



AUTORITÀ PORTUALE DI MESSINA
PIANO REGOLATORE PORTUALE DI MESSINA

STUDIO METEOMARINO

MAGGIO 2007

progetto

IDROTEC s.r.l. (capogruppo)

ing. Franco Grimaldi, ing. Ferruccio Fontana, ing. Alberto Rigoni, ing. Francesca Magri

VIOLA INGEGNERI & ARCHITETTI ASSOCIATI

ing. Paolo Viola, arch. Marco Olivieri, arch. Daniela Gerosa, arch. Elena Camporini, arch. Giovanna Bertelà

BONIFICA s.p.a.

ing. Franco Bocchetto, ing. Antonio Nastasi



ufficio tecnico A.P.

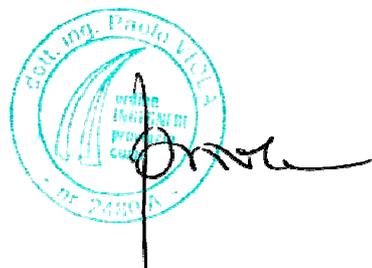
ing. Francesco Di Sarcina

segretario generale

avv. Mario Chiofalo

presidente

ing. Vincenzo Garofalo



allegato **D.1**

INDICE

1.	CLIMATOLOGIA.....	6
1.1.	<i>Regime dei venti.....</i>	7
1.2.	<i>Temperatura.....</i>	8
1.3.	<i>Pressione.....</i>	9
1.4.	<i>Visibilità.....</i>	9
2.	LIVELLO DEL MARE, MAREE E CORRENTI.....	19
2.1.	<i>Rilievi correntometrici.....</i>	20
3.	MOTO ONDOSO AL LARGO.....	27
3.1.	<i>Premesse.....</i>	27
3.2.	<i>Analisi documentazione storica.....</i>	27
3.3.	<i>Dati strumentali.....</i>	30
3.4.	<i>Dati UKMO.....</i>	31
3.5.	<i>Clima rappresentativo al largo per Messina e Tremestieri.....</i>	34
3.6.	<i>Eventi estremi al largo.....</i>	34
4.	MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA.....	53
4.1.	<i>Premesse.....</i>	53
4.2.	<i>Moto ondoso dal settore principale.....</i>	54
4.2.1.	Messina.....	54
4.2.2.	Tremestieri.....	56
4.3.	<i>Moto ondoso dai settori secondari.....</i>	58
4.3.1.	Messina.....	59
4.3.2.	Tremestieri.....	60
4.4.	<i>Riepilogo.....</i>	61
5.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	77

FIGURE

Fig. 1.1	RMN, stazione di Messina, rosa dei venti (periodo di osservazione 01/01/1999 – 31/12/2004).....	10
Fig. 1.2	RMN, stazione di Messina, velocità massima giornaliera del vento (periodo di osservazione 01/01/2000 – 31/12/2004).....	11
Fig. 1.3	CNMCA, stazione di Messina, rosa dei venti: percentuale di occorrenza delle velocità medie aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati (1 nodo = 0,51 m/s) (periodo di osservazione 7/1978 – 12/1997).....	12
Fig. 1.4	RMN, stazione di Messina, temperatura dell'aria (periodo di osservazione 01/01/2004 – 31/12/2004).....	13
Fig. 1.5	RMN, stazione di Messina, temperatura superficiale del mare (periodo di osservazione 01/01/2004 – 31/12/2004).....	14
Fig. 1.6	RMN, stazione di Messina, pressione atmosferica media (periodo di osservazione 01/01/2004 – 31/12/2004).....	15
Fig. 2.1	RMN, stazione di Messina, livello medio del mare (periodo di osservazione 01/01/2004 – 31/12/2004).....	22
Fig. 2.2	RMN, stazione di Messina, livello minimo giornaliero del mare (periodo di osservazione 01/01/2000 – 31/12/2004).....	23
Fig. 2.3	RMN, stazione di Messina, livello massimo giornaliero del mare (periodo di osservazione 01/01/2000 – 31/12/2004).....	24
Fig. 2.4	Misure della corrente in corrispondenza della batimetrica -10 m (profondità di misurazione: -2.5 m, -5.5 m e -8.5 m) in località Tremestieri (ME) - (Technital, 1999)	25
Fig. 2.5	Misure della corrente in corrispondenza della batimetrica -50m (profondità di misurazione: -16 m, -24 m e -45 m) in località Tremestieri (ME) - (Technital, 1999).....	26
Fig. 3.1	Tratti di costa individuati in base alla posizione geografica degli ondometri della RON e di criteri di omogeneità e orientamento del litorale (tratto da: "Atlante del Mare", APAT, 2005)	37
Fig. 3.2	Settore di traversia principale per l'ondametro RON di Catania	38
Fig. 3.3	RON (1989-2002) punto [37°26'24"N 15°8'48"E]: tutti i settori, percentuale di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati (tratto da: "Atlante delle onde nei mari Italiani", APAT, 2004).....	39
Fig. 3.4	Settore di traversia principale per l'ondametro RFI di Scaletta Zanclea.....	40
Fig. 3.5	RFI (2/1989-4/1990) punto [38.3°N - 15.29°E]: tutti i settori, percentuale di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati.....	41

Fig. 3.6	Settore di traversia principale per il punto EWM.....	42
Fig. 3.7	<i>Fetch</i> geografico del settore di traversia principale per il punto UKMO.....	43
Fig. 3.8	UKMO (1990-2001) punto [37.8N-15.5E]: tutti i settori, percentuale di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati.	44
Fig. 3.9	Settore di traversia principale per un punto al largo di Messina	45
Fig. 3.10	Settore di traversia principale per un punto al largo di Tremestieri	46
Fig. 3.11	EWM (1990-2001) punto [37.8N-15.5E]: settori significativi per Messina e Tremestieri, percentuale di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati (fonte UKMO – elaborazione dati IDROTEC)	47
Fig. 3.12	Distribuzione di Weibull del clima ondoso	48
Fig. 4.1	Riepilogo metodi utilizzati per il calcolo del moto ondoso sottocosta nei diversi tratti costieri di interesse	63
Fig. 4.2	Esposizione della costa a nord del promontorio della Falcata agli eventi ondosi provenienti dal settore di traversia principale.....	64
Fig. 4.3	Litorale a nord della Falcata – Punti di calcolo dei coefficienti di diffrazione	65
Fig. 4.4	Tremestieri - Batimetria utilizzata nel modello di propagazione ondosa.....	66
Fig. 4.5	Tremestieri - Propagazione verso costa dell'onda con $H_s = 4,25m$ - $T_p = 10,4$ - direzione $160^\circ N$ - ALTEZZA DELL'ONDA.....	67
Fig. 4.6	Tremestieri - Propagazione verso costa dell'onda con $H_s = 4,25m$ - $T_p = 10,4$ - direzione $160^\circ N$ – DIREZIONE DELL'ONDA.....	68
Fig. 4.7	Tremestieri - Propagazione verso costa dell'onda con $H_s = 3,25m$ - $T_p = 9,1$ - direzione $160^\circ N$ - ALTEZZA DELL'ONDA.....	69
Fig. 4.8	Tremestieri - Propagazione verso costa dell'onda con $H_s = 3,25m$ - $T_p = 9,1$ - direzione $160^\circ N$ – DIREZIONE DELL'ONDA.....	70
Fig. 4.9	Tremestieri – Percentuali di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati in prossimità della batimetria -20 m	71
Fig. 4.10	Tremestieri – Distribuzione di Weibull del clima ondoso in prossimità della batimetria -20 m	72
Fig. 4.11	<i>Fetches</i> efficaci significativi del I° quadrante per Messina e Tremestieri	73
Fig. 4.12	<i>Riepilogo eventi ondosi a nord del promontorio della Falcata</i>	74
Fig. 4.12	Riepilogo eventi ondosi Tremestieri.....	75

TABELLE

Tab. 1.1	RMN, stazione di Messina, tabella statistica del regime dei venti (periodo di osservazione 01/08/1998 – 31/12/2005).....	16
Tab. 1.2	CNMCA, stazione di Messina, tabella statistica del regime dei venti (1 nodo = 0,51 m/s) (periodo di osservazione 7/1978 – 12/1997)	17
Tab. 1.3	RMN, stazione di Messina, giorni e ore di superamento della velocità del vento di 8, 10, 13, 15 e 18 m/s per settori di 60°N e per il settore omnidirezionale (Periodo di osservazione: 01/08/1998-31/12/2005. Elaborazione IDROTEC s.r.l.)	18
Tab. 3.1	EWM punto [37.8N-15.5E] - Numero di occorrenze – periodo di osservazione dal 1990 al 2001 (fonte: UKMO)	49
Tab. 3.2	EWM punto [37.8N-15.5E], percentuali di occorrenza per classi di altezza d'onda e direzione, periodo di osservazione dal 1990 al 2001 (fonte: UKMO).....	50
Tab. 3.3	Ondametro RON di Catania - Numero di occorrenze - periodo di osservazione: dal 7/1989 al 3/2002 (fonte: “Atlante delle onde nei mari Italiani”, APAT, 2004).....	51
Tab. 3.4	EWM punto [37.8N-15.5E], percentuali di occorrenza per classi di altezza d'onda e sole direzioni rappresentative per Messina e Tremestieri, periodo di osservazione dal 1990 al 2001 (fonte: UKMO)	52
Tab. 4.1	Tremestieri – Percentuali di occorrenza per classi di altezza d'onda e direzione in prossimità della batimetrica –20 m	76

1. CLIMATOLOGIA

Per la caratterizzazione climatologica della zona di Messina e Tremestieri (regime dei venti, temperatura e pressione) si è fatto riferimento alla stazione della Rete Mareografica Nazionale (RMN) di Messina e (solo per la parte relativa al regime dei venti) al Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica (CNMCA).

La Rete Mareografica Nazionale è composta di 26 stazioni di misura uniformemente distribuite sul territorio nazionale ed ubicate prevalentemente all'interno delle strutture portuali.

Le stazioni sono dotate anche di un sensore anemometrico (velocità e direzione del vento a 10 metri dal suolo), di un sensore barometrico, di un sensore di temperatura dell'aria e di un sensore di temperatura dell'acqua.

Le informazioni essenziali sulla stazione di Messina (tratte dal sito internet www.idromare.com) sono riportate nel seguito:

“La stazione fu messa in attività nel 1897. Dopo il terremoto del 1909 la stazione fu ripristinata e funzionò fino al 1922. Nel Luglio del 1957 è stato posto in opera un nuovo mareografo il cui manufatto di protezione poggiava su una gettata di massi e materiale di riporto. Il sottostante terreno era costituito da puddinga.

Nel maggio del 1960 la stazione di Messina venne trasferita dal lato S del Pontile Libia alla Banchina Navi Traghetto, nell'angolo formato da questa e la radice SW della Banchina Norimberga. Fu fatta una nuova livellazione di precisione ed i rilevamenti iniziarono il 28 maggio 1960. Il Mareografo è situato alla base del molo Norimberga (lato ponente) alle spalle della stazione Marittima FS, nell'area esterna al manufatto.

Dal Marzo 1986 al 1998 la stazione viene dotata di un nuovo mareografo. La stazione è situata presso il molo Norimberga. Il palo presso la Base Comando Militare Marittimo Autonomo della Sicilia”.

Il Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica ha compiti di raccolta, elaborazione e rilancio dei dati meteorologici e di produzione e distribuzione di previsioni del tempo a carattere nazionale.

Queste ultime sono essenzialmente basate su modelli di previsione numerica della evoluzione dell'atmosfera messi a punto dal CNMCA stesso. Il CNMCA registra con continuità i dati climatologici a partire dal 1975.

Esso fornisce, con cadenza temporale trioraria, i seguenti dati climatologici: visibilità orizzontale, nuvolosità, direzione di provenienza e velocità media del vento al suolo, temperatura dell'aria, pressione barometrica, altezza di precipitazione.

La direzione media di provenienza del vento al suolo è riferita al periodo di 10 minuti precedente l'ora di osservazione ed è espressa in decine di gradi sessagesimali, calcolati a partire dal Nord geografico in senso orario.

Il valore medio della velocità del vento al suolo è espresso in nodi ed è calcolato nello stesso periodo di 10 minuti cui si riferisce la direzione media di provenienza.

La stazione di cui si sono elaborati i dati registrati con continuità da gennaio 1978 al dicembre 1997, è quella di Messina.

1.1. Regime dei venti

Nello Stretto di Messina il clima anemologico è fondamentalmente legato alla configurazione orografica della Sicilia nord-orientale e dell'Aspromonte calabro che condizionano il libero percorso delle correnti che risultano così disposte lungo l'asse dello Stretto.

I dati di vento disponibili della stazione della RMN di Messina coprono una estensione temporale che va dal 1 agosto 1998 al 31 dicembre 2005. Nella Fig. 1.1 questi dati sono mostrati in forma di diagramma polare mentre la Tab. 1.1 riporta la medesima informazione in termini di tabella statistica.

L'ampiezza dei settori per i dati del RMN è pari a $\Delta\alpha_0 = 15^\circ$. Al generico settore di provenienza α_0 sono associate le direzioni θ di provenienza ($\alpha_0 - 7,5^\circ < \theta \leq \alpha_0 + 7,5^\circ$).

L'analisi del diagramma polare conferma quanto detto mostrando un sostanziale allineamento dei venti secondo un asse prevalente sud-nord.

Nel dettaglio è poi possibile osservare che i venti provengono con maggiore frequenza dal settore compreso tra i 300°N e i 45°N mentre quelli di maggiore intensità provengono con maggiore frequenza dal settore $180^\circ\text{N} - 225^\circ\text{N}$. L'evento di maggiore

intensità (velocità del vento maggiore di 20 m/s) è stato registrato con provenienza dal settore 195°N – 210°N.

Nella Tab. 1.3 i dati della RMN di Messina sono stati elaborati per fornire i giorni/anno e le ore/anno di superamento della velocità del vento di 8, 10, 13, 15 e 18 m/s per settori di 60°N e per il settore omnidirezionale

Infine nella Fig. 1.2 sono mostrati, sempre per la stessa finestra temporale, le velocità massime giornaliere del vento. Si può osservare il picco registrato nel marzo del 2002 di intensità poco superiore a 20 m/s (corrispondenti a circa 40 nodi), mentre mediamente i valori (massimi giornalieri) sono compresi tra i 5 e i 12 m/s.

Le analisi dei dati del CNMCA di Messina sono state finalizzate alla elaborazione del diagramma polare del regime dei venti (cfr. Fig. 1.3) e della tabelle statistiche degli eventi anemologici (cfr. Tab. 1.2).

Tramite il diagramma polare sono rappresentate le percentuali di occorrenza dei livelli di velocità del vento, espresse in nodi, per settore di provenienza.

L'ampiezza dei settori per i dati del CNMCA è pari a $\Delta\alpha_0 = 10^\circ$. Al generico settore di provenienza α_0 sono associate le direzioni θ di provenienza ($\alpha_0 - 5^\circ < \theta \leq \alpha_0 + 5^\circ$).

L'analisi del diagramma polare conferma sostanzialmente quanto emerso dalla lettura dei dati della RMN.

1.2. Temperatura

Nella Fig. 1.4, per il periodo compreso tra il 1 gennaio 2004 ed il 31 gennaio 2004 è mostrato l'andamento dei valori della temperatura dell'aria. Come possibile osservare, la temperatura scende raramente sotto i 10°C mentre nel periodo estivo raggiunge valori massimi prossimi ai 36°C.

Nella successiva Fig. 1.5, per lo stesso periodo di osservazione, è mostrata la temperatura superficiale dell'acqua del mare. L'andamento è simile a quello della figura precedente salvo un lieve sfalsamento causato dalla elevata capacità termica dell'acqua. In particolare i minimi si registrano con un paio di mesi di ritardo rispetto a quelli dell'aria (aprile anziché febbraio) mentre i massimi perdurano per tutto il mese di settembre.

1.3. Pressione

Il valore della pressione registrata in una determina località marittima, può essere di una certa importanza idraulica perché, oltre ad essere direttamente correlata alle situazioni di buono o cattivo tempo e quindi alle condizione di mare più o meno agitato, da essa dipende anche il livello marino, o meglio un fenomeno, detto *wave set-up*, che consta in un innalzamento sensibile della superficie del mare legato ai momenti di minore pressione atmosferica (in linea di massima, ad una variazione di pressione di un Hpa corrisponde una variazione di livello della superficie del mare di un centimetro).

Nella Fig. 1.6 è indicato il valore medio giornaliero della pressione atmosferica registrato dalla stazione di Messina per un periodo che va dal 1 gennaio 2004 al 31 gennaio 2004. Come possibile osservare durante questa finestra temporale la pressione atmosferica ha avuto un massimo attorno ai 1.035 Hpa ed un minimo attorno ai 990 Hpa. Mediamente la pressione atmosferica assume valori compresi tra i 1.010 Hpa e i 1.020 Hpa.

1.4. Visibilità

Fenomeno di particolare interesse, perché in grado di provocare ritardi ed annullamenti di corse delle linee di traghettamento tra la Sicilia ed il continente, è quello che comporta la formazione di una densa fascia di nebbia al centro dello Stretto a pochi metri dal livello del mare per un'altezza di un centinaio di metri e per una lunghezza di circa 10 chilometri. Si tratta del fenomeno detto "Serpente dello Stretto" o "Lupa" causato da una inversione termica prodotta da un flusso d'aria calda e molto umida che impedisce all'atmosfera, a contatto col mare, di sollevarsi per convezione.

In assenza di questo fenomeno, la visibilità nello Stretto è in genere molto buona perché garantita dall'azione continua del vento che evita ristagni di aria. In particolare le migliori condizioni si verificano in concomitanza degli afflussi di aria fredda di Tramontana e con i venti di Ponente e Maestrale. Più torbida (con visibilità orizzontale di circa 2/3 chilometri) è l'aria invece con i venti di Scirocco, a causa della foschia che ristagna in questi casi sia sul mare che lungo i litorali ed i rilievi che si affacciano sullo Stretto.

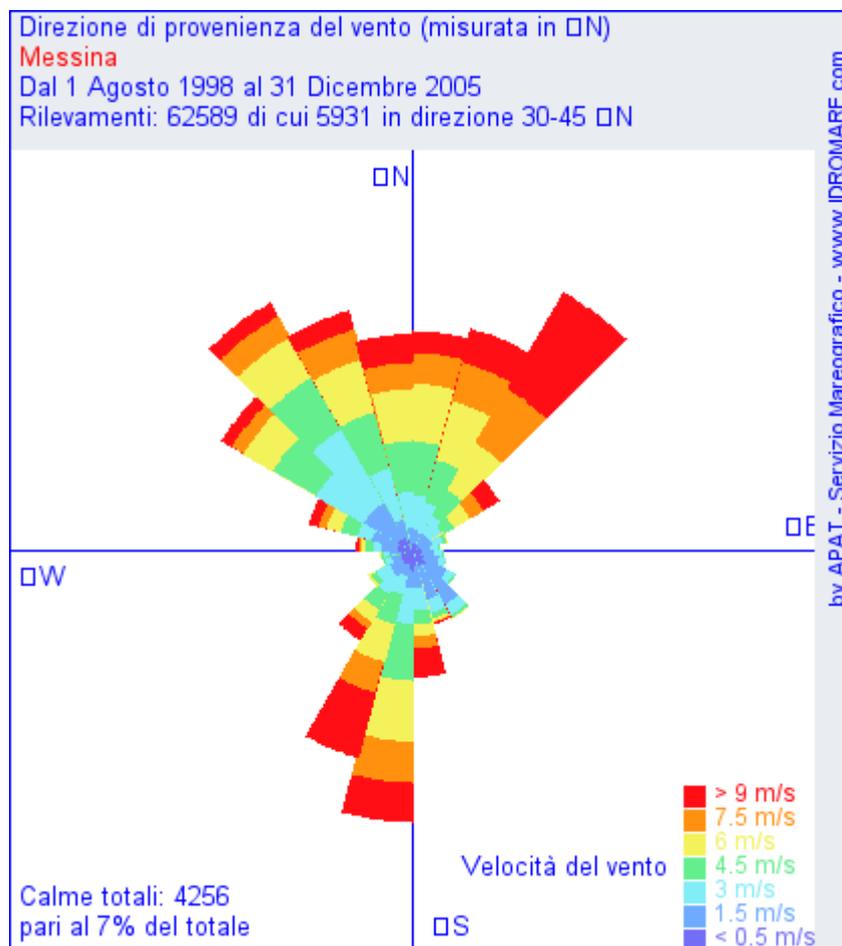


Fig. 1.1 RMN, stazione di Messina, rosa dei venti (periodo di osservazione 01/01/1999 – 31/12/2004)

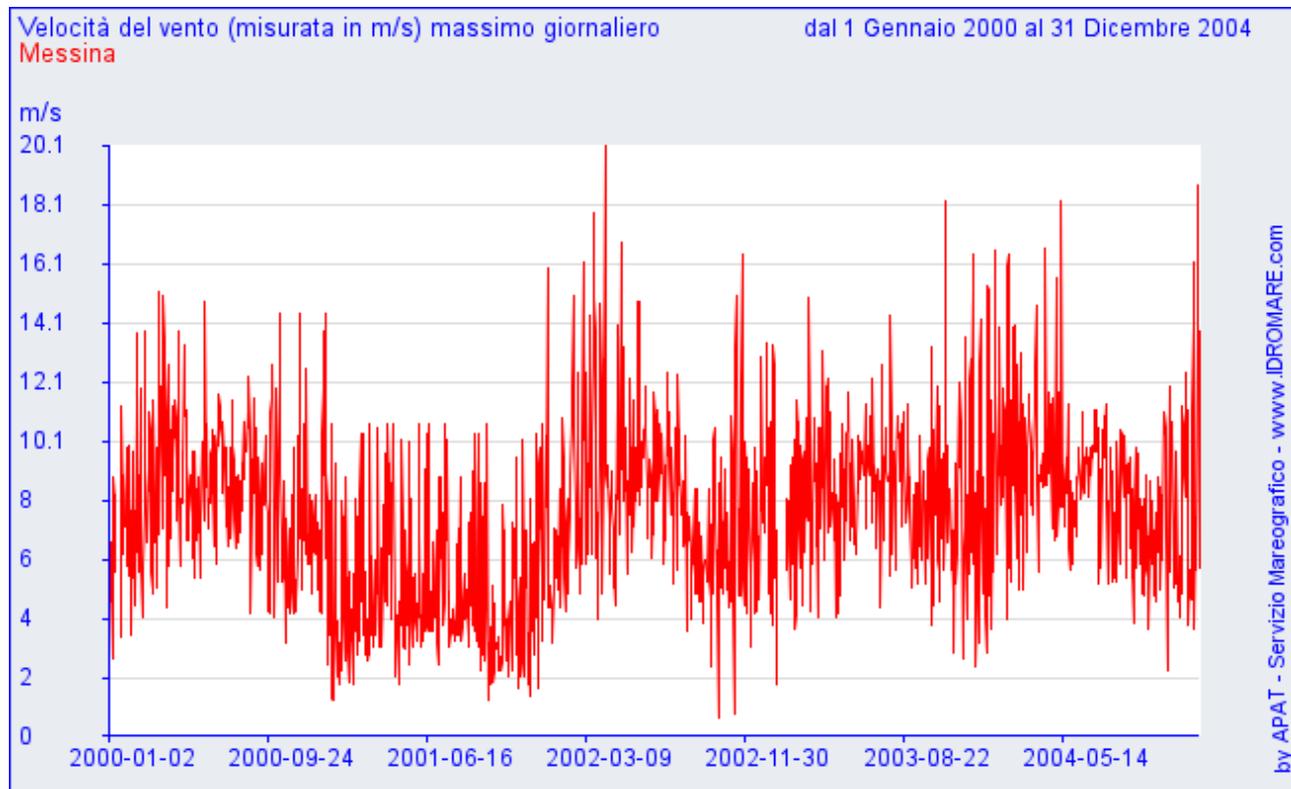


Fig. 1.2 RMN, stazione di Messina, velocità massima giornaliera del vento (periodo di osservazione 01/01/2000 – 31/12/2004)

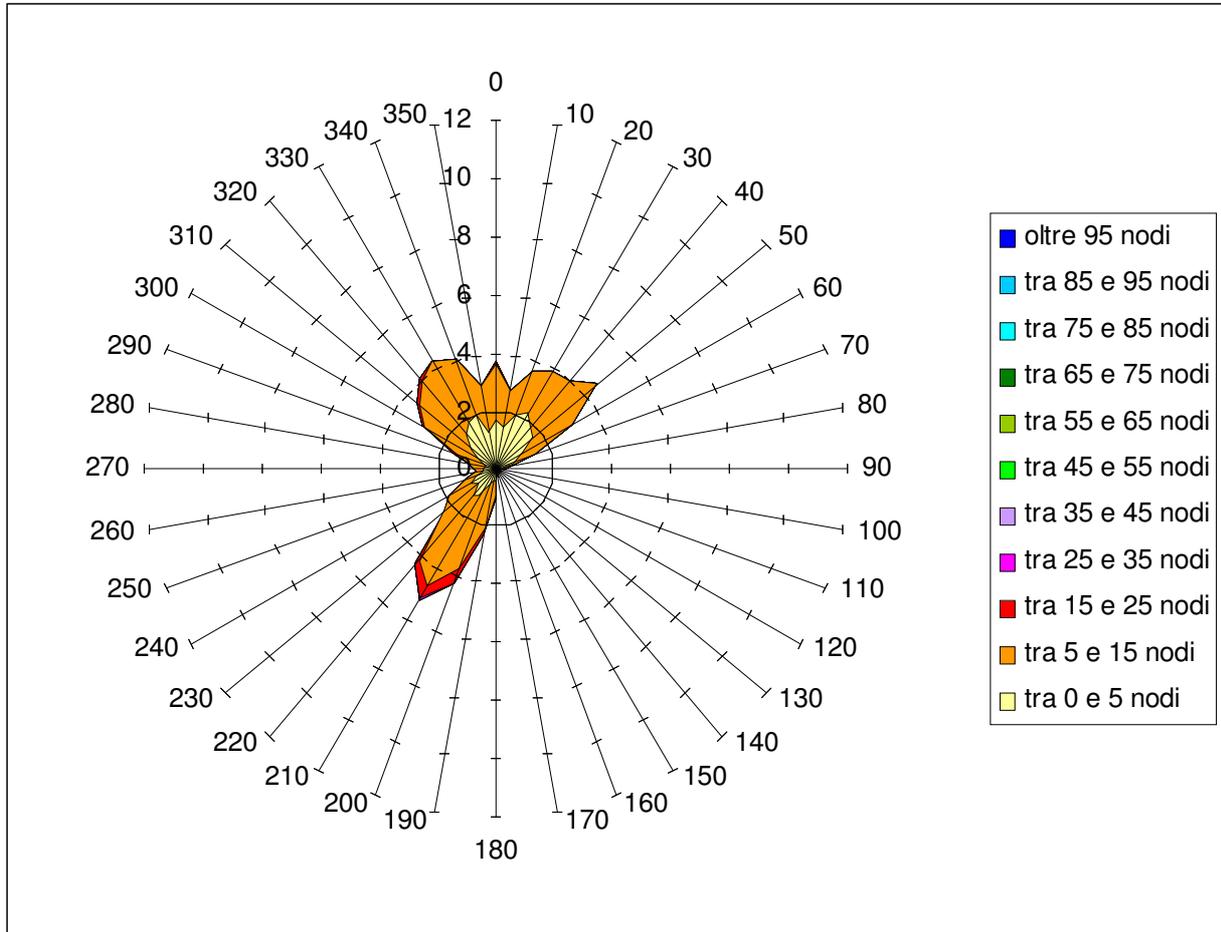


Fig. 1.3 CNMCA, stazione di Messina, rosa dei venti: percentuale di occorrenza delle velocità medie aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati (1 nodo = 0,51 m/s) (periodo di osservazione 7/1978 – 12/1997)

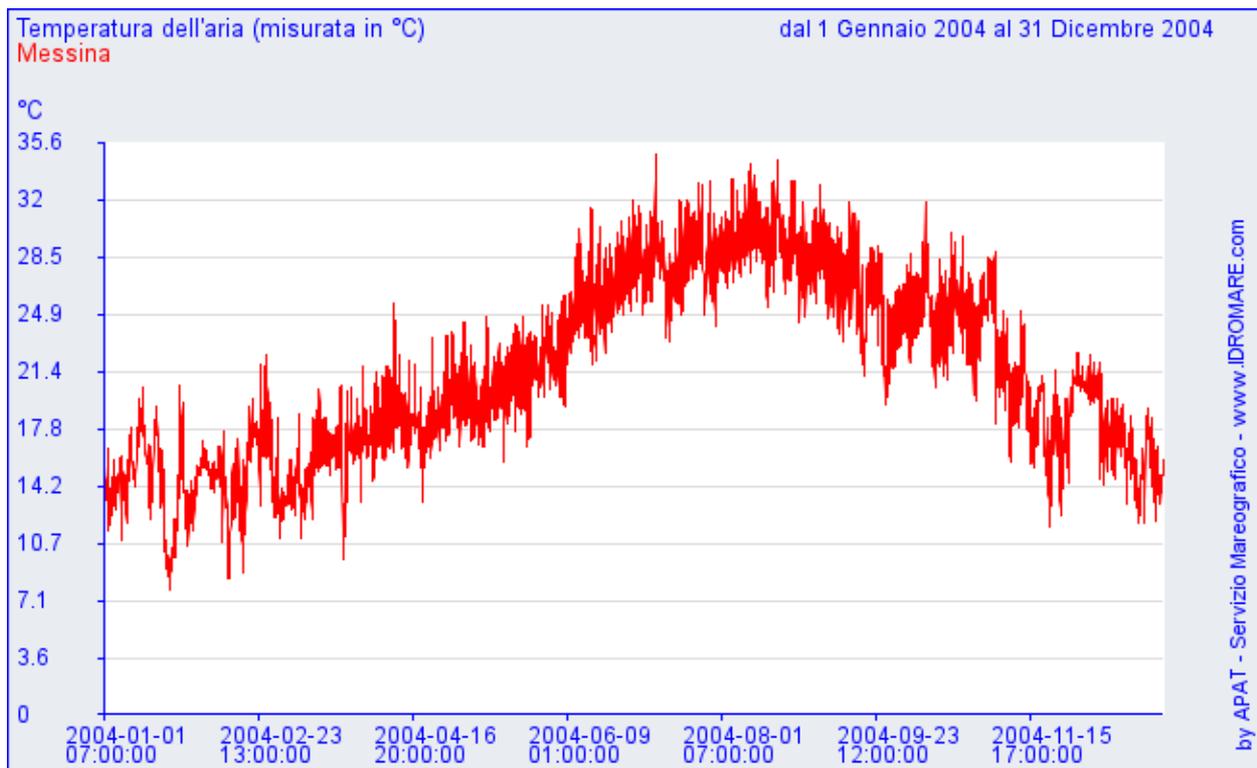


Fig. 1.4 RMN, stazione di Messina, temperatura dell'aria (periodo di osservazione 01/01/2004 – 31/12/2004)

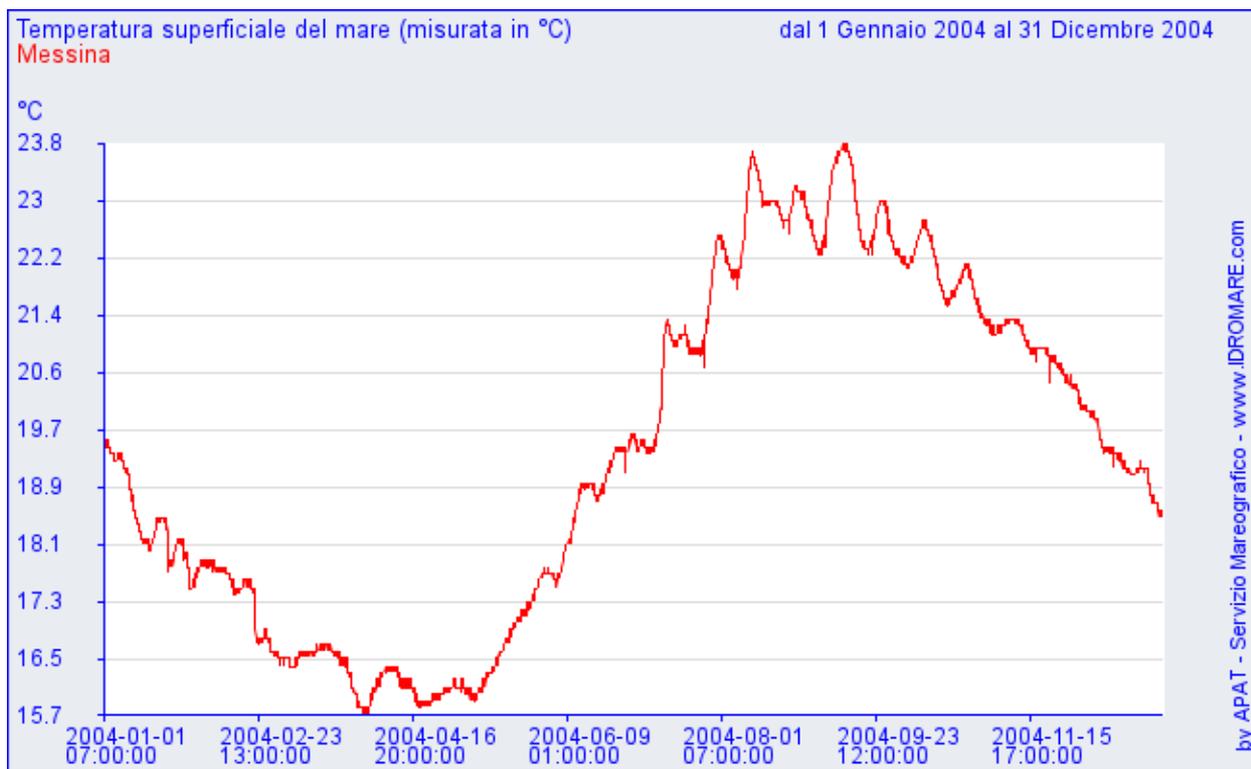


Fig. 1.5 RMN, stazione di Messina, temperatura superficiale del mare (periodo di osservazione 01/01/2004 – 31/12/2004)

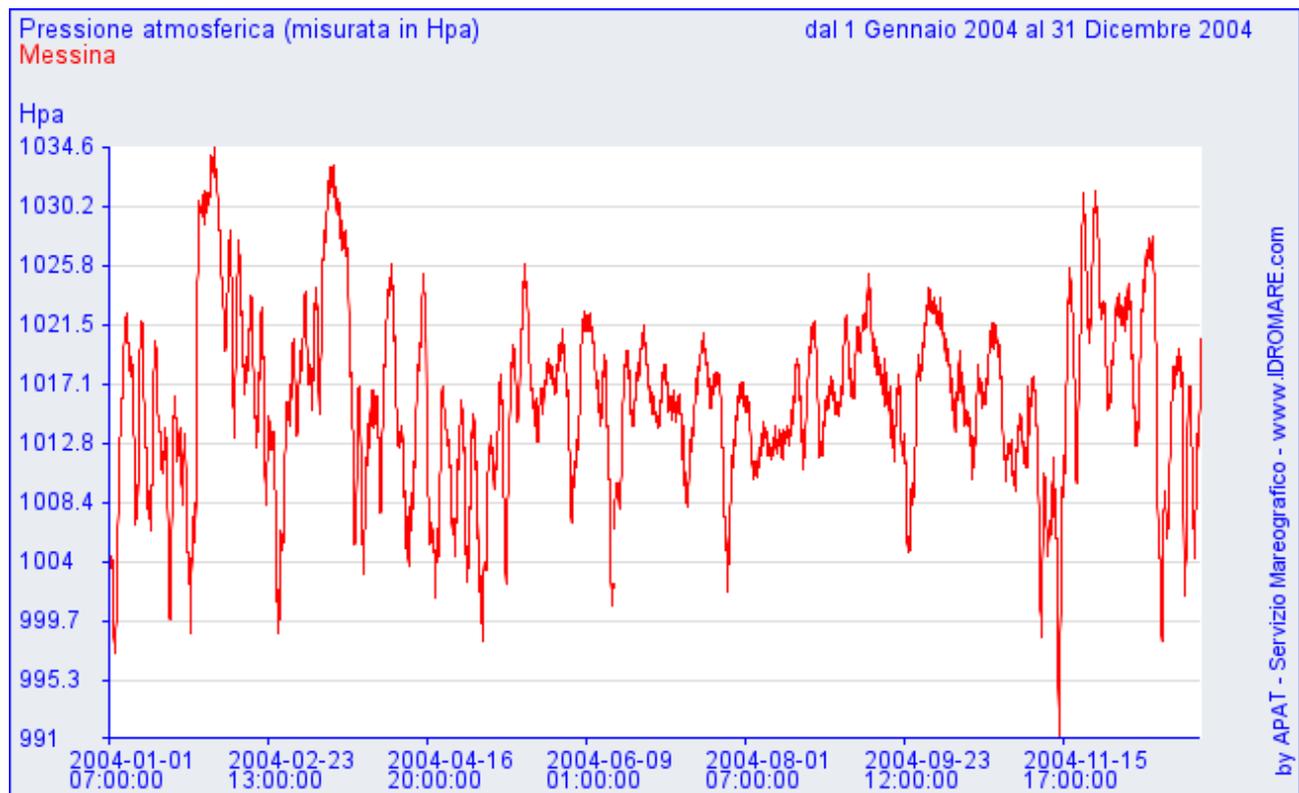


Fig. 1.6 RMN, stazione di Messina, pressione atmosferica media (periodo di osservazione 01/01/2004 – 31/12/2004)

Classi di velocità del vento (m/s)																						
dir°N	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	>20	TOT
0-15	203	428	624	716	925	746	498	294	165	93	42	25	11	7	5	2						4784
15-30	201	316	490	543	774	755	564	385	292	145	56	10	10	1								4542
30-45	209	263	293	354	599	758	817	890	988	503	176	32	5	4	1	1		1				5904
45-60	176	255	203	183	215	254	213	215	192	49	12	4			1							1972
60-75	223	232	113	67	40	12	14	3	1													705
75-90	199	181	71	37	22	8	3	3	1													525
90-105	273	193	80	28	19	6	5			1												605
105-120	347	217	62	30	10	2		2														670
120-135	531	248	79	38	12	4			1	1												914
135-150	840	458	100	58	26	7	6	2	5	2			1									1505
150-165	636	423	137	85	59	35	25	10	15	9	9	4	5	1	2							1455
165-180	421	385	298	182	180	156	176	151	161	120	85	55	37	16	7	6	3			1		2440
180-195	375	409	543	744	871	703	582	386	252	163	108	45	29	13	7	3						5233
195-210	258	244	285	384	549	460	435	388	395	249	195	129	82	50	24	11	11	3	2		1	4155
210-225	263	308	276	249	234	163	124	81	90	57	42	23	16	5	4	1	1	1				1938
225-240	258	259	180	84	59	25	8	7	4			1										885
240-255	230	150	68	25	15	7	5	2	1			1										504
255-270	267	148	57	46	25	18	7	6	6													580
270-285	380	186	99	104	88	52	45	23	21	11	4	6	3		2							1024
285-300	501	313	205	216	227	178	123	92	69	33	23	12	6	5	1	3		1			1	2009
300-315	529	862	730	634	570	388	178	133	84	45	31	4	5	2								4195
315-330	487	1212	1098	748	722	534	343	199	109	64	39	4	2									5561
330-345	296	645	743	737	811	656	445	265	117	75	43	20	24	7	3	1						4888
345-360	231	405	556	664	769	595	339	254	145	96	80	58	32	23	15	6	6					4274
TOT	8334	8740	7390	6956	7821	6522	4955	3791	3124	1716	945	433	268	132	74	34	21	6	3	1	1	61267

Classi di velocità del vento (m/s)																						
dir°N	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	>20	TOT
0-15	0,331	0,699	1,018	1,169	1,510	1,218	0,813	0,480	0,269	0,152	0,069	0,041	0,018	0,011	0,008	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,81
15-30	0,328	0,516	0,800	0,886	1,263	1,232	0,921	0,628	0,477	0,237	0,091	0,016	0,016	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,41
30-45	0,341	0,429	0,478	0,578	0,978	1,237	1,334	1,453	1,629	0,821	0,287	0,052	0,008	0,007	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	9,64
45-60	0,287	0,416	0,331	0,299	0,351	0,415	0,348	0,351	0,313	0,080	0,020	0,007	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,22
60-75	0,364	0,379	0,184	0,109	0,065	0,020	0,023	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,15
75-90	0,325	0,295	0,116	0,060	0,036	0,013	0,005	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,86
90-105	0,446	0,315	0,131	0,046	0,031	0,010	0,008	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,99
105-120	0,566	0,354	0,101	0,049	0,016	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,09
120-135	0,867	0,405	0,129	0,062	0,020	0,007	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,49
135-150	1,371	0,748	0,163	0,095	0,042	0,011	0,010	0,003	0,008	0,003	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,46
150-165	1,038	0,690	0,224	0,139	0,096	0,057	0,041	0,016	0,024	0,015	0,015	0,007	0,008	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,37
165-180	0,687	0,628	0,486	0,297	0,294	0,255	0,287	0,246	0,263	0,196	0,139	0,090	0,060	0,026	0,011	0,010	0,005	0,000	0,002	0,000	0,000	3,98
180-195	0,612	0,668	0,886	1,214	1,422	1,147	0,950	0,630	0,411	0,266	0,176	0,073	0,047	0,021	0,011	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,54
195-210	0,421	0,398	0,465	0,627	0,896	0,751	0,710	0,633	0,645	0,406	0,318	0,211	0,134	0,082	0,039	0,018	0,018	0,005	0,003	0,000	0,002	6,78
210-225	0,429	0,503	0,450	0,406	0,382	0,266	0,202	0,132	0,147	0,093	0,069	0,038	0,026	0,008	0,007	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	3,16
225-240	0,421	0,423	0,294	0,137	0,096	0,041	0,013	0,011	0,007	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,44
240-255	0,375	0,245	0,111	0,041	0,024	0,011	0,008	0,003	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,82
255-270	0,436	0,242	0,093	0,075	0,041	0,029	0,011	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,95
270-285	0,620	0,304	0,162	0,170	0,144	0,085	0,073	0,038	0,034	0,018	0,007	0,010	0,005	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,67
285-300	0,818	0,511	0,335	0,353	0,371	0,291	0,201	0,150	0,113	0,054	0,038	0,020	0,010	0,008	0,002	0,005	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	3,28
300-315	0,863	1,407	1,192	1,035	0,930	0,633	0,291	0,217	0,137	0,073	0,051	0,007	0,008	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,85
315-330	0,795	1,978	1,792	1,221	1,178	0,872	0,560	0,325	0,178	0,104	0,064	0,007	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	9,08
330-345	0,483	1,053	1,213	1,203	1,324	1,071	0,726	0,433	0,191	0,122	0,070	0,033	0,039	0,011	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,98
345-360	0,377	0,661	0,908	1,084	1,255	0,971	0,553	0,415	0,237	0,157	0,131	0,095	0,052	0,038	0,024	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	6,98
TOT	13,603	14,265	12,062	11,354	12,765	10,645	8,088	6,188	5,099	2,801	1,542	0,707	0,437	0,215	0,121	0,055	0,034	0,010	0,005	0,002	0,002	100,00

Tab. 1.1 RMN, stazione di Messina, tabella statistica del regime dei venti (periodo di osservazione 01/08/1998 – 31/12/2005)

α (°)	v [nodi]											TOT
	0-5	5-15	15-25	25-35	53-45	45-55	55-65	65-75	75-85	85-95	>95	
0	987	1118	24	0	0	0	0	0	0	0	0	2129
10	830	767	7	6	4	3	4	1	2	3	1	1628
20	1143	937	11	0	1	5	2	2	1	0	1	2103
30	1247	1008	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2263
40	1083	1186	4	2	0	0	0	0	0	0	1	2276
50	961	1648	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2611
60	613	1152	2	0	0	0	0	1	0	0	1	1769
70	348	482	1	0	0	0	0	0	0	0	0	831
80	177	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	312
90	130	44	0	0	0	0	1	0	1	0	0	176
100	48	22	1	0	0	0	0	0	0	0	4	75
110	61	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
120	71	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83
130	71	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91
140	86	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119
150	79	33	3	1	0	0	1	0	0	0	0	117
160	109	37	1	0	0	0	0	0	0	0	2	149
170	53	44	5	1	0	0	0	0	0	0	0	103
180	233	312	41	8	0	0	0	0	0	0	0	594
190	244	945	142	5	0	0	0	0	0	0	0	1336
200	314	1828	273	8	0	0	0	0	0	1	0	2424
210	633	2113	248	5	0	0	0	0	0	0	1	3000
220	696	1676	132	1	0	0	0	0	1	0	0	2506
230	430	875	67	4	0	0	0	0	0	0	0	1376
240	518	556	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1083
250	391	230	3	0	0	0	2	0	0	0	0	626
260	264	131	8	0	0	0	0	0	0	0	0	403
270	255	184	21	0	0	0	0	0	0	0	0	460
280	206	309	23	0	0	0	0	0	0	0	0	538
290	260	565	59	0	0	0	0	0	0	0	0	884
300	387	1221	116	3	0	0	0	1	0	0	0	1728
310	615	1373	56	1	1	0	1	0	0	0	0	2047
320	863	1430	49	2	0	0	0	0	0	0	1	2345
330	1067	1401	27	1	0	0	0	0	0	0	0	2496
340	1114	1206	26	0	0	0	0	0	0	0	0	2346
350	754	946	22	0	0	0	0	0	0	0	1	1723
var.	14	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	20
TOT	17355	25991	1391	48	6	8	11	5	5	4	14	

numero di osservazioni 58042. eventi di calma 13204.

Tab. 1.2 CNMCA, stazione di Messina, tabella statistica del regime dei venti (1 nodo = 0,51 m/s) (periodo di osservazione 7/1978 – 12/1997)

		intensità del vento				
		>8m/s (15,55 kn)	>10m/s (19,43 kn)	>13 m/s (25,26 kn)	>15 m/s (29,15 kn)	>18 m/s (34,98 kn)
		giorni/anno	giorni/anno	giorni/anno	giorni/anno	giorni/anno
direzione di provenienza del vento °N	0°-60°	16,71	2,39	0,14	0,02	0,00
	60°-120°	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
	120°-180°	3,21	1,36	0,21	0,06	0,01
	180°-240°	11,85	4,74	0,81	0,20	0,02
	240°-300°	1,23	0,40	0,08	0,03	0,01
	300°-360°	6,70	2,38	0,37	0,08	0,00
	omnidirezionale	39,71	11,27	1,60	0,39	0,03

		intensità del vento				
		>8m/s (15,55 kn)	>10m/s (19,43 kn)	>13 m/s (25,26 kn)	>15 m/s (29,15 kn)	>18 m/s (34,98 kn)
		ore/anno	ore/anno	ore/anno	ore/anno	ore/anno
direzione di provenienza del vento °N	0°-60°	400,93	57,25	3,24	0,56	0,00
	60°-120°	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00
	120°-180°	77,00	32,72	5,08	1,41	0,14
	180°-240°	284,44	113,80	19,32	4,79	0,42
	240°-300°	29,47	9,59	1,83	0,71	0,14
	300°-360°	160,77	57,11	8,88	1,83	0,00
	omnidirezionale	953,03	270,48	38,36	9,31	0,71

Tab. 1.3 RMN, stazione di Messina, giorni e ore di superamento della velocità del vento di 8, 10, 13, 15 e 18 m/s per settori di 60°N e per il settore omnidirezionale (Periodo di osservazione: 01/08/1998-31/12/2005. Elaborazione IDROTEC s.r.l.)

2. LIVELLO DEL MARE, MAREE E CORRENTI

Nelle Fig. da 2.1 a 2.3 è illustrato il livello del mare registrato dalla RMN, stazione di Messina, nel periodo che va dal 01/01/2004 al 31/12/2004. E' possibile osservare che durante questa finestra temporale si sono registrati massimi sopralzi (somma di fenomeni di maree e di effetti generati dalle basse pressioni) di circa 50 cm e massime variazioni negative del livello del mare di circa 20 cm.

Le maree (cfr. Rodriquez, 2003) costituiscono un fenomeno rilevante nello Stretto di Messina. La loro escursione da cavo a cresta è limitata a 30-40 cm nel Tirreno e a circa 10 cm nello Ionio. Esse risultano, almeno nelle componenti principali, sostanzialmente in opposizione di fase nei due “bacini” comunicanti attraverso lo Stretto, cosicché vi è un luogo ove è la marea risulta nulla.

Per quanto riguarda le correnti¹, vi è da dire che lo Stretto di Messina è caratterizzato da fenomeni idrodinamici unici. Il movimento delle correnti risulta prevalentemente dovuto alle maree. Lo Stretto collega a nord il Mar Tirreno e a sud il Mar Ionio. Entrambi i mari presentano un regime predominante di maree a carattere semi-giornaliero. Fino a Capo Peloro le maree si comportano come quelle rilevate per il Mar Tirreno; da Capo Peloro andando in direzione sud invece le maree si comportano come quelle registrate nel Mar Ionio.

Sebbene le due tipologie di maree siano dello stesso tipo, il tempo in cui si verifica l'alta e la bassa marea nello stretto, come si è detto, differisce di circa sei ore. A causa di questa differenza di fase quando il mare Tirreno presenta in vicinanza dello Stretto la condizione di alta marea, contemporaneamente il Mar Ionio si presenta in fase di bassa marea e viceversa, cosicché le acque di un bacino si riversano in quello contiguo, generando forti correnti.

Ed ancora, nonostante la differenza di livello della marea lungo lo Stretto sia piccola, si concentra in un tratto così breve che può generare correnti di intensità fino a 4 nodi (~2.1 m/s), che cambiano di direzione ogni 6 ore e risultano più forti nella parte più stretta e profonda dello Stretto. Un vento proveniente da nord riduce talvolta la durata della corrente da nord a 3 ore e aumenta quella di sud fino a 9.5 ore.

¹ Tratto da: “Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico” – Unità fisiografica n. 2, Regione Sicilia, Assessorato Territorio e Ambiente, anno 2004

La corrente proveniente da sud (montante o crescente) è la più intensa delle due con una velocità di 3-4 nodi (1.5-2.1 m/s) ed un massimo di 5 nodi (2.6 m/s). Quella da nord (discendente) invece si assesta normalmente su una velocità di 2-3 nodi (1.0-1.5 m/s).

Le correnti dello Stretto hanno maggiore effetto sul trasporto relativo al fondale marino, mentre non ha in genere effetto sui movimenti di materiale della spiaggia sulla linea di riva, tranne che nel tratto di costa di Capo Peloro, nel punto di congiunzione dei due mari ove, essendo le acque dello Ionio e del Tirreno caratterizzate da salinità e temperatura diversa, si determinano dei fenomeni idrodinamici di instabilità e di turbolenza con sviluppo orizzontale e verticale che modificano fortemente anche in brevi periodi la morfologia costiera.

2.1. Rilievi correntometrici

Nell'ambito di un incarico per la redazione di un progetto per un approdo in località Tremestieri, la società Technital affidò alla Cooperativa Nautilus e al laboratorio di idraulica inglese HR Wallingford l'esecuzione di una campagna di misure correntometriche nella fascia costiera in esame. Tali misure sono state eseguite in giugno 1999. Le indagini sono state eseguite in due siti distinti ubicati su fondali rispettivamente di -10 m e -50 m rispetto al l.m.m.. Le misure sono state eseguite con correntometri acustici ADCPs per una durata di trenta giorni al fine di definire gli andamenti delle velocità delle correnti (m/s) in funzione della direzione di propagazione ($^{\circ}$ N).

Nel sito alla profondità -10 m sono state misurate le velocità alle quote -2.5 m, -5.5 m e -8.5 m; nel sito alla profondità -50 m sono state misurate le velocità alle quote -6 m, -24 m e -45 m. I risultati delle misurazioni sono illustrati nelle Fig. 2.4 e 2.5. Come è possibile osservare il regime direzionale risulta diretto secondo l'orientamento dominante della costa ossia 30° N – 210° N circa sia nelle registrazioni effettuate in corrispondenza della batimetrica -10 m che di quella -50 m. Per quanto riguarda le velocità registrate, esse sono generalmente tanto maggiori quanto più il punto di misurazione è prossimo alla superficie del mare, e più intense quando la direzione di propagazione è verso 210° N rispetto a quella verso 30° N. Il massimo registrato è stato di circa 1.4 m/s alla profondità di -2.5 m in corrispondenza della batimetrica -10 m (direzione di propagazione 210° N) ma valori di circa 1.2 m sono abbastanza frequenti in entrambi i luoghi di misurazione e sino a profondità rilevanti.

Nell'ambito di un altro studio realizzato per la costruzione di un terminale marittimo collegato all'approdo di emergenza in località Tremestieri (cfr. Rodriguez, 2003), sono stati fatti rilievi correntometrici eseguiti per mezzo di due correntometri elettromeccanici installati rispettivamente in prossimità del fondo e della superficie per mezzo di una catena di ormeggio. I dati registrati rispecchiano l'andamento generale delle correnti di marea presenti nello Stretto di Messina. Il regime direzionale risulta diretto nella direzione dominante lungocosta cioè per 30°N e 210°N circa.

Analizzando le velocità registrate risalta la prevalenza di velocità di maggiore intensità per quelle correnti dirette verso sud (a volte anche con valori dell'ordine di 1 m/s) sebbene tali valori decrescano rapidamente nell'arco di 1-2 ore. Per le correnti dirette verso nord si ha un andamento delle velocità variabile tra 1 e 30-40 cm/s. La durata delle correnti verso nord è variabile tra le 5 e le 8 ore e risulta superiore a quella delle correnti dirette verso sud che è variabile da 2 a 4 ore. Non si riscontrano differenze tra i dati rilevati da i due correntometri posizionati tra -5 m e -19 m per cui vi è una certa omogeneità del regime correntometrico nella colonna d'acqua esaminata.

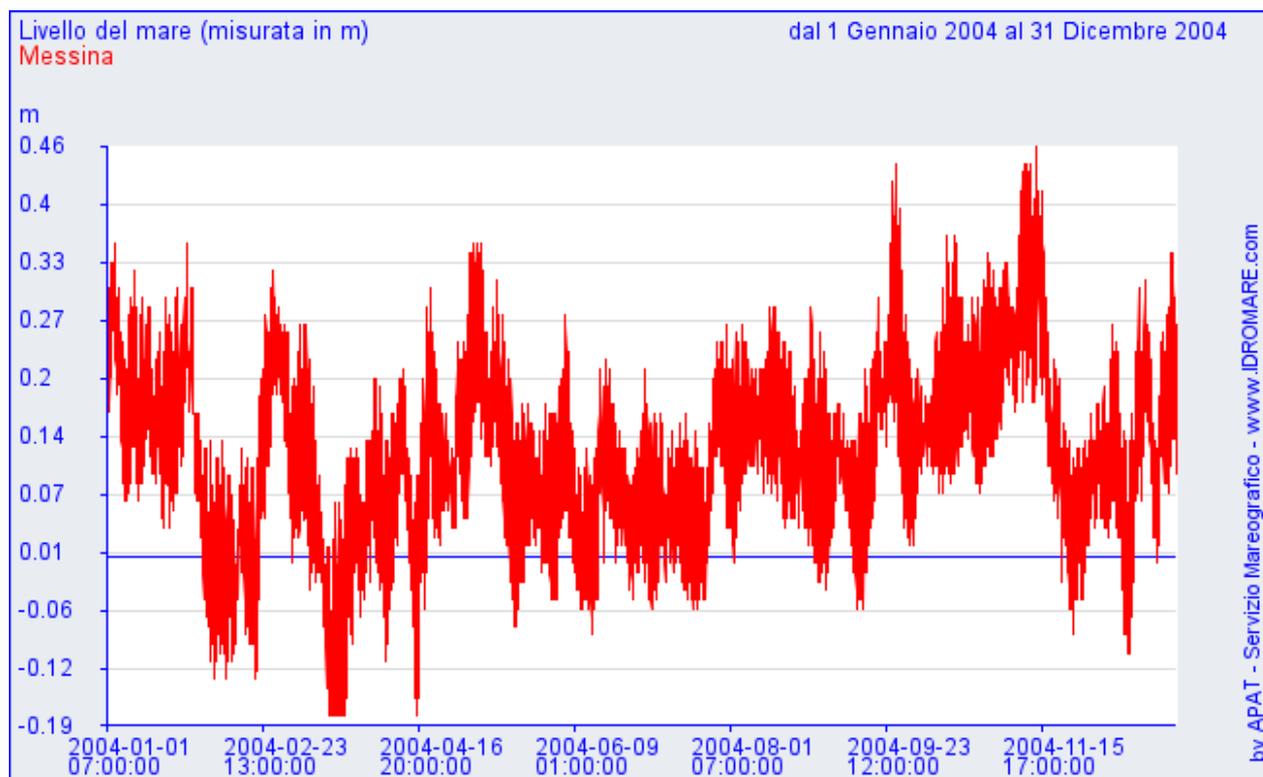


Fig. 2.1 RMN, stazione di Messina, livello medio del mare (periodo di osservazione 01/01/2004 – 31/12/2004)

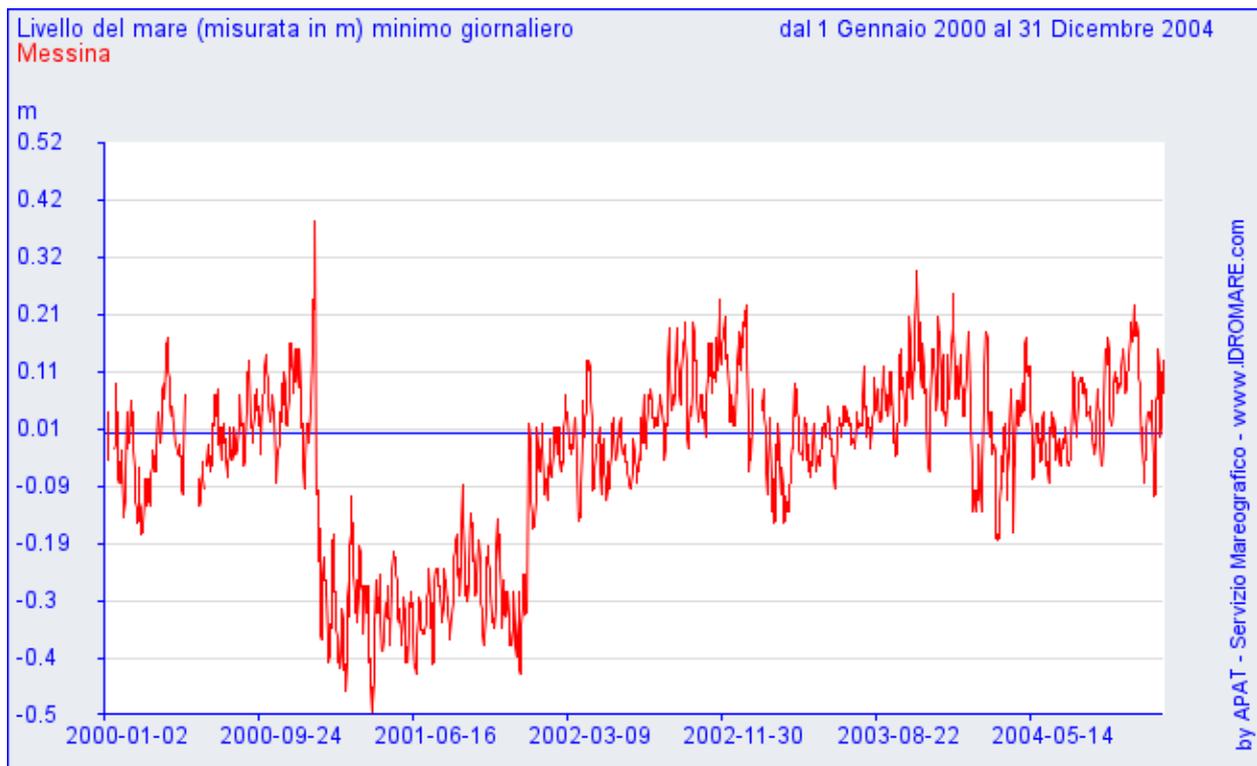


Fig. 2.2 RMN, stazione di Messina, livello minimo giornaliero del mare (periodo di osservazione 01/01/2000 – 31/12/2004)

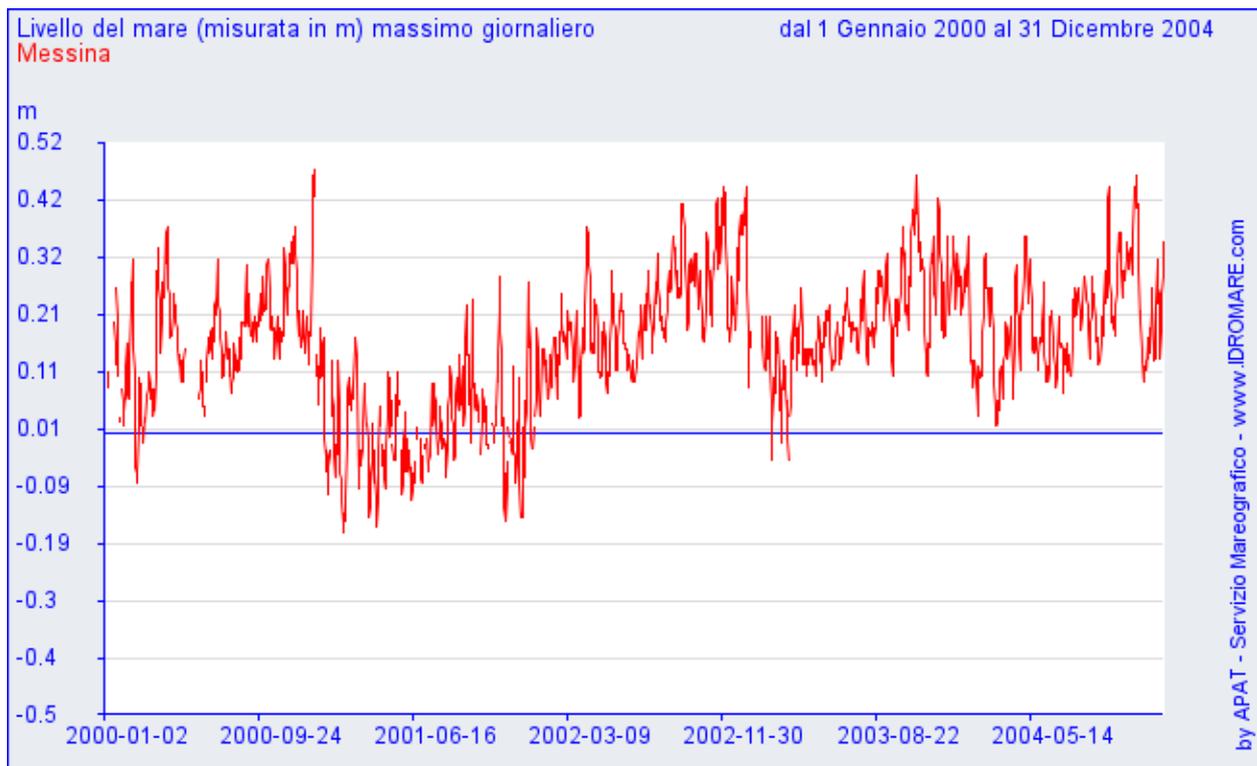


Fig. 2.3 RMN, stazione di Messina, livello massimo giornaliero del mare (periodo di osservazione 01/01/2000 – 31/12/2004)

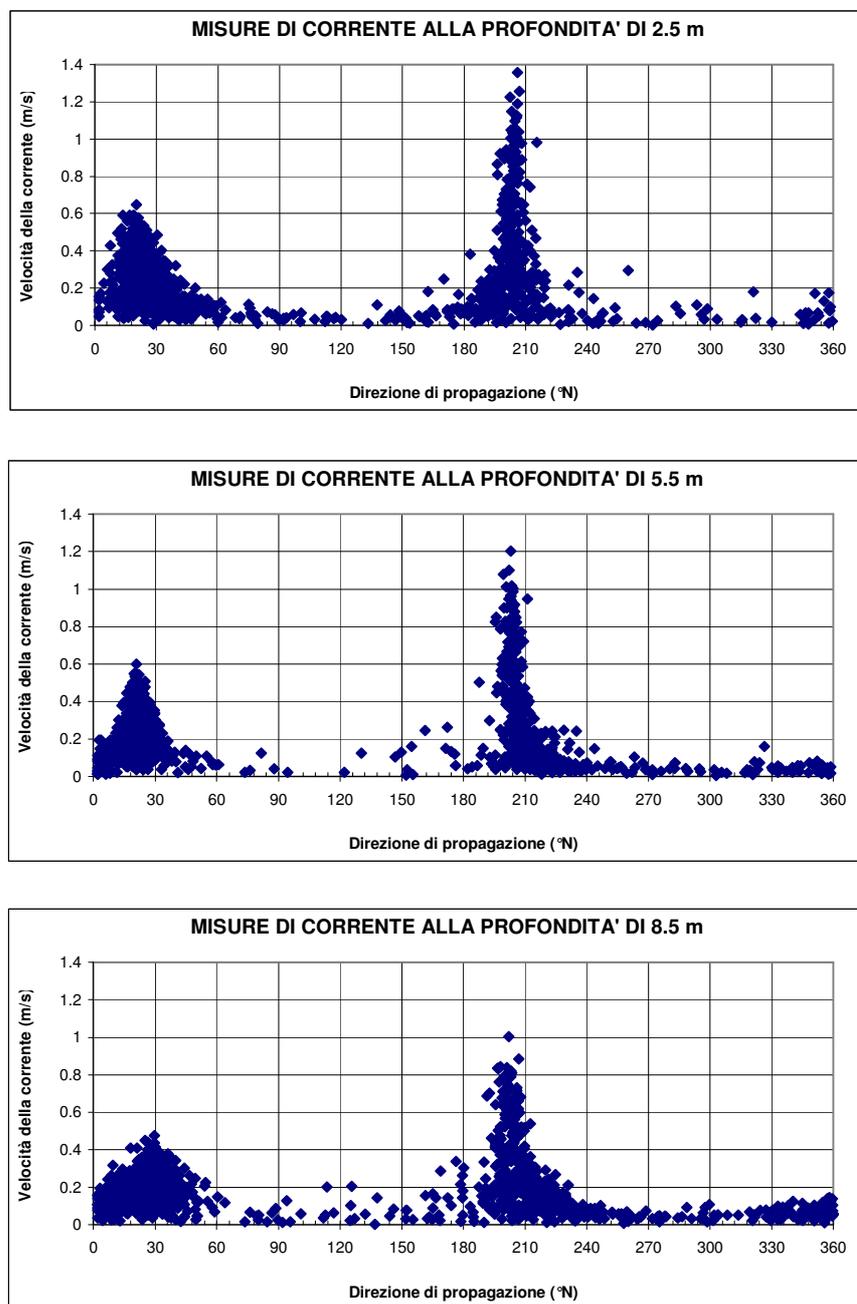


Fig. 2.4 Misure della corrente in corrispondenza della batimetria -10 m (profondità di misurazione: -2.5 m, -5.5 m e -8.5 m) in località Tremestieri (ME) - (Technital, 1999)

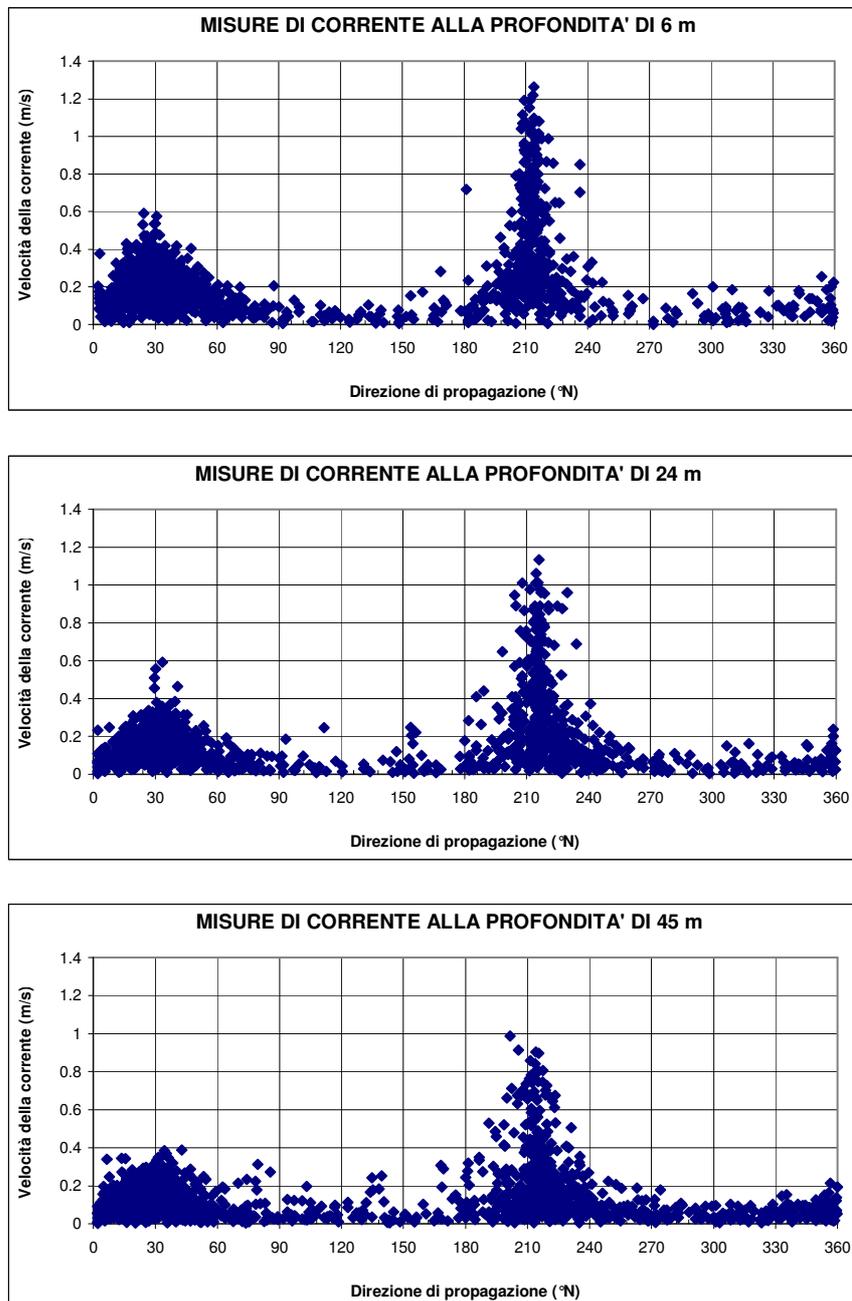


Fig. 2.5 Misure della corrente in corrispondenza della batimetria -50m (profondità di misurazione: -16 m, -24 m e -45 m) in località Tremestieri (ME) - (Technital, 1999)

3. MOTO ONDOSO AL LARGO

3.1. Premesse

Lo stretto di Messina è stato oggetto negli anni di numerosi studi di approfondimento delle condizioni meteomarine. In particolare gli scriventi, nell'ambito di una precedente commessa relativa la dinamica del litorale della costa calabra (cfr. "Indagine conoscitiva dello stato delle coste calabre, predisposizione di una banca dati dell'evoluzione del litorale e individuazione delle aree a rischio e delle tipologie di intervento – Studi su aree campione e previsione delle relative opere di difesa", aprile 2002, Regione Calabria, a cura di una Associazione Temporanea di Imprese di cui faceva parte anche Idrotec s.r.l.), avevano acquisito una serie di documenti, eseguiti dal gruppo "Idrodinamica e ambiente marino" della Società Stretto di Messina, sul cui contenuto sembra utile fare nel seguito alcuni cenni per la definizione di un quadro generale del fenomeno.

Nei successivi paragrafi si definirà inoltre il clima ondoso al largo delle località di Messina e Tremestieri facendo riferimento a dati elaborati dal modello matematico dell'Ufficio Meteorologico della Gran Bretagna (UKMO). Il clima ondoso rappresentativo dello stato del mare per le località di Messina e Tremestieri dedotto dai dati UKMO è caratterizzato da un settore di traversia compreso tra 150° e 200°N, direzione dalla quale provengono le mareggiate più severe e quindi le onde di riferimento per il dimensionamento delle opere marittime.

Non sono tuttavia trascurabili, al fine dell'analisi dell'operabilità delle strutture progettate, le onde che si generano nella porzione di mare dello Stretto provenienti dai settori nord-est. Per questi fenomeni ondosi, in assenza di informazioni di letteratura sufficienti ad una loro descrizione al largo della costa siciliana, si sono (nel successivo capitolo 4 "Moto ondoso sottocosta") definite direttamente le caratteristiche salienti in prossimità delle località in esame.

3.2. Analisi documentazione storica

I documenti di cui si è detto in premessa sono i seguenti:

- "Le correnti e i moti ondosi nello stretto di Messina". E. Brizzolara, Genova, gen. 1985;
- "Previsione delle onde nello Stretto di Messina"– Rapporto 01/85 – Istituto di Idraulica Università di Genova, a cura di P. Boccotti feb.1985; (questo studio è

basato solo sulle osservazioni visive collezionate dal KNMI. Dopo che sono stati resi disponibili all'autore gli ulteriori dati dell'Itav, sono stati effettuati studi successivi riportati nelle relazioni che seguono);

- “Previsione delle onde nello Stretto di Messina: una verifica”– Rapporto 06/85 – Istituto di Idraulica Università di Genova, a cura di P. Boccotti, mar.1985;
- “La forza degli stati di mare nell’area di Messina”– Rapporto 01/86 – Istituto di Idraulica Università di Genova, a cura di P. Boccotti, gen.1986.
- “Perturbazioni ondose nello Stretto di Messina” parte 1 – Rapporto 09/84 – Istituto di Idraulica Università di Genova, a cura di G. Scarsi e P. Boccotti, dic. 1984;
- “Perturbazioni ondose nello Stretto di Messina” parte 2 – Rapporto 04/85 – Istituto di Idraulica Università di Genova, a cura di G. Scarsi, feb.1985.

Lo studio dell’ing. Brizzolara si basa sui dati dell’Istituto Idrografico della Marina (Forte Spuria, Capo dell’Armi, Cozzo Spadaro), sull’esame delle carte bariche del Mediterraneo e sulla ricostruzione di alcuni eventi ondosi mediante l’applicazione del metodo SMB. Secondo tale studio risulta che sia dai settori settentrionali che da quelli meridionali sono possibili mareggiate con onde significative dell’ordine dei 8–9 m e che le durate delle mareggiate estreme possono raggiungere e superare le 24 ore, esse pertanto sono in grado di sovrapporsi a tutti i tipi di corrente sia montanti che scendenti.

Nello studio “Previsione delle onde nello Stretto di Messina” vengono definiti i valori estremi del moto ondoso relativi ai mari da S e SSE, sulla base dei dati del KNMI, riferiti a tutta l’area ionica compresa tra Capo Rizzuto e Capo Muro di Porco, per il periodo 1961–1980, considerando solo stati di mare con direzioni dominanti comprese nel settore 165°-195°N. I risultati sono di seguito riportati:

Intervallo di tempo (anni)	Altezza d’onda massima (metri)	Altezza d’onda significativa (metri)	Periodo dominante dello spettro (secondi)
10	10,6	5,1	12,3
100	16,4	7,9	13,3

valori estremi delle onde nello Stretto di Messina (Prof. G.Scarsi e P.Boccotti)

Nello studio “Previsione delle onde nello Stretto di Messina: una verifica”, i valori estremi del moto ondoso precedentemente definiti vengono confrontati con quelli dedotti in corrispondenza del sito di Messina sulla base di rilevamenti visuali della forza del mare effettuati dall'ITAV. I dati ITAV confermano la linea di tendenza principale emersa dai dati KNMI (la possibilità di verificarsi di eventi con livelli di forza molto al di sopra dei livelli normali), ma la loro estrapolazione porta a livelli di forza costantemente maggiori.

Nello studio “La forza degli stati di mare nell'area di Messina”, sono stati rianalizzati sia i dati dell'ITAV, scartando alcuni stati di mare, sia i dati del KNMI relativi ad un'area più omogenea comprendente soltanto i mari a Sud dello Stretto. Dai dati del KNMI si osserva che il settore 105° - 135° N è quello caratterizzato dalle onde di altezza maggiore.

Nella relazione “Perturbazioni ondose nello Stretto di Messina – Parte I” vengono esaminate le modifiche che subiscono le perturbazioni ondose nella loro propagazione in presenza di correnti, considerando, relativamente ai mari provenienti da S e SSE, le 2 condizioni: $H_s = 6,0$ m – $T_s = 10$ s e $H_s = 7,0$ m – $T_s = 11$ s per campi di velocità della corrente compresi tra -2 e 2 m/s per sezioni con profondità media di circa 200 m e tra -3 e 3 m/s per sezioni con profondità media di 100 m, assumendo in una stessa sezione una distribuzione uniforme della velocità.

Le caratteristiche delle perturbazioni ondose vengono considerate relative ad una sezione ubicata poco più a Sud di Reggio Calabria ($\sim 38^{\circ}$ N), dove la velocità della corrente viene considerata trascurabile. Lo studio dell'evoluzione delle perturbazioni da tale sezione alle altre sezioni viene effettuato ipotizzando la direzione di propagazione coincidente con l'asse longitudinale dello Stretto nel tratto in esame, il flusso medio di energia per unità di larghezza costante, interpretando le perturbazioni ondose sia con un modello lineare di onde regolari sia con un modello che fa riferimento allo spettro di energia.

Dai risultati ottenuti, in corrispondenza della sez. B.B. (in prossimità di Punta S. Ranieri) e della sez. C.C. (al largo di Punta Pezzo), si osserva che:

- le correnti montanti comportano una riduzione dell'altezza d'onda ed un incremento della lunghezza tanto più sensibili quanto maggiore è la velocità;
- in presenza di correnti discendenti, nel caso di rappresentazione spettrale dell'onda, l'altezza si incrementa in corrispondenza dei più bassi valori della velocità mentre si decrementa oltrepassata una soglia di velocità, con un comportamento differenziato

rispetto a quello dell'onda regolare, per il quale si ha un continuo incremento dell'altezza d'onda.

Nella relazione “Perturbazioni ondose nello Stretto di Messina – Parte II”, si analizzano gli effetti di correnti con velocità sino a 5m/s su eventi ondosi estremi (periodi di ritorno da 100 a 10000 anni), interpretando gli stati di mare con spettri di energia. Le conclusioni della relazione sono le seguenti:

- la presenza di una corrente ascendente tende ad appiattire e allungare le onde che compongono lo stato di mare; essa conduce quindi ad una riduzione della ripidità delle onde stesse favorendone l'organizzazione in “swell”, con fronti d'onda sempre più definiti e regolari all'aumentare della velocità della corrente. L'appiattimento e l'allungamento delle onde è conseguenza di una redistribuzione dell'energia tra le varie componenti armoniche che avviene conservando il flusso globale di energia, in quanto lo spettro modificato non risulta tagliato dallo spettro limite che individua l'inizio del frangimento;
- la presenza di una corrente discendente tende dapprima ad esaltare le onde e poi ad appiattirle quando il valore di velocità della corrente supera una soglia che dipende dalla forza dello stato di mare preesistente; in ogni caso si ha un accorciamento delle onde e un conseguente incremento di ripidità che conferisce alle onde stesse l'aspetto di “onde giovani”. L'accorciamento e l'appiattimento finale delle altezze d'onda è qui dovuto ad una redistribuzione di energia tra le varie componenti armoniche che è accompagnata da un decremento del flusso globale di energia in quanto lo spettro modificato risulta tagliato dallo spettro limite. La superficie del mare si presenta quindi “disordinata” per effetto dei frangimenti parziali che via via si realizzano.”

3.3. Dati strumentali

Due sono le possibili fonti di dati strumentali di altezza e direzione di propagazione di fenomeni ondosi per l'area dello Stretto (cfr. Archivio dei dati meteo marini - <http://nodc.ogs.trieste.it/archimede/> a cura dell'APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici - Servizio difesa delle coste e dell'INOGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale).

La prima, è quella che fa riferimento alla Rete Ondametrica Nazionale (RON). Come è possibile osservare però dalla Fig. 3.1 nessun ondometro della RON è collocato in una

posizione tale da poter rappresentare il clima ondoso per il tratto di costa in esame, essendo quello sito al largo di Catania (il più vicino all'area di interesse) protetto dai mari provenienti da sud sud-est dalla costa siciliana. In particolare la Fig. 3.1 tratta dalla pubblicazione dell'APAT "Atlante delle coste" evidenzia come l'ondametro di Catania sia rappresentativo del clima ondoso del tratto di costa compreso tra C.po Murro di Porco e Taormina, mentre quello posto immediatamente a nord sia da considerarsi "presumibilmente non coperto da osservazioni".

Nella Fig. 3.2 è mostrata l'esposizione geografica dell'ondametro RON di Catania mentre nella Fig. 3.3 il clima ondoso registrato negli anni che vanno dal 1989 al 2002 dal medesimo ondametro è mostrato in forma di diagramma polare.

La seconda fonte di dati strumentali fa riferimento alle misurazioni registrate da un ondametro direzionale collocato dalle FFSS nel punto (cfr. Fig. 3.4) 38°03'N, 15°29'E, al largo della località di Scaletta Zanclea, su un fondale di 50 metri, per un periodo che va dal 1/1994 al 12/1998. La posizione dell'ondametro è particolarmente significativa per la definizione del clima ondoso di Messina e Tremestieri ma la limitatezza dell'estensione temporale dell'attività della boa, fanno sì che i dati non possano ritenersi statisticamente significativi, soprattutto con riferimento alla possibile estrapolazione, mediante adattamento del campione ad una opportuna distribuzione statistica, dei fenomeni con elevato periodo di ritorno. L'ondametro, la cui registrazione degli eventi ondosi è rappresentata in forma polare in Fig. 3.5, può comunque essere utile per meglio comprendere gli effetti della costa calabra e siciliana sull'effettivo settore di traversia del paraggio in oggetto. In effetti si può osservare che:

- gli eventi di maggiore intensità sono pervenuti dalle direzioni 170°N e 190°N ($H_{max} = 2.6$ m, dir 190°N);
- 170°N è anche la direzione da cui provengono con maggior frequenza i fenomeni ondosi;
- il settore di traversia risulta compreso tra 130°N e 190°N, praticamente coincidente con l'esposizione geografica (125°N – 190°N).

3.4. Dati UKMO

In assenza di dati strumentali significativi, per la definizione del clima ondoso di un determinato sito, occorre fare riferimento a fonti e metodologie diverse, che ricostruiscono serie di dati attraverso una modellistica più o meno complessa.

Una delle fonti maggiormente affidabili è l'Ufficio Meteorologico della Gran Bretagna (UKMO). L'UKMO gestisce un avanzato modello di seconda generazione per la previsione dei campi di vento e di moto ondoso per i mari europei che si è rivelato altamente attendibile in altre elaborazioni eseguite dagli scriventi, ancorché le valutazioni siano relative al periodo 1990-2001 e quindi non coprano la durata ventennale che si ritiene statisticamente pienamente significativa.

L'UKMO, partendo da dati di pressione atmosferica acquisiti con continuità dal 1990 al 2001, modella dapprima i relativi dati di vento, ottenendo poi, in output al modello EWM (European Wave Model), serie temporali che indicano, ad intervalli di sei ore, altezza d'onda significativa e periodo medio per assegnato settore di provenienza.

Il modello è tarato sulla base dei dati di moto ondoso misurati direttamente in varie località significative e si basa su di una griglia spaziale avente una maglia di circa 25 km; è tra i nodi di questa griglia che va scelto il punto ritenuto più significativo per il sito in oggetto.

Il punto di griglia del modello EWM utilizzato per le seguenti considerazioni è quello di coordinate 37.8°N 15.5°E con esposizione geografica 75°N - 190°N (cfr. Fig. 3.6). I *fetch* geografici del punto della griglia selezionato sono evidenziati in Fig. 3.7.

Per questo punto l'UKMO ha fornito le tabelle statistiche nelle quali sono riportate le frequenze di occorrenza dei livelli di altezza significativa e periodo medio per settore di provenienza. In particolare in esse sono riportati, per settori di ampiezza, il numero di osservazioni intervalli di altezza significativa ed intervalli di periodo medio.

Nella Fig. 3.8 le percentuali di occorrenza sono rappresentate in forma di diagramma polare per tutte le direzioni di provenienza, comprese quindi quelle non significative per le località in oggetto.

La distribuzione direzionale dell'altezza d'onda significativa, per la statistica annuale, è riportata nella Tab. 3.1 in termini di numero di eventi, nella Tab. 3.2 in termini di percentuali di occorrenza per classi di altezza d'onda di 0,5 m e classi di direzione di 10°.

Può essere utile confrontare i dati forniti dall'UKMO con i dati strumentali dell'ondametro RON di Catania, ovviamente per i settori per cui questo è opportuno, ovvero per i settori che presentino quantomeno il medesimo *fetch* geografico, non tanto per verificarne

l'affidabilità propria, intrinseca, quanto piuttosto per controllare che la scelta di definire le condizioni di largo con i dati UKMO sia comunque prudente per conseguire gli scopi del presente rapporto.

I dati RON presentati nel diagramma polare di Fig. 3.3 ed in forma tabellare nella Tab. 3.3, sono quelli pubblicati, a cura dell'APAT, nell'ottobre 2004, nell' "Atlante delle onde nei mari italiani" nel quale vengono presentati in maniera estesa i dati della rete nazionale arricchiti di numerosi studi ed elaborazioni. Mediante interrogazione delle informazioni contenute nel CD-ROM che accompagna l'Atlante, è possibile ottenere dati per il periodo che va dal luglio del 1989 al marzo del 2002. L'Atlante fornisce anche una valutazione degli eventi estremi, i cui risultati sono riassunti nella tabella seguente.

Periodo di ritorno (anni)	H _s (m)	
	Settore 30-90°N	Settore 90-150°N
1	2,9	3,1
10	5,1	5,7
50	6,3	6,9

RON – eventi estremi tratti da "Atlante delle onde nei mari italiani"

Confrontando le Figg. 3.3 (dati RON), e 3.8 (dati EWM) risulta evidente come in questi ultimi le componenti provenienti dal 2° quadrante – di interesse per il presente lavoro – siano nettamente maggiori di quanto registrato dall'ondametro, anche in parte (ancorché presumibilmente non solo per questo) a causa della maggiore esposizione del punto EWM di cui si è detto. L'utilizzo dei dati EWM di largo appare quindi comunque chiaramente prudente rispetto a quello dei dati RON.

Tornando all'analisi dei dati UKMO si evidenzia (cfr. Fig. 3.8) che gli stati di mare più intensi, caratterizzati da altezze d'onda più elevate, al largo del versante orientale dell'isola provengono dalla direzione 110°N (direzione rispetto alla quale la costa tra Messina e Tremestieri risulta protetta dalla Calabria). In termini di frequenze di occorrenza i settori di maggior importanza sono sempre quelli attorno a 110°N nonché quelli compresi tra 160°N e 180°N e quelli compresi tra 290°N e 340°N.

L'evento di maggiore intensità registrato nei 12 anni di osservazione è stato di altezza compresa tra i 5.0 m e i 5.5 m e direzione di provenienza 110°N.

Nella tabella seguente sono indicati i valori di altezza d'onda omnidirezionali attesi in corrispondenza a diversi periodi di ritorno ottenuti mediante *fitting* su distribuzione di Weibull.

periodo di ritorno (anni)	H_s (m)	T_p (s)
1	4.3	9
5	5.4	10
10	5.9	10
20	6.4	11
50	7.1	11
100	7.6	12

EWM - valori estremi omnidirezionali associati a diversi periodi di ritorno

3.5. Clima rappresentativo al largo per Messina e Tremestieri

Osservando la Fig. 3.6 e confrontandola con le Figg. 3.9 e 3.10 si può notare come il punto per il quale si sono acquisiti i dati ondometrici dall'UKMO è notevolmente più esposto ad est sud-est rispetto alle località di Messina e Tremestieri che risultano protette, rispetto a questa possibile direzione di provenienza, dalla costa calabra. Sostanzialmente uguale risulta invece l'esposizione verso sud sud-ovest del punto UKMO e di due punti al largo rappresentativi delle condizioni nelle località in oggetto, tutti essenzialmente coperti da C.po Murro di Porco rispetto ai mari provenienti dal terzo quadrante ed oltre.

In definitiva è possibile affermare, anche ricordando le registrazioni strumentali disponibili per la località di Scaletta Zanclea, che il clima al largo del tratto di costa in oggetto sia caratterizzato da un settore di traversia principale che, prudenzialmente, si può considerare essere compreso tra 150°N e 200°N.

Nella Fig. 3.11 è rappresentato il relativo clima ondoso in forma di diagramma polare elaborato a partire dal clima del punto UKMO avendo eliminato le direzioni non significative ovvero quelle esterne al settore 150°N – 200°N.

Come è possibile osservare le onde di maggiore intensità (altezza compresa tra 4.0 e 4.5 metri) provengono dal settore 150°N – 180°N, settore che complessivamente rappresenta anche gran parte (il 19% circa su 23% circa) delle occorrenze possibili.

3.6. Eventi estremi al largo

Sempre con riferimento al clima rappresentativo delle condizioni al largo di Messina e Tremestieri, sono state calcolate inoltre altezza e periodo delle onde con atteso periodo di ritorno.

E' stata seguita la seguente procedura:

- sono state calcolate le probabilità di non eccedenza di assegnati livelli di H_s per il macrosettore $150^\circ\text{N} - 200^\circ\text{N}$;
- è stato effettuato un adattamento dei dati così ottenuti alla distribuzione di Weibull a 3 parametri sperimentando anche l'effetto di diversi valori di soglia di H_s (cfr. Fig. 3.12).

La distribuzione probabilistica di Weibull ha la forma:

$$P(H) = 1 - e \left(\frac{H - a_0}{a_1} \right)^{a_2}$$

dove

p = probabilità di non-eccedenza

a_0 = parametro di posizione (per $a_0 = 0$ si ha la distribuzione a 2 parametri)

a_1 = parametro di scala

a_2 = parametro di forma

- la probabilità di non-superamento associata ai tempi di ritorno T_R di 1, 5, 10, 20, 50 e 100 anni è stata definita secondo la relazione:

$$p = 1 - \frac{1}{n T_R}$$

- è stato calcolato il valore di H_s per ognuno dei sei periodi di ritorno;

dove

p = probabilità di non-eccedenza

n = numero di dati per anno

T_R = periodo di ritorno (anni)

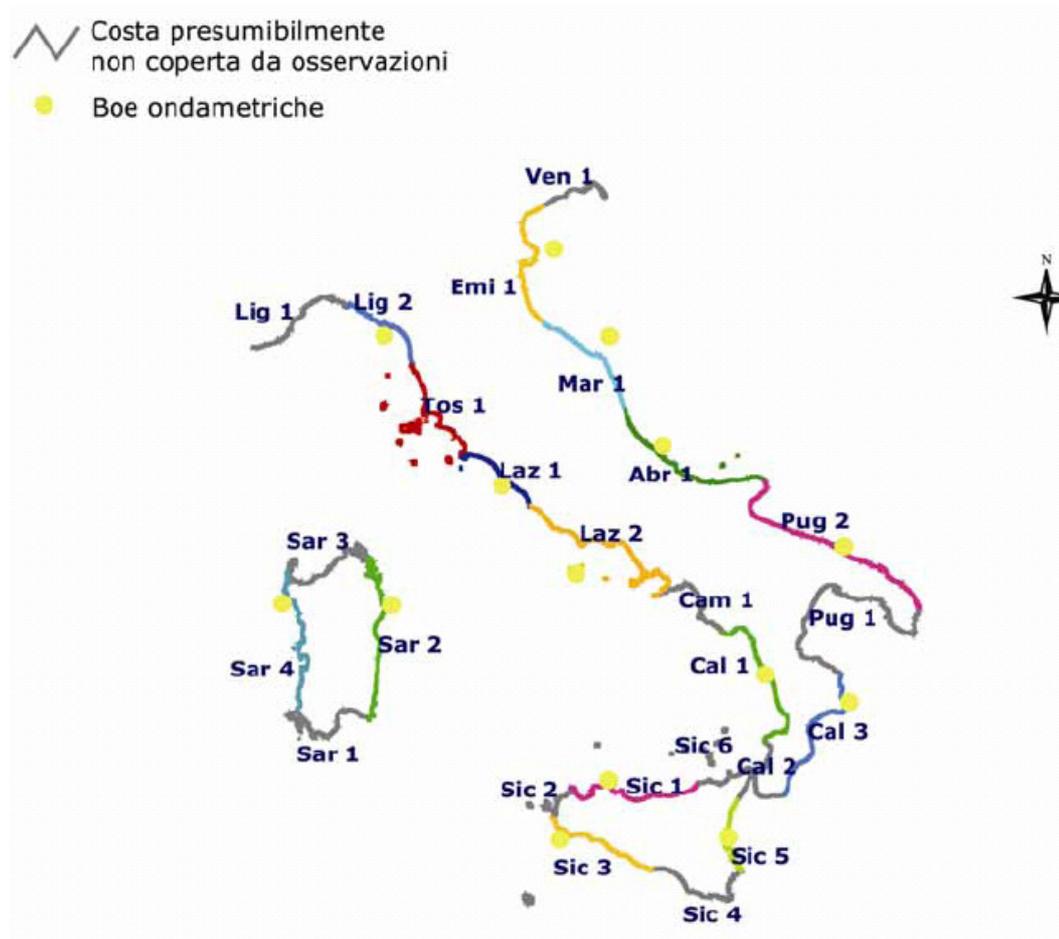
- il periodo di picco T_p associato a ciascuna altezza significativa H_s è stato calcolato con la relazione:

$$T_p = 5,05^* \sqrt{H_s}$$

I valori ottenuti sono riassunti nella seguente tabella:

Periodo di ritorno (anni)	H_s (m)	T_p (s)
1	2.9	8.6
5	3.8	9.8
10	4.1	10.2
20	4.5	10.7
50	5.0	11.2
100	5.3	11.7

*EWM - valori estremi al largo di Messina e Tremestieri associati a diversi periodi di ritorno.
Settore 150 °N – 200 °N - Direzione media 175 °N*



Settore Costiero	Boe rappresentative	Sigla	Tratti costieri
Portofino - C.po Linaro	La Spezia - Civitavecchia	C1	Lig2-Tos1-Laz1
Capo d'Uomo - Acquamorta	Civitavecchia - Ponza	C2	Laz1-Laz2
Anzio - C.po Vaticano	Ponza - Cetraro	C3	Laz2-Cam1-Cal1
C.po Palinuro - C.po S.Vito	Cetraro - Palermo	C4	Cal1-Cal2-Sic1-Sic6
C.po Gallo - C.po Granitola	Palermo - Mazara del Vallo	C5	Sic1-Sic2-Sic3
Marsala - C.po S.Alessio	Mazara del Vallo - Catania	C6	Sic3-Sic4-Sic5
C.po Murro di Porco - P.ta Alice	Catania - Crotone	C7	Sic5-Sic6-Cal3
C.po Rizzuto - Bari	Crotone - Monopoli	C8	Cal3-Pug1-Pug2
Brindisi - Foce del Saline	Monopoli - Ortona	C9	Pug2-Abr1
P.ta Penna - Pesaro	Ortona - Ancona	C10	Abr1-Mar1
Numana - Grado	Ancona - Chioggia	C11	Mar1-Emi1-Ven1
C.po Carbonara - C.po Ferro	Siniscola	C12	Sar1-Sar2
C.po Ferro – C.po Spartivento Sardo	Alghero	C13	Sar3-Sar4-Sar5

Fig. 3.1 Tratti di costa individuati in base alla posizione geografica degli ondometri della RON e di criteri di omogeneità e orientamento del litorale (tratto da: “Atlante del Mare”, APAT, 2005)

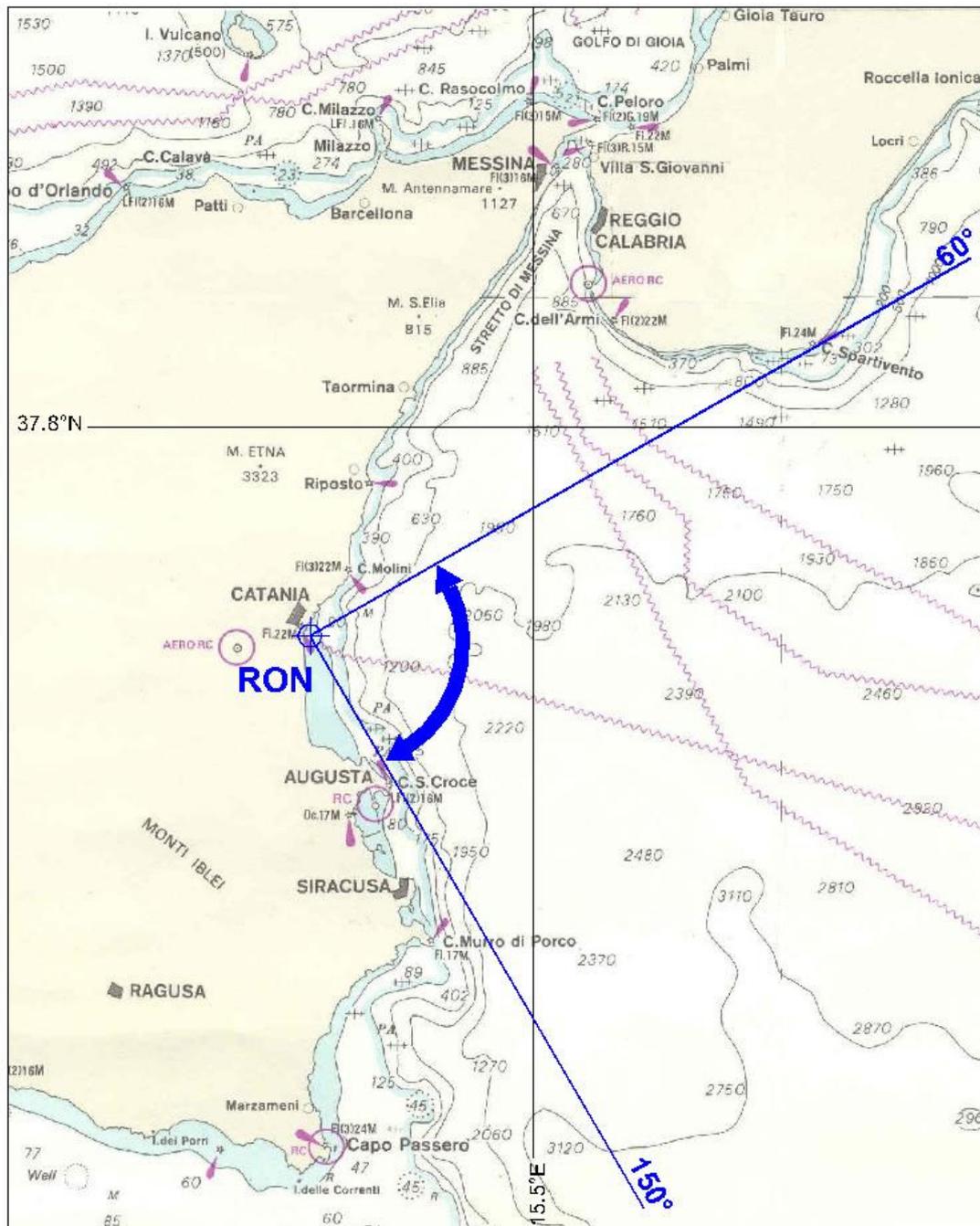


Fig. 3.2 Settore di traversia principale per l'ondametro RON di Catania

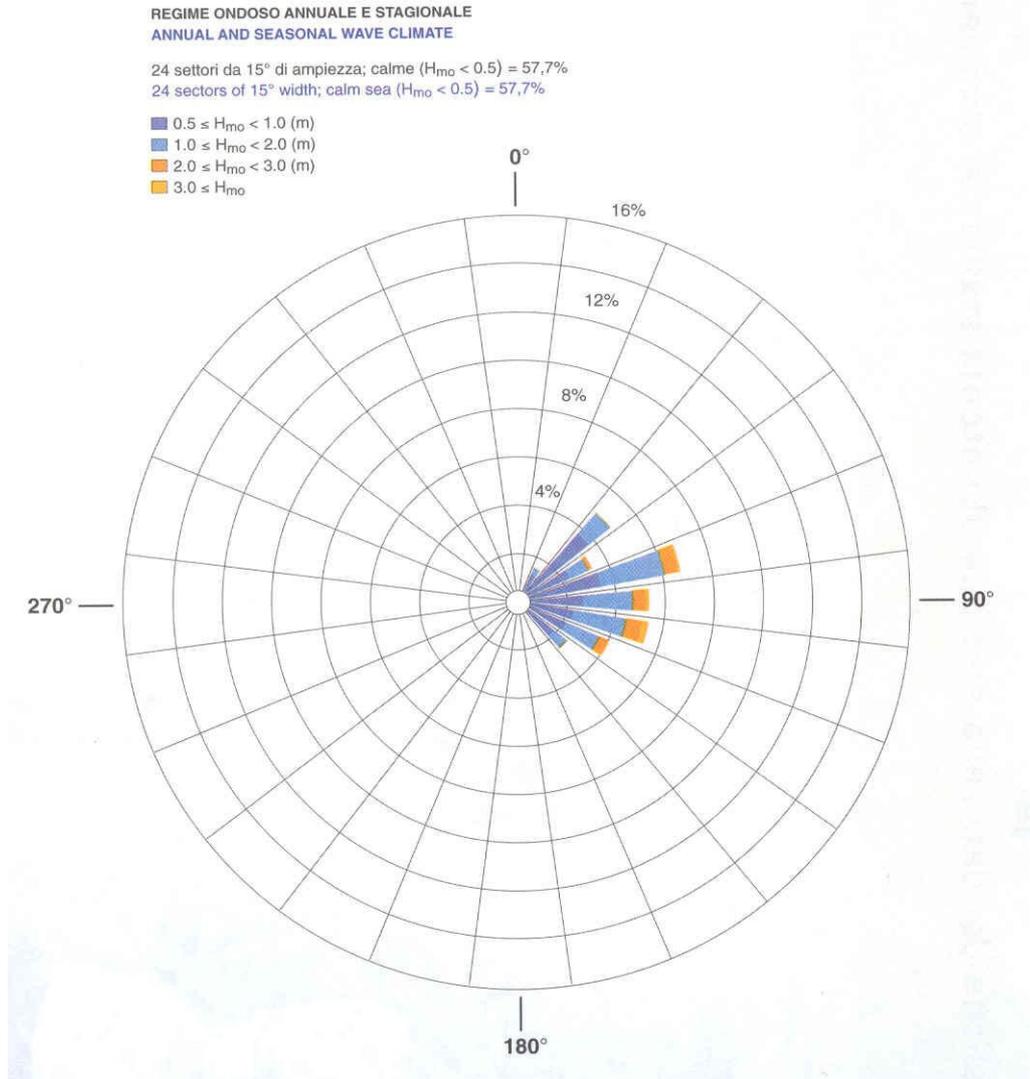


Fig. 3.3 RON (1989-2002) punto [37°26'24''N 15°8'48''E]: tutti i settori, percentuale di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati (tratto da: "Atlante delle onde nei mari Italiani", APAT, 2004)

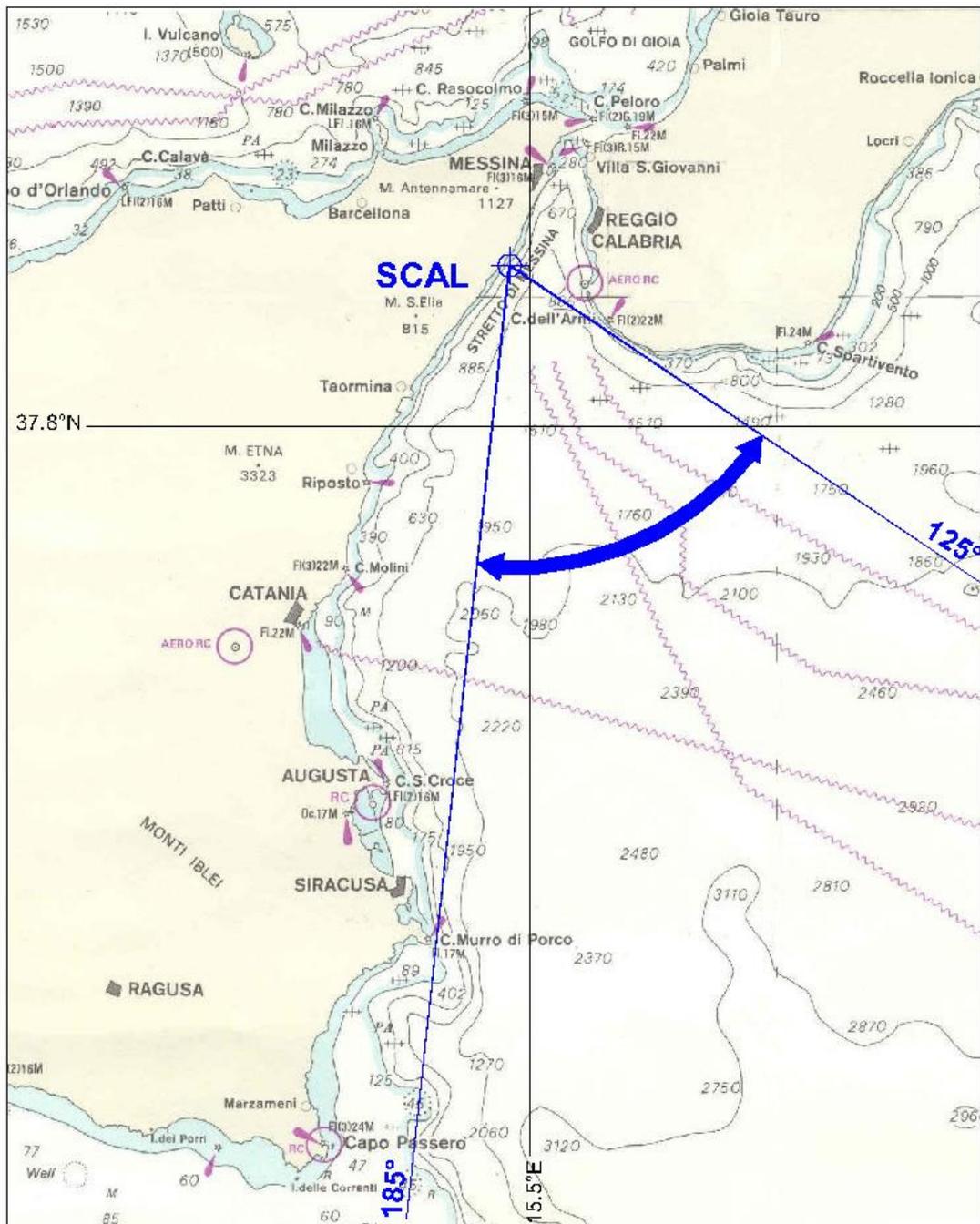


Fig. 3.4 Settore di traversia principale per l'ondametro RFI di Scaletta Zanclea

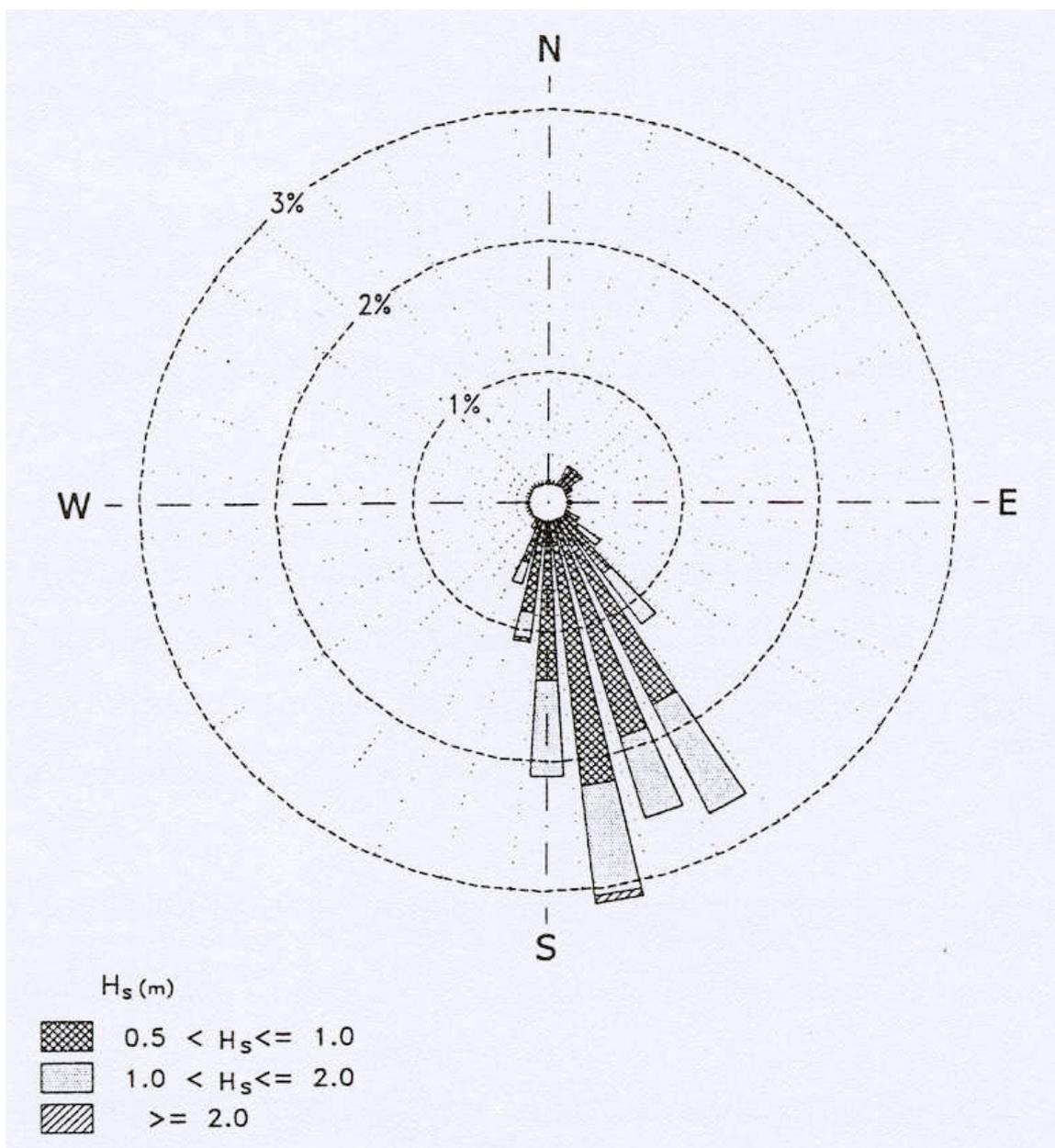


Fig. 3.5 RFI (2/1989-4/1990) punto [38.3°N - 15.29°E]: tutti i settori, percentuale di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati.

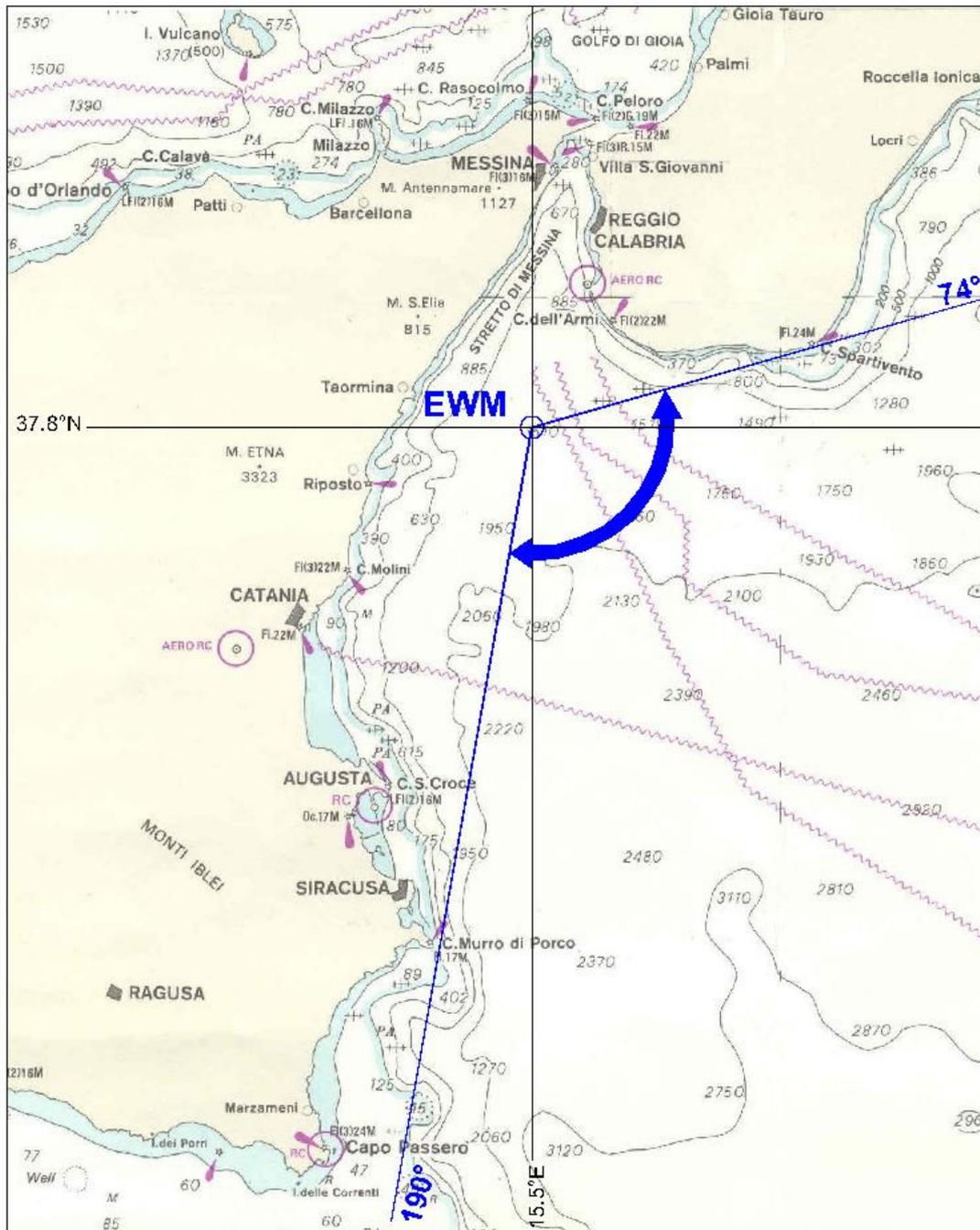


Fig. 3.6 Settore di traversia principale per il punto EWM

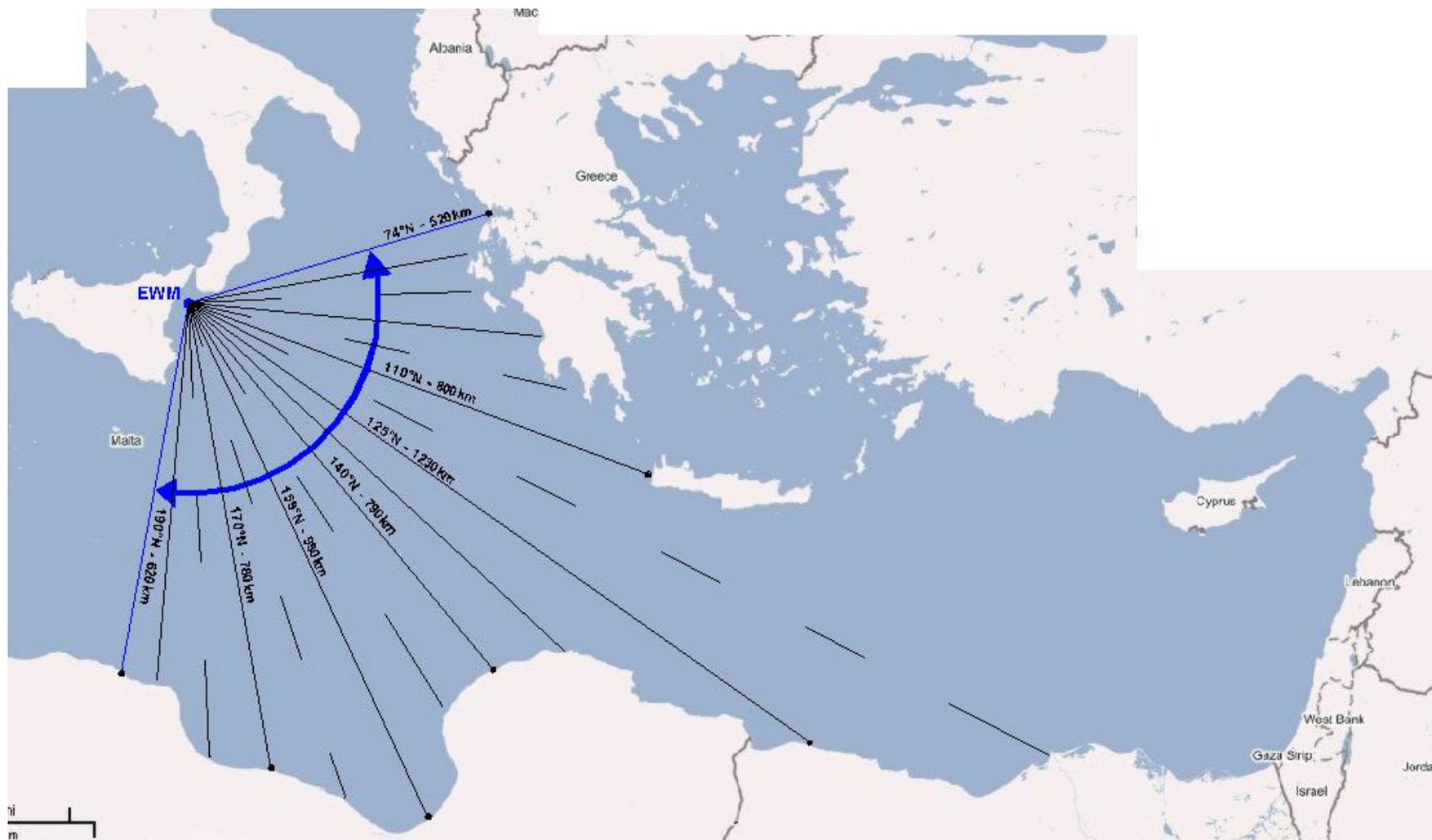


Fig. 3.7 Fetch geografico del settore di traversia principale per il punto UKMO

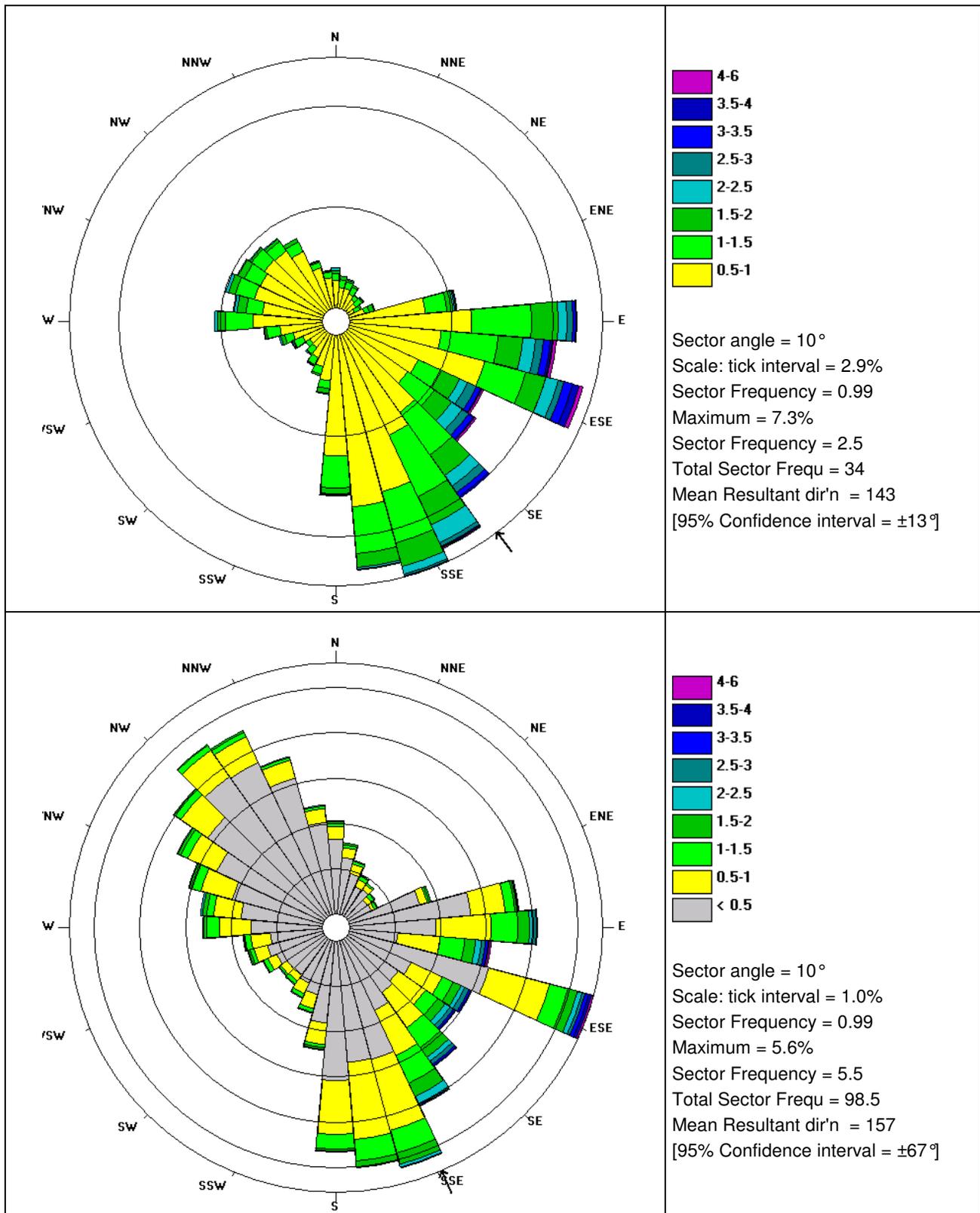


Fig. 3.8 UKMO (1990-2001) punto [37.8N-15.5E]: tutti i settori, percentuale di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati.

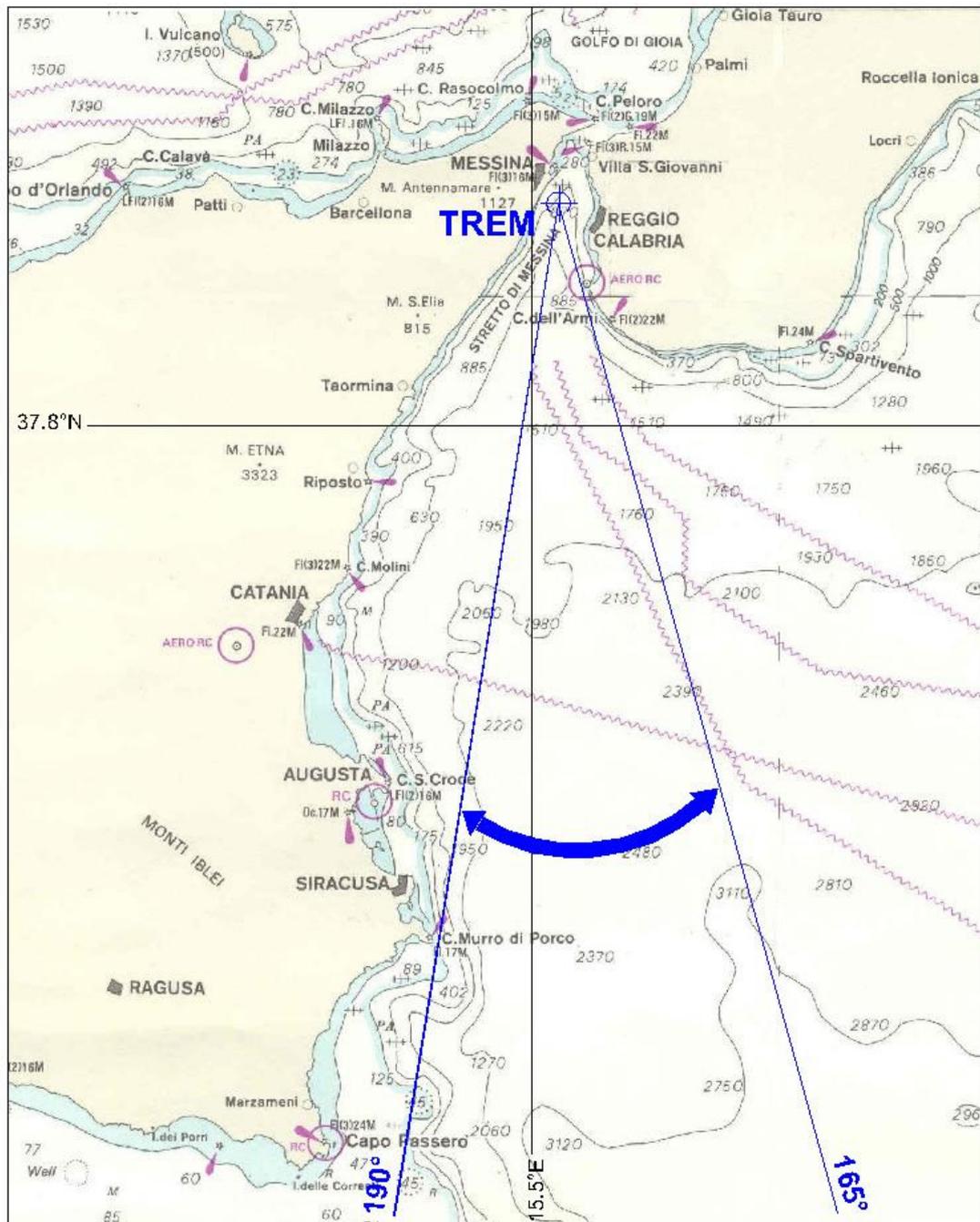


Fig. 3.10 Settore di traversia principale per un punto al largo di Tremestieri

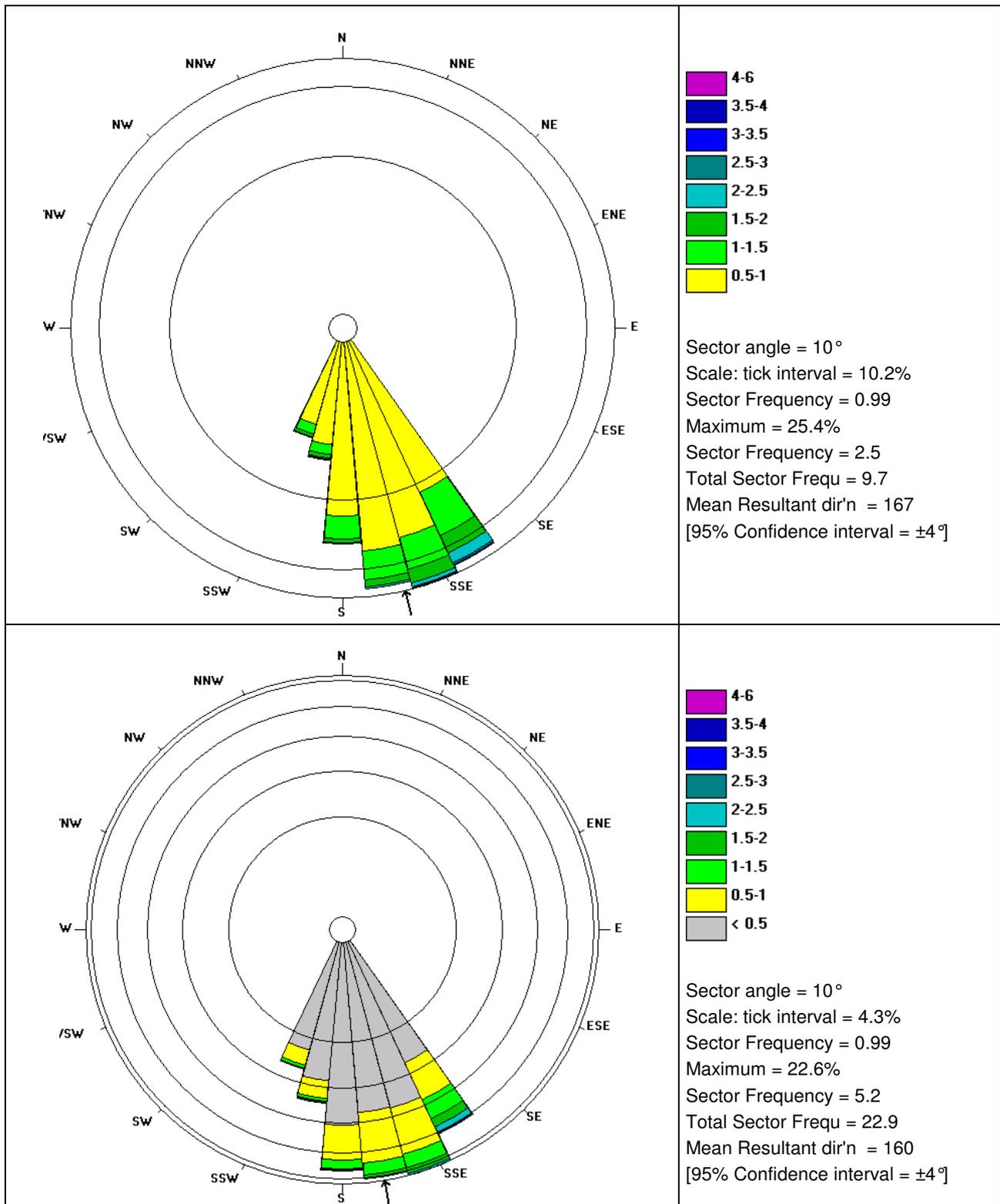


Fig. 3.11 EWM (1990-2001) punto [37.8N-15.5E]: settori significativi per Messina e Tremestieri, percentuale di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati (fonte UKMO – elaborazione dati IDROTEC)

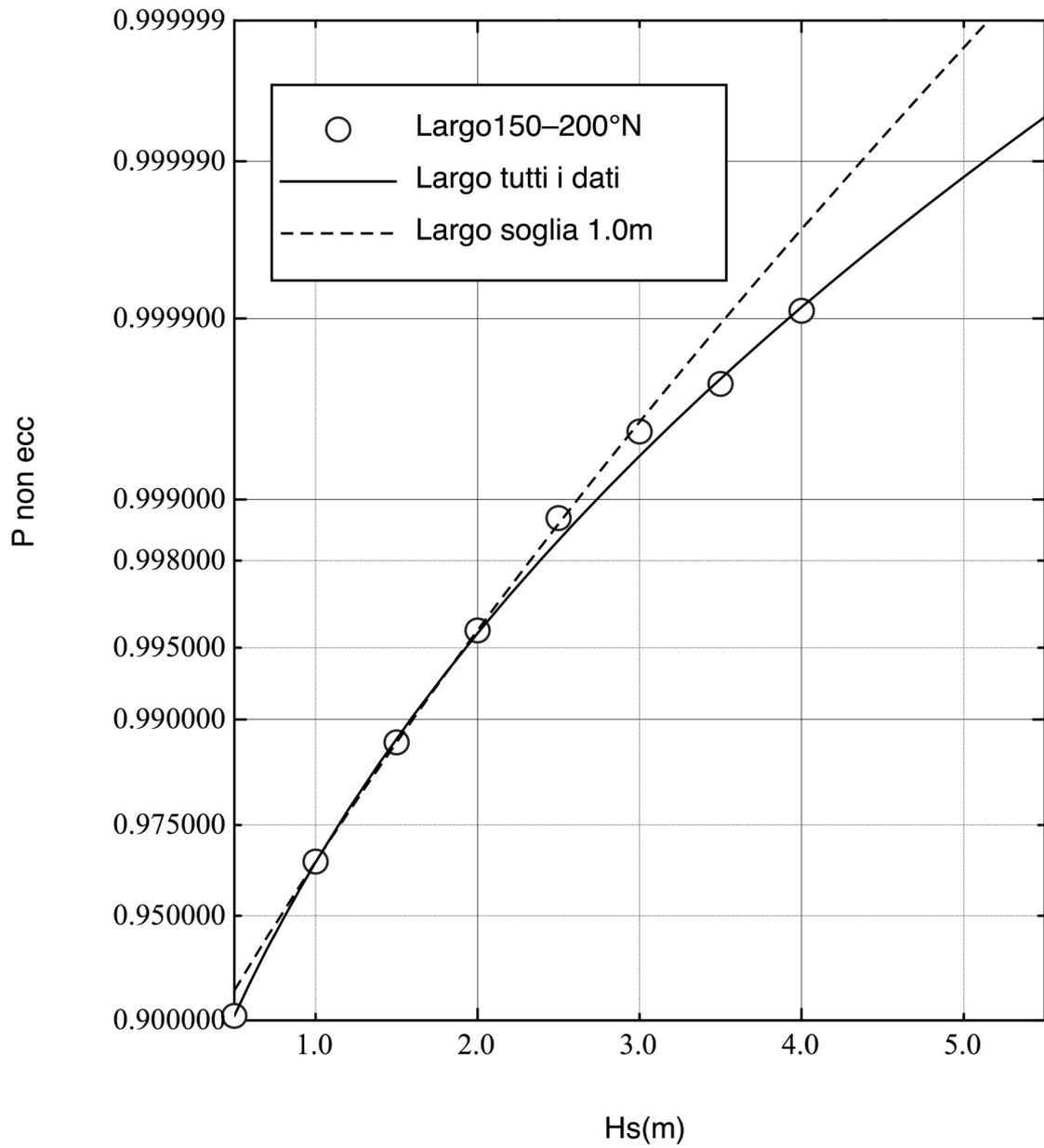


Fig. 3.12 Distribuzione di Weibull del clima ondoso

Dir. (°N)	Classi di altezza d'onda significativa Hs (m)													TOTALE	
	0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5		6,5-7,0
10	559	93	21	12	8										693
20	424	71	24	14											533
30	316	69	25	6	2										418
40	238	58	26	5	2										329
50	240	44	16	3		1									304
60	186	36	27	5		1									255
70	191	26	18	7											242
80	542	54	17	15	2	1									631
90	898	251	72	20	8	3		2							1.254
100	638	403	199	86	29	19	10	1	2						1.387
110	363	306	186	81	43	27	22	9	5	5					1.047
120	1.063	465	139	69	41	21	30	20	11	3	1				1.863
130	515	254	87	64	31	32	17	3	5	1					1.009
140	462	245	108	68	43	26	18	5	3	2					980
150	487	324	172	86	41	28	15	6							1.159
160	576	374	224	105	63	15	3	3	1						1.364
170	915	541	176	83	24	7	3		1						1.750
180	905	575	157	45	7	1	1								1.691
190	1.032	403	105	21	4	1		1	1						1.568
200	615	155	27	14	1	2		1							815
210	417	113	24	7	1	1									563
220	360	88	27	4	1		1	1							482
230	328	64	26	4	1		1								424
240	338	59	16		1										414
250	379	76	33	4	4	1									497
260	424	103	28	14	7	1									577
270	392	143	43	9	3										590
280	528	230	92	25	11										886
290	608	200	54	31	11	1									905
300	697	236	64	25	8	1									1.031
310	874	233	59	23	4										1.193
320	1.055	245	52	7	3	1									1.363
330	1.267	242	40	8	3	1									1.561
340	1.250	214	36	11											1.511
350	1.046	142	18	4	3										1.213
indet.	686	103	18	5	2										814
indet.	518														518
TOTALE	22.332	7.238	2.456	990	412	192	121	52	29	11	1				33.834

Tab. 3.1 EWM punto [37.8N-15.5E] - Numero di occorrenze – periodo di osservazione dal 1990 al 2001 (fonte: UKMO)

Classi di altezza d'onda significativa Hs (m)															TOTALE
Dir. (°N)	0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	
10	1,652	0,275	0,062	0,035	0,024										2,048
20	1,253	0,210	0,071	0,041											1,575
30	0,934	0,204	0,074	0,018	0,006										1,235
40	0,703	0,171	0,077	0,015	0,006										0,972
50	0,709	0,130	0,047			0,003									0,899
60	0,550	0,106	0,080	0,015		0,003									0,754
70	0,565	0,077	0,053	0,021											0,715
80	1,602	0,160	0,050	0,044	0,006	0,003									1,865
90	2,654	0,742	0,213	0,059	0,024	0,009		0,006							3,706
100	1,886	1,191	0,588	0,254	0,086	0,056	0,030	0,003	0,006						4,099
110	1,073	0,904	0,550	0,239	0,127	0,080	0,065	0,027	0,015	0,015					3,095
120	3,142	1,374	0,411	0,204	0,121	0,062	0,089	0,059	0,033	0,009	0,003				5,506
130	1,522	0,751	0,257	0,189	0,092	0,095	0,050	0,009	0,015	0,003					2,982
140	1,365	0,724	0,319	0,201	0,127	0,077	0,053	0,015	0,009	0,006					2,896
150	1,439	0,958	0,508	0,254	0,121	0,083	0,044	0,018							3,426
160	1,702	1,105	0,662	0,310	0,186	0,044	0,009	0,009	0,003						4,031
170	2,704	1,599	0,520	0,245	0,071	0,021	0,009		0,003						5,172
180	2,675	1,699	0,464	0,133	0,021	0,003	0,003								4,998
190	3,050	1,191	0,310	0,062	0,012	0,003		0,003	0,003						4,634
200	1,818	0,458	0,080	0,041	0,003	0,006		0,003							2,409
210	1,232	0,334	0,071	0,021	0,003	0,003									1,664
220	1,064	0,260	0,080	0,012	0,003		0,003	0,003							1,425
230	0,969	0,189	0,077	0,012	0,003		0,003								1,253
240	0,999	0,174	0,047		0,003										1,224
250	1,120	0,225	0,098	0,012	0,012	0,003									1,469
260	1,253	0,304	0,083	0,041	0,021	0,003									1,705
270	1,159	0,423	0,127	0,027	0,009										1,744
280	1,561	0,680	0,272	0,074	0,033										2,619
290	1,797	0,591	0,160	0,092	0,033	0,003									2,675
300	2,060	0,698	0,189	0,074	0,024	0,003									3,047
310	2,583	0,689	0,174	0,068	0,012										3,526
320	3,118	0,724	0,154	0,021	0,009	0,003									4,028
330	3,745	0,715	0,118	0,024	0,009	0,003									4,614
340	3,695	0,632	0,106	0,033											4,466
350	3,092	0,420	0,053	0,012	0,009										3,585
indet.	2,028	0,304	0,053	0,015	0,006										2,406
indet.	1,531														1,531
TOTALE	66,005	21,393	7,259	2,926	1,218	0,567	0,358	0,154	0,086	0,033	0,003				100,000

Tab. 3.2 EWM punto [37.8N-15.5E], percentuali di occorrenza per classi di altezza d'onda e direzione, periodo di osservazione dal 1990 al 2001 (fonte: UKMO)

Dir. (°N)	Classi di altezza d'onda significativa Hs (m)												Totale	
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0		6,0-6,5
15	908	521	81	13	4	1								1528
30	2427	1352	217	37	4	3								4040
45	1735	815	187	52	32	13	6	1						2841
60	1811	1310	545	211	67	39	19	9	3	1				4015
75	1576	939	429	166	85	40	18	8	3		1			3265
90	1386	850	432	196	100	54	31	23	6	3	1			3082
105	1621	792	298	106	41	29	5	1						2893
120	1239	626	132	15	4	6	1							2023
135	323	101	18	1	4									447
150	155	30	2	4	1	1								193
165	152	22	1	2	2									179
180	156	10	1	1	2									170
195	180	23												203
210	247	28	1		2									278
225	362	63			1									426
240	402	99	1											502
255	290	81	3		1									375
270	130	44	1											175
285	71	21												92
300	67	20	3		2									92
315	48	14		1										63
330	39	11	1	1										52
345	59	20	2	2	1									84
360	100	34	6	2										142
Totale	15484	7826	2361	810	353	186	80	42	12	4	2			27160

Tab. 3.3 Ondametro RON di Catania - Numero di occorrenze - periodo di osservazione: dal 7/1989 al 3/2002 (fonte: "Atlante delle onde nei mari Italiani", APAT, 2004)

Dir. (°N)	Classi di altezza d'onda significativa									
	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	Totale
150	1.702	1.105	0.662	0.310	0.186	0.044	0.009	0.009	0.003	4.031
160	2.704	1.599	0.520	0.245	0.071	0.021	0.009		0.003	5.172
170	2.675	1.699	0.464	0.133	0.021	0.003	0.003			4.998
180	3.050	1.191	0.310	0.062	0.012	0.003		0.003	0.003	4.634
190	1.818	0.458	0.080	0.041	0.003	0.006		0.003		2.409
200	1.232	0.334	0.071	0.021	0.003	0.003				1.664
Totale	13.182	6.387	2.107	0.813	0.296	0.080	0.021	0.015	0.009	22.909

Tab. 3.4 EWM punto [37.8N-15.5E], percentuali di occorrenza per classi di altezza d'onda e sole direzioni rappresentative per Messina e Tremestieri, periodo di osservazione dal 1990 al 2001 (fonte: UKMO)

4. MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA

4.1. Premesse

Oggetto del presente capitolo è la definizione delle caratteristiche del moto ondoso sottocosta per le località di Messina e di Tremestieri, con riferimento sia al settore di traversia principale (compreso, come mostrato nel precedente capitolo, tra 150°N e 200°N) sia a quello secondario (ovvero quello associato ai fenomeni provenienti da nord-est).

Per il settore principale di traversia le condizioni sottocosta nei due siti sono stimate a partire dai dati del clima ondoso al largo acquisiti dall'UKMO (cfr. par. 3.4). In particolare, considerata l'esposizione diretta dell'intero litorale di Tremestieri a questo settore di provenienza dei fenomeni (cfr. Fig. 4.1), le caratteristiche del moto ondoso sottocosta sono definite tramite l'utilizzo del software STWAVE che permette la trasposizione del clima ondoso dal largo verso costa valutando gli effetti di rifrazione e *shoaling*. Per quanto riguarda Messina, è stato invece necessario distinguere tra le aree a nord della zona del promontorio della Falcata e le aree sud del promontorio stesso. Per le aree a nord del promontorio della Falcata (cfr. Fig. 4.1), le onde sottocosta dal settore di traversia principale, sono state definite valutando il coefficiente di diffrazione (generata dal promontorio stesso) da applicare ai fenomeni ondosi rilevanti estrapolati del clima ondoso al largo UKMO. Per le aree sud del promontorio della Falcata (cfr. Fig. 4.1), si è ritenuto prudenzialmente, considerata la ripidità dei fondali del versante esposto a questo settore, di considerare il clima sottocosta del tutto analogo a quello al largo definito nei paragrafi precedenti.

Per determinare le caratteristiche del moto ondoso proveniente dal settore di traversia secondario nelle due località in oggetto, a causa della mancanza di dati diretti relativi a registrazioni di altezze d'onda, si è adottato un metodo di *hindcasting* applicato a dati di vento rilevati dalla stazione RMN di Messina. Considerata la particolare conformazione dello specchio acqueo disponibile per lo sviluppo del moto ondoso si è a questo scopo calcolato il *fetch* efficace di generazione per ognuna delle possibili direzioni di provenienza del vento.

La Fig. 4.1 riassume, per tutti i tratti di costa di interesse, le metodologie adottate per la stima del clima ondoso sottocosta.

4.2. Moto ondoso dal settore principale

4.2.1. Messina

Facendo riferimento alla Fig. 4.1 è possibile osservare come l'ambito di Messina sia interessato da fenomeni ondosi provenienti dal settore di traversia principale sia in maniera diretta (cfr. Fig. 4.1 - tratto di costa 2) che in maniera indiretta, ossia dopo aver subito gli effetti di diffrazione causati dal promontorio della Falcata, che scherma totalmente il bacino portuale e solo parzialmente (per le possibili direzioni di provenienza del moto ondoso più orientali) il tratto di litorale che si trova a nord dell'imboccatura portuale.

Litorale a sud del promontorio della Falcata. Il tratto in oggetto è di relativo interesse non essendo qui presenti e previste significative opere marittime e/o in atto particolari fenomeni di dinamica costiera. Per una valutazione di massima sull'entità degli eventi ondosi possibili è quindi possibile fare riferimento al clima ondoso al largo così come definito al par. 3.5.

Litorale a nord del promontorio della Falcata. Il tratto di litorale a nord della Falcata risulta protetto dal moto ondoso "diretto" proveniente dal settore di traversia principale. Ciò nondimeno le onde provenienti dal secondo e terzo quadrante raggiungono, seppur smorzate, questo tratto di costa a causa del fenomeno della diffrazione. Lo smorzamento delle onde a tergo dell'ostacolo, è tanto più accentuato quanto più le onde provengono da una direzione che si discosta da quella normale all'elemento che ne impedisce il propagarsi cosicché, nel presente caso, l'onda che risulta essere di maggiore interesse - perché quella che subisce l'attenuazione minore - è quella più orientale possibile.

Osservando al Fig. 4.2 si può notare come la direzioni di provenienza più orientale possibile sia 170°N.

Il metodo utilizzato per la stime del coefficiente di diffrazione in alcuni punti ritenuti significativi del tratto di litorale in oggetto è quello proposta da Y. Goda [4] che si basa sul metodo dello *spreading* angolare.

Secondo questo metodo il coefficiente di diffrazione può essere calcolato utilizzando la formula:

$$K_D = (1 - \Delta E)^{0.5}$$

dove ΔE è la quantità di energia bloccata dall'ostacolo (in questo caso il promontorio della Falcata) che può essere calcolata mediante appositi diagrammi che tabulano la distribuzione cumulativa dell'energia relativa dell'onda rispetto alla direzione principale di propagazione (nel seguito indicata con P_E).

Nel nostro caso quindi, con riferimento alla Fig. 4.3, per i quattro punti significativi ivi indicati, si ottengono i seguenti valori del coefficiente di diffrazione:

PUNTO 1

$$\Delta E = P_E(90^\circ) - P_E(-9^\circ) = 1 - 0.22 = 0.78$$

$$K_D = (1 - 0.78)^{0.5} = 0.47$$

PUNTO 2

$$\Delta E = P_E(90^\circ) - P_E(-18^\circ) = 1 - 0.09 = 0.91$$

$$K_D = (1 - 0.91)^{0.5} = 0.30$$

PUNTO 3

$$\Delta E = P_E(90^\circ) - P_E(-24^\circ) = 1 - 0.05 = 0.95$$

$$K_D = (1 - 0.95)^{0.5} = 0.22$$

PUNTO 4

$$\Delta E = P_E(90^\circ) - P_E(-29^\circ) = 1 - 0.025 = 0.975$$

$$K_D = (1 - 0.975)^{0.5} = 0.16$$

L'applicazione dei coefficienti di diffrazione così calcolati ai valori estremi al largo proposti nel par. 3.6 porta ai risultati mostrati nella seguente tabella.

La direzione di propagazione del moto ondoso in ognuno dei punti considerati, è definita dalla congiungente del punto di diffrazione (estremità della Falcata) con il punto di calcolo.

Periodo di ritorno (anni)	H_s al largo (m)	H_s punto 1 (m)	H_s punto 2 (m)	H_s punto 3 (m)	H_s punto 4 (m)
1	2.9	1.4	0.9	0.6	0.5
5	3.8	1.8	1.1	0.8	0.6
10	4.1	1.9	1.2	0.9	0.7
20	4.5	2.1	1.4	1.0	0.7
50	5.0	2.4	1.5	1.1	0.8
100	5.3	2.5	1.6	1.2	0.8

Settore principale – Valori estremi nel tratto di litorale a nord del promontorio della Falcata

4.2.2. Tremestieri

Trasposizione clima ondoso mediante il modello STWAVE. Le caratteristiche del moto ondoso sottocosta (ovvero il clima ondoso in corrispondenza della batimetria – 20m) proveniente dal secondo e terzo quadrante per la località di Tremestieri sono state definite mediante la trasposizione del clima ondoso UKMO di cui si è detto al paragrafo 3.4.

La trasposizione dell'intero clima ondoso dal largo, indispensabile per i successivi studi di dinamica del litorale nonché per la definizione delle nuove opere previste dal PRP, è stata realizzata utilizzando il software STWAVE (Steady State Spectral Wave Model) elaborato da Coastal Hydraulics Laboratory – US Corps of Engineers. Il modello calcola la variazione dei parametri del moto ondoso (altezza d'onda, periodo, direzione e forma spettrale) per effetto della propagazione dal largo, dove il campo di moto ondoso è pressoché costante alla scala dei chilometri, verso costa, dove le onde sono fortemente influenzate dalle variazioni della batimetria, del livello del mare e dalle correnti.

STWAVE è in grado di simulare rifrazione e shoaling dovute alla variazione della profondità e all'effetto della corrente, il frangimento delle onde dovuto alla profondità dei fondali e alla ripidità delle onde, la crescita delle onde per effetto del vento, i fenomeni legati all'interazione tra onde che causano redistribuzione e dissipazione di energia nel campo di moto ondoso.

Le ipotesi di base del modello sono le seguenti:

1. dolce pendenza del fondale e riflessione del moto ondoso trascurabile (l'energia si propaga solo verso la costa);
2. condizioni uniformi di moto ondoso al largo lungo il confine del modello;
3. onde, correnti e venti stazionari: il modello è quindi adatto per condizioni d'onda in cui le variazioni sono più lente del tempo impiegato per la propagazione attraverso la griglia di calcolo;
4. rifrazione e shoaling lineari;
5. corrente uniforme lungo il profilo verticale;
6. attrito di fondo trascurabile;
7. *radiation-stress* calcolati in base alla teoria lineare.

I parametri spettrali n (esponente della legge di distribuzione direzionale dell'energia del moto ondoso) e γ (parametro di appuntamento spettrale) utilizzati per la modellazione sono stati tratti dalla pubblicazione “Atlante delle onde nei mari italiani”.

Il clima di cui si è effettuata la trasposizione verso costa è quello significativo al largo per la località di Tremestieri presentato nel par. 3.5 e Tab. 3.4.

La Fig. 4.4 presenta l'andamento delle batimetriche utilizzate per la propagazione verso costa. Nelle figure successive da 4.5 a 4.7 sono mostrate, ad esempio delle elaborazioni eseguite, i risultati ottenuti (in termini di altezza d'onda e direzione di propagazione) per la propagazione di alcune onde, ovvero quella con $H_s = 4,25$ m e direzione di provenienza $160^\circ N$ e quella con la medesima direzione di provenienza ed $H_s = 3,25$ m.

Come è possibile osservare, le onde caratterizzate da questi parametri, subiscono variazioni sia l'altezza d'onda che di direzione di propagazione solo a partire dalle batimetriche - 20/30 m.

Il clima ondoso trasposto è illustrato graficamente in corrispondenza della “stazione di controllo”, cioè nel punto situato su un fondale di 20 m, sotto forma di grafico polare (cfr. Fig. 4.9) e in forma tabellare (cfr. Tab. 4.1).

Rispetto al clima rappresentativo della condizione “al largo” (cfr. Fig. 3.11) vi è una sostanziale rotazione verso la direzione della normale alla costa (quest'ultima è pari a circa $115^\circ N$) ed attenuazione dei fenomeni ondosi.

La direzione di maggiore frequenza complessiva è $160^\circ N$ mentre la direzione da cui provengono con maggiore frequenza le onde più alte (comprese tra 3.5 e 4.0 metri) è $150^\circ N$.

Valori estremi sottocosta. Sempre con riferimento al clima rappresentativo delle condizioni in prossimità di Tremestieri (batimetria -20 m), sono state calcolate altezza e periodo delle onde con atteso periodo di ritorno. Il procedimento utilizzato è del tutto analogo a quello illustrato nel par. 3.6.

Nella Fig. 4.10 è mostrato l'esito della procedura di fitting delle non eccedenze del clima ondoso alla distribuzione di Weibull a 3 parametri.

Nella seguente tabella si riportano i valori ottenuti per le altezze d'onda ed i periodi di picco. I valori del periodo di picco associati alle altezze d'onda ricavate con il metodo previsionale sono stati valutati mediante l'espressione:

$$T_p = 5.05 * H_s^{0.5}$$

periodo di ritorno (anni)	H _s (m)	T _p (s)
1	2.8	8.4
5	3.4	9.3
10	3.7	9.7
20	4.0	10.1
50	4.3	10.5
100	4.6	10.8

Settore principale – Valori estremi in prossimità di Tremestieri (batimetria –20 m) associati a diversi periodi di ritorno. Settore 150 °N – 200 °N - Direzione media 175 °N

4.3. Moto ondosso dai settori secondari

In assenza di dati strumentali, per la stima delle condizioni ondose, si è fatto riferimento a metodi di hindcasting che ricostruiscono i parametri ondosi caratteristici (altezza d'onda significativa e periodo di picco) che si possono associare ad una condizione di vento avente una certa intensità, durata e direzione di provenienza.

Considerata la particolare conformazione dell'area di generazione dei fenomeni si è utilizzato il metodo di hindcasting di Seymour [5] che utilizza i diagrammi previsionali di tipo JONSWAP - che si sono dimostrati più efficaci in questi casi rispetto a quelli proposti da Svendrup, Munk e Bretschneider (SMB) - associati ad un metodo di calcolo del valore del *fetch* efficace da lui stesso introdotto, secondo cui questo è dato (nella direzione del vento θ_j) dalla seguente espressione:

$$F_{eff}(\theta_j) = \frac{\sum_{\theta_i=\theta_j-90}^{\theta_j+90} F_i \cos^3(\theta_i - \theta_j)}{\sum_{\theta_i=\theta_j-90}^{\theta_j+90} \cos^2(\theta_i - \theta_j)}$$

In Fig. 4.11 sono rappresentati graficamente i valori di *fetch* efficace così calcolati per ciascuna delle possibili direzioni di provenienza del vento (e quindi delle onde) del I° quadrante.

Per quanto riguarda i dati di vento da utilizzare per il calcolo dei fenomeni ondosi, facendo riferimento al cap. 1, è possibile osservare come due siano le possibili fonti: quella della RMN e quella del CNMCA.

Osservando i diagrammi polari (cfr. Figg. 1.1 e 1.3) è possibile notare come tra le due fonti di dati vi sia una sostanziale congruenza con un allineamento delle direzioni di provenienza dei venti secondo un asse principale coincidente con la direzione individuata dallo Stretto di Messina.

I dati di vento della CNMCA coprono una estensione temporale che va dal 7/1978 al 12/1997 e sono articolati in classi da 10° di ampiezza di direzione e 10 m/s di intensità mentre i dati della RMN coprono una estensione temporale che va dal 1/1999 al 1/2005 e sono articolati in classi da 15° di ampiezza di direzione e 1 m/s di intensità. Quest'ultimo fattore - unitamente ad una maggiore affidabilità dimostrata dall'assenza di valori incongruenti - li fa preferire ai primi, nonostante la minore estensione temporale di misurazione che non permette, tra l'altro, un approccio di tipo probabilistico per la scelta dei valori da modellizzare.

Utilizzando quindi un approccio di tipo deterministico, si è stabilito di utilizzare per i successivi calcoli il vento di maggiore intensità osservato durante gli anni di misurazione disponibili ed un vento di minore intensità ma più significativa frequenza.

Osservando la Tab. 1.1 si può notare come, per la direzione di provenienza 30°-45°N (ovvero la direzione associata ai fenomeni di vento più intensi), il valore più elevato misurato è stato di 17-18 m/s (durata evento 1 ora) mentre un valore meno elevato ma con una frequenza di accadimento più elevata può essere individuato in 10-11 m/s (durata evento 3 ore).

4.3.1. Messina

Applicando il metodo descritto si ottengono i seguenti risultati:

caso 1) direzione di provenienza del vento 45°N

durata $t_v = 1$ ora

velocità vento $V_v = 18$ m/s

$F_{\text{efficace}} = 7$ km

Dai diagrammi JONSWAP è possibile verificare che si tratta di una condizione di sviluppo del mare a durata limitante. Intersecando quindi la durata con la velocità del vento si ottiene una altezza significativa H_s pari a circa 0.7 m.

caso 2) direzione di provenienza del vento 45°N

durata $t_V = 3$ ore

velocità vento $V_V = 10$ m/s

$F_{\text{efficace}} = 7$ km

Dai diagrammi JONSWAP è possibile verificare che si tratta di una condizione di sviluppo del mare a *fetch* limitante. Intersecando quindi la lunghezza del *fetch* disponibile con la velocità del vento si ottiene una altezza significativa H_s pari a circa 0.5 m.

4.3.2. Tremestieri

Applicando il metodo descritto si ottengono i seguenti risultati:

caso 1) direzione di provenienza del vento 45°N

durata $t_V = 1$ ora

velocità vento $V_V = 18$ m/s

$F_{\text{efficace}} = 7.9$ km

Dai diagrammi JONSWAP è possibile verificare che si tratta di una condizione di sviluppo del mare a durata limitante. Intersecando quindi la durata con la velocità del vento si ottiene una altezza significativa H_s pari a circa 0.7 m.

caso 2) direzione di provenienza del vento 45°N

durata $t_V = 3$ ore

velocità vento $V_V = 10$ m/s

$F_{\text{efficace}} = 7.9$ km

Dai diagrammi JONSWAP è possibile verificare che si tratta di una condizione di sviluppo del mare a *fetch* limitante. Intersecando quindi la lunghezza del *fetch* disponibile con la velocità del vento si ottiene una altezza significativa H_s pari a circa 0.5 m.

4.4. Riepilogo

Messina (cfr. Fig. 4.12)

- Tratto di costa a nord del promontorio della Falcata (cfr. Rada di San Francesco): gli eventi ondosi estremi dal settore di traversia principale sono stati definiti in 4 punti di calcolo caratteristici, applicando il coefficiente di diffrazione generata dal promontorio della Falcata, ai relativi eventi estremi al largo (v. tabella seguente).

Periodo di ritorno (anni)	H _s punto 1 (m)	H _s punto 2 (m)	H _s punto 3 (m)	H _s punto 4 (m)
1	1.4	0.9	0.6	0.5
5	1.8	1.1	0.8	0.6
10	1.9	1.2	0.9	0.7
20	2.1	1.4	1.0	0.7
50	2.4	1.5	1.1	0.8
100	2.5	1.6	1.2	0.8

Settore principale – Valori estremi nel tratto di litorale a nord del promontorio della Falcata

Gli eventi ondosi significativi provenienti dal settore di traversia secondario sono stati definiti mediante *hindcasting* basato sui dati di vento del RMN. Per i venti di intensità più elevata registrati (18 m/s) si sono ottenute onde di 0.7 m (provenienza 45°N).

- Tratto di costa a sud del promontorio della Falcata: sono rilevanti solo i fenomeni ondosi provenienti dal settore di traversia principale. Si è ritenuto prudenzialmente, considerata la ripidità dei fondali del versante esposto a questo settore, di considerare il clima sottocosta del tutto analogo a quello al largo definito nei paragrafi precedenti.

Tremestieri (cfr. Fig. 4.13)

- Gli eventi ondosi estremi dal settore di traversia principale sono stati definiti sulla base del clima ondoso UKMO al largo trasposto alla batimetrica -20m mediante apposita modellistica (che considera i fenomeni di rifrazione e shoaling). I risultati ottenuti mediante *fitting* alla distribuzione di Weibull sono riportati nella seguente tabella.

periodo di ritorno (anni)	H_s (m)	T_p (s)
1	2.8	8.4
5	3.4	9.3
10	3.7	9.7
20	4.0	10.1
50	4.3	10.5
100	4.6	10.8

Settore principale – Valori estremi in prossimità di Tremestieri (batimetrica -20 m) associati a diversi periodi di ritorno. Settore 150°N – 200°N - Direzione media 175°N

Gli eventi ondosi significativi provenienti dal settore di traversia secondario sono stati definiti mediante *hindcasting* basato sui dati di vento del RMN. Per i venti di intensità più elevata registrati (18 m/s) si sono ottenute onde di 0.7 m (provenienza 45°N).

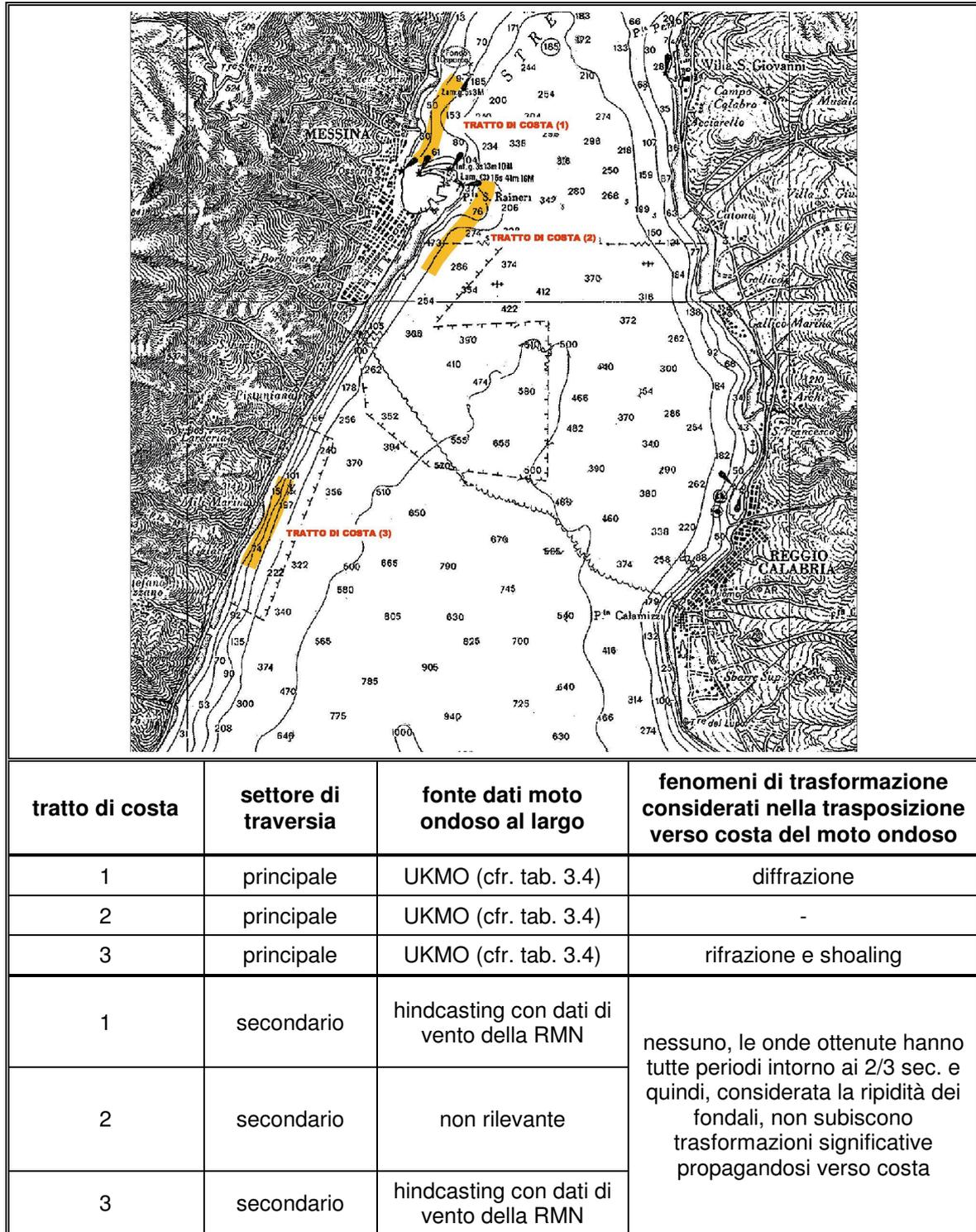


Fig. 4.1 Riepilogo metodi utilizzati per il calcolo del moto ondoso sottocosta nei diversi tratti costieri di interesse

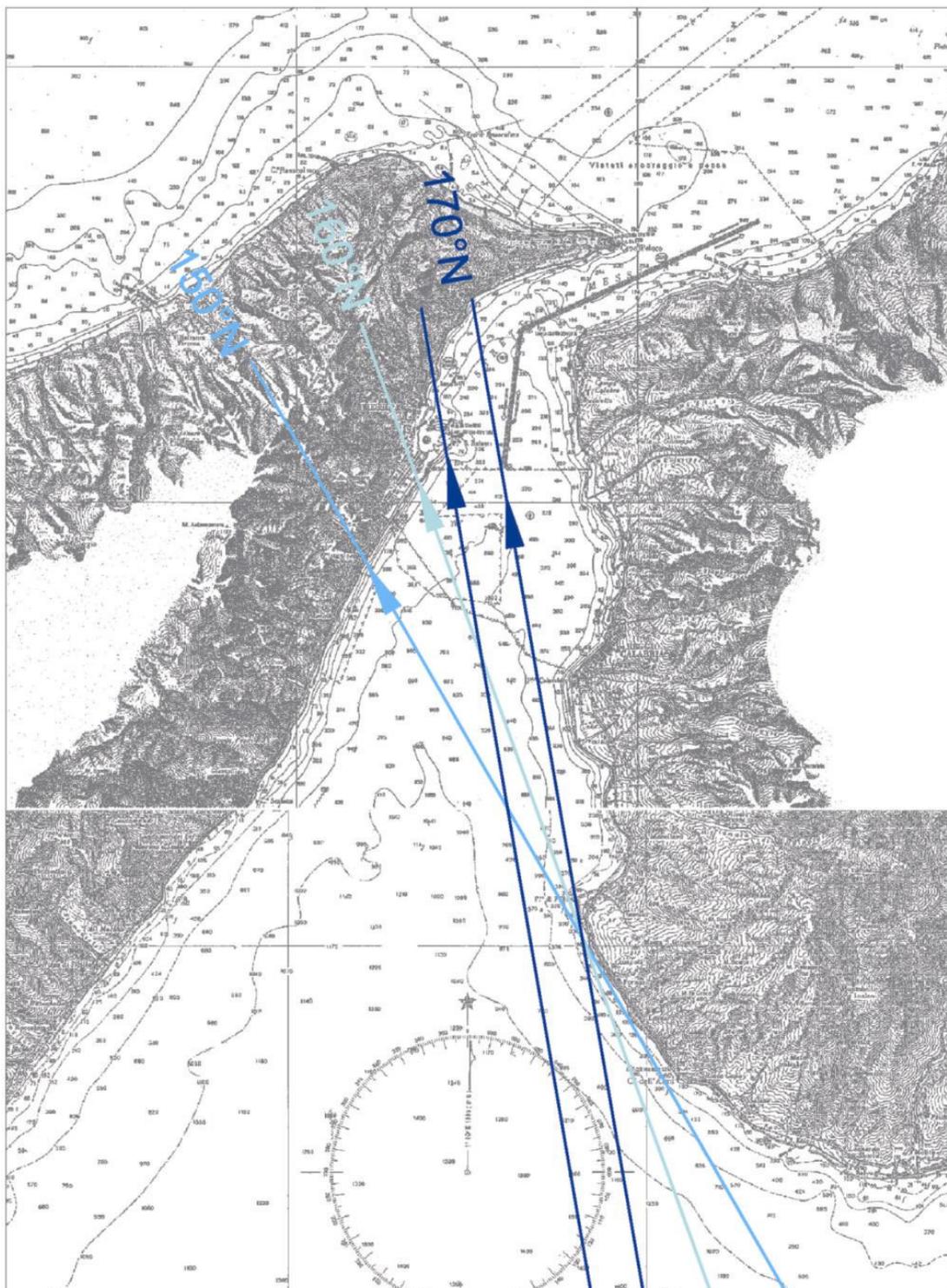


Fig. 4.2 Esposizione della costa a nord del promontorio della Falcata agli eventi ondosi provenienti dal settore di traversia principale

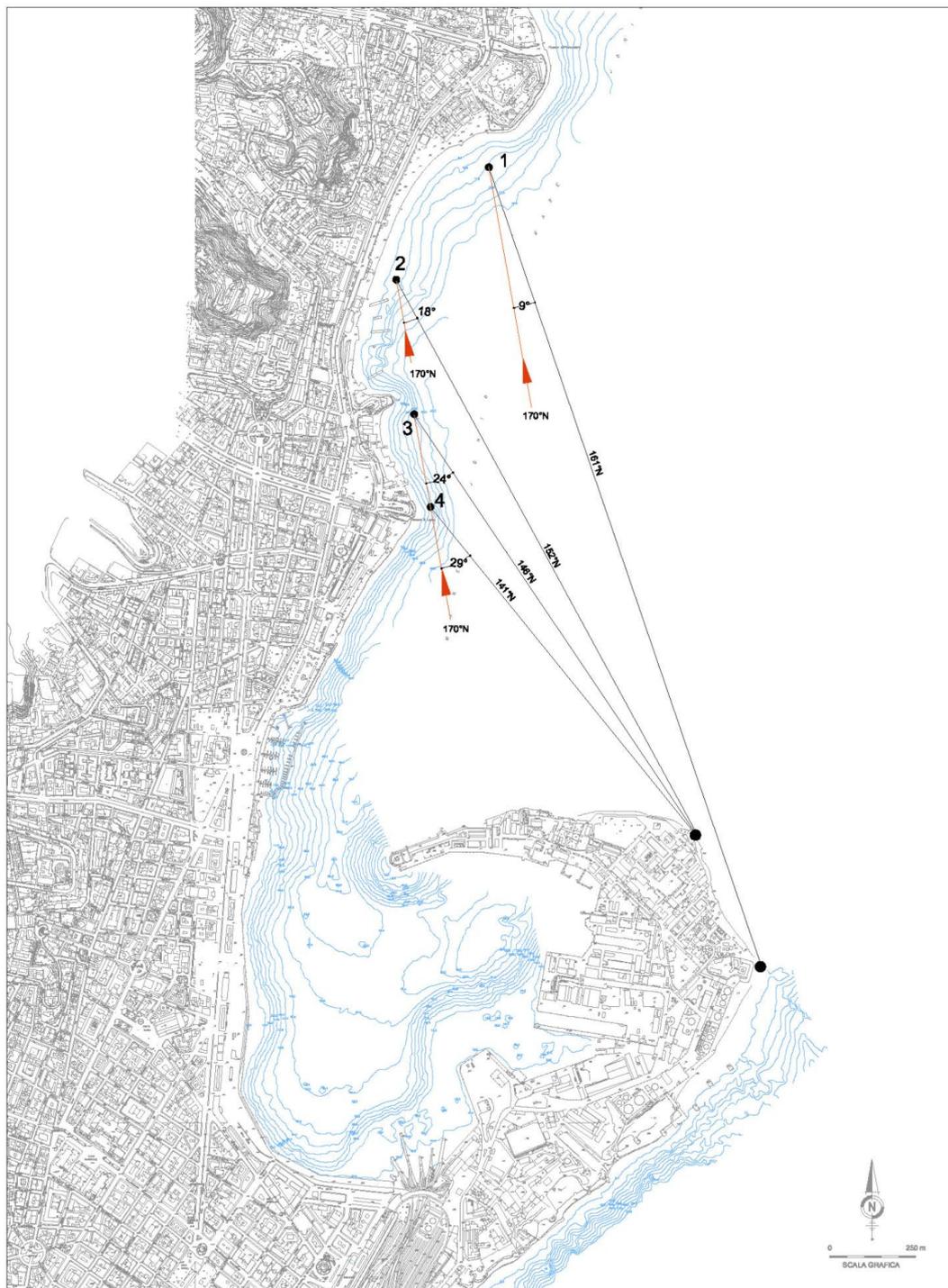


Fig. 4.3 Litorale a nord della Falcata – Punti di calcolo dei coefficienti di diffrazione

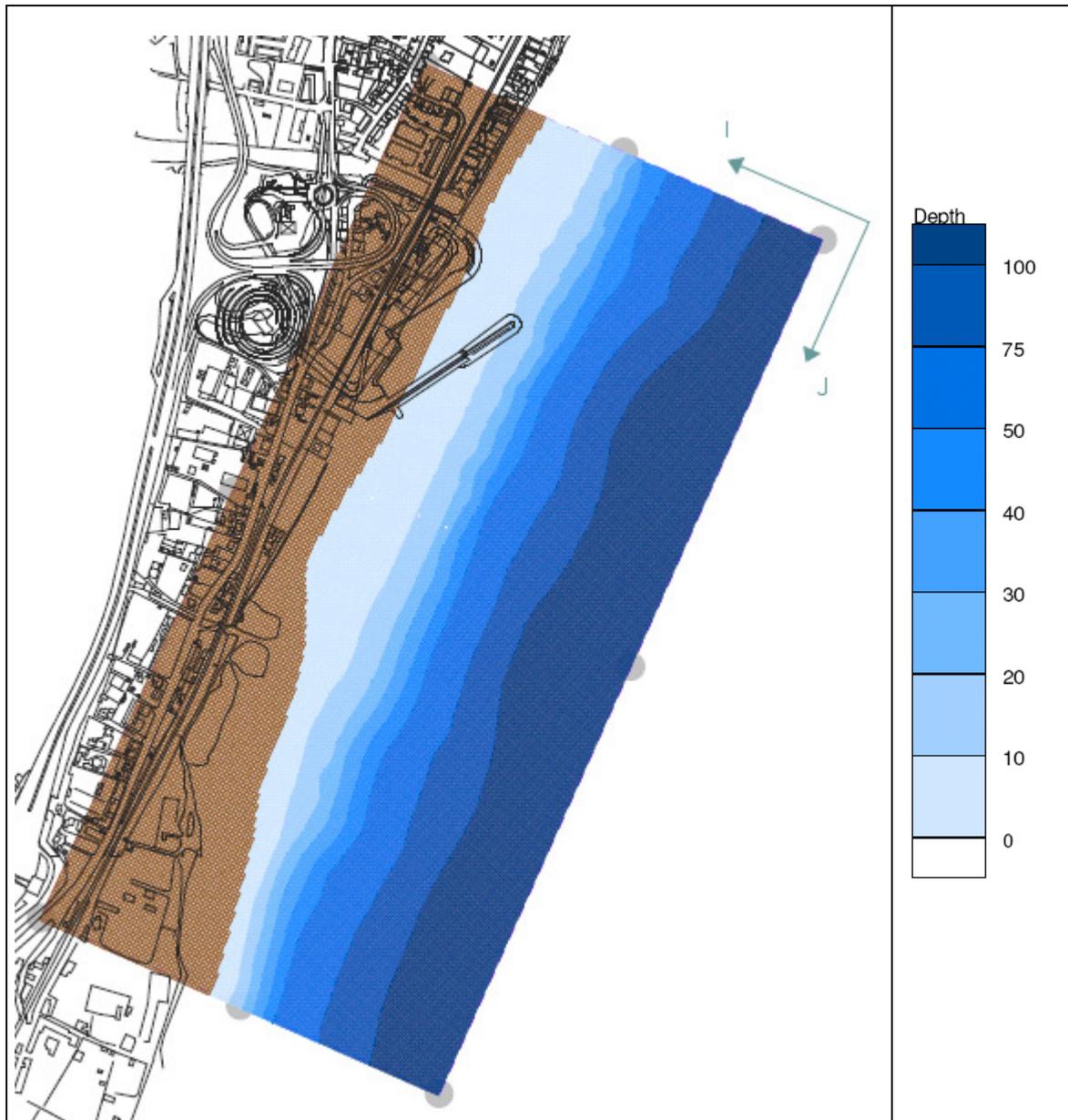


Fig. 4.4 Tremestieri - Batimetria utilizzata nel modello di propagazione ondosa

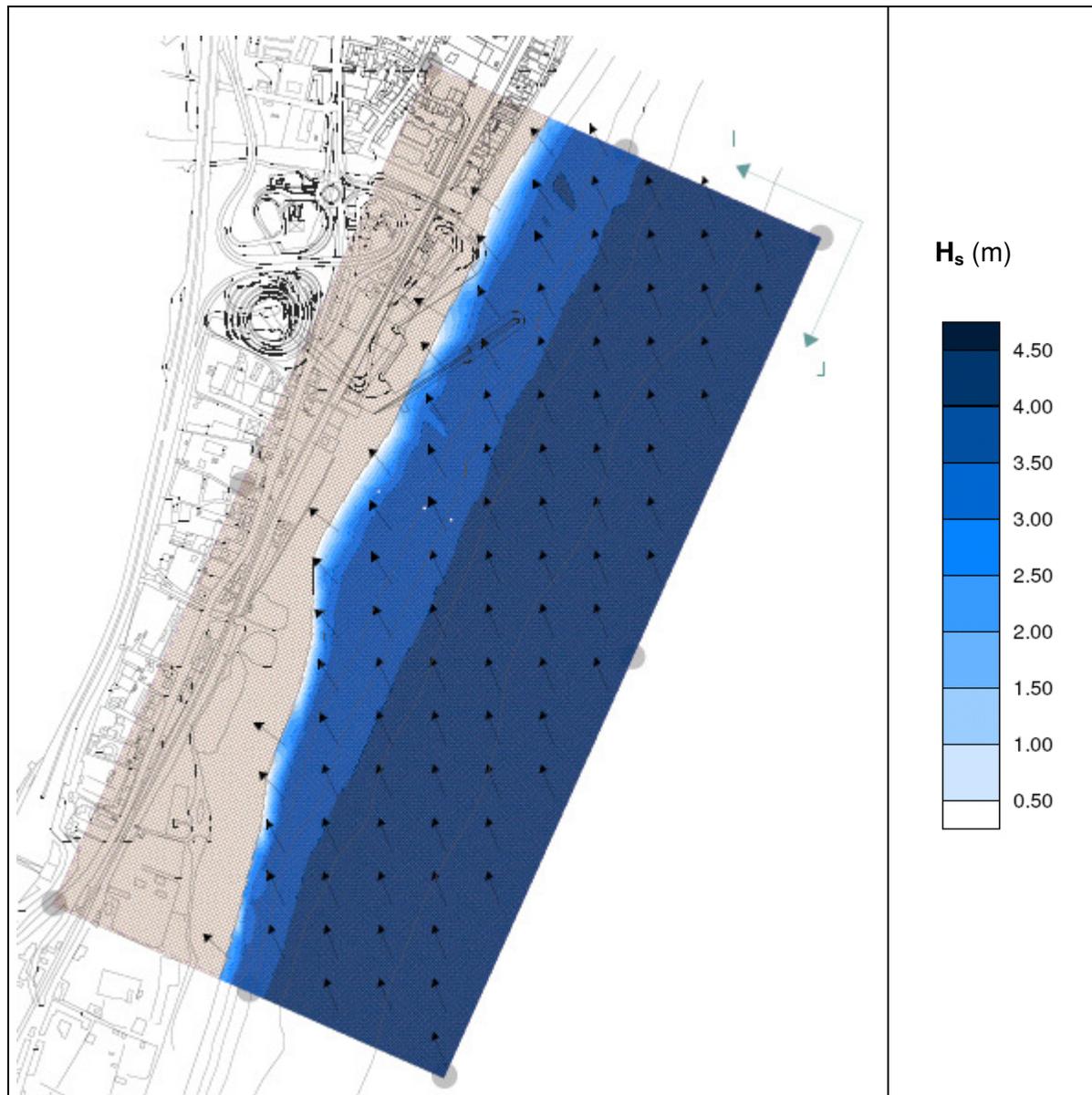


Fig. 4.5 Tremestieri - Propagazione verso costa dell'onda con $H_s = 4,25\text{m}$ - $T_p = 10,4$ - direzione 160°N - ALTEZZA DELL'ONDA

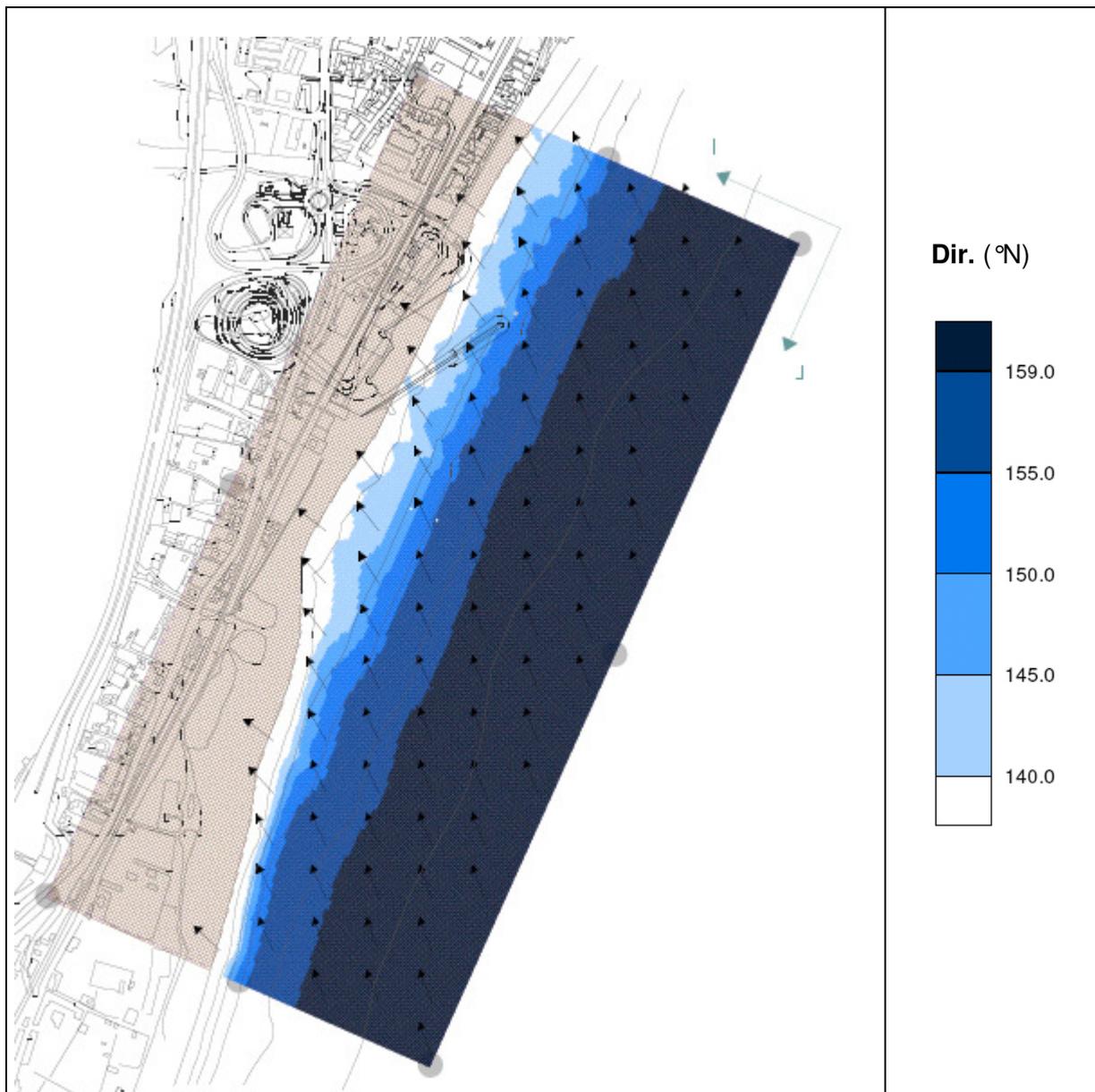


Fig. 4.6 Tremestieri - Propagazione verso costa dell'onda con $H_s = 4,25m$ - $T_p = 10,4$ - direzione $160^\circ N$ – DIREZIONE DELL'ONDA

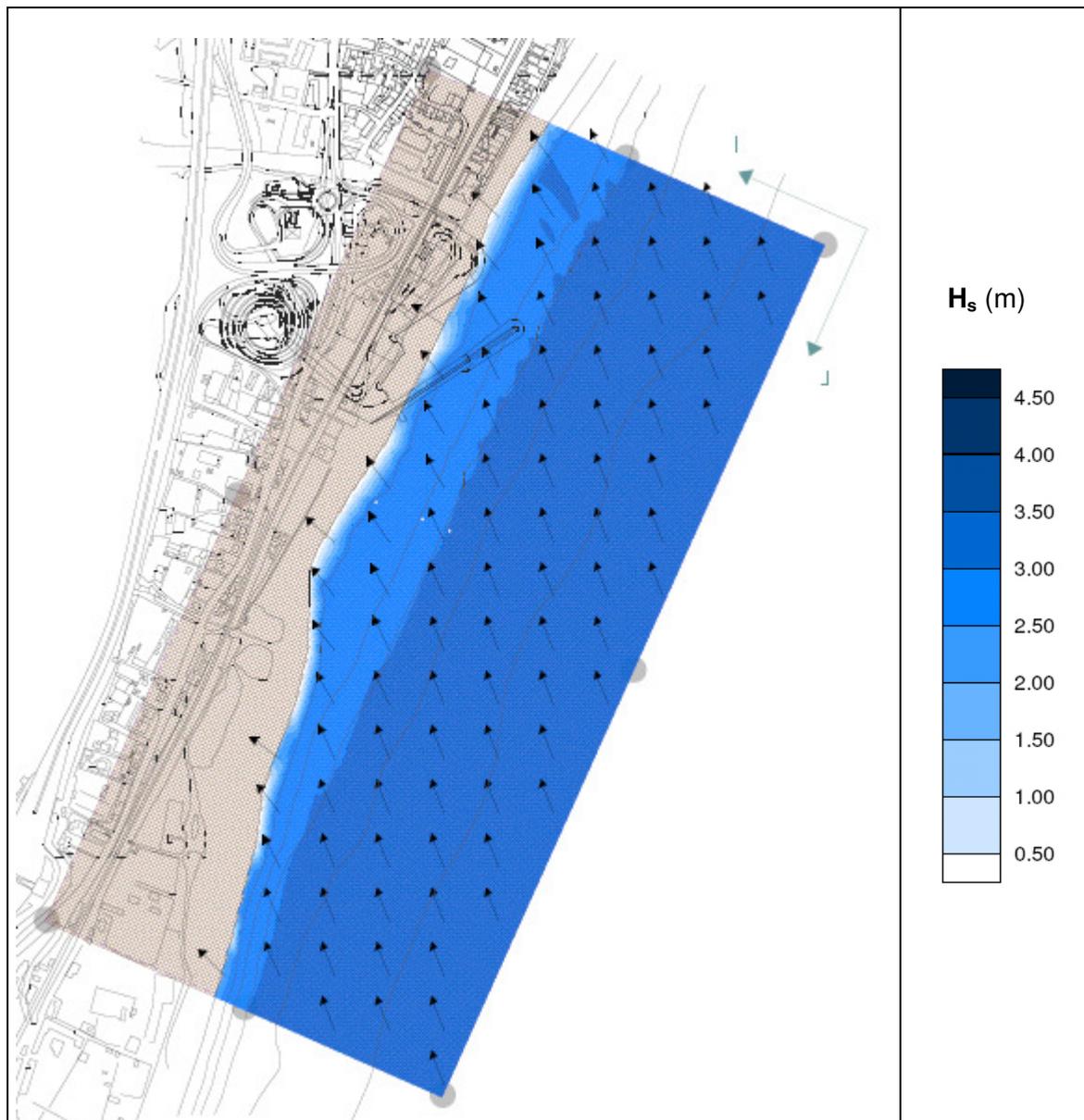


Fig. 4.7 Tremestieri - Propagazione verso costa dell'onda con $H_s = 3,25\text{m}$ - $T_P = 9,1$ - direzione 160°N - ALTEZZA DELL'ONDA

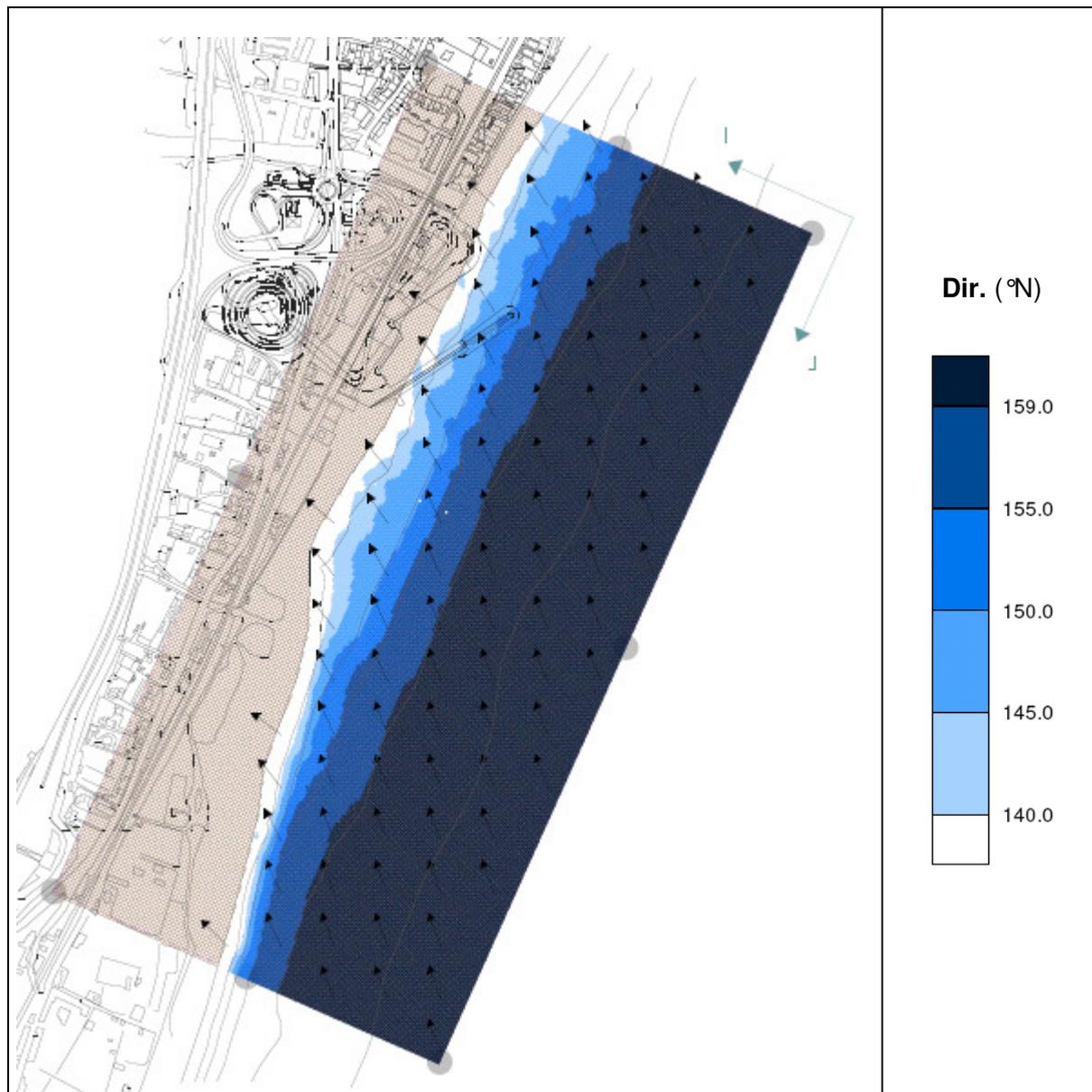


Fig. 4.8 Tremestieri - Propagazione verso costa dell'onda con $H_s = 3,25\text{m}$ - $T_P = 9,1$ - direzione 160°N – DIREZIONE DELL'ONDA

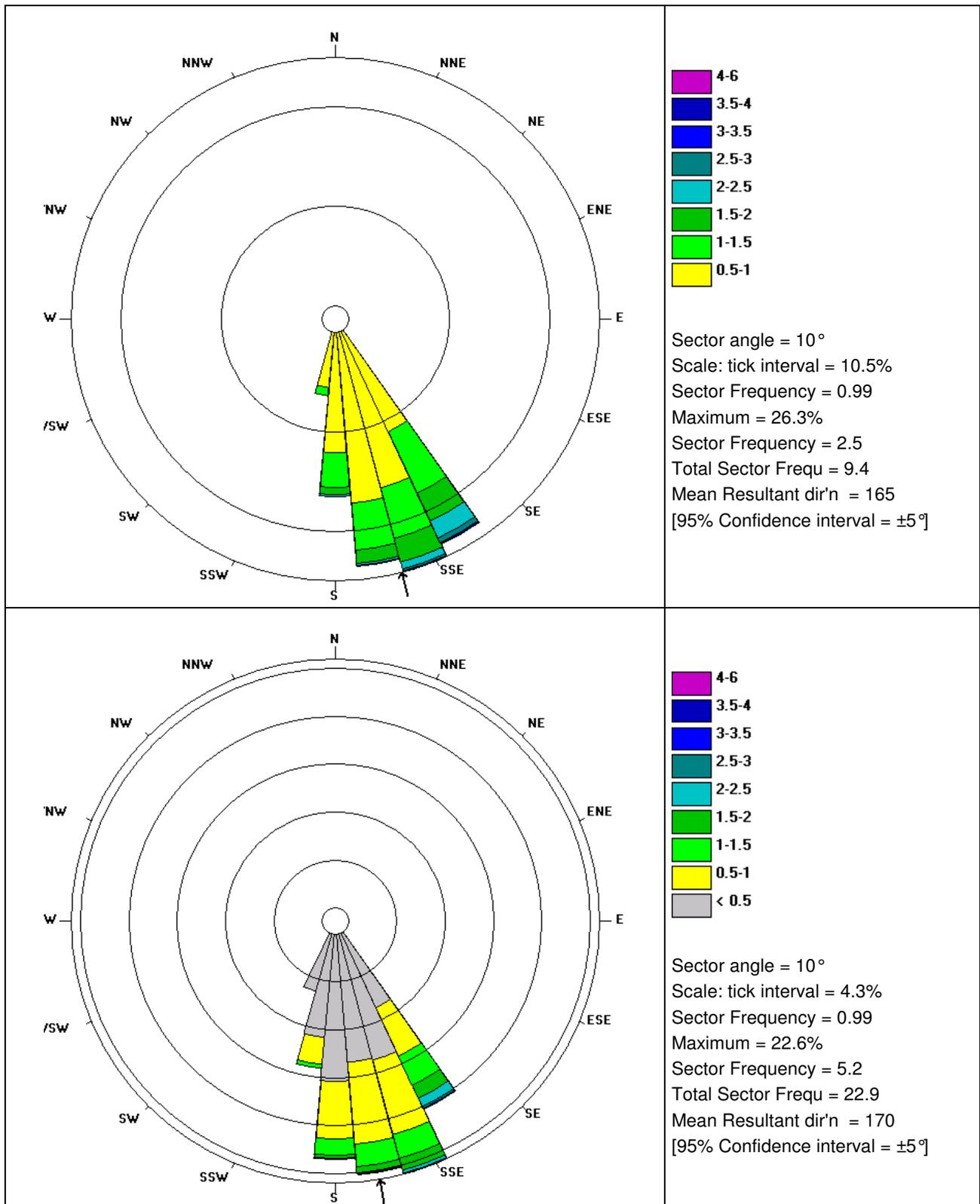


Fig. 4.9 Tremestieri – Percentuali di occorrenza delle altezze significative aventi livelli e direzioni di provenienza assegnati in prossimità della batimetrica – 20 m

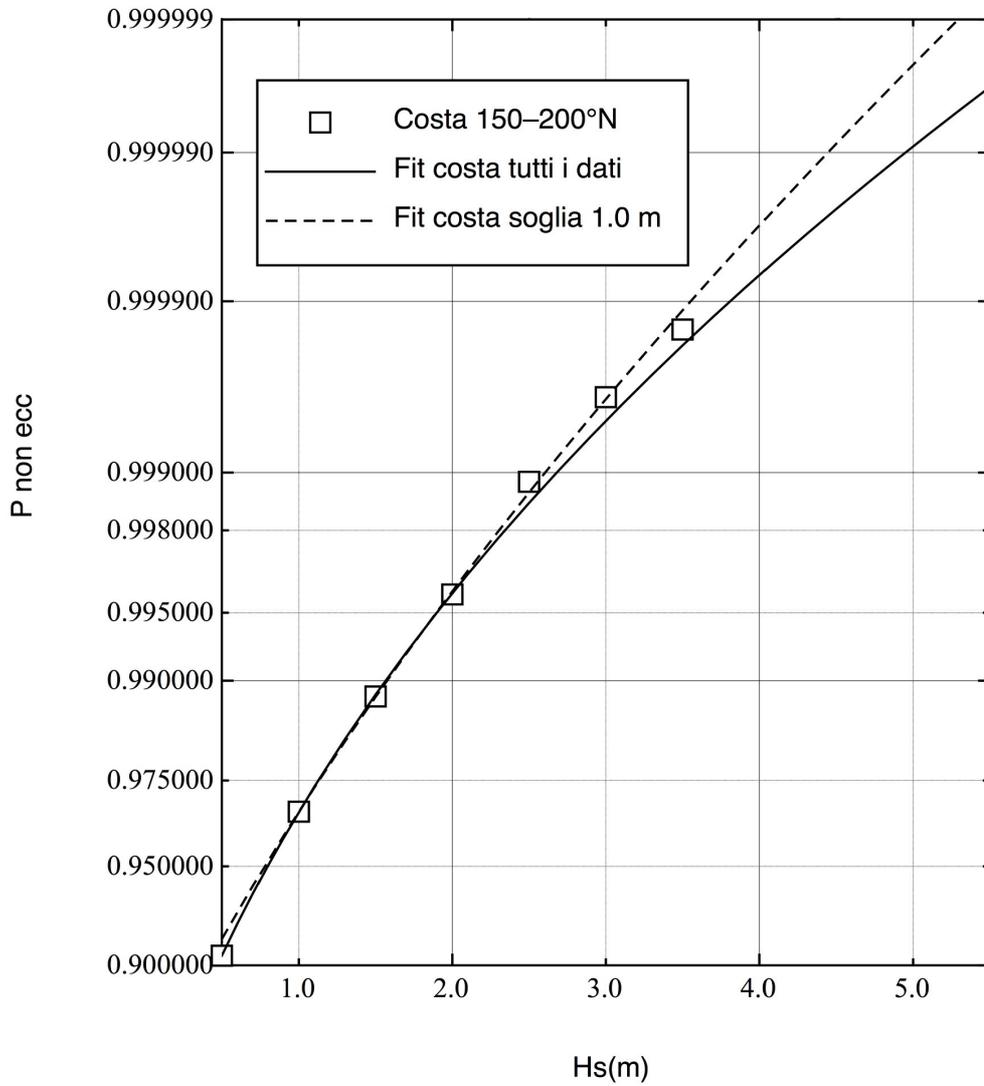


Fig. 4.10 Tremestieri – Distribuzione di Weibull del clima ondoso in prossimità della batimetrica -20 m

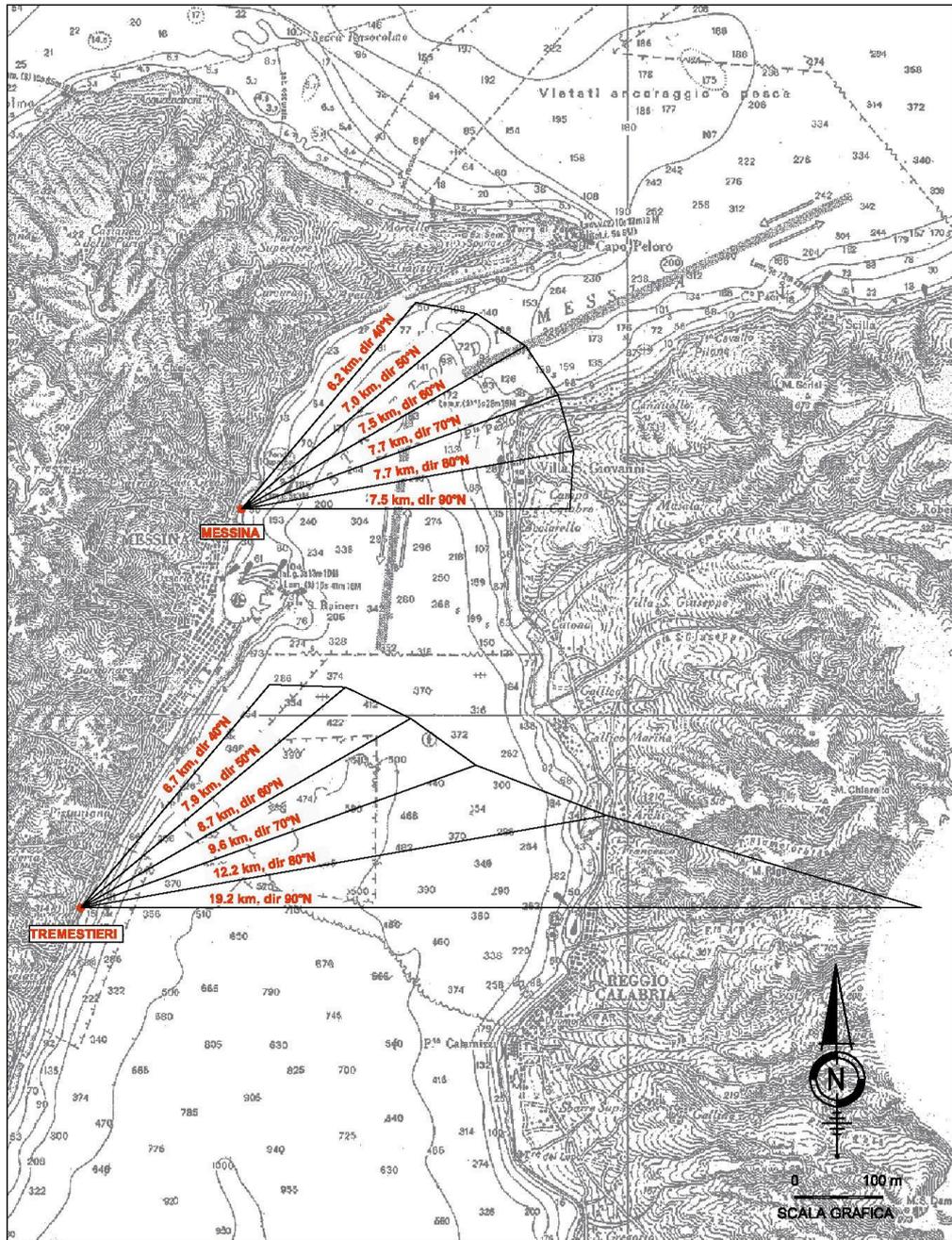


Fig. 4.11 *Fetches* efficaci significativi del I° quadrante per Messina e Tremestieri

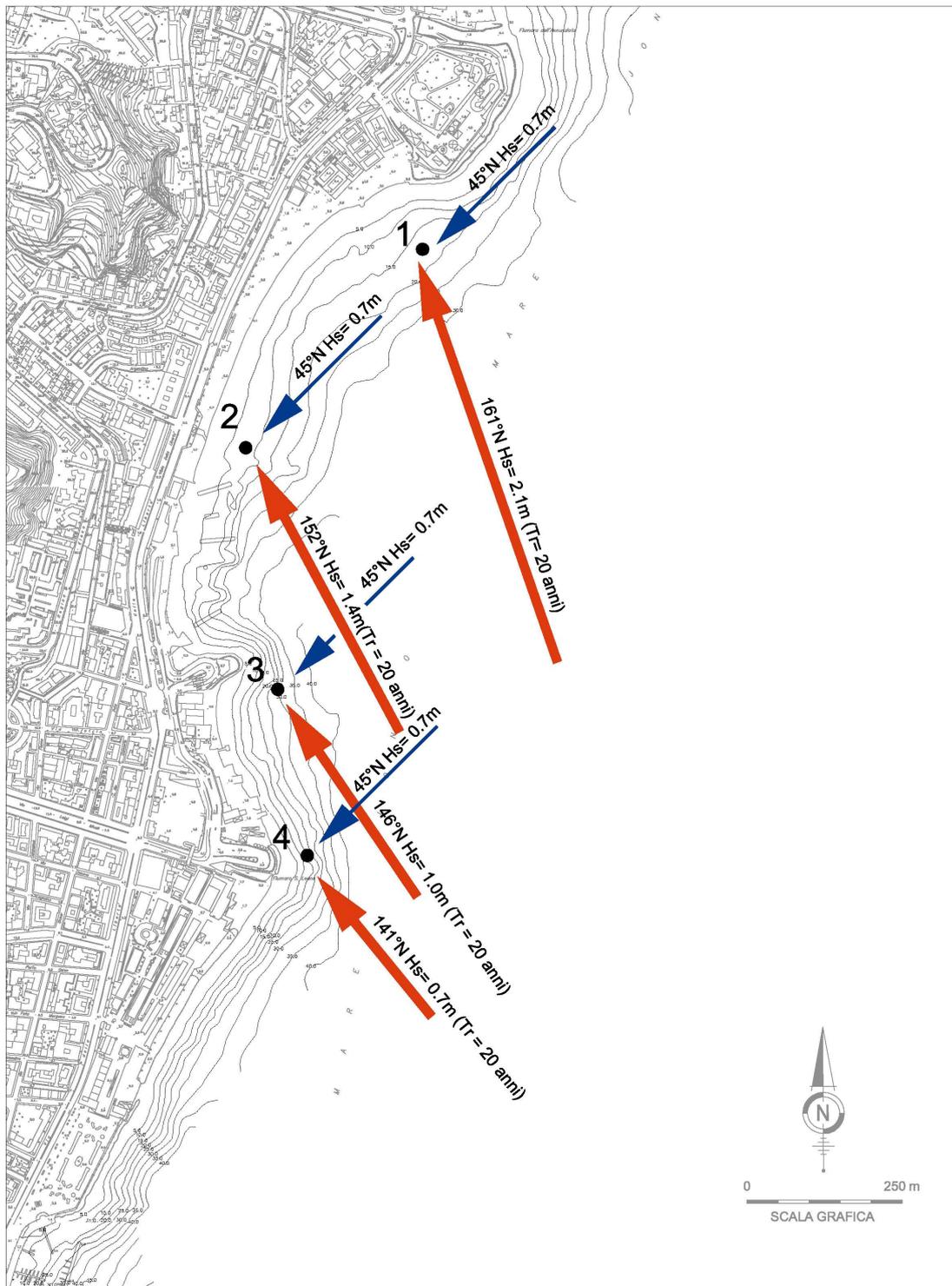


Fig. 4.12 Riepilogo eventi ondosi a nord del promontorio della Falcata

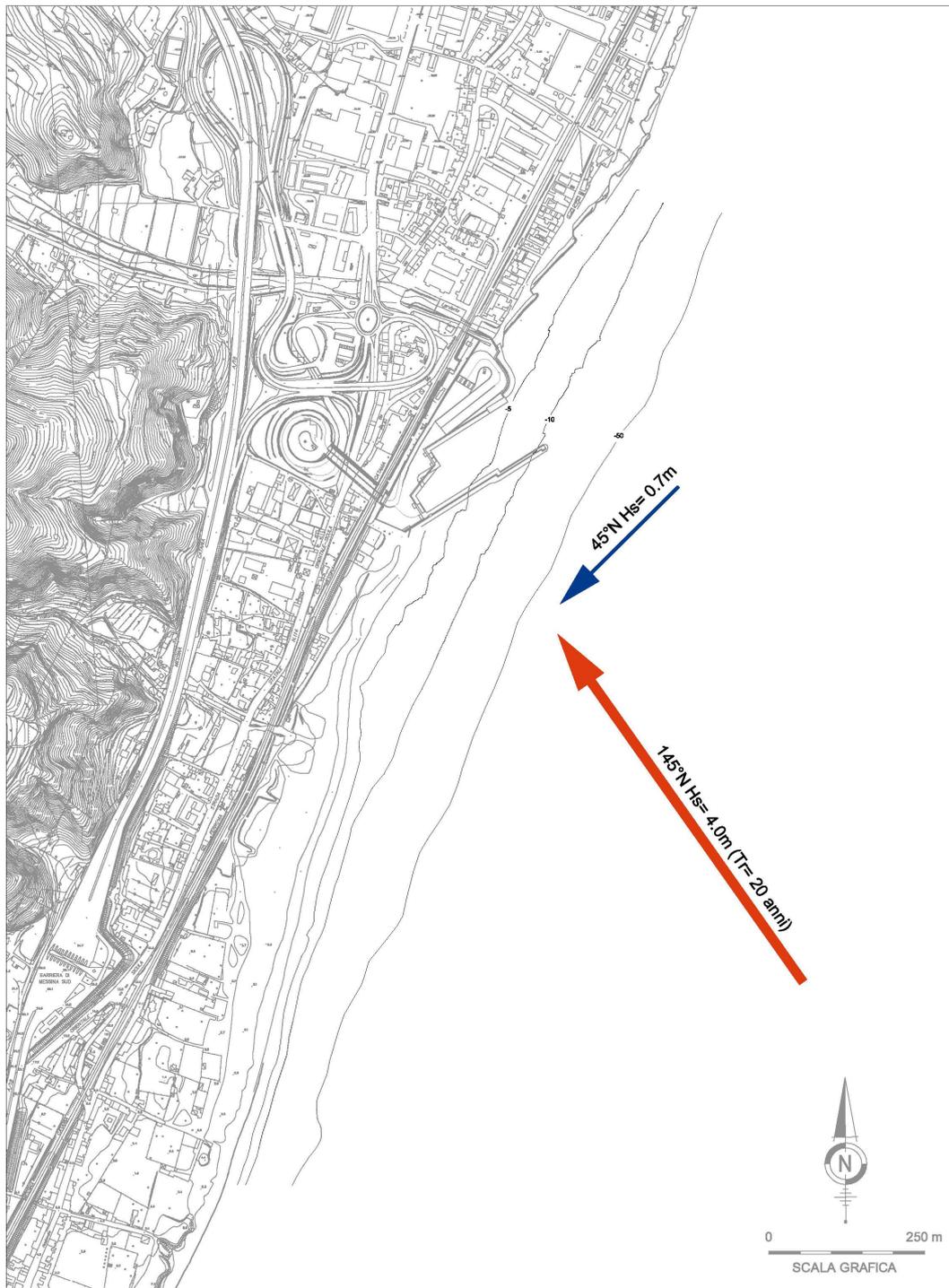


Fig. 4.12 Riepilogo eventi ondosi Tremestieri

Dir. (°N)	Classi di altezza d'onda significativa								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	
150	1.702	1.105	0.662	0.310	0.186	0.044	0.009	0.012	4.031
160	2.704	1.599	0.520	0.245	0.071	0.021	0.009	0.003	5.172
170	2.675	1.699	0.464	0.133	0.021	0.006	0.006		5.004
180	3.050	1.191	0.352	0.065	0.021	0.003			4.682
190	2.152	0.550	0.086						2.787
200	1.232								1.232
Totale	13.516	6.145	2.084	0.754	0.299	0.074	0.024	0.015	22.909

Tab. 4.1 Tremestieri – Percentuali di occorrenza per classi di altezza d'onda e direzione in prossimità della batimetrica –20 m

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] AAVV – Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico
Regione Sicilia, Assessorato Territorio e Ambiente, 2004
- [2] AAVV – Atlante delle onde dei mari italiani
APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 2004
- [3] AAVV – Atlante del mare
APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 2005
- [4] Y. Goda – Random seas and design of maritime structures
University of Tokyo press, 1985
- [5] AAVV – Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering
Centre for civil engineering research and codes – Construction industry research
and information association, London, 1991
- [6] AAVV – Shore protection manual
Department of the army – US Army Corps of Engineers, Washington, 1985