



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di Regime e Protezione dei Litorali

CENNI DI METEOROLOGIA E CLIMA MARINO

Prof. Ing. Enrico FOTI

GENERAZIONE E CARATTERISTICHE DEI VENTI (1/6)

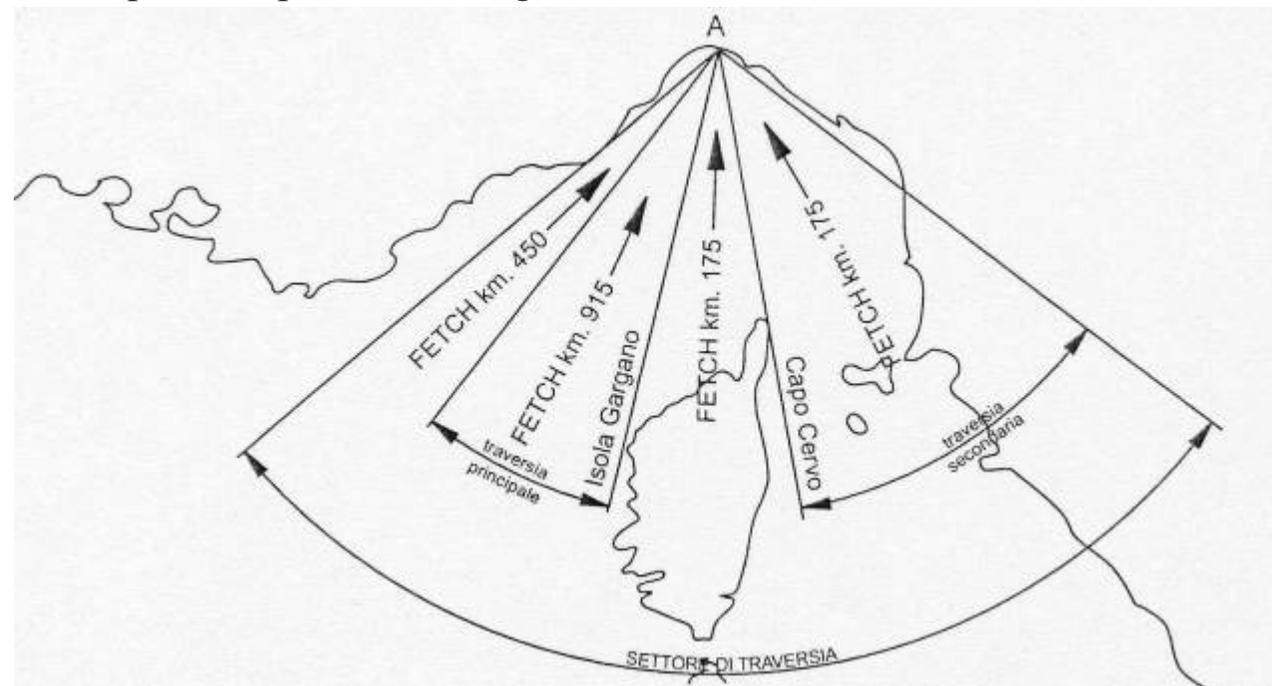
I venti provenienti dal largo, detti foranei, si possono suddividere in:

VENTI REGNANTI se presentano un'alta frequenza di apparizione (oltre il 50%);

VENTI DOMINANTI se sono caratterizzati da alte velocità (>20 m/s)

I venti che eventualmente presentassero contemporaneamente le due caratteristiche di alta frequenza e velocità sono detti *prevalenti*.

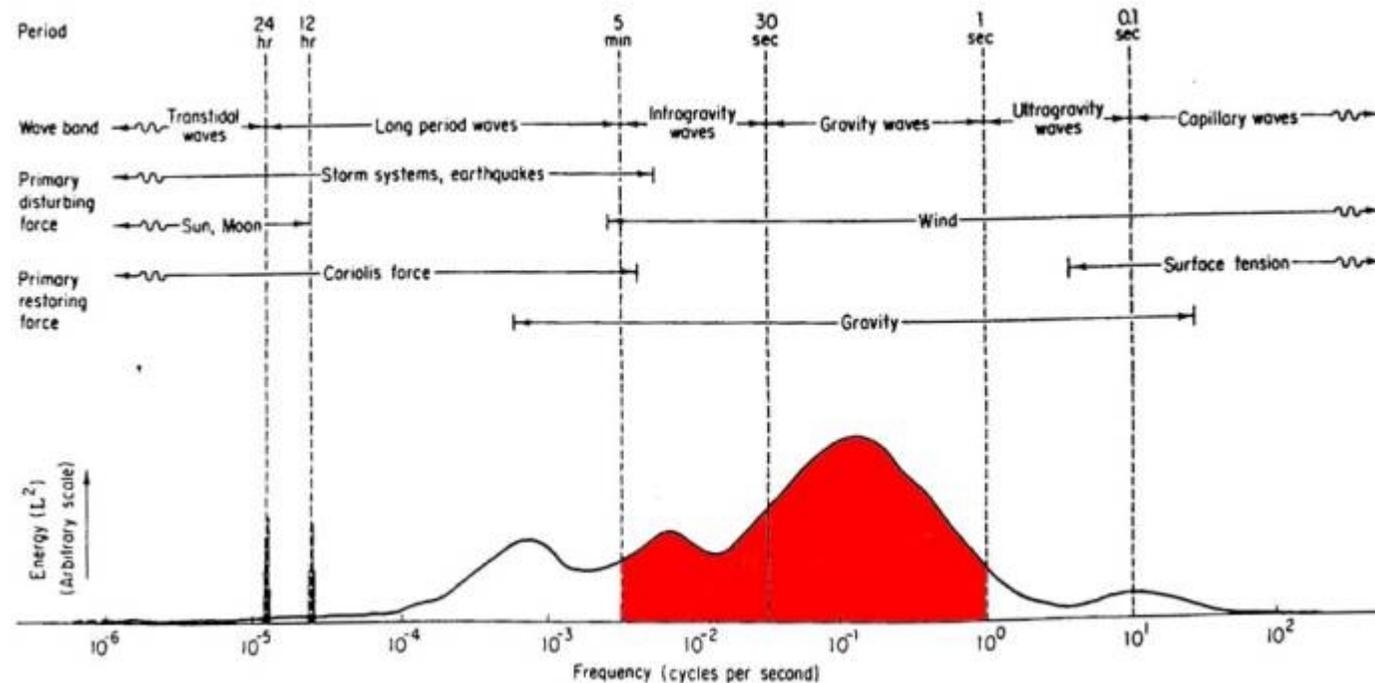
Si definisce *settore di traversia* di un paraggio A, il settore angolare di centro A comprendente tutte le direzioni da cui possono provenire le agitazioni ondose determinate dai venti foranei.



GENERAZIONE E CARATTERISTICHE DEI VENTI (2/6)

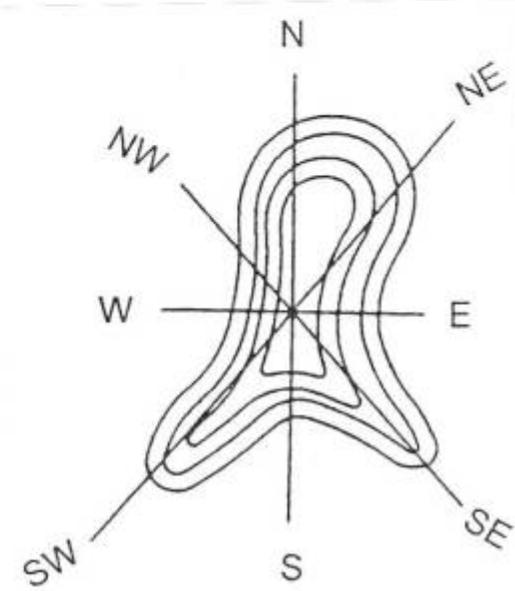
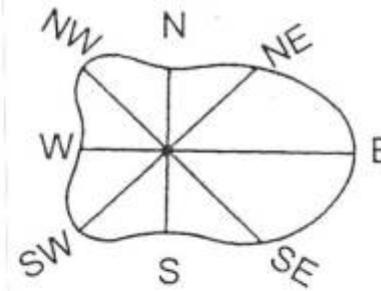
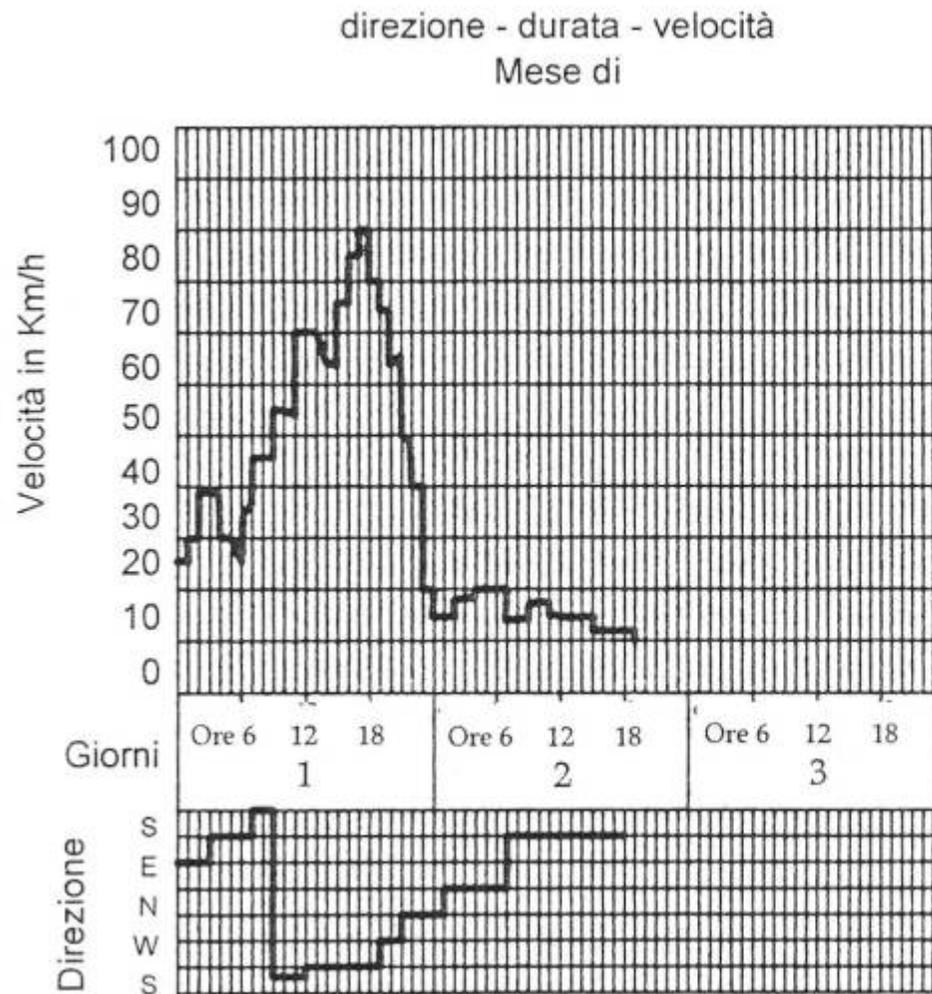
Il settore di traversia si usa dividere in *settore di traversia principale*, in cui spirano i venti dominanti, e di *traversia secondaria*, in cui spirano i venti regnanti. I due settori vengono ovviamente a sovrapporsi nella zona dei venti prevalenti.

Le agitazioni ondose su cui si vuole focalizzare l'attenzione, sono generate dai venti. Tuttavia non esiste sempre coincidenza tra le direzioni delle onde e dei venti, poiché un moto ondoso proveniente dal largo può mutare la propria direzione di propagazione, per esempio, a causa della configurazione batimetrica dei fondali del paraggio su cui giunge.



GENERAZIONE E CARATTERISTICHE DEI VENTI (3/6)

La direzione, la durata e la velocità dei venti sono rappresentate su diagrammi polari.



GENERAZIONE E CARATTERISTICHE DEI VENTI (4/6)

Un esempio di classifica delle intensità del vento è fornito dalla scala dell'ammiraglio Beaufort. Detta scala si basa sulla descrizione degli effetti del vento sulla superficie del mare.

SCALA DEL VENTO DELL'AMMIRAGLIO BEAUFORT				
Forza del vento in gradi Beaufort	Denominazione del vento	Velocità del vento		
		Nodi	Km/h	m/sec
0	Calma	< 1	< 1	> 0,2
1	Bava di vento	1 - 3	1-5	0,3-1,5
2	Brezza leggera	4 - 6	6-11	1,6-3,3
3	Brezza tesa	7 - 10	12-19	3,4-5,4
4	Vento moderato	11 - 16	20-28	5,5-7,9
5	Vento teso	17 - 21	29-38	8,0-10,7
6	Vento fresco	22 - 27	39-49	10,8-13,8
7	Vento forte	28 - 33	50-61	13,9-17,1
8	Burrasca	34 - 40	62-74	17,2-20,7
9	Burrasca forte	41 - 47	75-88	20,8-24,4
10	Tempesta	48 - 55	89-102	24,5-28,4
11	Tempesta violenta	56 - 63	103-117	28,5-32,6
12	Uragano	> 64	< 118	>32,7

Forza del vento in gradi Beaufort	Descrizione degli effetti del vento	
	A terra	In costa
0	Calma, il fumo si innalza verticalmente;	Calma (bonaccia, le imbarcazioni non governano);
1	La direzione del vento è indicata dal fumo, ma non dalle banderuole;	Le imbarcazioni hanno appena un po' di abbrivio;
2	Il vento è percepibile al volto, le foglie tremolano, le comuni banderuole sono messe a movimento;	Il vento gonfia le vele delle imbarcazioni che filano a circa 1-2 nodi;
3	Agita continuamente le foglie e i ramoscelli, dispiega le bandiere leggere;	Le imbarcazioni cominciano a sbandare e filano a circa 3-4 nodi;
4	Solleva polvere e pezzi di carta, agita i ramoscelli;	Vento maneggevole, le imbarcazioni portano tutte le vele con una buona inclinazione;
5	Gli arbusti con fogliame cominciano a ondeggiare: le acque dei bacini interni si increspano;	Le imbarcazioni riducono la loro velatura;
6	Agita i rami grossi, i fili metallici sibilano: rende difficile l'uso dell'ombrello;	Le imbarcazioni prendono due mani di terzaroli alla vela maestra, la pesca richiede precauzioni;
7	Agita interi alberi, si ha difficoltà a camminare contro vento;	Le imbarcazioni restano in porto, quelle in mare si mettono alla cappa;
8	Rompe rami di alberi, è quasi impossibile camminare contro vento;	Tutte le imbarcazioni dirgono in porto (se è vicino)
9	Causa leggeri danni ai fabbricati (svelle grondaie, tegole e camini);	
10	Raro all'interno della terraferma, sradica alberi, causa notevoli danni ai fabbricati;	
11	Molto raro, causa estese devastazioni	
12	—	

GENERAZIONE E CARATTERISTICHE DEI VENTI (5/6)

I venti prendono il nome dalla direzione di provenienza. La *rosa nautica dei venti* rappresenta l'insieme di tali direzioni.

I venti principali:

CARDINALI

da Nord tramontana
da Est levante
da Sud mezzogiorno
da Ovest ponente

LATERALI

da NE grecale
da SE scirocco
da SO libeccio
da NO maestrale



GENERAZIONE E CARATTERISTICHE DEI VENTI (6/6)

L'aria può muoversi verso l'alto, verso il basso, non meno che orizzontalmente. Comunemente la parola vento si usa solamente per i movimenti orizzontali. Negli altri casi si usa il termine di corrente.

Se la terra e l'atmosfera fossero sempre (e in ogni luogo della superficie terrestre) alla stessa temperatura, non ci sarebbero spostamenti d'aria da una regione all'altra e, pertanto, non esisterebbero i venti.

La loro genesi è pertanto da attribuirsi alla differenza di temperatura esistente tra la superficie terrestre e l'atmosfera, entrambe riscaldate dal sole, ma in maniera diversa.

L'aria più calda (meno densa) genera una corrente ascensionale che, a sua volta produce una zona di pressione relativamente più bassa, verso la quale, quindi, si determina un movimento di richiamo dell'aria superficiale.

VENTO GEOSTROFICO, VENTO DI GRADIENTE E VENTO REALE (1/2)

Da quanto anzi detto si può affermare che il vento è il risultato degli sforzi della natura per eliminare i gradienti di pressione. La sua traiettoria è anche influenzata dalla rotazione terrestre. Infatti nel nostro emisfero l'aria viene deviata verso destra.

In prima approssimazione si può supporre che il moto del vento sia parallelo a due isobare contigue (cioè a dire che le isobare rappresentino dei veri e propri corridoi), con una velocità proporzionale - ad ogni latitudine - alla interdistanza tra le isobare stesse. In particolare, dall'equilibrio approssimato del gradiente di pressione con l'accelerazione prodotta dalla rotazione della terra (Coriolis), nel caso di isobare rettilinee e parallele, nasce il vento geostrofico U_g definito dalla relazione:

$$U_g = \frac{1}{\rho_a (2\Omega \sin \phi)} \frac{\Delta p}{\Delta n}$$

In cui Ω è la velocità angolare della terra pari a 7.292×10^{-5} rad/s (si ricordi che il raggio della terra è assunto convenzionalmente pari a $R=6'380'000$ m), ϕ la latitudine (misurata in gradi), ρ_a la densità dell'aria (1.25kg/m^3) e Δp la differenza di pressione (misurata in Pa), Δn la distanza (in m) tra le due isobare che danno luogo a Δp .

VENTO GEOSTROFICO, VENTO DI GRADIENTE E VENTO REALE (2/2)

I rilievi del vento possono essere riportati in carte dette sinottiche che riportano gli andamenti delle linee di ugual pressione del vento con una scansione di 3, 4 o 8 millibar (1 millibar=10²Pa). Per quanto concerne la direzione del vento queste carte vanno lette ricordando la legge di Ballot (1857):

*“con le spalle al vento, nell'emisfero nord,
la bassa pressione è a sinistra e l'alta pressione è a destra”.*

$$U_g = \frac{1}{\rho_a (2\Omega \sin\phi)} \frac{\Delta p}{\Delta n}$$

Esempio:

Latitudine = 35°

Longitudine = 130°

$\Delta p = 3$ millibar

$\Delta n = R \tan(\theta)$ con $\theta = 1.125^\circ$

$U_g = 22.9$ m/s

DEL MARE PER LA PREVISIONE DEL MOTO ONDOSI (1/4)

L'attrito con la superficie del mare riduce sensibilmente la velocità del vento in aria libera. A circa 10m sopra il livello del mare, la velocità del vento (detto *vento reale*) è generalmente pari al 60-70% del valore in aria libera ed incontra le isobare con un angolo di circa 10°.

La differenza di temperatura mare-aria è indice di valutazione della stabilità della massa d'aria. Questa differenza viene usualmente riportata sulle carte sinottiche. Qualora non fosse disponibile tale informazione, la stessa si può desumere dalle carte climatiche delle temperature medie mensili (temperatura dell'acqua ~ costante).

Come si vedrà nel prosieguo del corso, per la ricostruzione del moto ondoso con metodi indiretti, è d'uso fare riferimento alla velocità del vento all'altezza di 10 m s.m.m.

Vediamo quindi come riportare le informazioni inerenti al vento -in genere misurate alle quote più diverse -alla quota di interesse.

DEL MARE PER LA PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO (2/4)

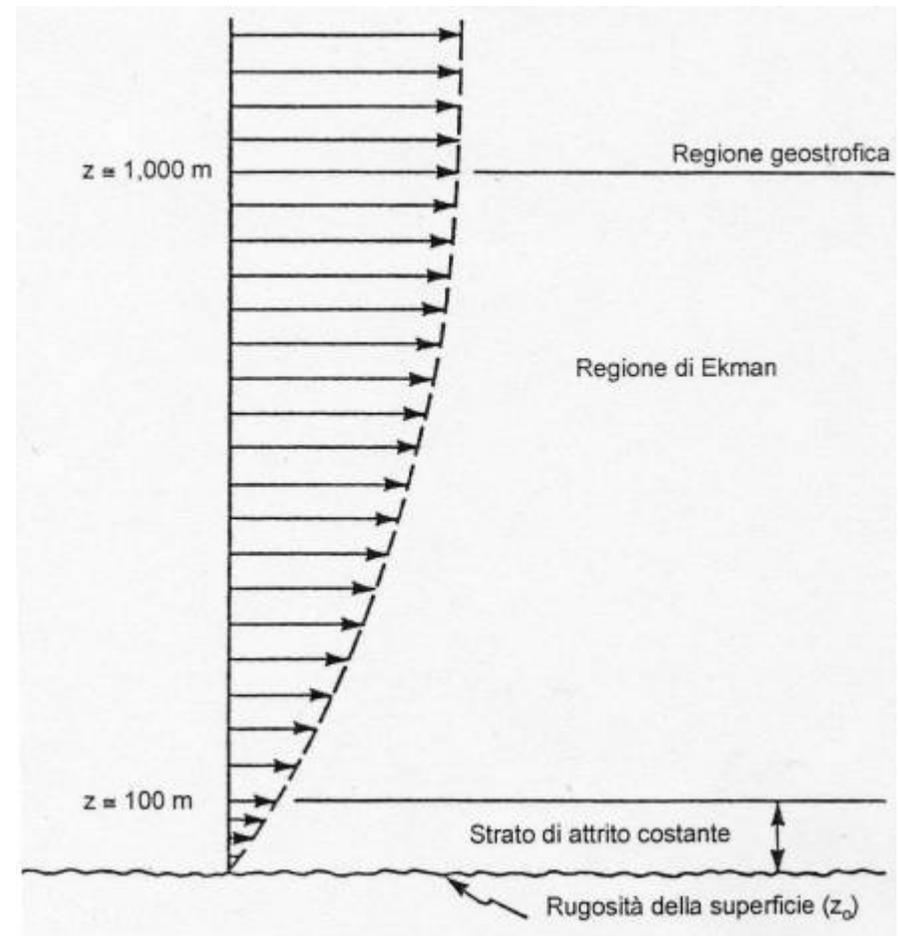
VARIAZIONI VERTICALI

Lo spessore dell'atmosfera a contatto con la superficie terrestre (sotto la regione geostrofica) può essere diviso in due regioni: uno strato di forza costante tra i 10 e i 100m in altezza, e lo strato di Ekman.

Nello strato di attrito costante, la variazione della velocità del vento lungo la verticale può essere espressa attraverso la seguente equazione:

$$U(z) = \frac{U^*}{k} \left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) + \psi \right]$$

In cui U^* è la velocità di attrito; k è la costante di V. Karman, z_0 è la scabrezza omogenea equivalente; ψ è una funzione che rappresenta gli effetti della stabilità della colonna d'aria sulla velocità del vento. In prima approssimazione ψ può essere considerata pari a $\psi = 8.5 k$.



DEL MARE PER LA PREVISIONE DEL MOTO ONDOSI (3/4)

VARIAZIONI VERTICALI

La velocità di attrito è definita come:

$$U^* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho_a}}$$

dove $\rho_a = 1.25 \text{ kg/m}^3$ è la densità dell'aria e τ_o è la tensione tangenziale all'interfaccia aria-acqua che può essere calcolata come:

$$\tau_o = \rho_a C(10) U_{10}^2$$

$C(10)$ è il coefficiente di attrito correlato alla velocità del vento U_{10} valutata alla quota anemometrica ($y=10\text{m}$). Per il calcolo di $C(10)$ vi sono varie formule, tra cui:

$$\frac{1}{\sqrt{C(10)}} = 5.75 \log \left[\frac{1}{A \cdot Fr^2 C(10)} \right] \quad \text{con} \quad A = 0.0156 \quad (\text{Wu, 1969})$$

$$C(10) = [0.63 + 0.066 U_{10}] \times 10^{-3} \quad \text{con} \quad U_{10} \quad \text{in} \quad (m/s) \quad (\text{Smith \& Banke, 1975})$$

$$C(10) = [0.80 + 0.065 U_{10}] \times 10^{-3} \quad \text{con} \quad U_{10} \quad \text{in} \quad (m/s) \quad (\text{Wu, 1969})$$

Essendo Fr un parametro adimensionale che ha la struttura di un numero di Froude:

$$Fr = Fr_{10} = \frac{U_{10}}{\sqrt{g y_a}} \quad \text{con} \quad y_a = 10m$$

DEL MARE PER LA PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO (4/4)

VARIAZIONI VERTICALI

Per quanto concerne il calcolo della scabrezza omogenea equivalente, è possibile utilizzare la seguente espressione:

$$z_o = 30y_a \exp\left(-\frac{k}{\sqrt{C(10)}}\right) \quad \text{con} \quad y_a = 10m \quad (\text{Bretscheider, 1962})$$

SINTESI

Per calcolare il profilo di velocità (cioè a dire nella regione a contatto con la superficie del mare) bisogna seguire la seguente procedura:

1. Si calcola $Fr(10)$ (introducendo una U_{10} di primo tentativo);
2. Noto $Fr(10)$ si calcola $C(10)$ e z_o . Quest'ultimo in funzione di $C(10)$;
3. Si determina τ_o e, quindi, U^* ;
4. Si determina U_g e la si confronta con il valore iniziale, si itera fino a convergenza, modificando U_{10} ;
5. **Si determina la U_{10} .**

La risoluzione dell'equazione precedente è possibile ma non sempre facile. Pertanto se z è pari o minore di 20 metri si può utilizzare la seguente espressione approssimata:

$$U(10) = U(z) \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7}$$

LE INFORMAZIONI SUI VENTI

La conoscenza del regime dei venti in un paraggio è premessa indispensabile per una corretta determinazione delle onde di largo. Le informazioni disponibili sui venti sono molto numerose. Tra queste è possibile distinguere:

- i) le registrazioni del vento in continuo alle stazioni di terra;
- ii) le analisi sinottiche del tempo, contenute nei bollettini meteorologici;
- iii) le informazioni sui venti fornite dalle navi in mare aperto (stime grossolane).

Gli Enti che si occupano di meteorologia e che raccolgono dati (con affidabile continuità) sono:

- il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (Ispettorato Telecomunicazioni e Assistenza al Volo - ITAV, P.zza Archivi, Roma EUR);
- l'Istituto Idrografico della Marina Militare (Genova, Ponte dei Mille, 1).

Il Servizio Meteorologico dell'A.M. acquisisce i dati di vento in superficie e in quota attraverso una rete di circa 150 stazioni dislocate sul territorio nazionale

L'Istituto Idrografico della Marina Militare acquisisce i dati di vento attraverso un numero ristrettissimo di stazioni costiere orientate verso i rilievi meteomarini

RACCOLTA DEI DATI ANEMOLOGICI

Il Servizio Meteorologico dell'A.M. acquisisce i dati di vento continuamente nelle 24 ore, emettendo i bollettini triorari SYNOP e bollettini orari ridotti (METAR): I SYNOP per le stazioni principali (~50) sono otto al giorno e precisamente alle ore: 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21 TMG.

I dati principali dei SYNOP sono:

- nuvolosità;
- visibilità;
- pressione atmosferica;
- temperatura dell'aria;
- vento (direzione e intensità, presentati come valori medi riferiti all'intervallo di 10 min. precedente l'ora di effettiva osservazione).

L'Istituto Idrografico della Marina Militare acquisisce i dati di vento attraverso un numero ristrettissimo di stazioni costiere orientate verso i rilievi meteomarini.

VALUTAZIONE DEL CAMPO DI VENTO (1/4)

In generale, come vedremo più in dettaglio nel seguito, per ricavare le caratteristiche dell'onda dalle informazioni meteorologiche, è necessario:

- a) stimare la direzione e la velocità media del vento in superficie;
- b) definire un fetch (area di perturbazione) sul quale il vento sia ragionevolmente costante in velocità e direzione e misurarne l'estensione;
- c) stimare la durata del vento sul fetch.

DIREZIONE E VELOCITÀ DEL VENTO

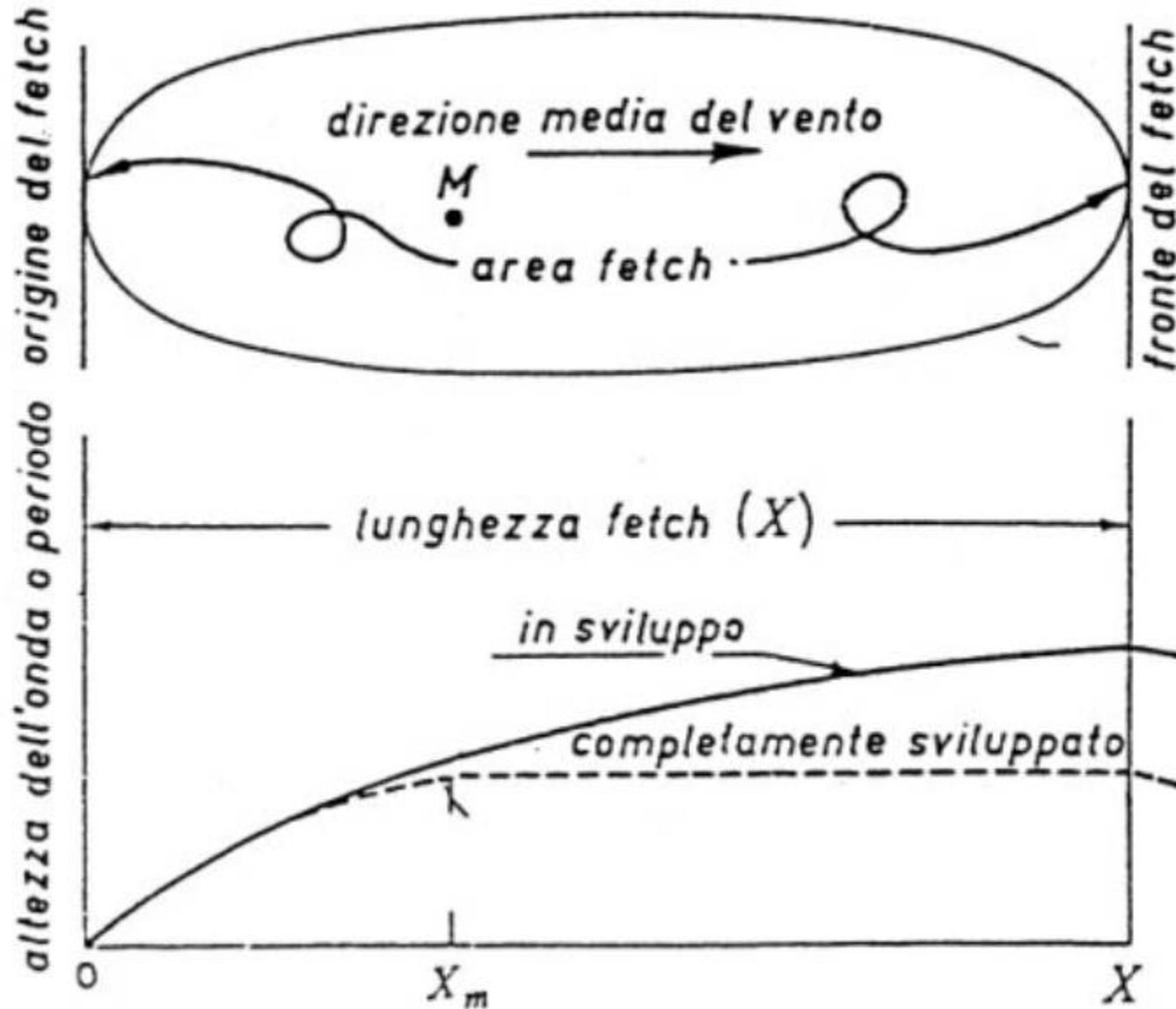
La direzione del vento sul mare forma con la direzione delle isobare un angolo di circa 10° verso le pressioni più basse.

Per quanto concerne la velocità, è da ricavare dalle registrazioni, riconducendosi con le metodologie prima menzionate alla quota di 10m s.l.m.

LUNGHEZZA DEL FETCH

Il fetch può essere definito come la zona di mare in cui il vento spira con intensità e direzione sostanzialmente costanti. Esso misura pertanto la lunghezza dell'area soggetta alla perturbazione nella direzione del vento. In generale detti confini sono determinati da linee di costa. La determinazione del fetch costituisce l'elemento più soggettivo della stima della perturbazione ondosa.

VALUTAZIONE DEL CAMPO DI VENTO (2/4)



VALUTAZIONE DEL CAMPO DI VENTO (3/4)

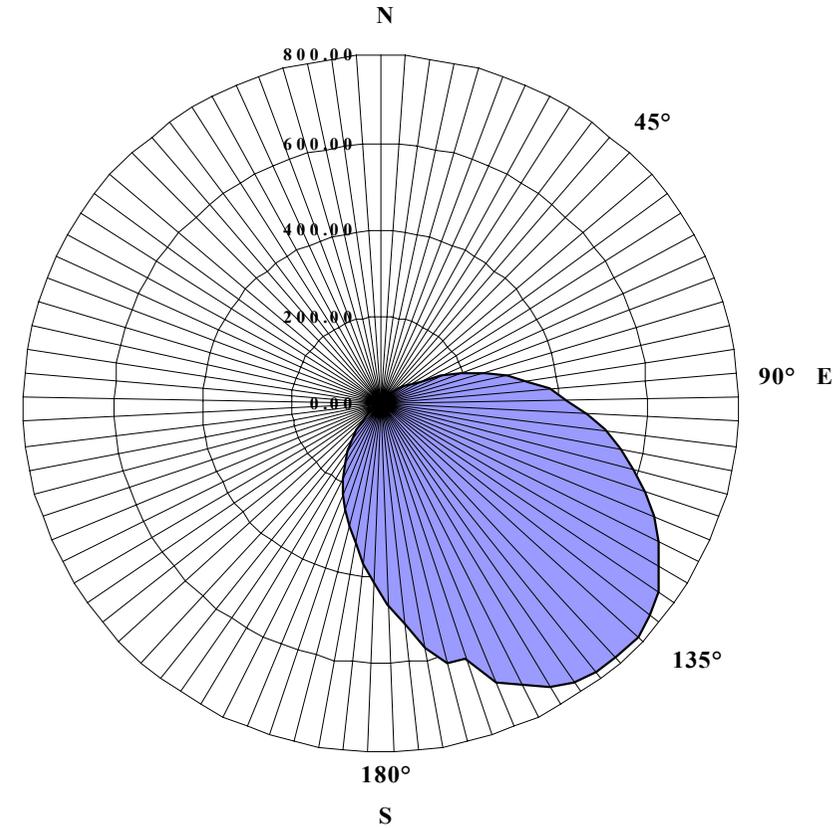
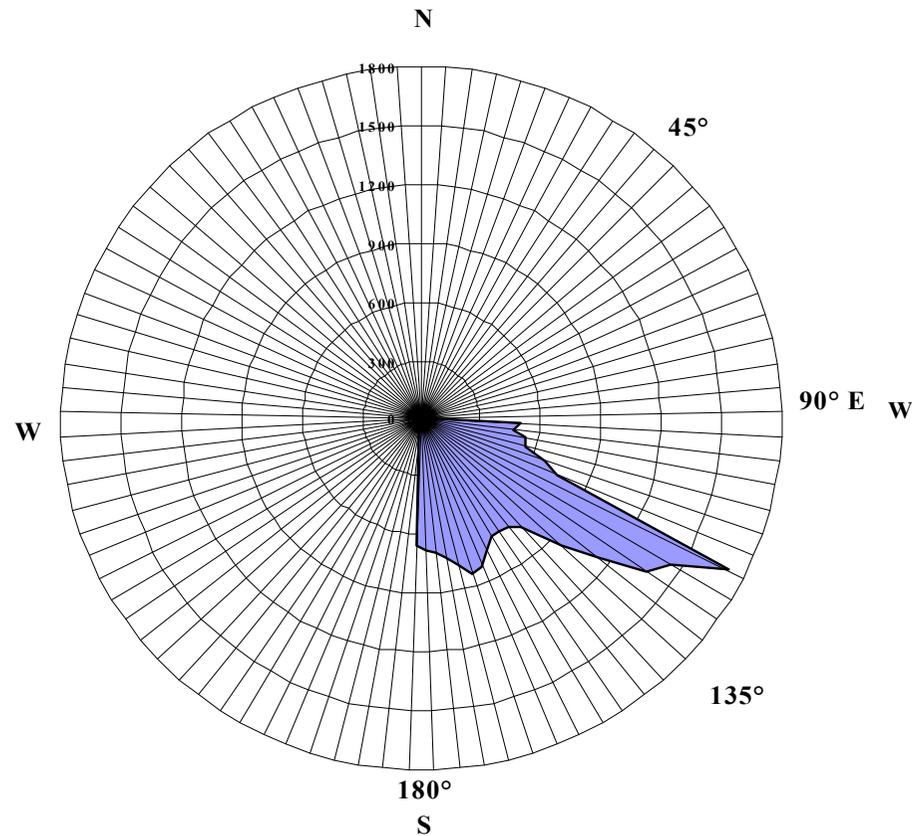
VALUTAZIONE DEL FETCH EFFICACE

Si definisce *fetch geografico* la misura della distanza fra due opposte coste in mari chiusi. Per questi mari è comune introdurre la lunghezza del *fetch efficace* determinata considerando l'effetto sullo sviluppo e propagazione dell'onda e della dispersione direzionale di energia dell'onda.

Proprio sulla base di queste considerazioni, lo S.P.M. propose nel 1975 la seguente espressione che, successivamente, è stata modificata:

$$F_{eff} = \frac{\sum x_i \cos^2 \varphi}{\sum \cos^2 \varphi}$$

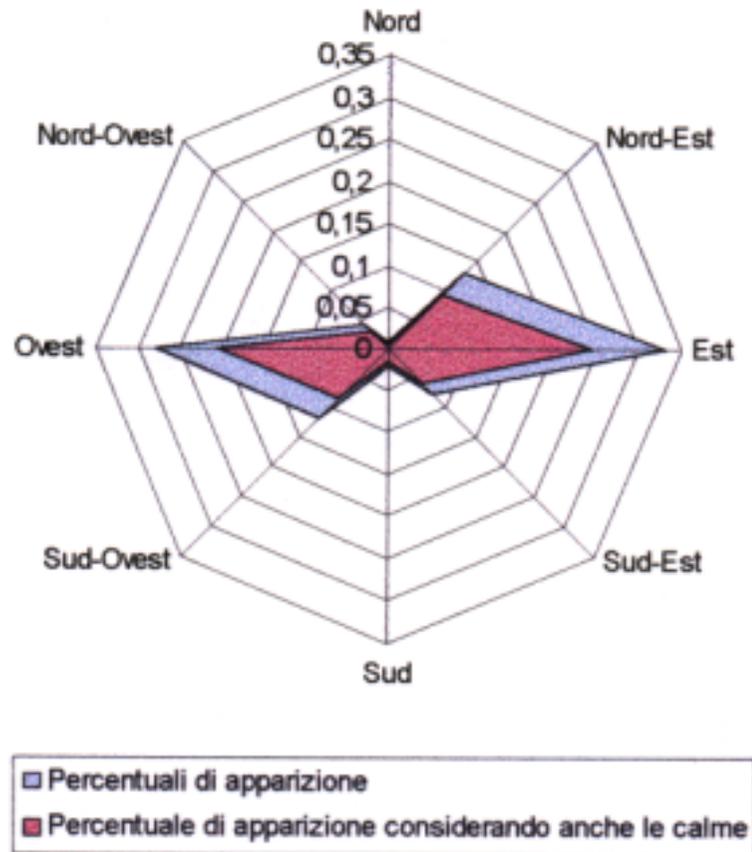
VALUTAZIONE DEL CAMPO DI VENTO (4/4)



Fetch geografico (a sinistra) e fetch efficace (a destra) per il paraggio di Letojanni (ME)

IL VENTO A CATANIA (1/4)

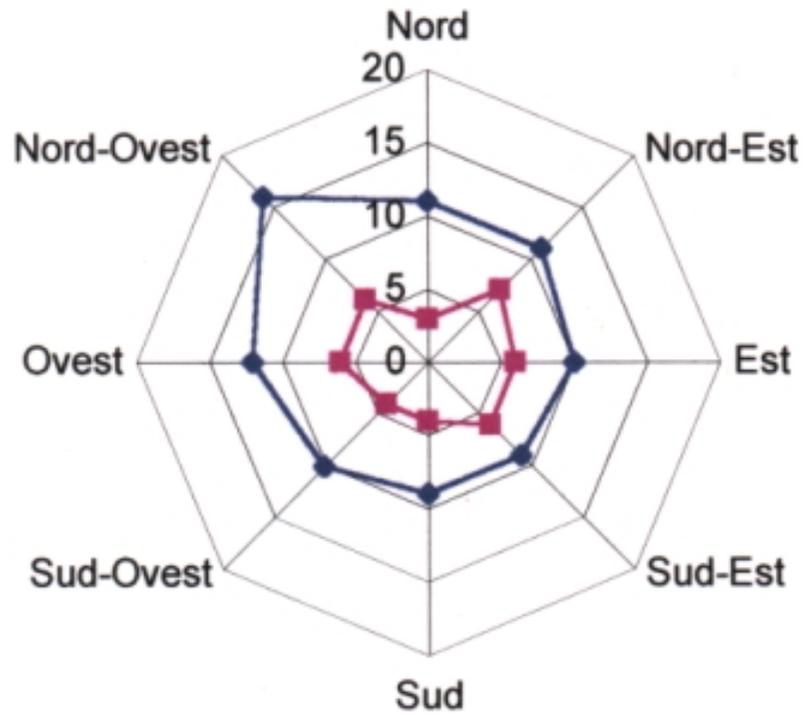
Numero di osservazioni, velocità e numero di calme alla stazione di Fontanarossa.



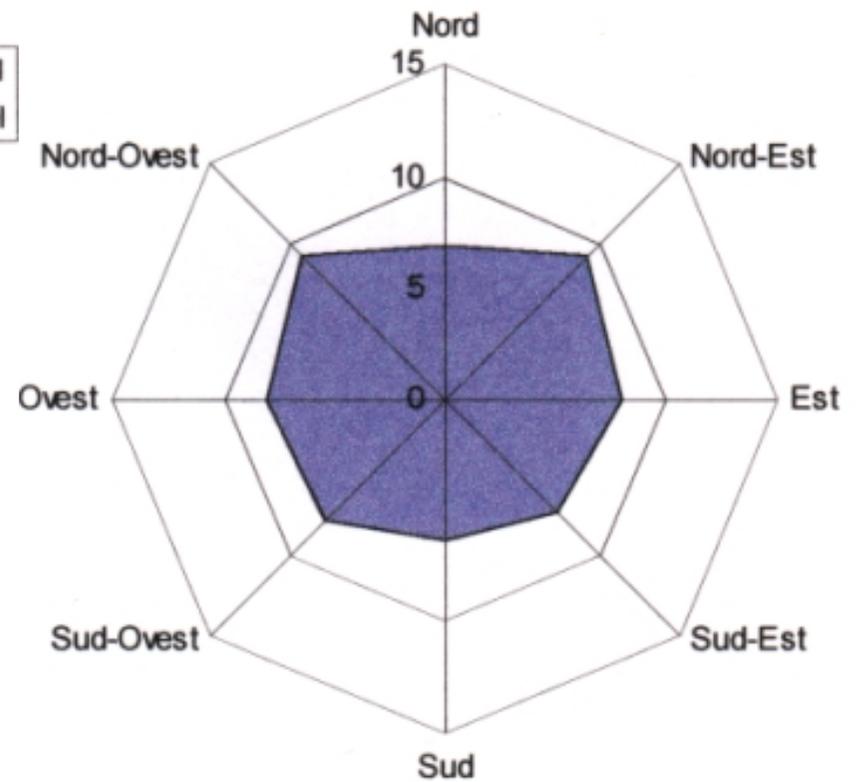
Andamento delle frequenze medie annuali di apparizione dei venti

Anno	N		NE		E		SE		S		SO		O		NO		Var. F	Calma F
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V		
1959	15	8	152	9	205	8	50	8	25	7	119	8	282	9	28	8	0	219
1960	3	6	171	10	229	9	58	9	29	8	247	10	170	12	7	6	0	184
1961	7	7	149	9	263	8	52	9	22	9	202	8	189	12	11	8	0	200
1962	4	5	161	10	254	10	60	8	27	8	182	9	196	11	15	7	0	196
1963	1	3	60	9	266	9	70	8	41	8	198	9	216	11	18	7	0	225
1964	7	8	198	11	238	10	50	7	11	7	91	8	265	8	20	10	0	218
1965	3	8	95	8	284	7	40	7	15	5	42	4	262	6	54	7	1	299
1966	7	9	69	9	263	7	40	6	12	7	45	4	283	7	63	8	0	313
1967	5	7	111	10	277	9	44	6	9	6	53	5	225	7	61	9	0	310
1968	4	6	161	10	273	8	38	8	8	4	78	5	268	8	21	13	0	247
1969	8	8	187	10	233	8	20	8	11	6	55	5	288	8	34	10	0	259
1970	8	11	60	7	274	8	65	7	9	5	59	5	288	8	36	10	1	295
1971	12	7	67	10	291	8	74	6	19	6	72	5	230	7	38	9	0	292
1972	6	5	41	8	291	8	86	7	14	4	53	5	216	7	29	9	0	262
1973	4	7	44	9	320	8	93	8	16	6	38	6	244	7	33	9	0	303
1974	7	6	38	9	290	8	93	7	18	6	55	5	263	8	39	10	2	290
1975	8	7	23	10	278	8	132	6	33	7	40	5	252	6	46	9	0	283
1976	8	7	10	7	239	8	146	7	44	6	22	5	232	6	83	8	1	313
1977	4	7	28	10	273	8	89	6	16	7	30	55	171	7	63	9	0	421
1978	4	11	44	9	282	8	62	7	14	6	29	6	236	9	58	12	0	366
1979	4	5	51	8	289	8	49	7	6	7	49	5	214	8	27	9	0	406
1980	9	6	17	8	278	7	102	6	7	5	37	4	195	7	79	8	0	374
1981	14	9	18	7	320	7	103	6	15	6	33	5	200	6	82	8	1	309
1982	2	10	87	8	308	7	57	6	10	6	96	5	182	7	29	9	0	324
1983	3	5	94	8	308	6	56	6	12	6	126	6	187	7	11	9	0	298
1984	6	4	100	9	289	7	58	6	14	6	118	6	212	7	7	7	0	294
1985	8	6	102	8	319	7	40	7	14	5	112	6	209	7	8	6	0	283
1986	7	5	113	10	304	9	34	8	5	8	111	7	237	8	12	9	0	272
1987	7	5	120	10	243	8	63	7	14	7	97	9	276	9	14	16	0	258
1988	3	7	93	10	300	9	47	8	13	6	123	8	197	9	8	13	8	314
1990	13	7	307	9	120	7	11	7	18	6	128	8	85	11	10	7	0	394
1991	22	7	275	10	171	8	20	7	27	6	227	6	159	7	10	10	1	159

IL VENTO A CATANIA (2/4)



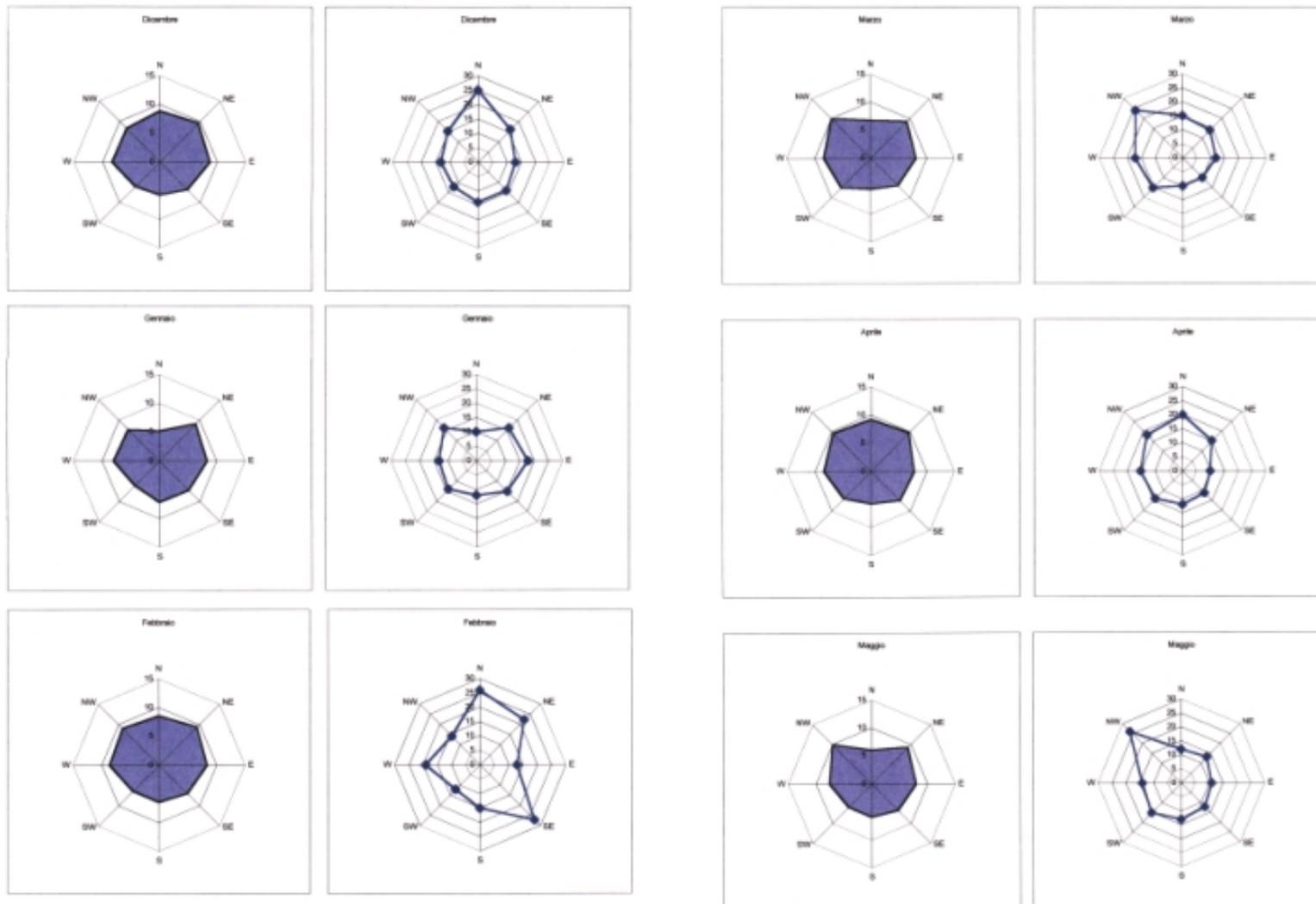
Andamento delle velocità medie annuali massime e minime nel periodo 1959-1991



Andamento delle velocità medie annuali dei venti

IL VENTO A CATANIA (3/4)

Andamento medio mensile delle velocità e velocità medie mensili massime alla stazione di Catania Fontanarossa.



IL VENTO A CATANIA (4/4)

Andamento medio mensile delle velocità e velocità medie mensili massime alla stazione di Catania Fontanarossa.

