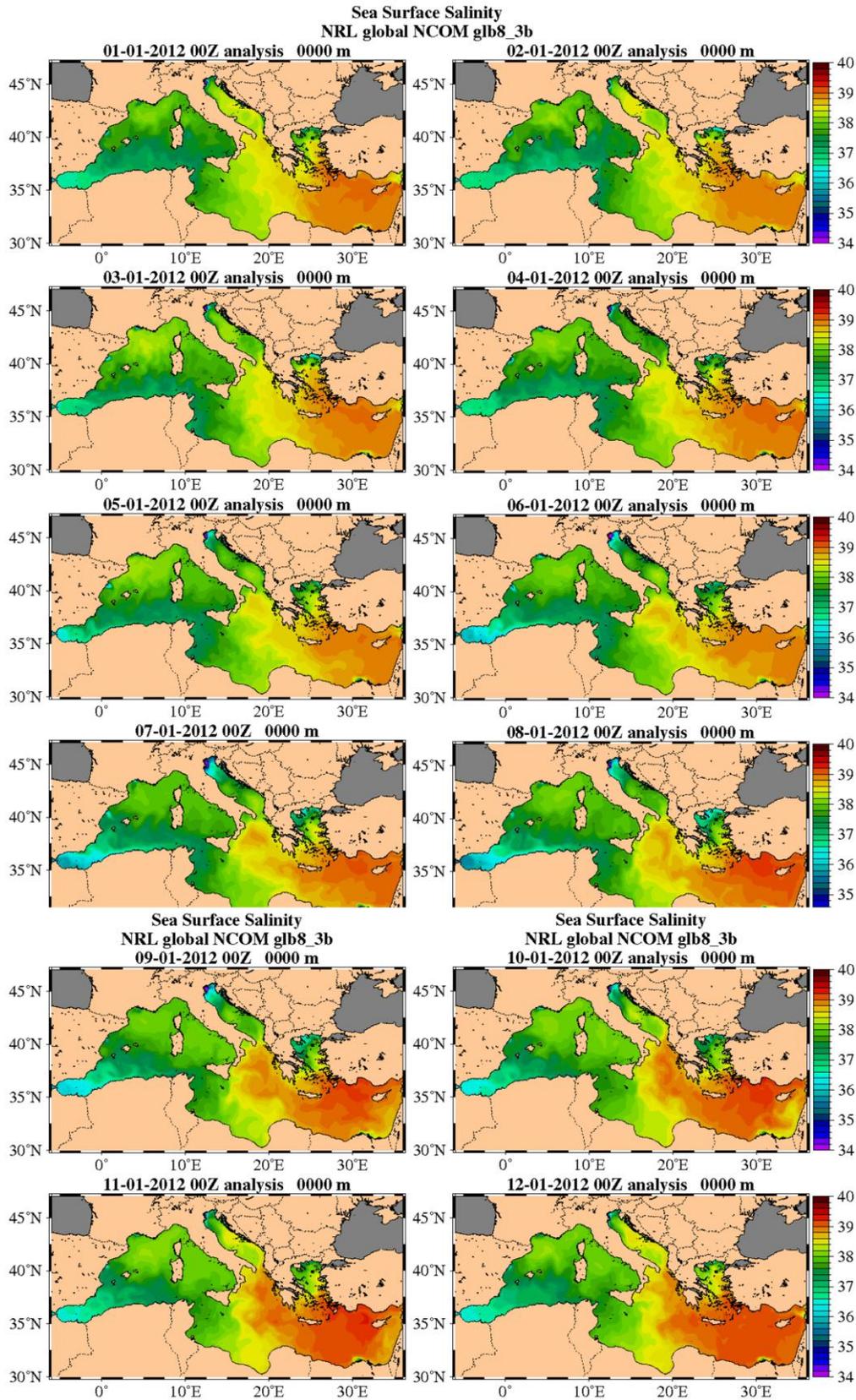


Figura 5.9 – Mappa della salinità superficiale nel Mar Mediterraneo, valori medi per il primo giorno del mese, anno 2012. Dati da (NRL, 2015)

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE <b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Data <b>Luglio 2019</b>	Pagina <b>38</b>   Di <b>43</b>

## 5.7 Profilo batimetrico

Il Parco Eolico insiste su un ambito territoriale, quello del Canale di Sicilia, caratterizzato da un andamento batimetrico irregolare. La profondità prevalente è quella compresa tra 0 e 200 m con picchi oltre i 1000 m confinati nella zona del Bacino di Pantelleria, del Bacino di Malta e del Bacino di Linosa. La Figura 5.10 mostra il layout del parco eolico sulla mappa batimetrica del dataset (EMODnet, 2019).

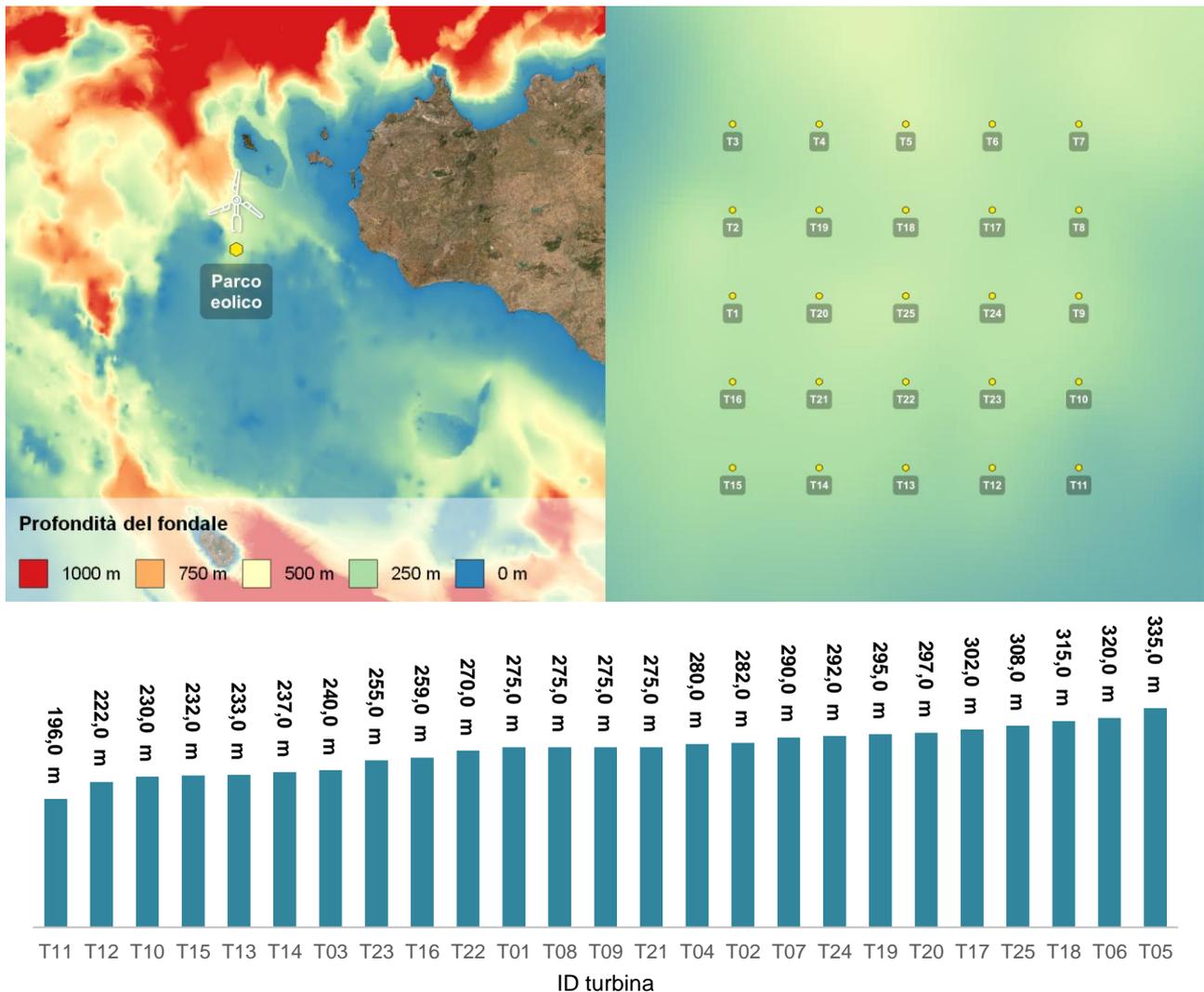


Figura 5.10 – Mappa batimetrica per la località di installazione del parco eolico. Indicazione della profondità del fondale in corrispondenza dei generatori eolici del parco. Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet, 2019) e (Navionics, 2019).

La profondità del fondale, valutata lungo l'asse delle torri di generazione, varia tra un minimo di circa 196 m in corrispondenza della turbina T11 ad un massimo attorno a 335 m per la turbina T5 (lettura da mappa ad alta risoluzione SonarChart™, (Navionics, 2019)).

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
<b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Pagina <b>39</b>	Di <b>43</b>

## 5.8 Correnti marine

La Figura 5.11 mostra la mappa delle correnti marine superficiali del Mar Mediterraneo elaborate dal Naval Research Laboratory a partire dal modello globale Navy Coastal Ocean Model (NCOM) (NRL, 2015), intese come media giornaliera per il primo giorno del mese e per l'anno 2012. In Figura 5.12, lo stesso dato è riproposto, su base stagionale, per l'anno 2010 (dati dal progetto MyOcean).

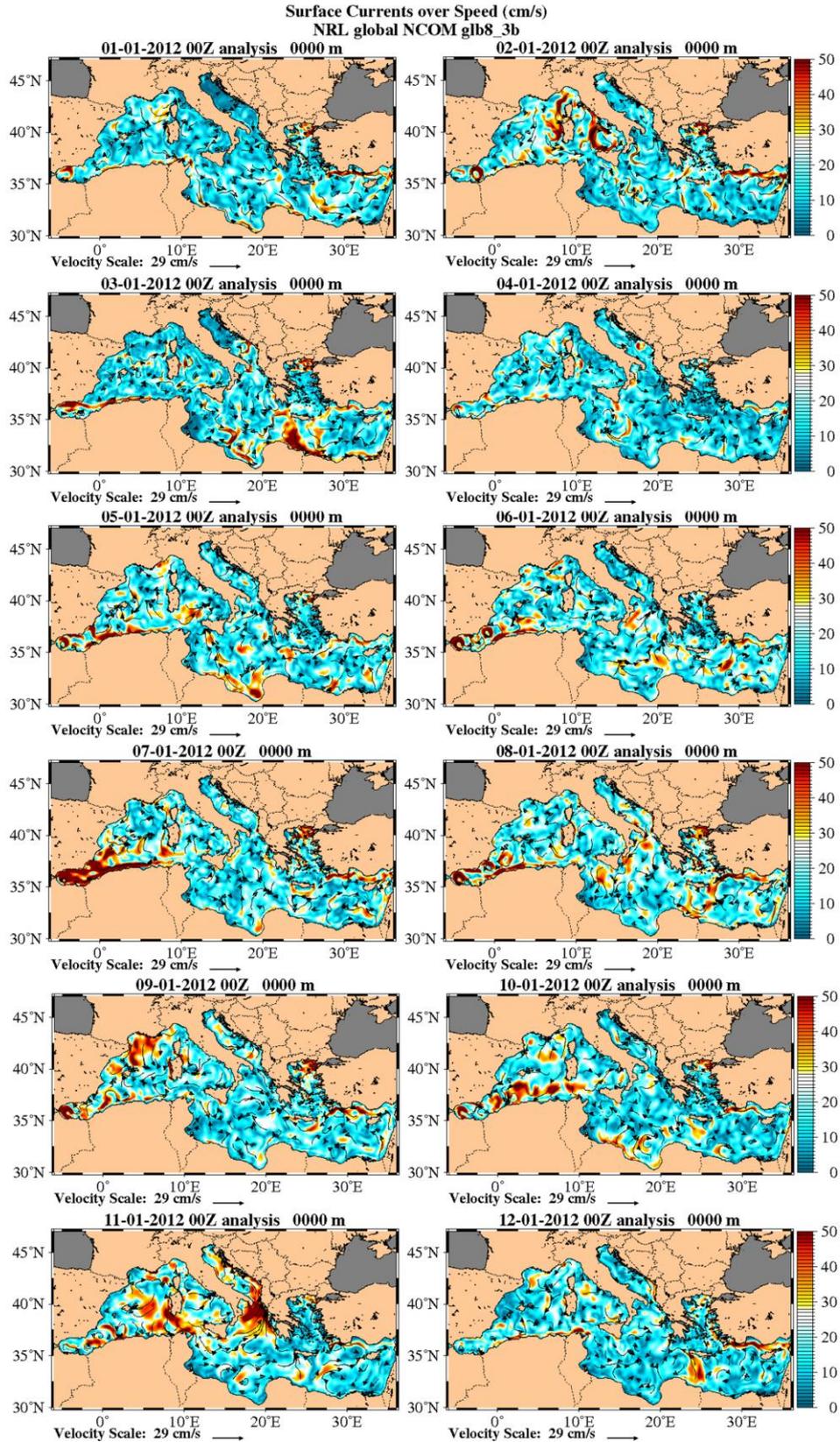
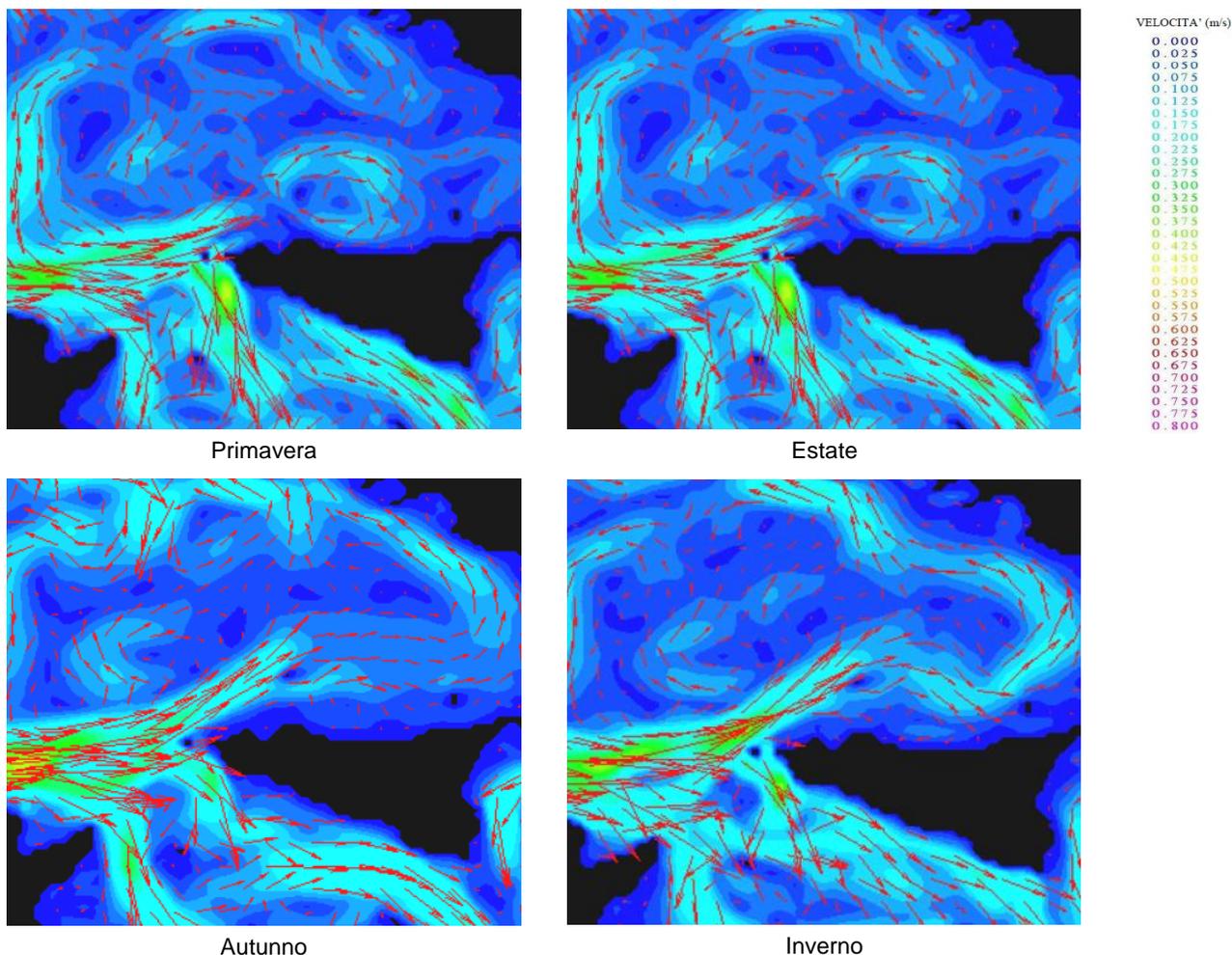


Figura 5.11 – Mappa delle correnti marine superficiali nel Mar Mediterraneo, valori medi per il primo giorno del mese, anno 2012. Dati da (NRL, 2015)

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
<b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting Studio	PROGETTO PRELIMINARE		Data <b>Luglio 2019</b>
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>		Pagina <b>41</b>	Di <b>43</b>



*Figura 5.12 – Mappa delle correnti marine superficiali nel Mar Mediterraneo, valori medi stagionali, anno 2010. Immagini da modello numerico MyOcean per il periodo 2001 – 2010.*

Il campo di velocità della corrente superficiale varia generalmente su base oraria. Aggregando tuttavia le informazioni su scala stagionale, in riferimento alle mappe di Figura 5.11 e Figura 5.12, il modulo della velocità si attesta, mediamente, a valori tra 0.2 e 0.4 m/s mentre la direzione media è tipicamente quella da ovest verso est e vira leggermente verso sud nella zona del parco.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>		Pagina <b>42</b>	Di <b>43</b>

## 6 RIFERIMENTI

APAT, 2006. *Atlante delle onde nei mari italiani*. Roma: APAT.

CMEMS, 2019. *CMEMS, Copernicus Marine Environment Monitoring Service*. [Online]  
Available at: <http://marine.copernicus.eu>

DHI, 2019. *MetOcean Data Portal, On demand data and analytics globally*. [Online]  
Available at: <http://www.metocean-on-demand.com>

EMODnet, 2019. *EMODnet Bathymetry*. [Online]  
Available at: <http://www.emodnet-bathymetry.eu>

GL Renewables Certification, 2012. *Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines*, s.l.:  
GL Renewables Certification.

Goda, Y., 1988. On the methodology of selecting design wave height. *Coastal Engineering Proceedings*.

Goda, Y. & Kobune, K., 1990. Distribution function fitting for storm wave data. *Coastal Engineering Proceedings*.

ISPRA, 2018. *Annuario in cifre - Annuario dei Dati Ambientali 2018*. [Online]  
Available at: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/stato-dellambiente/annuario-in-cifre-annuario-dei-dati-ambientali-2018>

ISPRA, 2019. *RON, Rete Ondametrica Nazionale*. [Online]  
Available at: <http://dati.isprambiente.it/dataset/ron-rete-ondametrica-nazionale/>

Manwell, J. F. & McGowan, J. G., 2009. *Wind energy explained, theory design and application*.  
2nd a cura di s.l.:Wiley.

Navionics, 2019. *Chart viewer*. [Online]  
Available at: <https://www.navionics.com>

NRL, 2015. *Mediterranean region SSS*. [Online]  
Available at: [https://www7320.nrlssc.navy.mil/global\\_ncom/glb8\\_3b/html/Links/sss\\_list\\_med.html](https://www7320.nrlssc.navy.mil/global_ncom/glb8_3b/html/Links/sss_list_med.html)

RSE, 2019. *Atlante eolico interattivo*. [Online]  
Available at: <http://atlanteeolico.rse-web.it>

Treccani, 2019. *Mediterraneo, Mare*. [Online]  
Available at: <http://www.treccani.it/enciclopedia/mare-mediterraneo/>

Troen, I. & Lundtang Petersen, E., 1989. *European Wind Atlas*. s.l.:Risø National Laboratory.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>F0119U.R11.RELMET.00.c</b>	
<b>ilStudio.</b> Engineering & Consulting <b>Studio</b>	PROGETTO PRELIMINARE	Data <b>Luglio 2019</b>	
	<b>RELAZIONE METEOMARINA</b>	Pagina <b>43</b>	Di <b>43</b>

*Il presente documento, composto da n. 43 pagine è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione.*

Taranto, Luglio 2019

Dott. Ing. Luigi Severini