

DGM GLOBAL S.r.l.
VIA STEFANO JACINI 28 - 70125 Bari (BA)

**PROGETTO PRELIMINARE PER LA REALIZZAZIONE DI
UN PARCO EOLICO OFFSHORE A LARGO DI SANTA
MARIA DI LEUCA
675 MW**



Via Degli Arredatori, 8
70026 Modugno (BA) - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361

Azienda con Sistema di Gestione Certificato
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

Tecnico
ing. Danilo POMPONIO

Collaborazioni
arch. Valentina MASTROMARINO
ing. Marco D'ARCANGELO
ing. Antonio DI COSOLA
ing. Tommaso MANCINI
geol. Lucia SANTOPIETRO
ing. Martino LAPENNA
ing. Giuseppe TEDESCHI
dott.ssa ecologa marina Eleonora MELIADÒ

Responsabile Commessa
ing. Danilo POMPONIO



ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA		
08		RELAZIONE METEOMARINA	22146	P		
			CODICE ELABORATO			
			DC22146P-08			
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE		SOSTITUITO DA	
00			-		-	
			NOME FILE		PAGINE	
			DC22146P-08.doc		24+copertina	
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato	
00	28/12/2022	Emissione	Di Cosola	Mastromarino	Pomponio	
01						
02						
03						
04						
05						
06						

INDICE

1. SCOPO DEL DOCUMENTO.....	2
2. PROFILO ANEMOLOGICO.....	3
2.1 Frequenze di apparizione medie annuali.....	3
2.2 Frequenze di apparizioni stagionali.....	5
2.2.1 Inverno.....	5
2.2.2 Primavera.....	7
2.2.3 Estate.....	8
2.2.4 Autunno.....	9
3. PROFILO ONDAMETRICO.....	11
3.1 Fetch geografici ed efficaci.....	12
3.2 Trasposizione geografica.....	18
3.3 Analisi di frequenza.....	19
3.4 Analisi degli eventi estremi (Gumbel).....	20
4. CORRENTI MARINE.....	21

1. SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento è stato redatto allo scopo di eseguire studi preliminari sul clima meteomarinario dell'area marina scelta per l'ubicazione di un impianto eolico offshore come mostrato in Figura 1.1.



Figura 1.1 Layout di progetto

L'impianto eolico offshore è costituito da 45 aerogeneratori e una sottostazione offshore di trasformazione che occupano un'area marina di circa 146 km² localizzata a sud-est delle coste della Puglia meridionale a circa 39 km dal porto di Santa Maria di Leuca. La potenza complessiva è di 675 MW.

Nella presente relazione saranno svolte le seguenti analisi preliminari che saranno ulteriormente approfondite nella fase successiva di progetto e che saranno fondamentali per il corretto dimensionamento delle strutture galleggianti:

- analisi del profilo anemologico;
- analisi del profilo ondametrico;
- analisi delle correnti marine.



2. PROFILO ANEMOLOGICO

In questa fase lo studio anemologico dell'area in esame è stato svolto utilizzando i dati della stazione di Santa Maria di Leuca ricavati dal database europeo ERA5.

Da tale database sono stati presi dati di vento che vanno dal 1999 al 2022 (all'altezza di 10 m.s.l.m.) e dalle quali sono stati ricavate le frequenze di apparizione medie annuali e le frequenze di apparizione medie stagionali.

2.1 Frequenze di apparizione medie annuali

Dall'elaborazione statistica della serie di registrazioni risulta che mediamente in un anno i venti con la maggiore frequenza di apparizione sono quelli provenienti da N con il 16.79%, da NNO con il 14.2% e da SSE con il 9.75%.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con maggiore velocità sono quelli compresi tra 11 e 16 nodi che corrispondono alla IV classe della scala di Beaufort ("vento moderato") e rappresentano il 22.7% della popolazione. I venti appartenenti alla I, II e III classe (venti inferiori a 10 nodi) costituiscono da soli il 32.8% della popolazione, mentre i venti più intensi con velocità maggiori di 22 nodi costituiscono circa il 15% provenienti sempre da NNO e SSE.

Classe Beaufort	Descrizione vento	Velocità in nodi	Velocità in Km/h	Condizioni a terra	Altezze delle onde in metri
0	Calma	<1	<1	Il fumo sale verticalmente	Mare piatto
1	Bava di vento	1-3	1-5	Movimento del vento visibile dal fumo.	0.1
2	Brezza leggera	4-6	6-11	Si sente il vento sulla pelle nuda. Le foglie frusciano.	0.2-0.3
3	Brezza tesa	7-10	12-19	Foglie e rami più piccoli in movimento costante.	0.6-1
4	Vento moderato	11-16	20-28	Sollevamento di polvere e carta. I rami sono agitati.	1-1.5
5	Vento teso	17-21	29-38	Oscillano gli arbusti con foglie. Si formano piccole onde nelle acque interne.	2-2.5
6	Vento fresco	22-27	39-49	Movimento di grossi rami. Difficoltà ad usare l'ombrello. Le linee del telegrafo fischiano.	3-4
7	Vento forte	28-33	50-61	Interi alberi agitati. Difficoltà a camminare contro vento.	4-5.5
8	Burrasca	34-40	62-74	Ramoscelli strappati	5.5-7.5

				dagli alberi. Generalmente è impossibile camminare contro vento.	
9	Burrasca forte	41-47	75-88	Leggeri danni alle strutture (camini e tegole asportati).	7-10
10	Tempesta	48-55	89-102	Sradicamento di alberi. Considerevoli danni strutturali.	9-12.5
11	Tempesta violenta	56-63	103-117	Vasti danni strutturali.	11.5-14
12	Uragano	Oltre 64	Oltre 118	Danni ingenti ed estesi alle strutture.	Oltre 14

Tabella 2.1 Classe dei venti di Beaufort

La classe di "calma" infine rappresenta il 1.25% dei casi registrati.

	1-3 knots	4-6 knots	7-10 knots	11-16 knots	17-21 knots	22-27 knots	>28 knots	Tot
N	0,50%	1,31%	3,07%	6,90%	3,71%	1,30%	0,47%	16,79%
NNE	0,43%	0,67%	0,78%	0,60%	0,18%	0,11%	0,07%	2,76%
ENE	0,36%	0,40%	0,31%	0,22%	0,05%	0,02%	0,01%	1,36%
E	0,35%	0,51%	0,44%	0,44%	0,22%	0,13%	0,05%	2,09%
ESE	0,37%	0,80%	1,19%	1,41%	0,83%	0,66%	0,40%	5,27%
SSE	0,42%	1,13%	2,01%	3,03%	1,97%	1,20%	0,51%	9,75%
S	0,44%	1,02%	1,38%	2,05%	1,03%	0,52%	0,12%	6,44%
SSO	0,45%	0,81%	0,79%	0,99%	0,69%	0,40%	0,08%	4,13%
OSO	0,47%	0,82%	0,68%	0,53%	0,41%	0,27%	0,00%	3,18%
O	0,51%	0,98%	1,19%	0,59%	0,26%	0,14%	0,02%	3,67%
ONO	0,52%	1,20%	1,55%	0,94%	0,49%	0,26%	0,06%	4,97%
NNO	0,50%	1,52%	2,94%	5,00%	3,09%	1,18%	0,22%	14,24%
Tot	5,32%	11,17%	16,31%	22,71%	0,84%	12,93%	2,03%	

Tabella 2.2 Apparizioni medie annuali dei venti registrati alla stazione di Santa Maria di Leuca (LE)

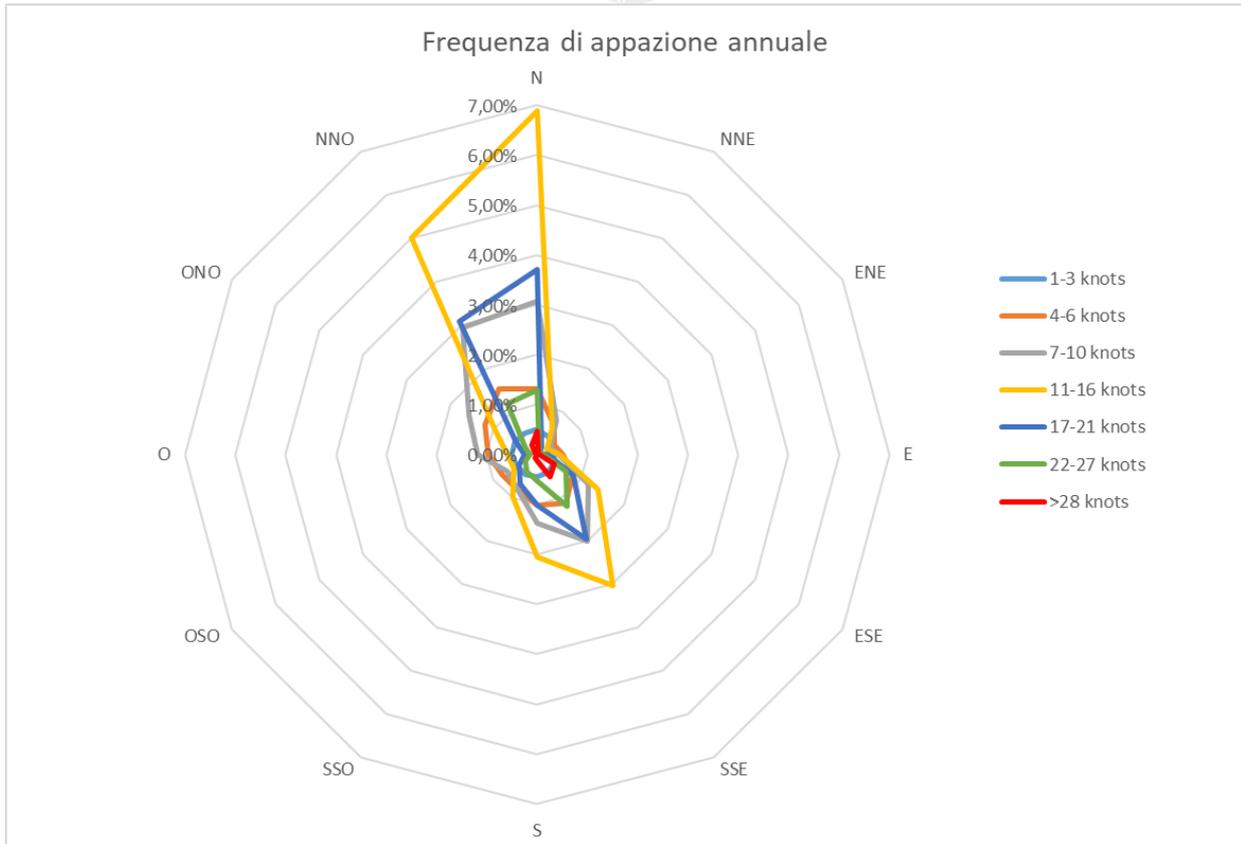


Figura 2.1 Diagramma di frequenza media annuale dei venti

2.2 *Frequenze di apparizioni stagionali*

2.2.1 *Inverno*

La stagione invernale risulta quella mediamente più ventosa con una percentuale di apparizione dei venti di classe 0 di Beaufort ("calme") del 0.56%.

Durante tale stagione i venti più presenti sono quelli provenienti dalle direzioni Nord e NNO le cui percentuali di apparizione rispetto all'intera popolazione si aggirano rispettivamente intorno a 15.5% e 12.8%. I restanti venti provenienti dal secondo e terzo quadrante (da ESE a SSO) hanno un'incidenza minore con percentuali tra il 6 e il 9%.

I venti più intensi che agiscono nella stagione hanno una velocità compresa tra 11 e 16 nodi (classe IV, "vento moderato") con una percentuale di circa il 24%, e tra 17 e 21 nodi (classe V, "vento teso") con una frequenza del 17.4% dell'intera popolazione. La stagione invernale, inoltre, è quella che mediamente registra la maggiore presenza di venti forti (velocità maggiori di 22 nodi) con una percentuale di circa 15%.

	1-3 knots	4-6 knots	7-10 knots	11-16 knots	17-21 knots	22-27 knots	>28 knots	Tot
N	0,28%	0,76%	2,21%	6,04%	3,89%	2,33%	0,00%	15,51%
NNE	0,26%	0,40%	0,62%	0,72%	0,30%	0,25%	0,22%	2,54%
ENE	0,20%	0,29%	0,34%	0,33%	0,10%	0,04%	0,02%	1,30%
E	0,24%	0,34%	0,40%	0,69%	0,41%	0,30%	0,12%	2,37%
ESE	0,21%	0,44%	0,96%	1,89%	1,45%	1,15%	0,83%	6,10%
SSE	0,28%	0,66%	1,47%	2,77%	2,36%	1,56%	0,87%	9,10%
S	0,26%	0,72%	1,19%	2,63%	1,90%	1,20%	0,27%	7,90%
SSO	0,27%	0,62%	0,94%	1,84%	1,60%	1,01%	0,22%	6,28%
OSO	0,31%	0,54%	0,50%	0,89%	0,95%	0,69%	0,13%	3,87%
O	0,35%	0,61%	0,49%	0,55%	0,39%	0,31%	0,07%	2,69%
ONO	0,31%	0,66%	0,86%	0,97%	0,70%	0,48%	0,11%	3,97%
NNO	0,34%	0,81%	1,98%	4,56%	3,37%	1,75%	0,52%	12,80%
Tot	3,31%	6,85%	11,95%	23,87%	17,41%	11,05%	4,76%	

Tabella 2.3 Apparizioni medie stagionali (inverno) dei venti registrati alla stazione di Santa Maria di Leuca (LE)

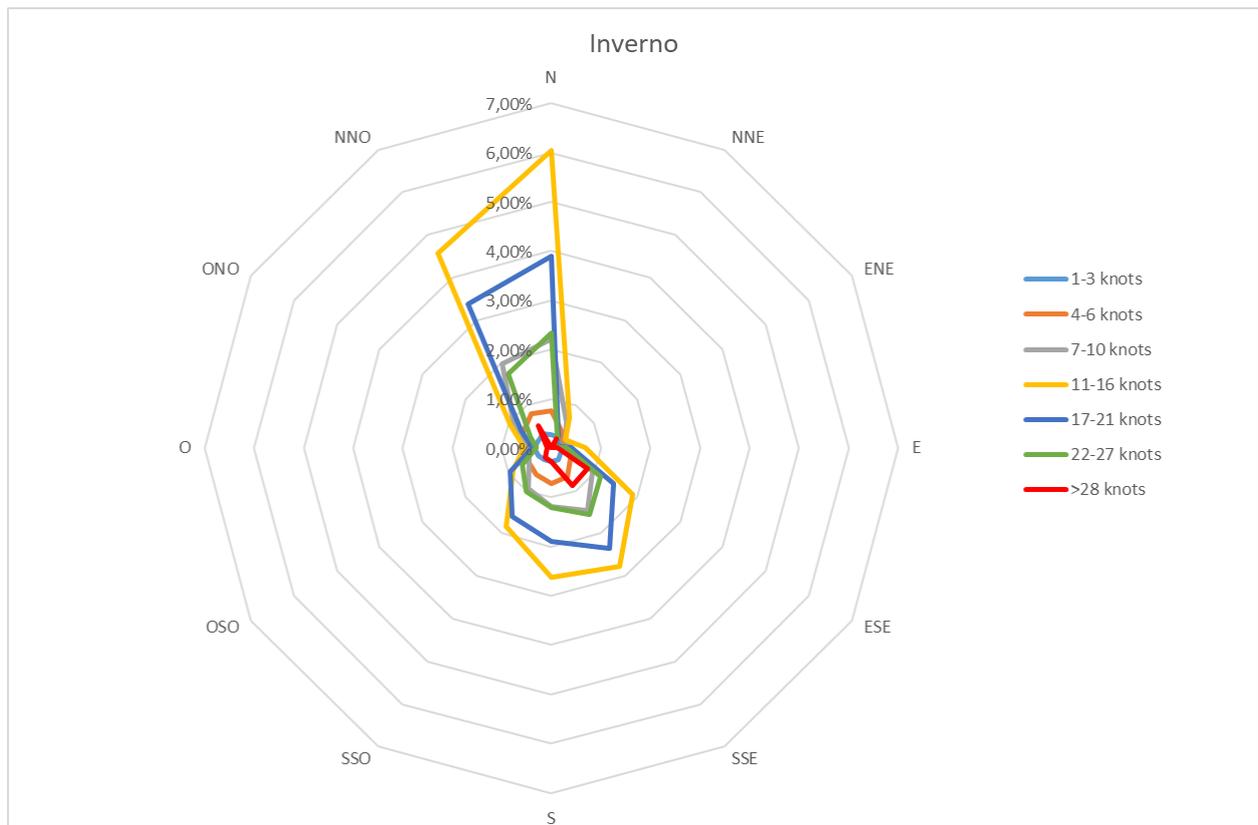


Figura 2.2 Diagramma di frequenza media stagionale (inverno) dei venti

2.2.2 Primavera

Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni derivano sempre dai venti provenienti da Nord, da NNO e da SSE con una percentuale intorno al 13%. Al secondo posto ci sono i venti provenienti dal terzo quadrante con una percentuale di apparizione che va dal 3 al 7%; i venti meno presenti sono quelli provenienti dal primo quadrante.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 10 nodi (dalla classe III alla classe I di Beaufort, corrispondenti alle "brezze") rappresentano circa 35% della popolazione; come è visibile nella rosa dei venti in figura, i venti di minore intensità sono uniformemente distribuiti tra il secondo e il quarto quadrante. I venti con velocità compresa tra 11 e 17 hanno una percentuale di apparizione del 21%, i venti più intensi (velocità maggiore di 22 nodi) rappresentano il 6%.

	1-3 knots	4-6 knots	7-10 knots	11-16 knots	17-21 knots	22-27 knots	>28 knots	Tot
N	0,48%	1,11%	2,43%	4,91%	3,04%	0,97%	0,00%	12,95%
NNE	0,45%	0,53%	0,60%	0,47%	0,21%	0,06%	0,02%	2,32%
ENE	0,37%	0,38%	0,28%	0,19%	0,04%	0,02%	0,00%	1,28%
E	0,38%	0,59%	0,43%	0,45%	0,13%	0,06%	0,01%	2,04%
ESE	0,46%	0,96%	1,46%	1,58%	0,65%	0,51%	0,20%	5,61%
SSE	0,55%	1,65%	2,54%	3,90%	2,39%	1,41%	0,45%	12,44%
S	0,57%	1,39%	1,78%	2,38%	0,87%	0,37%	0,09%	7,38%
SSO	0,57%	0,98%	0,80%	0,80%	0,52%	0,18%	0,02%	3,84%
OSO	0,64%	1,06%	0,83%	0,51%	0,31%	0,15%	0,01%	3,49%
O	0,57%	1,17%	1,36%	0,67%	0,34%	0,15%	0,00%	4,27%
ONO	0,57%	1,26%	1,78%	1,26%	0,60%	0,25%	0,04%	5,71%
NNO	0,50%	1,52%	3,00%	4,61%	2,55%	1,11%	0,09%	13,29%
Tot	6,05%	12,33%	16,93%	21,27%	11,46%	5,17%	1,14%	

Tabella 2.4 Apparizioni medie stagionali (primavera) dei venti registrati alla stazione di Santa Maria di Leuca (LE)

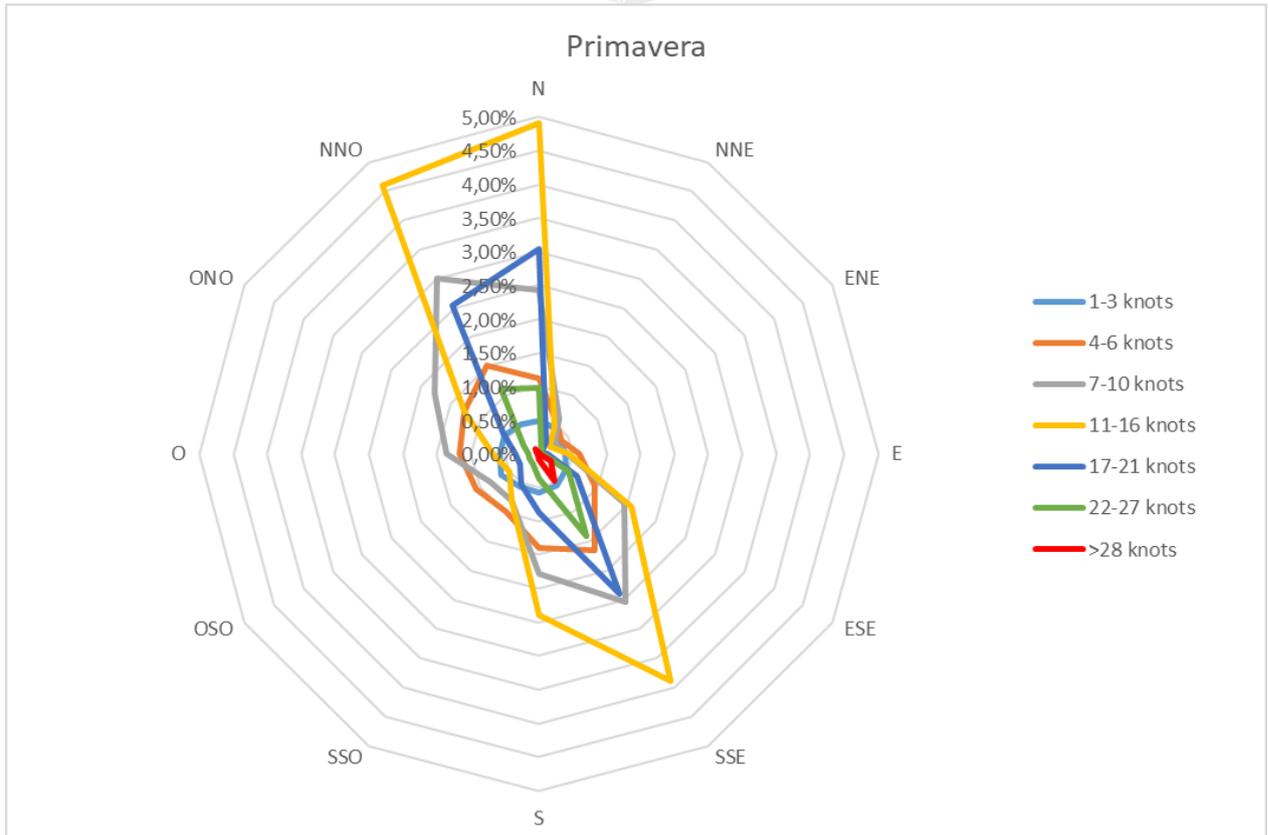


Figura 2.3 Diagramma di frequenza media stagionale (primavera) dei venti

2.2.3 Estate

La stagione estiva è quella che risulta con la percentuale più alta di "calma" con il 4.46% di apparizione.

Durante la stagione estiva i principali venti regnanti provengono dalle direzioni Nord e NNO con entrambi una percentuale di apparizione del 20% circa. Al secondo posto si collocano i venti provenienti da ONO (6.89%), Ovest (5.53%) e SSE (5%).

Se si considerano i dati in base all'intensità, si osserva che i venti con velocità minore di 10 nodi rappresentano il 40% circa della popolazione, la percentuale più alta rispetto alle altre stagioni. Il 20% circa dei dati di vento registrati mediamente in tale stagione hanno velocità comprese tra 11 e 16 nodi.

	1-3 knots	4-6 knots	7-10 knots	11-16 knots	17-21 knots	22-27 knots	>28 knots	Tot
N	0,82%	1,95%	4,06%	8,58%	4,56%	0,80%	0,00%	20,76%
NNE	0,58%	0,84%	0,76%	0,40%	0,06%	0,02%	0,00%	2,65%
ENE	0,42%	0,45%	0,20%	0,11%	0,01%	0,01%	0,00%	1,20%
E	0,35%	0,54%	0,34%	0,12%	0,03%	0,01%	0,00%	1,39%
ESE	0,39%	0,91%	1,14%	0,48%	0,07%	0,01%	0,00%	3,01%

SSE	0,45%	1,13%	1,66%	1,47%	0,25%	0,06%	0,00%	5,02%
S	0,51%	1,03%	0,92%	0,64%	0,12%	0,01%	0,00%	3,23%
SSO	0,58%	0,89%	0,59%	0,20%	0,02%	0,00%	0,00%	2,29%
OSO	0,56%	1,14%	0,92%	0,24%	0,04%	0,01%	0,00%	2,91%
O	0,73%	1,56%	2,42%	0,75%	0,06%	0,01%	0,00%	5,53%
ONO	0,73%	2,00%	2,75%	0,95%	0,34%	0,12%	0,00%	6,89%
NNO	0,69%	2,39%	4,49%	6,82%	4,07%	1,01%	0,04%	19,46%
Tot	6,65%	14,54%	19,77%	20,47%	9,49%	2,04%	0,08%	

Tabella 2.5 Apparizioni medie stagionali (estate) dei venti registrati alla stazione di Santa Maria di Leuca (LE)

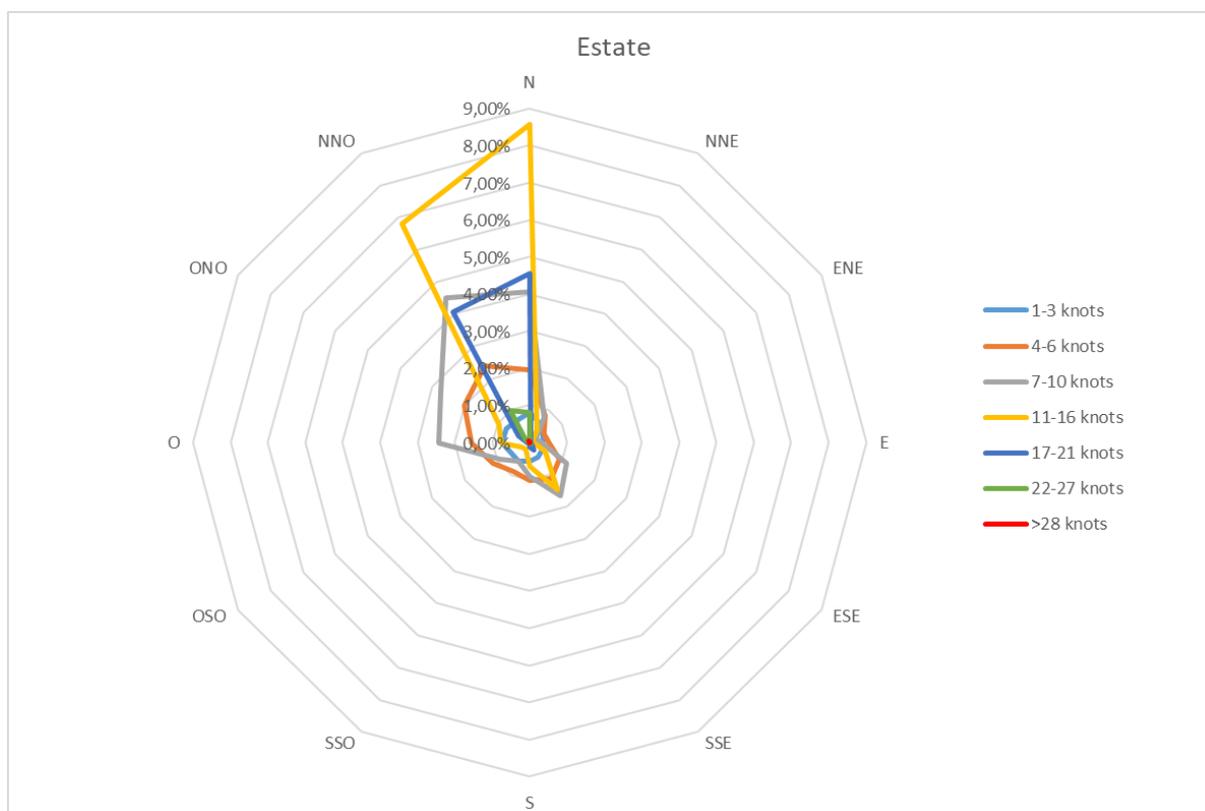


Figura 2.4 Diagramma di frequenza media stagionale (estate) dei venti

2.2.4 Autunno

Durante la stagione autunnale i principali venti regnati provengono dalle direzioni Nord con una percentuale di apparizione del 17,9%, da NNO con l'11,3% e da SSE con una percentuale del 12,5%. I venti provenienti dalle altre direzioni presentano percentuali di frequenza abbastanza esigui.

Per quanto riguarda le classi di intensità dei venti, quelli maggiormente presenti sono quelli appartenenti alla classe III e IV di Beaufort con una percentuale totale di circa il 35%. I venti di

V classe (17-21 nodi) rappresentano il 12% circa della popolazione. Infine, i venti più intensi (maggiori di 22 nodi) cominciano a prendere forma con una percentuale di apparizione media di circa 8%.

	1-3 knots	4-6 knots	7-10 knots	11-16 knots	17-21 knots	22-27 knots	>28 knots	Tot
N	0,43%	1,41%	3,57%	8,05%	3,36%	1,10%	0,00%	17,92%
NNE	0,41%	0,89%	1,13%	0,83%	0,16%	0,11%	0,03%	3,54%
ENE	0,45%	0,50%	0,42%	0,24%	0,04%	0,03%	0,01%	1,68%
E	0,40%	0,59%	0,57%	0,51%	0,32%	0,17%	0,07%	2,56%
ESE	0,42%	0,88%	1,19%	1,70%	1,18%	1,00%	0,56%	6,37%
SSE	0,41%	1,07%	2,35%	3,98%	2,88%	1,80%	0,71%	12,47%
S	0,42%	0,95%	1,61%	2,57%	1,23%	0,52%	0,14%	7,30%
SSO	0,39%	0,74%	0,83%	1,13%	0,63%	0,42%	0,07%	4,14%
OSO	0,36%	0,51%	0,46%	0,50%	0,36%	0,25%	0,03%	2,43%
O	0,38%	0,57%	0,46%	0,39%	0,24%	0,11%	0,02%	2,15%
ONO	0,47%	0,84%	0,80%	0,60%	0,34%	0,21%	0,07%	3,26%
NNO	0,46%	1,35%	2,27%	4,01%	2,38%	0,86%	0,22%	11,34%
Tot	5,01%	10,29%	15,59%	24,36%	12,93%	6,35%	2,16%	

Tabella 2.6 Apparizioni medie stagionali (autunno) dei venti registrati alla stazione di Santa Maria di Leuca (LE)

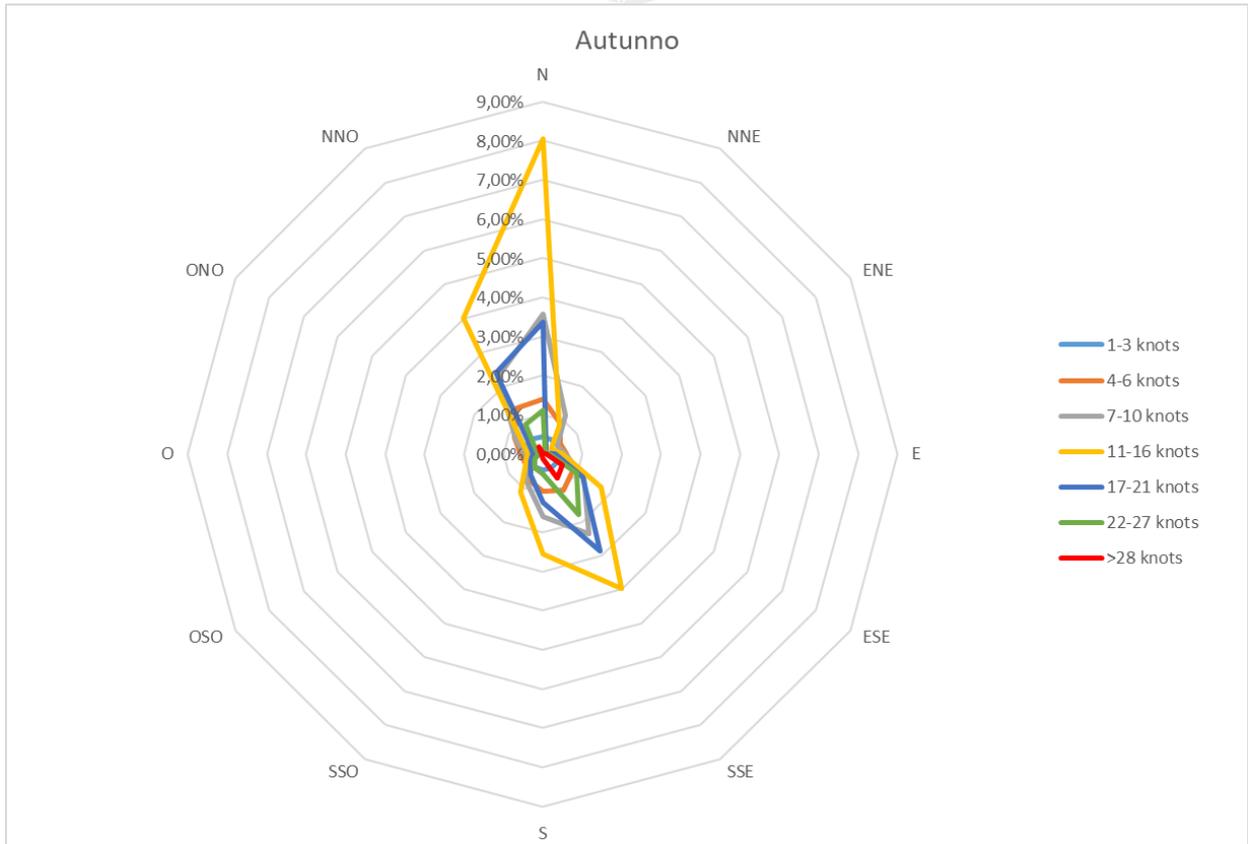


Figura 2.5 Diagramma di frequenza media stagionale (autunno) dei venti

3. PROFILO ONDAMETRICO

La ricostruzione del profilo ondometrico dell'area di progetto consiste nella determinazione delle caratteristiche dell'onda in termini di altezza, direzione e frequenza.

Tale caratterizzazione è stata svolta tramite analisi di trasposizione geografica dei dati d'onda provenienti dalla vicina boa di Crotone a sua volta appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale.

La Rete Ondametrica Nazionale rappresenta il sistema di rilevamento del moto ondoso dell'ISPRA costituito da una rete di quindici stazioni di misura in punti fissi lungo le coste nazionali.

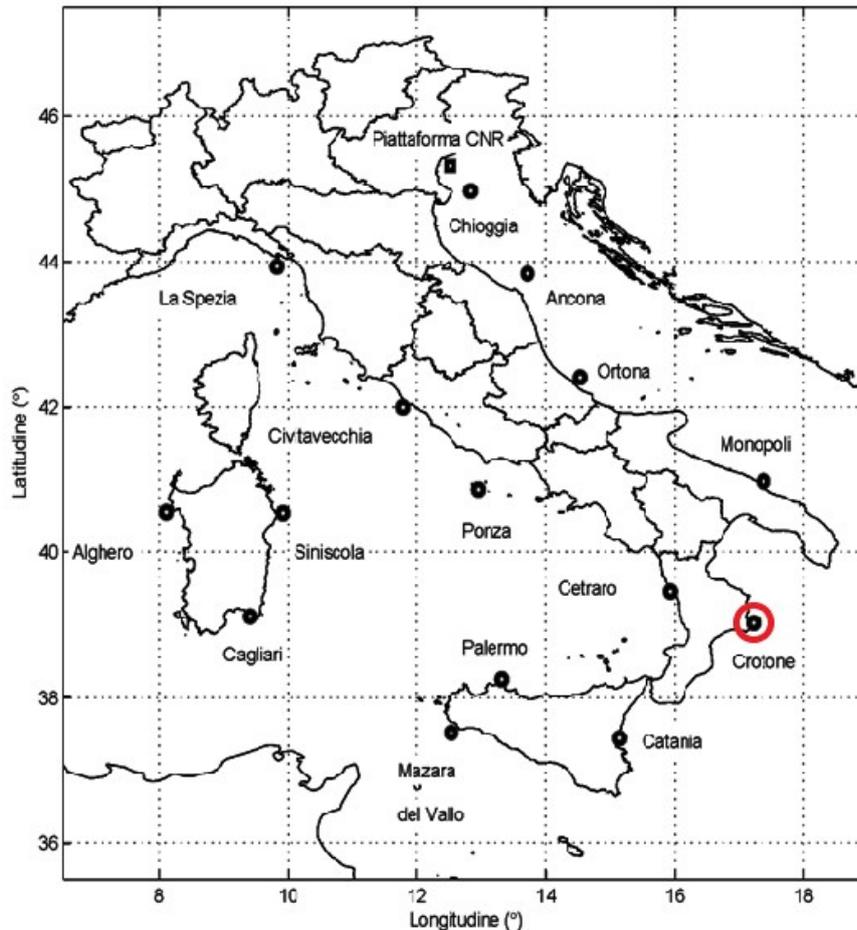


Figura 3.1 Rete Ondametrica Nazionale e ubicazione boa di Crotone

La boa di Crotone è stata scelta essendo la più vicina all'area di progetto e avendo la medesima esposizione ai regimi di vento e onda.

I dati ondametrici della boa di Crotone sono stati ricavati dal sito ISPRA (<http://dati.isprambiente.it/dataset/ron-rete-ondametrica-nazionale/>).

I dati raccolti coprono gli anni che vanno dal 1989 al 2014. I dati sono stati ulteriormente filtrati al fine di rimuovere i valori non validi e che potrebbero compromettere le successive analisi.

3.1 *Fetch geografici ed efficaci*

Al fine di eseguire le analisi ondametriche è necessario innanzitutto determinare i fetch geografici ed efficaci sia della boa che del paraggio.

Con il termine fetch si intende la superficie della porzione di mare sulla quale il vento (in intensità e direzione costante) trasferisce la sua energia al mare.

In bacini chiusi come il Mediterraneo il fetch "geografico" può essere assimilato alla distanza geometrica tra il punto di interesse e la costa più vicina lungo una prefissata direzione.



Ai fini del progetto sono stati determinati i fetch geografici ogni 5° di direzione dal punto del paraggio scelto localizzato sulla batimetria dei 100 m di profondità perpendicolare alla costa. Tale batimetria rappresenta di consuetudine il limite delle acque profonde in cui le caratteristiche delle onde rimangono pressoché costanti prima di subire i fenomeni di trasformazione dovute all'interazione con il fondale e con l'avvicinarsi alla costa. Si riportano di seguito i fetch geografici del paraggio di Santa Maria di Leuca.

Dir (°)	Fetch (km)	Dir (°)	Fetch (km)	Dir (°)	Fetch (km)
0	2,6	120	224,4	240	120,7
5	2,9	125	238,3	245	116,7
10	27,7	130	238,1	250	120,9
15	36	135	290,2	255	129,8
20	247,6	140	1131,2	260	138
25	191,8	145	1015,6	265	159,4
30	169,3	150	880,1	270	161,1
35	138,3	155	824,8	275	152,3
40	122,5	160	817,5	280	3
45	117,7	165	838,2	285	2,7
50	104,4	170	1026	290	2,5
55	102,8	175	1057	295	2,3
60	104,3	180	995,5	300	1,4
65	111	185	968,2	305	1,4
70	119,7	190	968,6	310	1,4
75	129,6	195	938,7	315	1,4
80	134,1	200	873,3	320	1,5
85	139,8	205	871,7	325	1,5
90	108,4	210	887,5	330	1,6
95	116,6	215	994,2	335	1,7
100	128,7	220	406,6	340	1,8
105	174,2	225	214,5	345	1,9
110	163	230	134,1	350	2
115	224,7	235	130,3	355	2,3

Tabella 3.1 Fetch geografici del paraggio a Santa Maria di Leuca

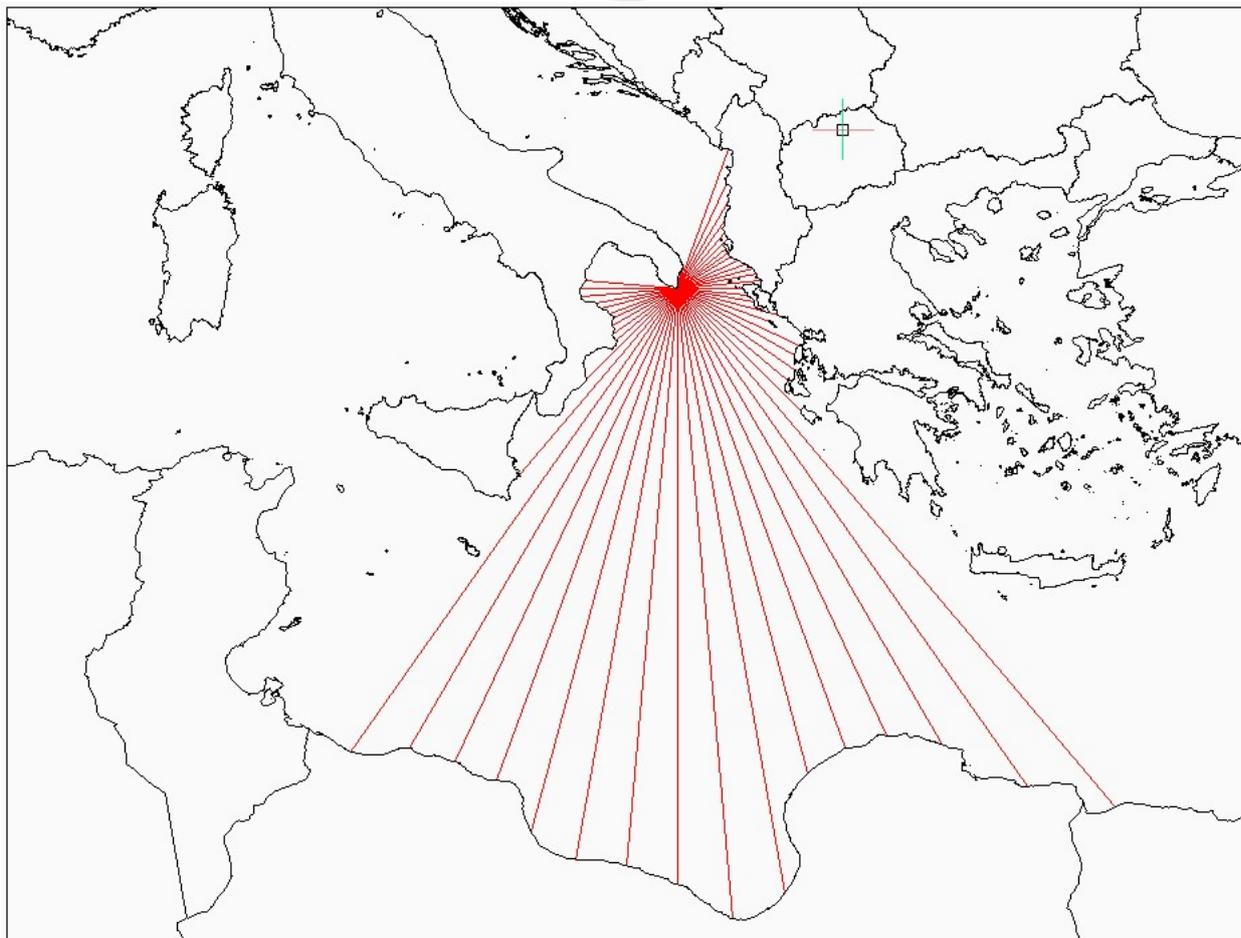


Figura 3.2 Elaborazione grafica dei fetch geografici del paraggio in esame

La definizione del settore di traversia del paraggio di progetto che copre un settore compreso tra le direzioni 35°N e 250°N, si conferma la corretta scelta della boa di Crotone avendo questa la medesima esposizione come affermato precedentemente. Ai fini dell'analisi sono state determinate anche i fetch geografici della boa.

Dir (°)	Fetch (km)	Dir (°)	Fetch (km)	Dir (°)	Fetch (km)
0	151,8	120	468,5	240	4,8
5	146,1	125	1433	245	4
10	144,4	130	1211	250	3,4
15	148,1	135	1046,7	255	3
20	150	140	953,3	260	2,7
25	141	145	805,1	265	1,34
30	130,7	150	783,6	270	1,32
35	123	155	781,4	275	1,3
40	123,2	160	817,4	280	1,3
45	128,6	165	979	285	1,3
50	234,4	170	968,9	290	1,32
55	237,5	175	900,2	295	7,8
60	249,4	180	872,7	300	8,8
65	214,5	185	868,7	305	9,6
70	227,4	190	832,9	310	12,4
75	233,4	195	759,9	315	13,7

80	267,4	200	755,5	320	14,9
85	291,2	205	764,2	325	16,1
90	307,2	210	8,6	330	17,3
95	292,5	215	8	335	18,6
100	296	220	7,7	340	30,1
105	286,4	225	7,1	345	35,8
110	325	230	6,3	350	41
115	433,7	235	5,6	355	166,5

Tabella 3.2 Fetch geografici della boa di Crotona

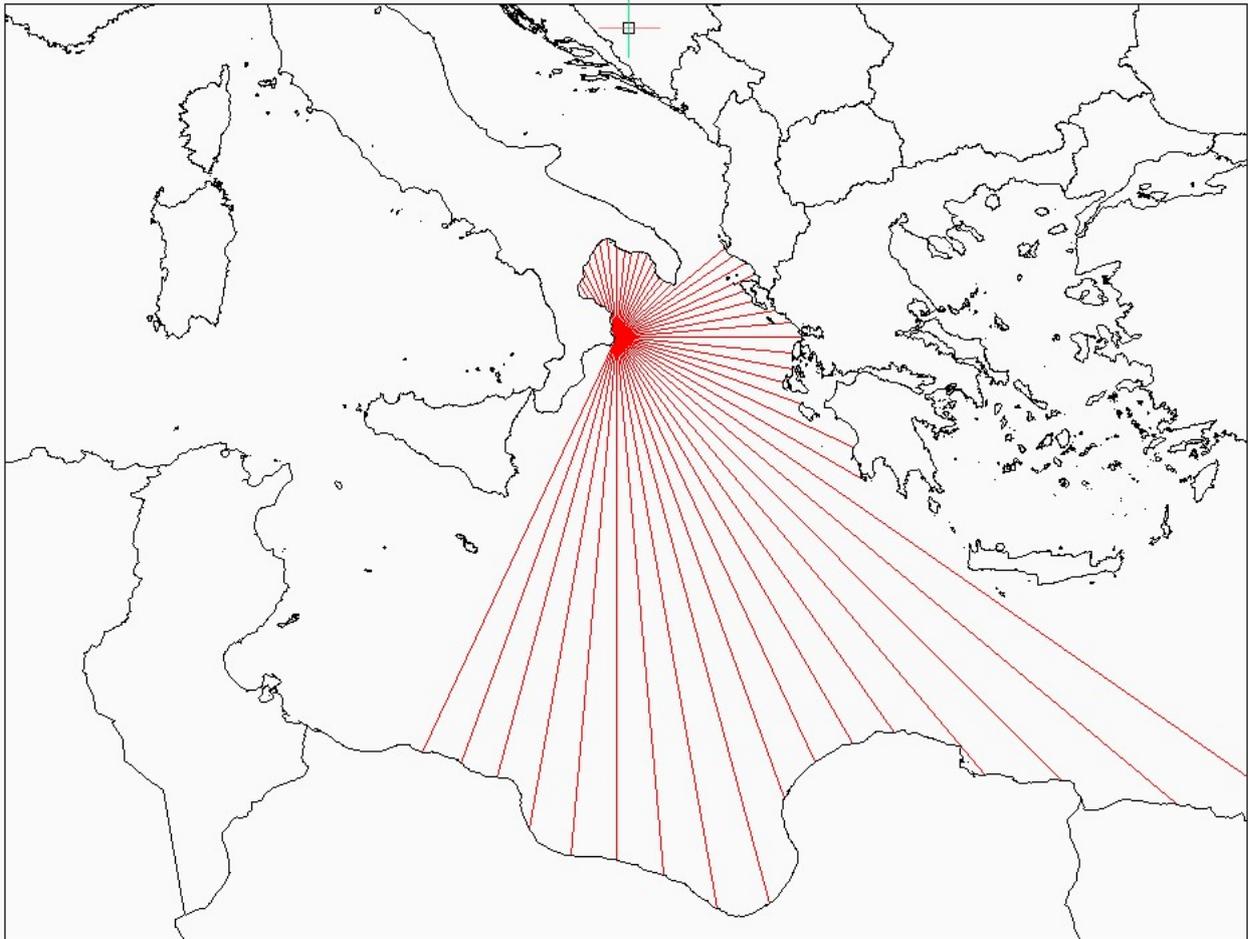


Figura 3.3 Elaborazione grafica dei fetch geografici della boa di Crotona

Dai fetch geografici sono stati successivamente ricavati i fetch efficaci che consentono di tener conto del fatto che il moto ondoso viene generato non solo nella direzione lungo la quale spirava il vento ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore di $\pm 90^\circ$ rispetto alla direzione media di azione del vento.

Per il calcolo dei fetch efficaci è stata applicata la seguente formula di Saville (1954):

$$F_j = (\sum_i F_i * \cos^n \theta_i) / \sum_i \cos^n \theta_i$$

Dove:

- F_j indica il generico fetch efficace con direzione j ;

- Θ_i è l'ampiezza del settore angolare formato dalle direzioni j ed i ; esso varia da -45° a $+45^\circ$ (ad intervalli di 5°);
- F_i è il fetch geografico lungo la direzione i ;
- n è un coefficiente proporzionale al peso attribuito al fetch F_i (si è posto $n=2$).

Si evidenzia inoltre che nel calcolo dei fetch efficaci è stato posto un limite massimo ai fetch geografici di 500 km, supponendo che oltre quella distanza difficilmente si estende una perturbazione.

Di seguito si riportano i fetch efficaci della boa e del paraggio di progetto.

Dir (°)	Fetch (km)	Dir (°)	Fetch (km)	Dir (°)	Fetch (km)
0	96,0	120	486,6	240	202,6
5	102,5	125	490,6	245	150,9
10	108,9	130	492,5	250	85,8
15	115,6	135	493,5	255	6,8
20	122,2	140	494,1	260	6,7
25	129,6	145	494,7	265	7,0
30	137,3	150	495,6	270	7,8
35	145,9	155	496,9	275	9,0
40	155,7	160	498,6	280	10,4
45	154,6	165	473,9	285	11,9
50	155,0	170	453,0	290	13,3
55	156,8	175	434,7	295	16,1
60	159,9	180	418,9	300	19,1
65	165,1	185	404,9	305	22,1
70	177,1	190	392,4	310	39,0
75	199,6	195	380,7	315	50,9
80	236,0	200	369,4	320	59,9
85	283,8	205	358,0	325	67,1
90	337,2	210	345,9	330	73,4
95	388,9	215	332,4	335	78,9
100	422,4	220	316,7	340	83,2
105	448,5	225	297,6	345	86,6
110	466,5	230	273,5	350	89,6
115	479,3	235	242,6	355	92,6

Tabella 3.3 Fetch efficaci della boa di Crotona

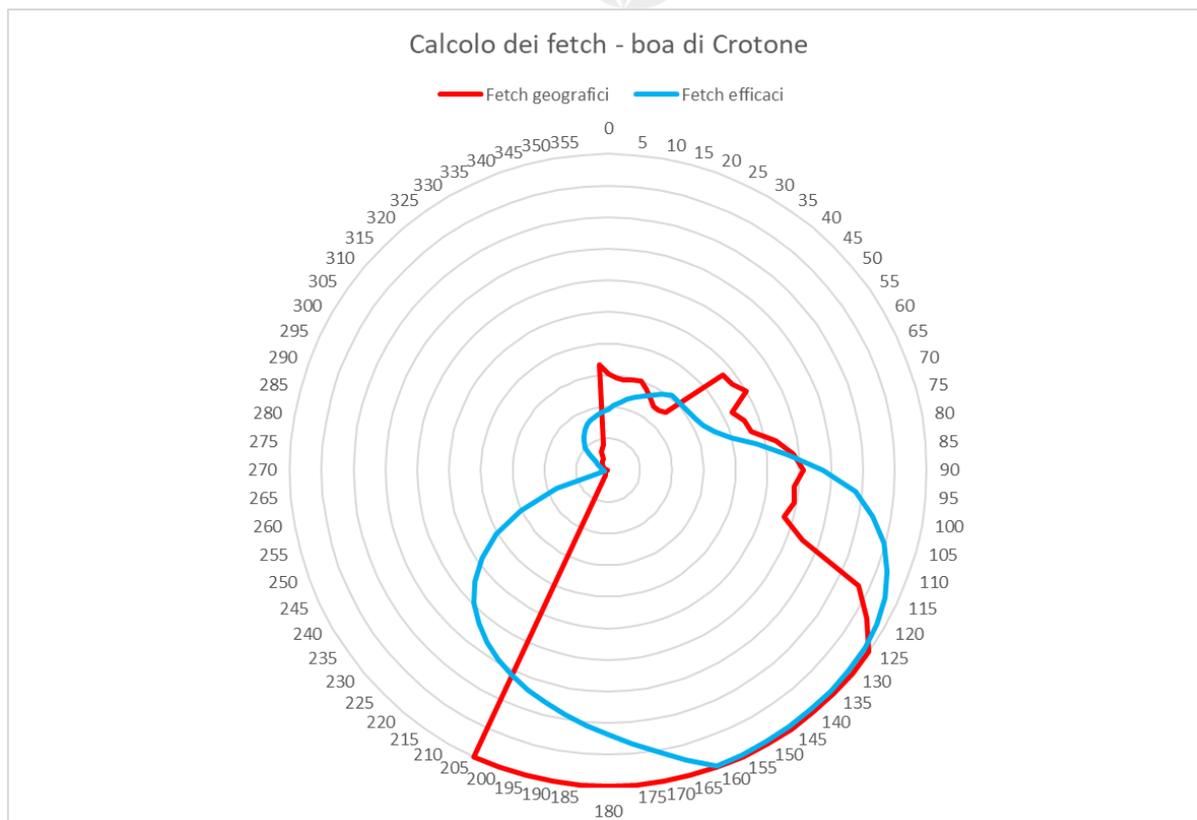


Figura 3.4 Grafico di confronto tra fetch geografici e fetch efficaci della boa di Crotona

Dir (°)	Fetch (km)	Dir (°)	Fetch (km)	Dir (°)	Fetch (km)
0	52,9	120	420,0	240	384,5
5	56,0	125	432,9	245	358,3
10	59,2	130	441,8	250	321,5
15	62,7	135	448,1	255	271,7
20	66,6	140	453,0	260	208,7
25	71,1	145	457,2	265	136,1
30	76,4	150	461,3	270	76,3
35	82,6	155	465,3	275	47,2
40	90,1	160	469,9	280	31,0
45	99,3	165	474,5	285	19,0
50	110,7	170	479,9	290	11,3
55	124,9	175	482,3	295	6,6
60	139,6	180	480,1	300	3,9
65	156,7	185	476,9	305	2,6
70	143,4	190	468,4	310	2,1
75	139,1	195	460,9	315	2,0
80	141,5	200	454,3	320	2,1
85	152,4	205	448,5	325	4,1
90	175,2	210	443,1	330	6,6
95	231,8	215	437,7	335	22,7
100	288,2	220	431,7	340	32,9
105	336,5	225	424,6	345	40,4
110	374,0	230	415,5	350	45,4
115	401,2	235	402,7	355	49,4

Tabella 3.4 Fetch efficaci del paraggio in esame a Santa Maria di Leuca

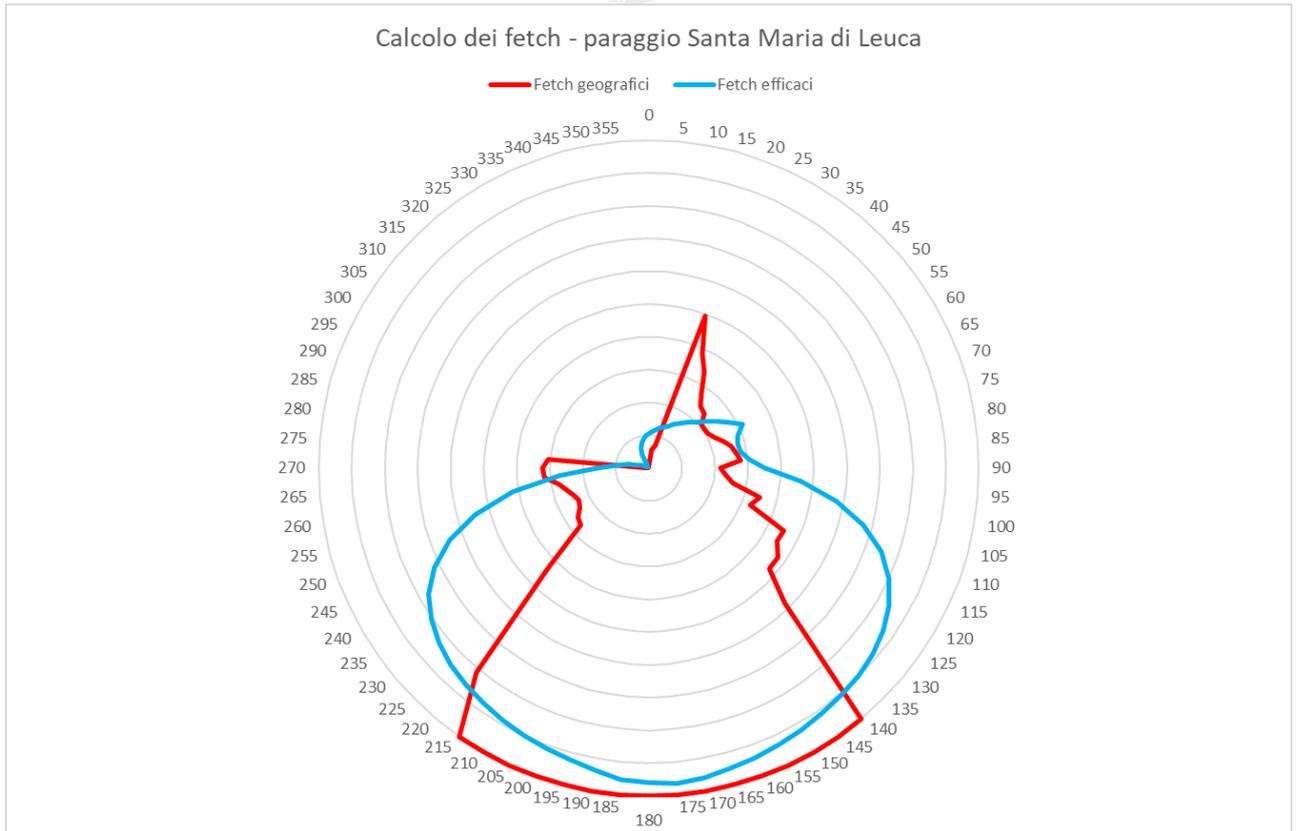


Figura 3.5 Grafico di confronto tra fetch geografici e fetch efficaci della boa di Crotona

3.2 Trasposizione geografica

La trasposizione geografica consiste nel determinare dai dati d'onda registrati dalla boa la serie storica delle mareggiate del paraggio di progetto scelto supponendo che il vento che soffia sulla boa sia il medesimo che agisce sull'area del paraggio.

La trasposizione geografica consiste nell'applicazione delle seguenti formule.

$$\frac{H_{m0}^P}{H_{m0}^B} = \left(\frac{F^P}{F^B} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{T_m^P}{T_m^B} = \left(\frac{F^P}{F^B} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\Delta\theta = \arctan \left(\frac{\sum_1^n (F_i \sin\theta_i \cos^2 \theta_i)}{\sum_1^n (F_i \cos\theta_i \cos^2 \theta_i)} \right)$$

Per cui conoscendo i parametri della boa (indicati con l'apice "B") e le lunghezze dei fetch è possibile ricavare le altezze d'onda e i rispettivi periodi dell'area di progetto.

La terza equazione, nota come "spreading function", rappresenta la deviazione angolare tra l'onda e il vento che l'ha generata. Tale equazione viene utilizzata due volte: la prima per ottenere dai dati di direzione delle onde registrate dalla boa le direzioni dei venti soffianti; la seconda per ottenere le direzioni delle onde sul paraggio in esame supponendo che il regime dei venti sia la medesima individuata nell'area della boa.

A seguito di questi calcoli è stato possibile dunque ricavare una serie storica delle mareggiate a largo delle coste salentine e dalla quale è stata effettuata un'analisi delle frequenze di apparizione media e un'analisi degli eventi estremi.

3.3 Analisi di frequenza

Come è possibile osservare dalla tabella e dalla figura, le onde di maggior frequenza sono quelli provenienti da Sud (quadrante compreso tra 165° e 195°N) con una percentuale del 58% circa rispetto all'intera popolazione e presentano un'altezza compresa tra 0,5 e 1,5m.

	Altezza delle onde (m)									Tot
	0-0,25	0,25-0,5	0,5-1,5	1,5-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	>6,5	
N	9,95%	13,08%	16,88%	1,72%	0,17%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	41,80%
NNE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ENE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
E	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ESE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SSE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
S	11,65%	16,58%	24,12%	4,34%	1,05%	0,35%	0,11%	0,01%	0,00%	58,20%
SSO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
OSO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
O	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ONO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
NNO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Tot	21,60%	29,65%	41,00%	6,06%	1,22%	0,35%	0,11%	0,01%	0,00%	

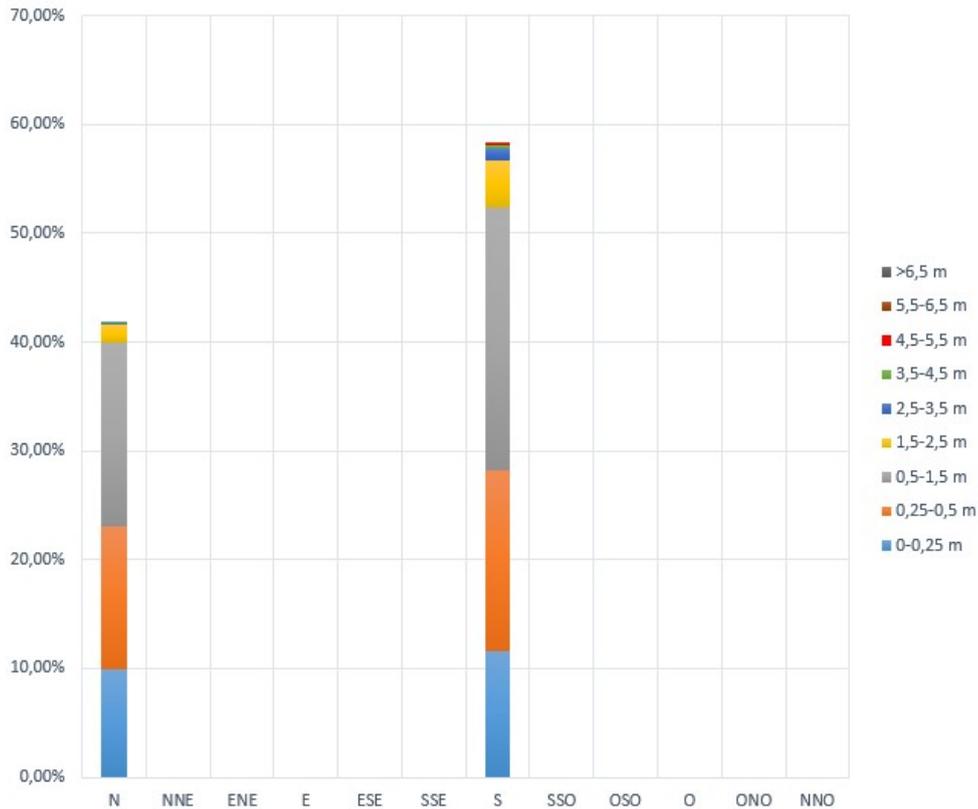


Figura 3.6 Analisi di frequenza di apparizione media delle onde sul paraggio in esame presso Santa Maria di Leuca

3.4 *Analisi degli eventi estremi (Gumbel)*

Ai fini del corretto dimensionamento delle strutture galleggianti del progetto in questa fase è stata effettuata un'analisi degli eventi estremi al fine di conoscere l'altezza d'onda massima cui essa sarà sottoposta nel suo tempo di vita.

Trattandosi di eventi stocastici, le altezze d'onda non possono essere calcolate con metodi deterministici e quindi il margine di incertezza dei risultati ottenuti è insito nel problema stesso.

I metodi probabilistici in uso consistono nella ricerca di una legge di distribuzione rappresentativa del campione di dati disponibile ed in una successiva estrapolazione di detta legge fino a tempi di ritorno congrui con l'importanza e le esigenze dello studio.

Nel nostro caso il periodo di registrazione dei dati di moto ondoso (boa di Crotona, 1989 - 2014, 25 anni) risulta sufficientemente lungo e affidabile per la determinazione degli eventi estremi che caratterizzano il paraggio in questione.

Ricorrendo a metodi propri dell'analisi probabilistica, la stima dell'altezza d'onda massima probabile è stata condotta secondo il seguente approccio:

- ricostruzione della serie tronca (dalla serie originale sono state estrapolate le onde con una soglia di altezza $\geq 3\text{m}$);

- scelta della legge di distribuzione della probabilità;
- definizione dell'altezza d'onda in funzione del tempo di ritorno.

In questa fase di progetto è stato deciso di applicare la legge di distribuzione di Gumbel

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon)}}$$

Dove:

$$a=1.283/\sigma(x),$$

$$\varepsilon=\mu(x)-0.45\sigma(x)$$

$\mu(x)$ e $\sigma(x)$ sono la media e lo scarto attesi della distribuzione.

Considerando che, per definizione, il "tempo di ritorno" è il periodo in cui una data altezza d'onda possa essere eguagliata o superata una sola volta secondo la seguente formula:

$$Tr=1/(1-P(x)) \quad \mathbf{P(x): \text{probabilità di non superamento}}$$

Dalle equazioni precedenti è possibile ottenere la relazione fra tempo di ritorno T e l'altezza d'onda corrispondente H(T).

$$H_{(T)} = \varepsilon - \frac{1}{\alpha} \left(-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right)$$

Si riportano in seguito i valori di altezza d'onda corrispondenti ai tempi di ritorno di 10, 20 e 30 anni.

Tempo di ritorno Tr (anni)	Altezza d'onda H (metri)
10	4.58
20	4.94
30	5.14

4. CORRENTI MARINE

Il Mar Mediterraneo è un bacino quasi completamente chiuso in cui l'unico scambio di d'acqua avviene solo attraverso lo stretto di Gibilterra. Nonostante questa chiusura, il Mar Mediterraneo risulta caratterizzato da una complessa circolazione marina fortemente influenzata dai venti a largo che generano correnti solitamente deboli e con direzione variabile.

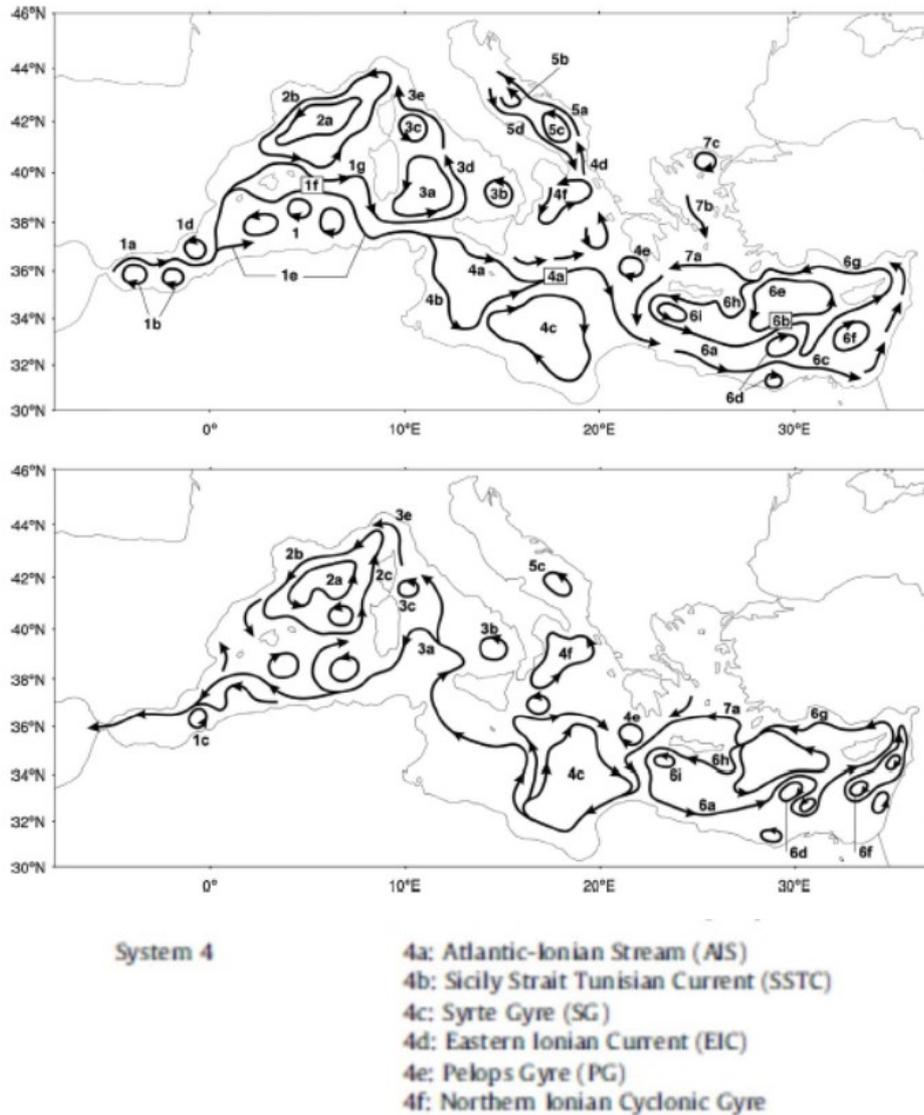


Figura 4.1 Schema della circolazione superficiale (pannello superiore) ed intermedia (pannello inferiore) del Mar Mediterraneo. [Riprodotta da Progress in Oceanography, Pinardi et al., 2015]

A livello generale, a causa della forza del vento, nel bacino si formano fenomeni circolatori di tipo "ciclonico" (in senso anti-orario) nelle regioni settentrionali e di tipo "anti-ciclonico" nelle regioni meridionali.

Questa particolare circolazione generale è legata anche al fatto che il Mediterraneo è sostanzialmente un mare in evaporazione: evapora più acqua di quella che riceve dai fiumi locali e dalle piogge.

Man mano che l'acqua evapora, nel mare rimane un'eccedenza di sale. Questo sale si aggiunge al peso d'ogni metro cubo d'acqua marina che vi rimane. Le acque, divenute più dense, quindi più pesanti, scendono ad occupare le zone più profonde del mare.

Come è visibile in figura il mar mediterraneo presenta alte percentuali di salinità soprattutto nella parte orientale del bacino. L'area marina di progetto è interessata da un valore medio di salinità attorno al 38‰.

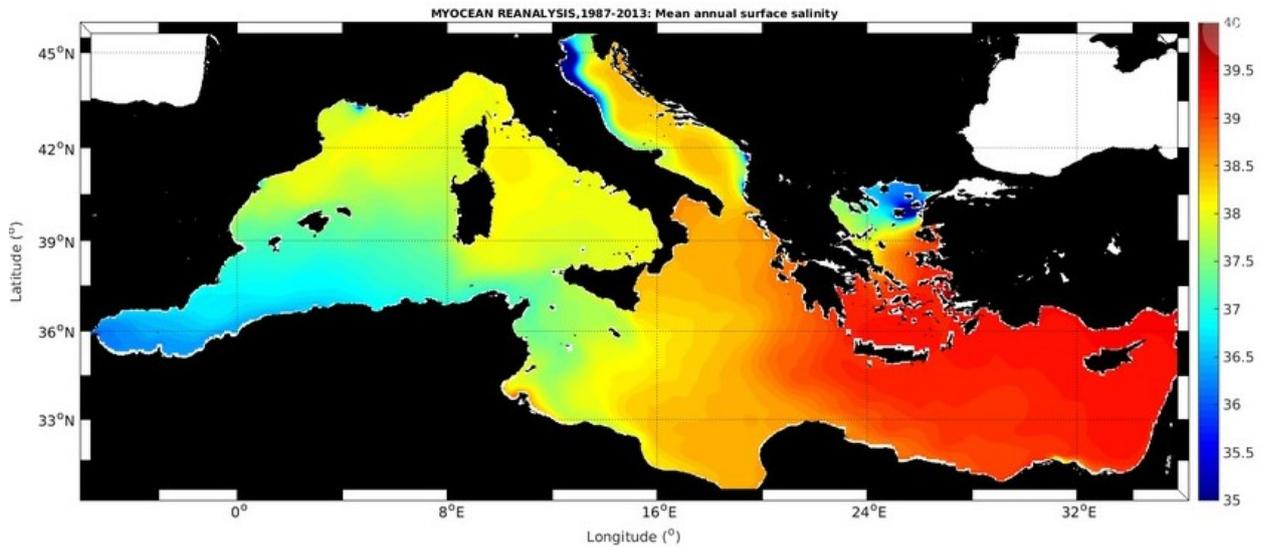


Figura 4.2 valore medio annuale di salinità nel Mediterraneo (1987-2013, Myocean Reanalysis)

In tutta l'area mediterranea dove l'evaporazione è maggiore dell'acqua che vi s'immette vi è dunque un deficit idrico. Per questo il Mediterraneo nella zona più interna - il bacino orientale più soleggiato - diventa più salato, perciò più denso. Questa maggiore densità crea una pressione sui fondali e produce sul fondo marino una corrente che attraversa l'intero bacino e oltrepassa lo Stretto di Gibilterra. Il deficit idrico viene compensato dall'Atlantico che, a sua volta, attraverso lo stretto di Gibilterra immette continuamente acqua.

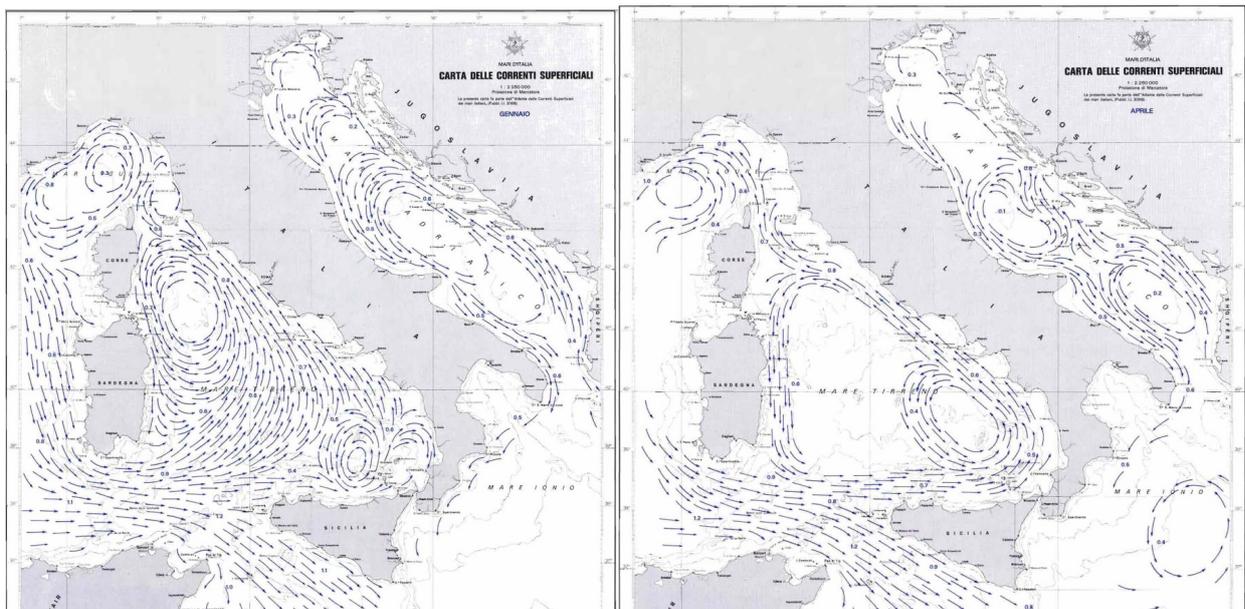


Figura 4.3 Mappa delle correnti marine nei mesi di gennaio, aprile, luglio, ottobre (fonte: Istituto Idrografico della Marina, 1982)

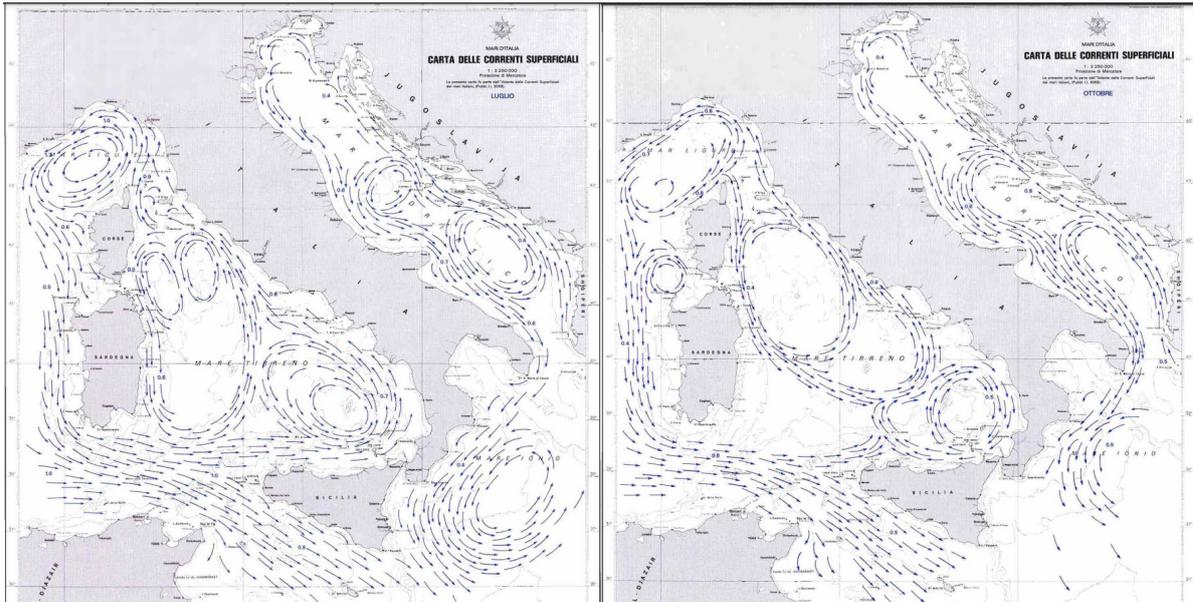


Figura 4.4 Mappa delle correnti marine nei mesi di gennaio, aprile, luglio, ottobre (fonte: Istituto Idrografico della Marina, 1982)

Le strutture offshore saranno, pertanto, collocate su un'area marina in cui le principali correnti sono quelle provenienti dal Mar Adriatico; inoltre, dalla consultazione dello strumento di visualizzazione dei dati oceanici del portale Copernicus Marine Service (disponibile sul sito <https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-visualisation-tools>), è stato possibile constatare che tali correnti marine presentano velocità medie molto basse (circa 0,1 m/s) e che tendono a ridursi in profondità.

Nella fase successiva di progetto saranno effettuati ulteriori indagini sito specifiche per comprendere l'andamento delle correnti lungo il profilo verticale dell'area marina indagata e comprendere l'entità delle forze in gioco per un corretto dimensionamento delle strutture galleggianti e dei sistemi di ormeggio.