

**Università degli Studi di Trieste
Dipartimento di Fisica Teorica**

**Laboratorio di Climatologia
LC**

**Franco Stravisi
Gino Battista**

**CORRENTOMETRIA COSTIERA
NEL GOLFO DI TRIESTE**

**Rapporto Interno
LC 92/4**

Trieste 1992

INDICE

	pag.
1. INTRODUZIONE	3
2. CARATTERISTICHE CLIMATICHE DEL GOLFO DI TRIESTE	3
2.1. Il bacino Adriatico	3
2.2. La stazione meteorologica di Trieste	3
2.3. Pressione atmosferica, temperatura dell'aria e precipitazioni	4
2.4. Vento	6
2.5. Altri dati climatici	9
2.6. Temperatura, salinità e densità del mare	9
2.7. Trasparenza dell'acqua	9
2.8. Livello del mare e marea astronomica	9
2.9. Le correnti nel Golfo di Trieste	9
3. METODI LAGRANGIANI PER LA MISURA DELLA CORRENTE MARINA	11
3.1. Misura della corrente superficiale costiera	11
3.1.1. Determinazione della posizione e dello spostamento del galleggiante da un punto di osservazione a terra	12
3.2. Misura della corrente in profondità in una stazione fissa	14
4. MISURE DELLA CORRENTE SUPERFICIALE COSTIERA NELLE STAZIONI DI BARCOLA, CEDAS E MIRAMARE	
4.1. Stazioni, metodo di misura e dati	15
4.2. Analisi dei dati correntometrici	24
4.2.1. Istogrammi delle velocità	24
4.2.2. Le componenti della corrente marina	25
4.2.3. Correlazione con il vento	26
4.2.4. Correlazione con la marea	32
4.2.5. Distribuzione direzionale della corrente superficiale	39
5. MISURA DEI PROFILI VERTICALI DELLA CORRENTE A MIRAMARE	39
5.1. Stazione, metodo di misura e dati	39
5.2. Analisi dei profili correntometrici	42
5.2.1. Istogrammi della velocità	42
5.2.2. Correlazione con il vento	46
5.2.3. Correlazione con la marea	50
6. CONCLUSIONI	52
Ringraziamenti	52
RIFERIMENTI	53

CORRENTOMETRIA COSTIERA NEL GOLFO DI TRIESTE

Franco Stravisi
Gino Battista

1. INTRODUZIONE

Lo scopo di questo lavoro è di fornire un contributo alla conoscenza della circolazione costiera delle acque marine nel Golfo di Trieste, sia in superficie che in funzione della profondità, mediante una serie di misure correntometriche lagrangiane e pseudo-euleriane. Le misure sono state eseguite, nel corso di una tesi di laurea in Scienze Naturali, lungo la costa triestina da Barcola a Miramare negli anni 1987 e 1988, e nelle acque del Parco Marino di Miramare nel 1992.

Per una migliore comprensione del problema e per una corretta interpretazione di questi nuovi dati di corrente, riportiamo una descrizione delle caratteristiche climatiche meteomarine e dei modelli di circolazione del Golfo di Trieste tratte dall'ampia letteratura esistente al riguardo.

2. CARATTERISTICHE CLIMATICHE DEL GOLFO DI TRIESTE

2.1. Il bacino Adriatico. Il bacino Adriatico rappresenta, dal punto di vista climatico, un canale di comunicazione tra il bacino Mediterraneo ed il continente europeo (Stravisi 1983 d, 1988). Nel Golfo di Trieste il flusso medio annuale di energia dalla superficie marina è di 65 W/m^2 (Stravisi e Crisciani, 1986). Il mare cede quindi mediamente calore all'atmosfera, in particolare nei mesi invernali: contemporaneamente la temperatura dell'acqua si raffredda, raggiungendo in febbraio temperature caratteristiche molto basse. L'effetto principale delle caratteristiche geografiche, morfologiche e dinamiche del bacino Adriatico e della particolare posizione del Golfo e della città di Trieste è pertanto il seguente: il clima del mare presenta spiccate caratteristiche continentali, cioè con forti escursioni annuali di temperatura e salinità, mentre il clima atmosferico, dominato dagli scambi d'aria tra il mare ed il continente, è di tipo essenzialmente marittimo. Presentiamo ora alcuni dati climatici meteomarini relativi a Trieste adatti ad illustrare quanto sinora detto.

2.2. La stazione meteorologica di Trieste. La stazione meteorologica attualmente considerata come riferimento ufficiale per il clima di Trieste è quella gestita dal Laboratorio di Climatologia dell'Università di Trieste e denominata *Trieste - ITN*. Tale stazione è situata presso il locale Istituto Tecnico Nautico in piazza Attilio Hortis, di fronte al Museo Civico, già sede nel secolo passato dell'Accademia di Commercio e Nautica, dove ebbero inizio nel 1817 le osservazioni meteorologiche. Le serie climatiche disponibili sono state in gran parte archiviate su supporti magnetici presso il Laboratorio di Climatologia. I dati meteorologici si

trovano pubblicati sui Rapporti dell'Osservatorio Marittimo, sugli Annuari dell'Istituto Sperimentale Talassografico di Trieste e sui Rapporti Interni del Laboratorio di Climatologia (Stravisi e Badina 1989, 1991, 1992).

2.3. Pressione atmosferica, temperatura dell'aria e precipitazioni. I valori medi mensili ed annuali della pressione atmosferica al livello del mare, della temperatura dell'aria e le precipitazioni totali mensili ed annuale della stazione meteorologica di Trieste - ITN, riferiti all'ultimo decennio normale 1981-1990 sono riportati nella *Tabella 1*.

	Pressione l.m. / hPa 1981-1990	Temperatura aria /°C 1981-1990	Precipitazioni / mm 1981-1990	Velocità del vento / (m/s) 1987-1991
GEN	1019.3	5.4	58	3.6
FEB	1017.6	5.8	55	3.0
MAR	1016.2	9.2	71	3.3
APR	1013.8	13.0	69	3.0
MAG	1014.4	17.6	81	3.0
GIU	1014.6	20.7	104	2.5
LUG	1015.4	24.1	48	3.1
AGO	1014.9	23.6	97	3.0
SET	1016.9	20.4	88	3.0
OTT	1018.7	15.9	90	3.6
NOV	1018.4	10.2	70	3.7
DIC	1017.8	7.3	82	3.4
Anno	1016.5	14.5	913	3.2

Tab. 1- *Dati climatici medi mensili ed annuali di Trieste - ITN.*

La temperatura media annuale dell'aria a Trieste (14.5°C) è maggiore della corrispondente temperatura di altre località dell'Adriatico settentrionale situate a latitudini inferiori. La pressione atmosferica al livello del mare è mediamente maggiore di quella misurata al centro del bacino Adriatico; le precipitazioni sono anche sensibilmente maggiori per effetto dell'orografia costiera.

L'andamento medio (1981-1990) della pressione atmosferica giornaliera ridotta al livello del mare è rappresentato nella *Figura 1*. Si nota che la pressione è normalmente inferiore alla media annuale durante la primavera e l'estate, maggiore durante l'autunno e l'inverno. Situazioni depressionarie si verificano normalmente durante la seconda decade di febbraio, alla fine di febbraio-inizio di marzo, a fine novembre ed a metà dicembre.

L'andamento medio (1981-1990) della temperatura media giornaliera dell'aria al livello del mare (*Figura 2*) presenta un minimo inferiore a 4 °C in gennaio ed un massimo (24.5 °C) in luglio-agosto; sono presenti delle tipiche oscillazioni a cadenza mensile, con periodi alternati più caldi e più freddi di uno-due gradi. I valori estremi assolti 1981-1990 sono rispettivamente uguali a -9.2 °C (8/1/85) e 35.5 °C (14/8/88).

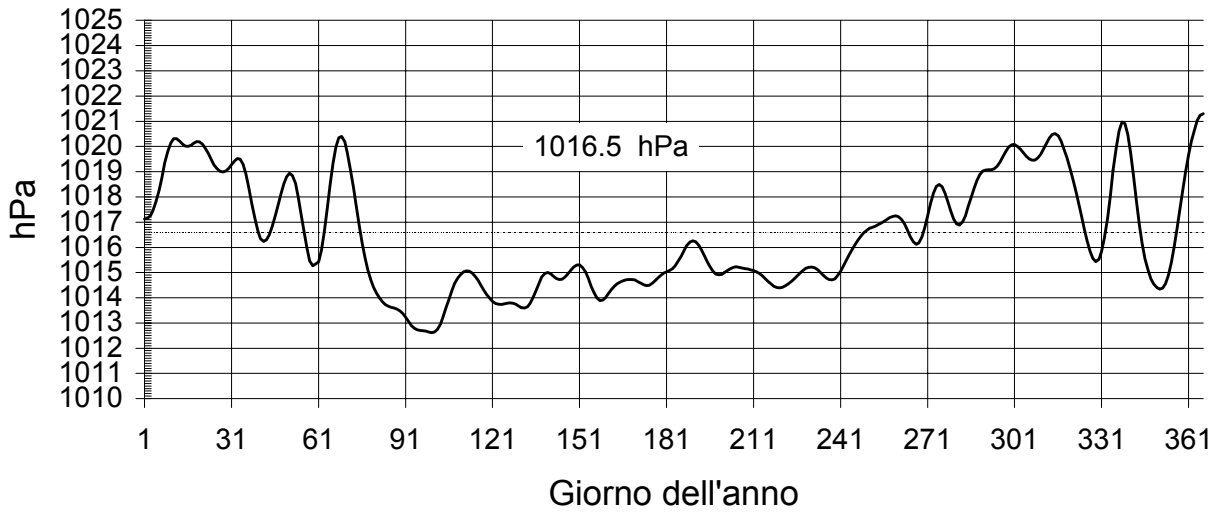


Fig. 1.- *Andamento medio 1981-1990 della pressione atmosferica giornaliera al livello del mare a Trieste.*

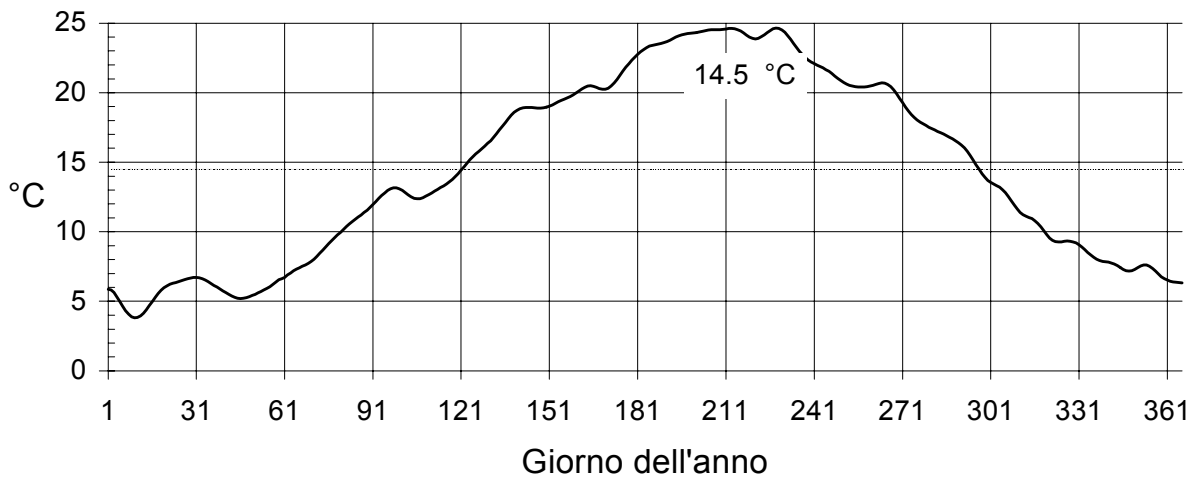


Fig. 2.- *Andamento medio (1981-1990) della temperatura giornaliera dell'aria a Trieste.*

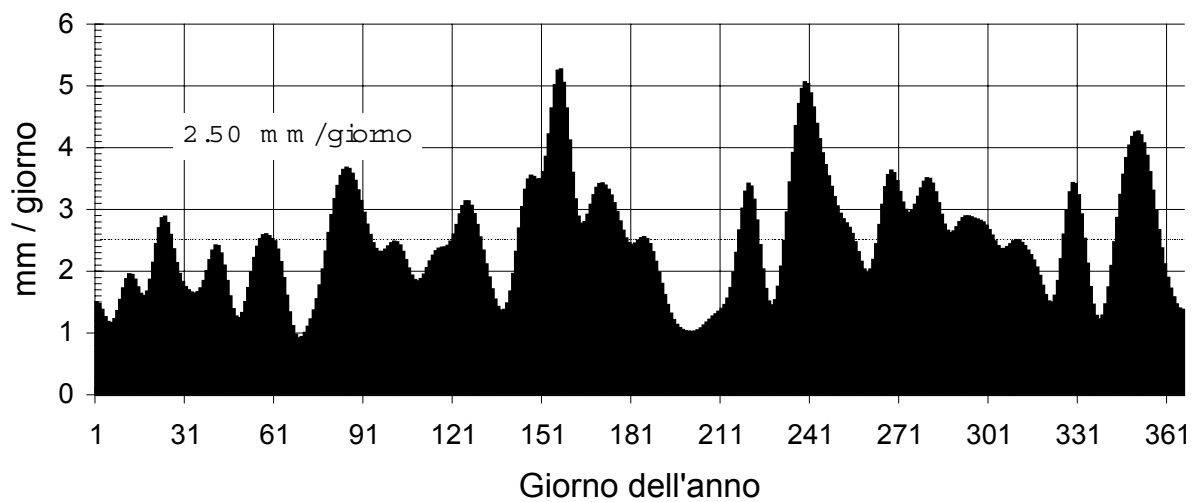


Fig. 3.- *Andamento medio (1981-1990) delle precipitazioni giornaliere a Trieste.*

Le precipitazioni normali totali (1981-1990) al livello del mare a Trieste sono pari a 913 mm/anno; il mese più piovoso è mediamente giugno con 104 mm. L'andamento delle precipitazioni totali giornaliere (ore 0-24) è rappresentato dalla *Figura 3*: il periodo meno piovoso è normalmente la seconda metà di luglio; i più piovosi sono inizio di giugno, fine agosto e metà dicembre. La massima quantità d'acqua caduta in una giornata è stata pari a 77.0 mm (24/5/82).

2.4. Vento. Il vento a Trieste (Stravisi 1977 a) è caratterizzato da un tipico regime locale di brezza che si instaura durante le giornate di tempo stabile e sereno, in maniera più accentuata nei mesi estivi, con alternanza di *brezza di mare* proveniente da WNW durante le ore diurne e di *brezza di terra* dai settori orientali durante le ore notturne. A scala maggiore, sono presenti impulsi di *venti meridionali* da scirocco (SE) e libeccio (SW) che solitamente interessano tutto il bacino Adriatico, e le caratteristiche invasioni della *bora* (ENE) di origine continentale.

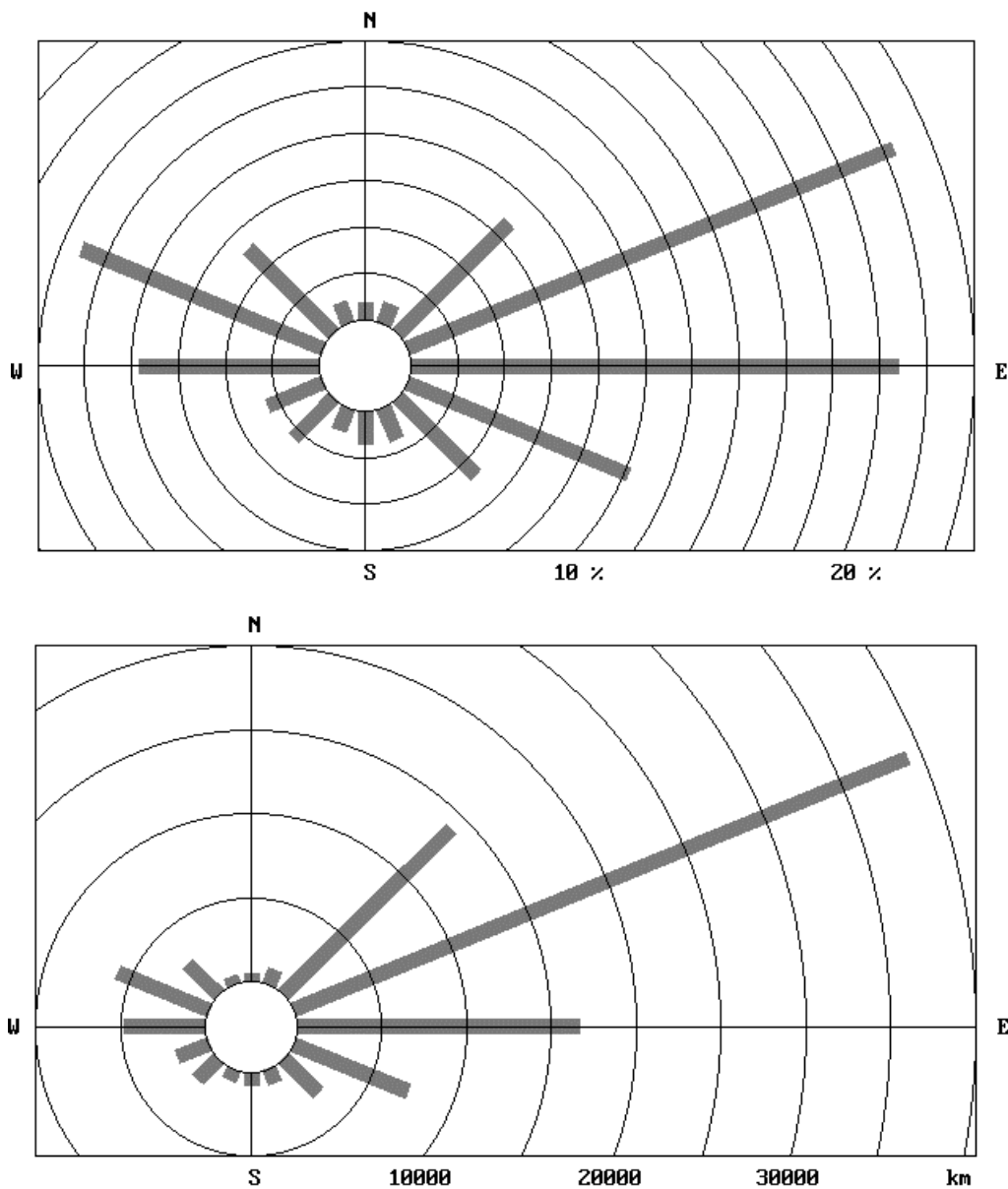


Fig. 4.- Distribuzione direzionale annuale media (1987-1991) della frequenza percentuale e del percorso del vento a Trieste.

Questa situazione è descritta nella *Figura 4* dalla distribuzione, secondo 16 settori di provenienza, della frequenza percentuale del vento e del vento filato (Trieste - ITN, dati medi 1987-1991). Il *vento dominante* è da ENE (bora), con una frequenza media annuale pari al 22.4 % (1960 ore/anno); i venti da E, ENE e NE assieme totalizzano 4367 ore/anno ed un totale annuo di vento filato di 69665 km, corrispondente ad una velocità media di 4.4 m/s pari a 16.0 km/h. La bora è più frequente nei mesi invernali. La massima raffica annuale di questo

Direzione	50 %	10 %	5 %	1 %
N	0.8	3.7	4.6	8.4
NNE	2.7	6.3	7.6	10.4
NE	5.6	11.8	13.6	18.4
ENE	4.7	10.1	11.7	15.8
E	1.8	4.3	5.1	7.0
ESE	1.7	3.2	3.9	5.3
SE	1.3	2.8	3.4	4.4
SSE	1.4	2.9	3.5	4.7
S	1.2	3.0	3.6	4.6
SSW	1.4	3.4	4.0	4.9
SW	1.5	4.0	4.8	6.5
WSW	1.9	4.0	4.6	5.8
W	1.4	2.9	3.5	4.5
WNW	1.2	2.0	2.5	3.0
NW	1.1	2.1	2.7	3.9
NNW	0.6	2.3	3.3	5.7
Totale	1.8	6.7	9.1	13.0

Tab. 2- *Velocità media oraria (m/s) con probabilità pari a 50%, 10%, 5%, 1% di essere superata per ciascuna direzione e da una direzione qualsiasi.*

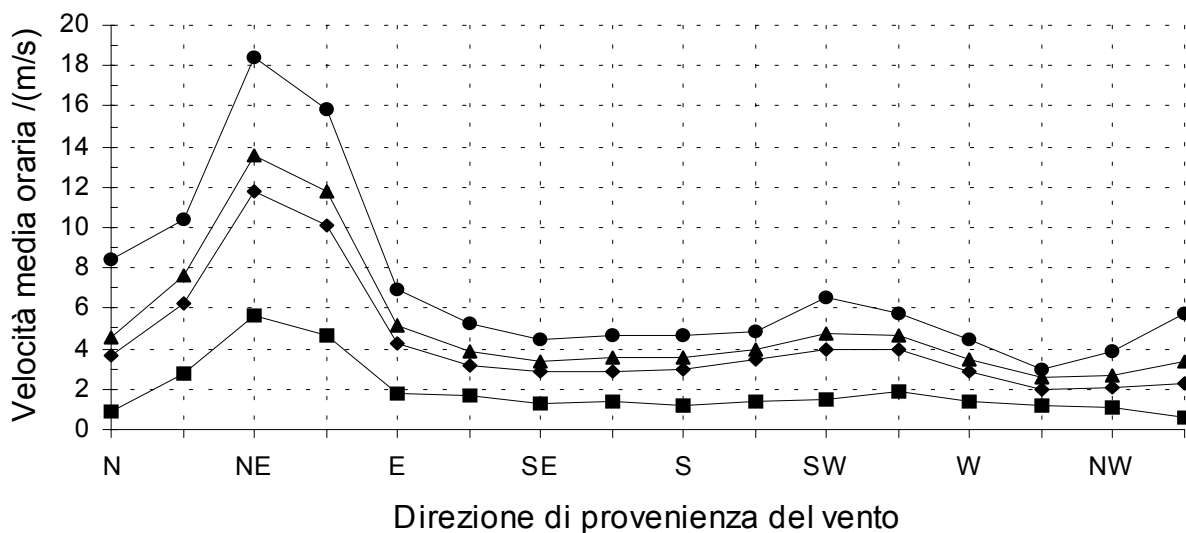


Fig. 5.- *Velocità del vento a Trieste: quantili 50%,90%,95%,99% in funzione della direzione (dati medi 1987-1991).*

vento è mediamente pari a 40 m/s (145 km/h); la massima assoluta dal 1987 è stata di 46 m/s (166 km/h). Sottocosta, tra Barcola e Sistiana, la bora si presenta con velocità ridotta e direzione ruotata verso SE, SSE.

Episodi di groppi di vento con forti raffiche si possono verificare di preferenza nei mesi caldi: sono i cosiddetti "neverini", caratterizzati da un picco improvviso con velocità massima normalmente compresa tra 20 e 40 m/s, solitamente da NW, NNW, che rapidamente diminuisce per esaurirsi nel giro di un'ora.

Temperatura /°C

z/m	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
0	8.3	7.4	9.0	12.9	17.9	22.1	24.2	23.9	21.7	18.4	14.7	11.1	16.0
5	7.9	6.7	7.8	11.2	15.8	20.1	22.8	23.3	21.6	18.5	14.7	10.9	15.2
10	7.9	6.6	7.5	10.4	14.4	18.3	21.3	22.4	21.6	18.9	15.1	11.1	14.7
15	8.0	6.6	7.3	9.7	13.2	16.7	19.6	21.1	20.9	18.8	15.3	11.3	14.1
20	8.2	7.0	7.5	9.1	11.3	14.0	16.8	19.4	20.3	19.0	15.5	11.4	13.3
0-20	8.0	6.8	7.7	10.4	14.1	17.8	20.5	21.7	21.1	18.7	15.1	11.1	14.5

Salinità /psu

z/m	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
0	36.2	35.7	34.6	33.2	32.3	32.7	34.3	36.1	37.1	37.1	36.6	36.3	35.2
5	37.6	38.0	37.9	37.0	35.9	35.3	35.5	36.2	36.9	37.0	37.0	37.1	36.8
10	37.7	38.0	38.0	37.4	36.6	36.2	36.4	36.8	37.1	37.1	37.0	37.2	37.1
15	37.6	38.0	38.0	37.7	37.2	37.0	37.1	37.4	37.4	37.2	37.0	37.1	37.4
20	37.5	37.8	38.0	38.0	37.8	37.7	37.6	37.6	37.4	37.2	37.1	37.1	37.6
0-20	37.5	37.9	37.8	37.2	36.5	36.2	36.4	36.9	37.2	37.1	37.0	37.1	37.1

Densità /(kg/m³)

z/m	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
0	1028.3	1028.1	1027.0	1025.0	1023.2	1022.5	1023.1	1024.5	1025.9	1026.8	1027.3	1027.9	1025.8
5	1029.4	1029.9	1029.7	1028.4	1026.5	1024.9	1024.4	1024.8	1025.7	1026.7	1027.5	1028.4	1027.2
10	1029.4	1030.0	1029.8	1028.9	1027.4	1026.1	1025.5	1025.5	1026.0	1026.7	1027.5	1028.5	1027.6
15	1029.3	1029.9	1029.9	1029.2	1028.1	1027.1	1026.5	1026.3	1026.4	1026.8	1027.5	1028.4	1027.9
20	1029.2	1029.7	1029.8	1029.5	1029.0	1028.4	1027.6	1026.9	1026.6	1026.8	1027.4	1028.3	1028.3
0-20	1029.3	1029.8	1029.7	1028.7	1027.4	1026.2	1025.7	1025.8	1026.2	1026.7	1027.5	1028.4	1027.6

Tab. 3.- Valori medi mensili della temperatura, salinità e densità dell'acqua marina nel Golfo di Trieste in funzione della profondità; valori medi di tutta la colonna (0-20 m).

La velocità media annuale del vento è di 3.2 m/s; il mese meno ventoso è giugno (2.5 m/s) ed il più ventoso novembre (3.7 m/s). La *Figura 5* riporta, per le sedici direzioni di provenienza (N, NNE, ... NNW) i quantili di probabilità cumulativa 50%, 90%, 95%, 99% della velocità media oraria del vento a Trieste - ITN (1987-1991); la velocità in metri al secondo è riportata sull'asse delle ordinate. Da questo grafico si può desumere, per esempio, che il vento da NE, in assoluto il più veloce, ha una probabilità pari al 50% di superare una velocità media oraria di 5.6 m/s (20 km/h), probabilità 10% di superare 11.8 m/s (42 km/h), probabilità 5% di superare 13.6 m/s (49 km/h) ed infine una probabilità di 1% di superare, sempre come media oraria, i 18.4 m/s (66 km/h). La *Tabella 2* (dalla quale è tratto il grafico della Fig. 5) riporta, per ogni direzione del vento e per un vento di direzione qualsiasi ("Totale"), il valore di velocità media oraria avente una data probabilità, indicata in testa ad ogni colonna, di essere superata. Ad esempio, la probabilità di avere un'ora con velocità media del vento superiore a 13.0 m/s (47 km/h) è di 1 %, pari cioè a 7 ore al mese, o 88 ore all'anno.

2.5. Altri dati climatici. La copertura media annuale del cielo è di 5.2 decimi; la visibilità media annuale di 17 km. Le giornate con precipitazione maggiore di 0.1 mm sono 122 all'anno. Normalmente, sempre in un anno, ci sono 24 giornate con temporale, 2 con grandine e 3 con neve.

2.6. Temperatura, salinità e densità del mare. L'andamento medio della temperatura, della salinità e della densità (Stravisi 1986 c) dell'acqua marina nel Golfo di Trieste durante l'anno ed in funzione della profondità è stato studiato da Stravisi (1983 b) sulla base dei dati misurati durante la campagna "Thalassia II" (Stravisi 1990). Nella *Tabella 3* sono riassunti i dati ogni 5 m di profondità ed i dati medi di tutta la colonna verticale, dalla superficie al fondo. Si nota la presenza nel Golfo di Trieste (i) del caratteristico nucleo invernale di acqua densa (Stravisi 1992 a), fredda e salata (1030 kg/m³, 6.6 °C, 38 psu), (ii) la stratificazione termalina durante la primavera e l'estate, (iii) la propagazione verso il fondo dell'onda termica annuale (la massima temperatura in superficie è mediamente raggiunta alla fine di luglio, sul fondo a metà settembre), (iv) l'apporto fluviale di acqua dolce in primavera, che dalla superficie si estende in profondità con l'avanzare della stagione.

2.7. Trasparenza dell'acqua. Dati di trasparenza (disco Secchi) nel golfo di Trieste sono riportati da Stravisi (1983 c, 1987 c, 1990). Al largo di Miramare la trasparenza media è di 9.8 m, con una variabilità del 35 %; nel Parco Marino, presso Grignano, la trasparenza media è di 7.7 m, con una variabilità del 30 %. In generale, la trasparenza dell'acqua è maggiore in estate ed in gennaio, minore in primavera ed autunno.

2.8. Livello del mare e marea astronomica. L'istogramma dei valori orari del livello del mare a Trieste, riferito allo zero (livello medio) e per classi di ampiezza di 1 cm, è riportato nella *Figura 6*; il corrispondente istogramma cumulativo è riportato nella *Figura 7*. La marea astronomica è di tipo prevalentemente semidiurno, con massime escursioni (circa ± 40 cm in media) durante le fasi di plenilunio e novilunio. Le tavole o previsioni di marea per il Golfo di Trieste vengono preparate ogni anno usando il metodo armonico a sette componenti ed i programmi di calcolo descritti da Stravisi (1989).

2.9. Le correnti nel Golfo di Trieste. Le correnti nel Golfo di Trieste sono state studiate con modelli numerici (Mosetti 1972, Michelato 1973, Stravisi 1977 b) e con misure dirette. Per le misure sono stati impiegati sia metodi lagrangiani, generalmente croci di corrente (Pocecco 1973, Bidorini 1974), che metodi euleriani, cioè con l'impiego di correntometri,

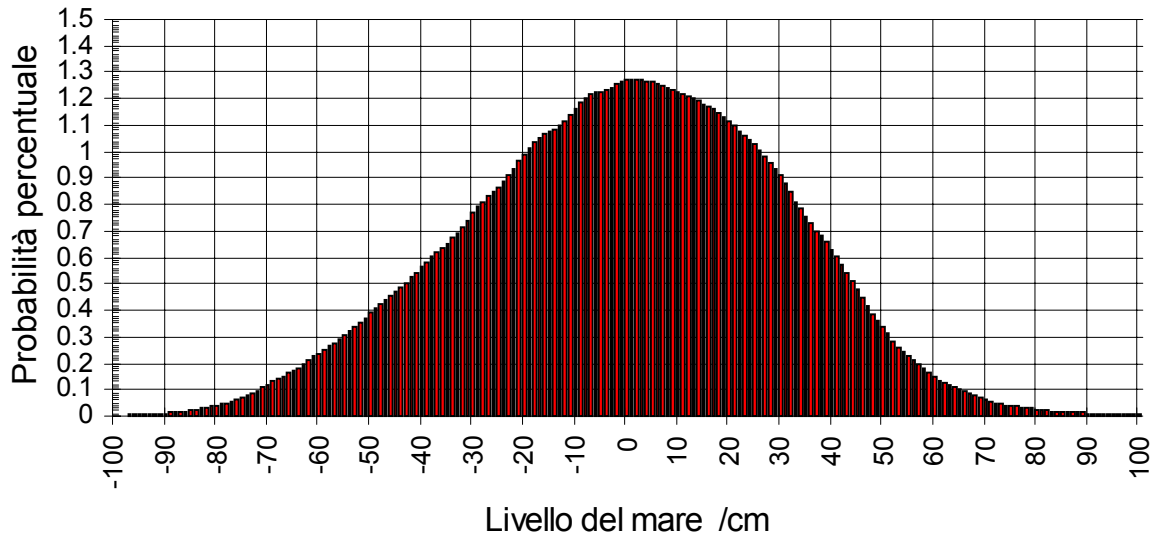


Fig. 6.- *Istogramma del livello del mare a Trieste.*

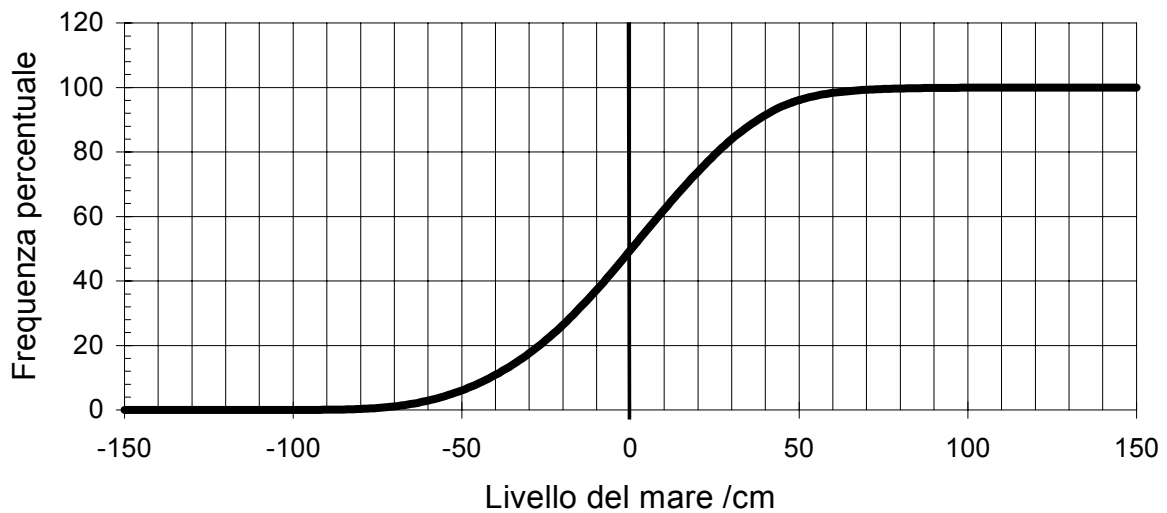


Fig. 7.- *Istogramma cumulativo del livello del mare a Trieste.*

durante le campagne "Thalassia" (1951-1954) e "Thalassia II" (1979-1984), i dati delle quali sono riportati da Stravisi (1987 c, 1990). In base a tutte queste informazioni sono state tratte le seguenti deduzioni.

(i) Le correnti di marea hanno velocità medie di circa 3 cm/s, velocità massime di circa 10 cm/s lungo il confine aperto del golfo (linea Grado-Salvore) e sui bassi fondali tra Grado e Monfalcone (Mosetti 1972, Michelato 1973). La corrente periodica di marea si limita quindi a spostare l'acqua lungo una data direzione in avanti di circa 1 km per sei ore, all'indietro per una pari lunghezza durante le sei ore successive, con un effetto di trasporto complessivo trascurabile. E' stato infatti calcolato (Princi e al., 1980) per la corrente residua di marea una velocità di 1 cm/s, che corrisponde ad un ricambio totale dell'acqua del golfo in circa 40 giorni.

(ii) Le correnti associate alle sesse locali del golfo o alle sesse dell'Adriatico di normale ampiezza, calcolate con modelli numerici (Stravisi 1973) hanno velocità minori o uguali a circa 3 cm/s.

(iii) La velocità media delle correnti di densità è di circa 2 cm/s (Mosetti 1972).

(iv) La circolazione a grande scala nel Golfo di Trieste, avente una velocità media verticale (cioè su tutta la colonna d'acqua) di circa 10 cm/s, è dovuta soprattutto al vento (corrente di deriva) (Mosetti 1972, Stravisi e al. 1981).

(v) Un forte gradiente di velocità è presente alla superficie del mare: in media tra 0 ed 1 m di profondità la velocità della corrente decresce di 3 cm/s, e la direzione ruota di 45° (Stravisi 1983 b).

Dai dati correntometrici, dai risultati dei modelli numerici e sulla base dei punti (i-v) di cui sopra è stato ricavato un modello di circolazione delle acque nel Golfo di Trieste ampiamente descritto nella letteratura (Berger 1979; Stravisi, Pieri e Berger 1981; Stravisi 1983 a,b, 1987 b) e che qui riassumiamo.

Uno strato di fondo, al di sotto di 10 m circa di profondità e che interessa quindi il solo settore SE del Golfo di Trieste, ruota in senso antiorario nel golfo stesso con una velocità media di circa 2-5 cm/s. Questa circolazione, anche se debole, è una caratteristica per lo più permanente: si può quindi calcolare che l'acqua entrante dall'Adriatico presso Salvore, in condizioni meteorologiche normali, circola nel golfo per circa 10-14 giorni prima di uscire dal lato opposto. Lo strato superficiale, da 0 a circa 5 m, è prevalentemente trascinato dal vento presente sul golfo; si forma così un vortice a grande scala con rotazione in senso orario in presenza di venti occidentali, normalmente brezze di mare; questa tende a fermarsi e ad invertire il suo verso in presenza di venti orientali (brezze di terra) e soprattutto di bora. La velocità di scorrimento è di 10 cm/s o maggiore. Normalmente si osserva quindi un'inversione della velocità della corrente alla profondità di circa 5 m, che di solito si trova al di sopra del termoclino (Stravisi a,b). E' infine da mettere in evidenza il fatto che la circolazione a grande scala prodotta dalla bora nel golfo avviene in senso orario a tutte le profondità, rinforzando la naturale circolazione dello strato di fondo: questa condizione è la più efficiente per il ricambio di tutta la massa d'acqua nel Golfo di Trieste.

La circolazione a grande scala nel golfo è accompagnata da vortici costieri a scala minore; la turbolenza orizzontale è tale che la velocità della corrente in un dato punto è estremamente variabile.

3. METODI LAGRANGIANI PER LA MISURA DELLA CORRENTE MARINA

In questo capitolo forniamo una descrizione dei metodi di misura della corrente marina, sia superficiale che profonda, impiegati nel corso del presente lavoro.

3.1. Misura della corrente superficiale costiera. E' stato già messo in evidenza nel capitolo precedente il fatto che la corrente marina presenti, in prossimità della superficie, un forte gradiente verticale di velocità (sia in modulo che in direzione). Parlando quindi di *corrente superficiale* intendiamo nel seguito la corrente media osservata in uno strato da 0 a circa 5 m di profondità. La misura della corrente superficiale così definita esclude la possibilità di impiego di correntometri, le dimensioni dei quali non consentono di operare in uno strato così sottile ed influenzato dal moto ondoso. E' quindi necessario operare secondo il metodo lagrangiano, usando galleggianti di dimensioni contenute ed adatti allo scopo. Inoltre,

al fine di poter effettuare le misure senza essere condizionati dallo stato del mare e del tempo atmosferico, ed in maniera sufficientemente veloce da poter considerare simultanee le osservazioni effettuate in stazioni diverse, è stato scelto di effettuare completamente da terra sia il lancio del galleggiante che l'osservazione della sua posizione. Esclusa la possibilità di recupero del galleggiante alla fine della misura e visto il numero elevato di misure da effettuare (ne sono state fatte quasi cinquecento), il galleggiante da impiegare, oltre ad essere lanciabile ad una distanza di almeno dieci metri doveva essere "a costo zero" ed innocuo sia per la navigazione che per l'ambiente. Considerata l'ubicazione delle nostre stazioni, tra la pineta di Barcola ed il Parco di Miramare, come galleggianti naturalmente disponibili in loco ed aventi tutti i requisiti richiesti sono stati scelti i coni del pino marittimo.

3.1.1. Determinazione della posizione e dello spostamento del galleggiante da un punto di osservazione a terra. Lo spostamento l del galleggiante sulla superficie del mare viene determinato calcolando la differenza tra i vettori d rappresentativi della sua posizione sul piano orizzontale agli istanti t_1 e t_2 :

$$l = d_2 - d_1 .$$

La velocità della corrente è quindi:

$$v \equiv (v, \theta) = l / (t_2 - t_1) ,$$

dove v è l'intensità e θ la direzione (in senso orario dal nord geografico).

La posizione d del galleggiante viene determinata dal punto di osservazione a terra O (*Figura 8*), posto all'altezza nota h sulla superficie del mare, in base all'angolo di elevazione δ sul piano orizzontale ed all'angolo azimutale α (in senso orario dal nord geografico, *Figura 9*) del galleggiante stesso. Nel nostro caso α e δ sono stati misurati con la cosiddetta "tavola Monticolo", uno strumento da campagna che ingloba una bussola da rilevamento ed un misuratore di angoli verticali. La distanza orizzontale del galleggiante dall'osservatore è data da

$$d = h \tan(\delta - 270^\circ) ,$$

avente per componenti nord, est rispettivamente

$$n = d \cos \alpha , \quad e = d \sin \alpha .$$

Le componenti nord, est dello spostamento l del galleggiante sono quindi

$$l_n = n_2 - n_1 , \quad l_e = e_2 - e_1 ;$$

la lunghezza e la direzione di l sono

$$l = (l_n^2 + l_e^2)^{1/2} , \quad \theta = \arctan (l_e / l_n) ,$$

ponendo, se $l_n < 0$, $\theta = \theta + 180^\circ$. L'intensità della velocità è data da

$$v = l / (t_2 - t_1) ,$$

mentre la sua direzione è quella θ dello spostamento.

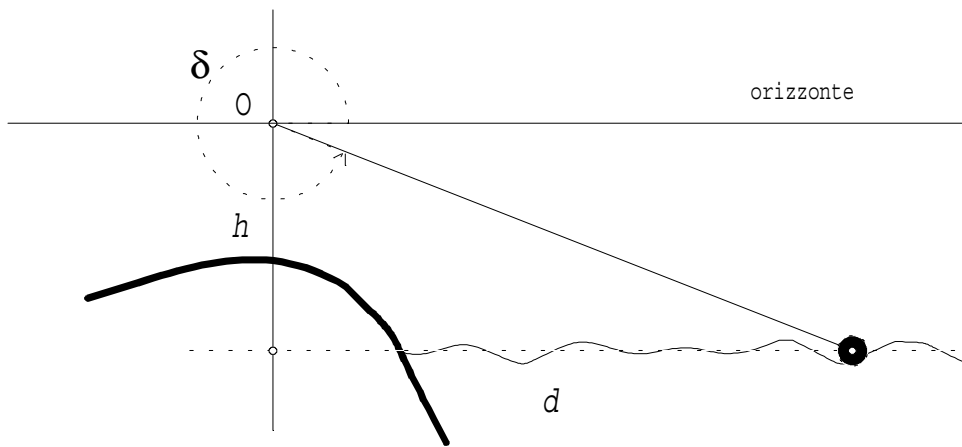


Fig. 8.- Localizzazione del galleggiante sul piano verticale.

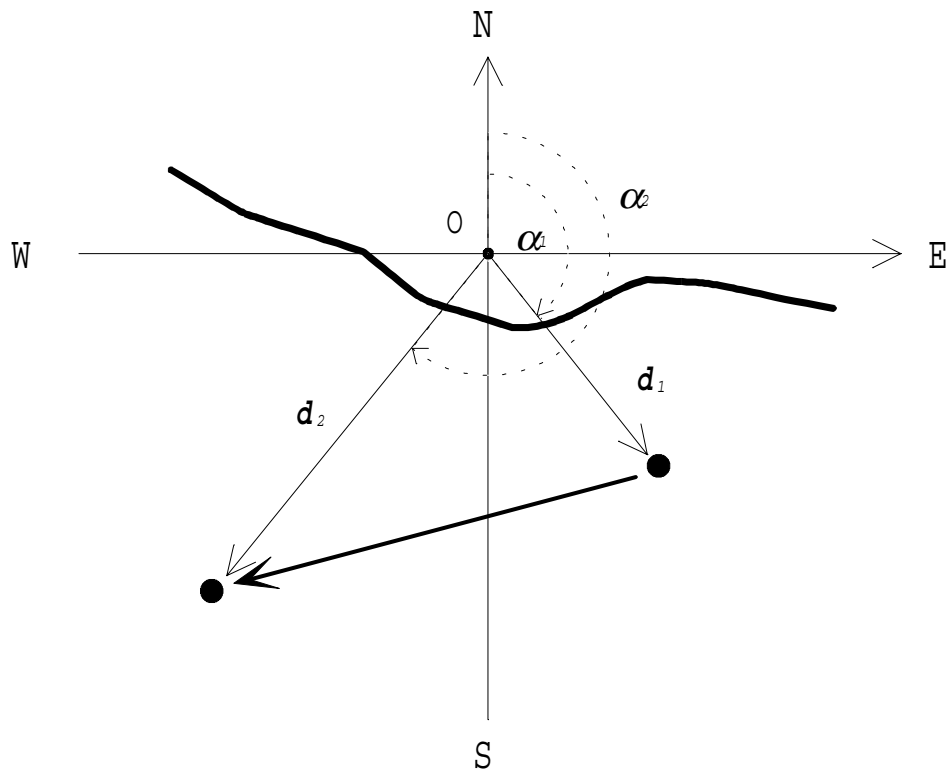


Fig. 9.- Spostamento del galleggiante sul piano orizzontale della superficie marina.

Nel calcolo della velocità v del galleggiante, in base ai dati misurati h , $(\alpha, \delta)_{1,2}$, l'altezza h tra l'occhio dell'osservatore e la superficie del mare, in ciascuna stazione, è data da

$$h = h_o + h_s + \Delta h ,$$

dove h_o è l'altezza dell'occhio dell'osservatore rispetto al suolo, h_s è l'altezza del suolo, nel punto di stazione, sul livello medio del mare e Δh è lo scostamento del livello del mare, al momento della misura, dal livello medio.

3.2. Misura della corrente in profondità in una stazione fissa. Per la misura della velocità $v(z)$ in funzione della profondità ($z > 0$; $z = 0$ è la superficie del mare) in una stazione fissa è stato scelto un metodo che possiamo definire *pseudo-euleriano*, in quanto fornisce misure puntuali, o meglio mediate su tempi e distanze brevi, pur facendo uso di un dispositivo lagrangiano. Una croce di corrente (Figura 10), sospesa ad un galleggiante ed opportunamente zavorrata al fine di mantenere un corretto assetto verticale, segue la corrente media dello strato di spessore Δz alla profondità desiderata z ; il galleggiante è legato alla boa, rappresentante il punto di stazione S, con una sottile cima che, dal momento del rilascio, si svolge sulla superficie dell'acqua sino a tendersi, in un tempo Δt , per tutta la sua lunghezza nota *f*.

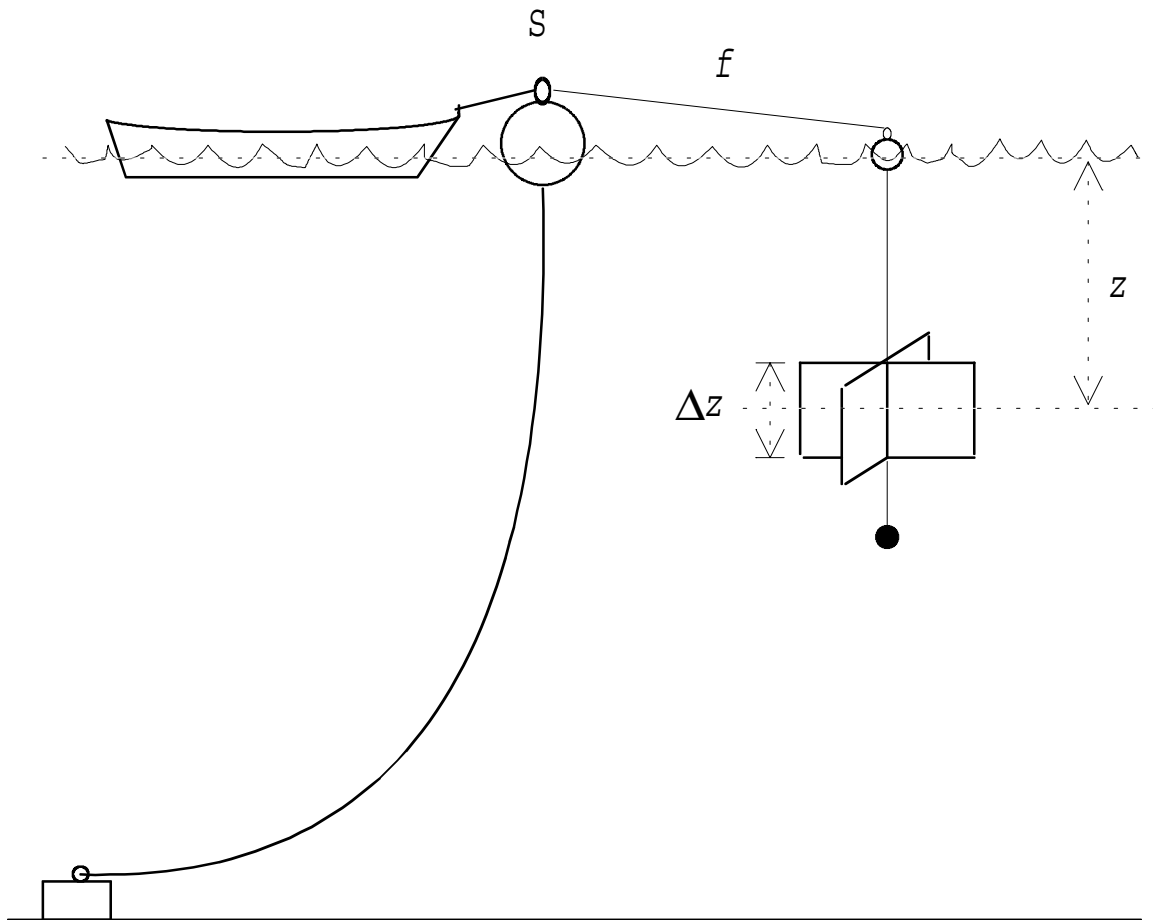


Fig. 10.- Metodo pseudo-euleriano per la misura della corrente in profondità in una stazione fissa.

L'intensità della velocità $v = (v, \theta)$ è quindi data dal rapporto tra la distanza filata e la durata del percorso:

$$v = f / \Delta t ;$$

la direzione θ , visualizzata sulla superficie marina dalla cima congiungente la boa al galleggiante di sostegno della croce, è determinata dall'osservatore a bordo della barca con l'ausilio di una bussola da rilevamento. La lunghezza f della cima filata è mediamente di 10 m; può essere variata in più o in meno a seconda della velocità della corrente, in modo da realizzare un tempo totale di scorrimento dell'ordine di 1 minuto. Alla fine della misura, la croce di corrente viene recuperata ed il procedimento è ripetuto ad una profondità diversa. Le misure ottenute con questo metodo sono influenzate in modo trascurabile dal moto ondoso, e sono precise finché il punto di fissaggio S rimane fisso: questa condizione, corrispondente ad un assetto costante del sistema barca-boa, è normalmente realizzata in condizioni di stazionarietà del campo di vento e di corrente durante Δt . In caso di dubbio, la misura viene ripetuta. Il diametro del filo di sostegno della croce di corrente e la zavorra devono presentare alla corrente una sezione trascurabile rispetto a quella della croce stessa; lo stesso discorso vale per il galleggiante di sostegno, che deve pescare poco ed avere inoltre una piccola superficie esposta al vento.

4. MISURE DELLA CORRENTE SUPERFICIALE COSTIERA NELLE STAZIONI DI BARCOLA, CEDAS E MIRAMARE

4.1. Stazioni, metodo di misura e dati. Le misure correntometriche eseguite nel Golfo di Trieste, presentate nel cap. 2 assieme alla loro interpretazione, riguardano stazioni al largo, aventi cioè una distanza minima dalla costa dell'ordine del chilometro. Al fine di studiare la circolazione in prossimità della riva, importante per la dispersione di emissioni costiere di diversa natura, sono state scelte tre stazioni (*Figura 11*):

- 1) **Barcola** (45° 41.10' N, 13° 44.80' E; $h_S = 1.7$ m) (pineta, estremità NW);
- 2) **Cedas** (45° 41.55' N, 13° 44.20' E; $h_S = 2.3$ m) (a metà del molo semicircolare);
- 3) **Miramare** (45° 42.11' N, 13° 42.73' E; $h_S = 10.5$ m) (terrazza ad WSW del castello).

In queste tre stazioni si è provveduto, nel corso del 1987 e 1988, alla misura della corrente superficiale alla distanza di circa 10 m dalla riva mediante il lancio di galleggianti lagrangiani, determinandone la posizione e lo spostamento da terra secondo il metodo descritto nel paragrafo 3.1.1. Generalmente le tre stazioni sono state visitate una di seguito all'altra, in modo da avere misure per quanto possibile "simultanee". La durata di ciascuna misura era compresa tra uno e dieci minuti, a seconda della velocità della corrente.

I dati correntometrici relativi alle stazioni di Barcola, Cedas e Miramare sono riportati nella *Tabella 4*. Considerando gli errori caratteristici insiti nella determinazione della posizione, le velocità hanno una precisione di 1 cm/s per quanto riguarda l'intensità v , e di 5° per la direzione θ . Il numero totale di misure è 477, distribuite in 173 giornate dal 2 febbraio 1987 al 12 luglio 1988. Nella tabella sono inoltre riportati i valori medi, riferiti all'intervallo orario precedente le misure, della velocità w e della direzione di provenienza del vento a Trieste

<i>n</i>	gg mese	anno	ora	Barcola		Cedas		Miramare		<i>w</i> m/s	dir	$\Delta\eta/\Delta t$ cm/h	<i>f</i>
				<i>v</i> cm/s	θ	<i>v</i> cm/s	θ	<i>v</i> cm/s	θ				
1	2 febbraio	1987	11	4	290°	-	-	4	270°	5.8	ENE	7	1
2	5 febbraio	1987	9	4	300°	4	300°	-	-	1.0	E	0	3
3	5 febbraio	1987	13	5	300°	5	310°	-	-	1.2	WNW	2	1
4	6 febbraio	1987	9	5	260°	12	300°	2	275°	7.9	E	-5	2
5	9 febbraio	1987	9	1	305°	3	310°	-	-	0.7	WSW	-10	2
6	9 febbraio	1987	12	5	95°	-	-	3	320°	1.6	WSW	-13	2
7	12 febbraio	1987	9	4	305°	2	240°	6	290°	2.8	ESE	-1	1
8	12 febbraio	1987	14	2	300°	4	285°	-	-	2.3	SE	-16	2
9	13 febbraio	1987	9	6	290°	8	260°	15	285°	1.0	WSW	4	1
10	19 febbraio	1987	9	11	245°	19	290°	12	295°	6.6	ENE	9	4
11	20 febbraio	1987	10	19	270°	21	295°	26	275°	8.8	ENE	5	4
12	24 febbraio	1987	9	15	320°	17	320°	17	195°	13.2	ENE	-13	2
13	26 febbraio	1987	9	9	305°	17	275°	17	295°	0.8	ENE	-3	1
14	2 marzo	1987	9	3	340°	3	315°	8	310°	1.0	WNW	17	4
15	5 marzo	1987	9	27	270°	20	290°	10	275°	4.9	E	11	4
16	9 marzo	1987	9	5	295°	13	270°	21	305°	2.8	E	-8	2
17	12 marzo	1987	9	12	290°	17	270°	5	280°	1.6	SE	-6	1
18	17 marzo	1987	8	3	320°	3	290°	13	310°	3.7	ENE	21	4
19	17 marzo	1987	13	8	135°	-	-	-	-	4.7	W	-19	2
20	19 marzo	1987	9	7	295°	12	300°	9	320°	1.4	ENE	17	4
21	24 marzo	1987	9	6	135°	2	310°	16	135°	0.8	WNW	-12	2
22	24 marzo	1987	11	7	125°	10	120°	8	125°	0.7	WNW	-11	2
23	25 marzo	1987	11	5	130°	8	130°	10	120°	0.8	WNW	-16	2
24	26 marzo	1987	9	11	340°	13	310°	36	320°	1.8	ESE	-10	2
25	31 marzo	1987	11	4	315°	12	120°	-	-	3.7	N	-2	1
26	1 aprile	1987	13	37	315°	32	320°	10	250°	8.8	ENE	-12	2
27	2 aprile	1987	8	5	145°	2	55°	3	160°	0.7	NNW	15	4
28	2 aprile	1987	11	5	55°	7	170°	10	135°	1.2	WNW	3	1
29	3 aprile	1987	8	9	315°	10	300°	7	275°	2.8	ESE	9	4
30	7 aprile	1987	8	13	130°	2	120°	35	130°	0.8	NNW	-5	2
31	8 aprile	1987	12	17	125°	28	130°	10	100°	0.8	W	-5	2
32	10 aprile	1987	8	12	310°	13	305°	23	285°	1.6	ESE	0	1
33	14 aprile	1987	9	7	340°	9	345°	19	160°	6.6	ENE	13	4
34	15 aprile	1987	12	4	335°	19	325°	35	140°	3.0	W	-12	2
35	22 aprile	1987	13	6	330°	7	290°	18	180°	1.2	W	6	4

(Tab. 4)

<i>n</i>	gg mese	anno	ora	Barcola		Cedas		Miramare		<i>w</i> m/s	dir	$\Delta\eta/\Delta t$ cm/h	<i>f</i>
				<i>v</i> cm/s	θ	<i>v</i> cm/s	θ	<i>v</i> cm/s	θ				
36	28 aprile	1987	8	6	305°	12	295°	67	165°	5.8	ENE	20	4
37	29 aprile	1987	11	3	140°	5	300°	3	140°	1.8	W	-1	1
38	30 aprile	1987	8	9	310°	8	325°	9	315°	1.4	E	19	4
39	30 aprile	1987	12	4	140°	3	100°	14	165°	1.4	NW	-5	2
40	5 maggio	1987	8	3	40°	2	105°	15	300°	2.0	E	1	3
41	5 maggio	1987	11	6	120°	16	90°	2	110°	1.8	W	5	4
42	7 maggio	1987	13	6	150°	6	140°	2	120°	1.6	W	6	4
43	8 maggio	1987	8	17	140°	9	130°	35	140°	1.4	W	-5	2
44	11 maggio	1987	8	1	290°	5	300°	27	300°	2.3	E	9	4
45	12 maggio	1987	8	9	305°	6	290°	20	305°	2.0	E	14	4
46	13 maggio	1987	11	19	290°	15	300°	43	295°	2.8	ESE	-8	2
47	14 maggio	1987	11	11	140°	27	150°	27	170°	3.5	E	-2	1
48	15 maggio	1987	8	5	340°	3	345°	33	305°	2.0	ESE	23	4
49	20 maggio	1987	11	9	145°	10	140°	3	105°	2.0	WNW	6	4
50	22 maggio	1987	12	6	150°	8	110°	3	105°	2.0	W	-1	3
51	26 maggio	1987	9	16	305°	20	135°	37	150°	2.0	W	6	1
52	26 maggio	1987	14	10	205°	13	250°	21	145°	4.2	WSW	-5	2
53	28 maggio	1987	8	15	280°	16	270°	7	285°	6.8	ENE	20	4
54	28 maggio	1987	17	3	180°	8	230°	4	160°	3.0	NW	9	4
55	29 maggio	1987	8	15	315°	10	310°	25	290°	7.9	ENE	20	4
56	2 giugno	1987	8	8	305°	3	305°	19	280°	2.0	NE	6	4
57	2 giugno	1987	17	6	145°	7	145°	14	130°	1.4	WNW	-3	2
58	3 giugno	1987	17	2	200°	5	125°	6	160°	2.0	NW	-2	1
59	5 giugno	1987	8	4	130°	8	110°	21	305°	1.4	WNW	-5	2
60	6 giugno	1987	17	6	140°	14	140°	36	120°	2.0	W	7	4
61	9 giugno	1987	8	1	140°	7	305°	4	310°	2.3	W	7	4
62	9 giugno	1987	13	7	330°	4	350°	12	80°	1.4	S	-5	2
63	11 giugno	1987	14	14	140°	8	130°	18	130°	2.5	WNW	-8	2
64	12 giugno	1987	8	7	135°	1	335°	19	30°	1.0	W	23	4
65	15 giugno	1987	8	2	305°	6	330°	38	305°	1.6	SE	16	4
66	19 giugno	1987	8	2	10°	21	330°	26	320°	1.6	ESE	-6	2
67	23 giugno	1987	16	10	145°	15	125°	18	120°	2.8	W	12	4
68	24 giugno	1987	9	-	-	-	-	23	145°	1.6	NW	6	1
69	24 giugno	1987	14	6	170°	17	170°	21	135°	2.0	WNW	-3	3
70	27 giugno	1987	10	3	135°	3	135°	17	155°	2.0	NE	12	4

(Tab. 4)

<i>n</i>	gg mese	anno	ora	Barcola		Cedas		Miramare		<i>w</i> m/s	dir	$\Delta\eta/\Delta t$ cm/h	<i>f</i>
				<i>v</i> cm/s	θ	<i>v</i> cm/s	θ	<i>v</i> cm/s	θ				
71	30 giugno	1987	15	16	135°	15	115°	23	130°	3.0	WSW	-8	2
72	1 luglio	1987	17	9	310°	10	300°	5	205°	1.6	W	-8	2
73	8 luglio	1987	18	5	305°	7	290°	8	130°	1.3	WNW	11	4
74	9 luglio	1987	17	12	320°	12	315°	17	300°	6.1	ENE	14	4
75	16 luglio	1987	17	2	130°	7	85°	12	135°	3.1	NW	-12	2
76	17 luglio	1987	17	1	210°	4	225°	3	250°	1.3	WNW	-10	2
77	21 luglio	1987	12	-	-	-	-	1	230°	3.7	W	-2	3
78	21 luglio	1987	18	4	195°	2	250°	4	130°	2.4	W	3	1
79	23 luglio	1987	17	4	145°	2	170°	8	125°	2.8	W	9	4
80	28 luglio	1987	16	4	155°	-	-	38	120°	2.8	W	-10	2
81	31 luglio	1987	15	11	325°	10	325°	17	280°	7.4	ENE	-12	2
82	4 agosto	1987	16	10	205°	7	140°	18	135°	4.9	SW	5	4
83	6 agosto	1987	19	6	290°	7	265°	14	305°	1.9	WSW	4	1
84	11 agosto	1987	18	8	270°	12	270°	8	290°	4.9	ENE	7	4
85	13 agosto	1987	17	1	145°	3	270°	4	270°	1.9	W	-13	2
86	18 agosto	1987	16	2	175°	5	125°	9	130°	1.9	W	1	1
87	20 agosto	1987	17	3	200°	7	285°	15	310°	3.4	E	7	4
88	24 agosto	1987	16	3	205°	3	180°	6	270°	1.9	W	-2	3
89	26 agosto	1987	9	-	-	-	-	2	220°	2.8	SSE	20	4
90	27 agosto	1987	17	5	190°	4	140°	12	140°	3.1	WSW	-6	3
91	3 settembre	1987	17	8	300°	20	310°	12	290°	3.4	E	7	4
92	8 settembre	1987	17	2	160°	7	120°	25	130°	1.3	WNW	7	4
93	10 settembre	1987	17	1	180°	1	240°	3	270°	1.6	WNW	-5	3
94	15 settembre	1987	16	2	30°	2	125°	12	135°	1.6	W	-6	2
95	18 settembre	1987	13	2	145°	4	110°	8	215°	1.1	WNW	-7	2
96	22 settembre	1987	17	3	120°	2	225°	11	135°	1.6	W	12	4
97	24 settembre	1987	17	6	205°	4	255°	18	130°	6.1	SW	4	4
98	29 settembre	1987	16	13	315°	9	310°	14	265°	6.1	ENE	-12	2
99	1 ottobre	1987	16	4	200°	6	300°	6	275°	5.6	ENE	1	1
100	6 ottobre	1987	16	10	290°	15	290°	18	270°	4.1	E	5	3
101	8 ottobre	1987	17	3	180°	5	125°	48	135°	1.6	SSW	5	3
102	13 ottobre	1987	16	2	300°	6	285°	1	5°	4.9	ENE	-11	2
103	15 ottobre	1987	17	2	265°	6	270°	4	245°	1.9	SSE	-2	2
104	20 ottobre	1987	15	7	130°	7	115°	7	125°	1.9	WNW	0	3
105	22 ottobre	1987	17	6	295°	7	275°	21	290°	1.6	ESE	13	4

(Tab. 4)

<i>n</i>	gg	mese	anno	ora	Barcola		Cedas		Miramare		<i>w</i> m/s	dir	$\Delta\eta/\Delta t$ cm/h	<i>f</i>
					<i>v</i> cm/s	θ	<i>v</i> cm/s	θ	<i>v</i> cm/s	θ				
106	24	ottobre	1987	18	3	250°	-	-	3	255°	0.8	NW	13	4
107	29	ottobre	1987	16	14	275°	20	305°	18	290°	8.9	ENE	-6	2
108	30	ottobre	1987	10	10	290°	16	290°	12	310°	9.4	ENE	-6	2
109	3	novembre	1987	15	23	295°	5	315°	18	195°	9.8	ENE	2	3
110	5	novembre	1987	9	4	315°	3	90°	11	135°	4.4	E	1	1
111	6	novembre	1987	9	1	315°	3	320°	2	170°	1.1	E	6	1
112	9	novembre	1987	14	4	235°	3	265°	4	260°	0.6	W	-20	2
113	11	novembre	1987	13	-	-	-	-	17	180°	13.0	ENE	-9	2
114	12	novembre	1987	14	4	183°	2	305°	3	150°	1.1	NW	-6	2
115	16	novembre	1987	10	2	300°	5	295°	12	310°	1.1	SE	-16	2
116	18	novembre	1987	10	-	-	-	-	7	205°	1.1	SE	-19	2
117	24	novembre	1987	11	-	-	-	-	27	265°	4.4	ESE	-2	1
118	24	novembre	1987	13	10	250°	9	255°	20	290°	4.1	ESE	-19	2
119	25	novembre	1987	11	-	-	-	-	50	160°	2.8	SSE	2	1
120	27	novembre	1987	13	8	275°	25	315°	1	270°	3.4	ESE	1	1
121	2	dicembre	1987	14	15	310°	3	95°	7	295°	7.9	ENE	-5	3
122	4	dicembre	1987	9	6	310°	10	285°	11	295°	4.4	ENE	-6	2
123	7	dicembre	1987	9	1	305°	3	285°	11	290°	0.8	ESE	7	1
124	8	dicembre	1987	9	7	280°	13	280°	5	220°	10.8	ENE	7	4
125	15	dicembre	1987	14	14	270°	17	280°	17	270°	2.4	NE	3	4
126	17	dicembre	1987	14	3	320°	6	265°	2	260°	1.1	SE	-2	3
127	18	dicembre	1987	9	1	270°	2	280°	3	260°	0.6	ENE	-13	2
128	22	dicembre	1987	14	-	-	4	325°	22	180°	1.1	WNW	-26	2
129	29	dicembre	1987	12	4	310°	15	310°	8	285°	1.3	ESE	-5	3
130	8	gennaio	1988	12	5	135°	12	85°	17	110°	5.8	ENE	-8	2
131	15	gennaio	1988	9	2	300°	5	280°	9	305°	1.0	E	-16	2
132	18	gennaio	1988	9	3	340°	2	300°	7	305°	1.0	NW	-7	2
133	19	gennaio	1988	13	3	125°	1	355°	2	210°	0.7	WNW	-28	2
134	20	gennaio	1988	10	1	310°	5	290°	26	295°	1.7	SW	-4	1
135	21	gennaio	1988	15	7	300°	7	260°	12	280°	2.0	E	-24	2
136	28	gennaio	1988	12	5	335°	8	290°	5	125°	1.0	WNW	-5	2
137	29	gennaio	1988	9	8	315°	3	295°	18	295°	1.4	ESE	-14	2
138	3	febbraio	1988	12	6	315°	6	295°	5	220°	2.0	SE	-20	2
139	4	febbraio	1988	9	4	340°	1	120°	14	155°	1.0	ESE	7	4
140	5	febbraio	1988	9	3	315°	10	310°	8	185°	1.0	WNW	10	4

(Tab. 4)

n	gg mese	anno	ora	Barcola		Cedas		Miramare		w	dir	$\Delta\eta/\Delta t$	f
				v cm/s	θ	v cm/s	θ	v cm/s	θ				
141	9 febbraio	1988	13	9	140°	9	125°	25	145°	3.5	E	0	1
142	14 febbraio	1988	12	21	340°	-	-	-	-	13.6	ENE	-16	2
143	15 febbraio	1988	9	5	260°	7	310°	3	285°	7.2	E	-12	2
144	17 febbraio	1988	9	6	145°	1	125°	6	305°	2.0	ESE	0	1
145	17 febbraio	1988	17	8	165°	4	130°	13	90°	3.8	WSW	12	4
146	25 febbraio	1988	9	1	160°	2	300°	4	195°	1.0	SE	-5	2
147	25 febbraio	1988	15	5	155°	2	155°	9	155°	1.7	WNW	5	4
148	1 marzo	1988	9	2	65°	3	145°	2	290°	2.5	ESE	-6	2
149	2 marzo	1988	16	8	130°	5	135°	10	130°	4.2	W	-4	3
150	3 marzo	1988	9	-	-	-	-	12	300°	1.4	E	2	1
151	4 marzo	1988	9	-	-	-	-	18	300°	2.9	ESE	4	4
152	9 marzo	1988	9	6	315°	7	105°	2	75°	2.9	NE	10	4
153	14 marzo	1988	13	6	155°	3	130°	3	155°	1.7	NW	-4	3
154	16 marzo	1988	17	11	290°	14	275°	27	285°	4.2	ESE	22	4
155	17 marzo	1988	9	-	-	-	-	10	310°	2.5	ESE	-1	1
156	18 marzo	1988	9	-	-	-	-	4	320°	4.0	ENE	7	1
157	21 marzo	1988	12	6	295°	7	275°	8	270°	1.0	SE	-2	1
158	22 marzo	1988	9	-	-	-	-	20	295°	1.6	E	13	4
159	23 marzo	1988	9	-	-	-	-	15	150°	1.2	WNW	9	4
160	28 marzo	1988	11	6	140°	4	120°	16	125°	1.2	WNW	-11	2
161	6 aprile	1988	8	-	-	-	-	10	280°	8.9	ENE	16	4
162	11 aprile	1988	13	6	135°	7	115°	11	285°	1.2	WNW	10	4
163	12 aprile	1988	14	2	120°	6	135°	4	125°	1.2	WNW	11	4
164	20 aprile	1988	14	9	125°	8	90°	9	115°	2.3	WNW	-6	2
165	27 aprile	1988	12	4	125°	4	90°	9	295°	1.6	WNW	-5	2
166	3 maggio	1988	12	5	155°	4	170°	10	290°	3.7	SE	-10	2
167	18 maggio	1988	11	8	300°	8	300°	20	295°	1.9	WSW	4	1
168	26 maggio	1988	11	10	320°	12	285°	8	121°	2.6	W	-3	3
169	2 giugno	1988	17	6	140°	3	140°	7	135°	1.6	WNW	1	3
170	8 giugno	1988	17	2	115°	4	115°	7	110°	2.3	W	4	1
171	15 giugno	1988	14	4	145°	2	90°	35	125°	5.4	WSW	-7	2
172	23 giugno	1988	12	12	105°	15	110°	42	60°	2.3	WNW	9	4
173	12 luglio	1988	16	7	330°	10	287°	27	295°	4.0	W	3	3

Tab. 4.- Velocità v /(cm/s) e direzione θ della corrente superficiale nelle stazioni di Barcola, Cedas e Miramare; velocità w /(m/s) e direzione del vento a Trieste - ITN; variazione $\Delta\eta/\Delta t$ /(cm/h) e fase f (1 = alta marea; 2 = marea calante; 3 = bassa marea; 4 = marea crescente) della marea astronomica.

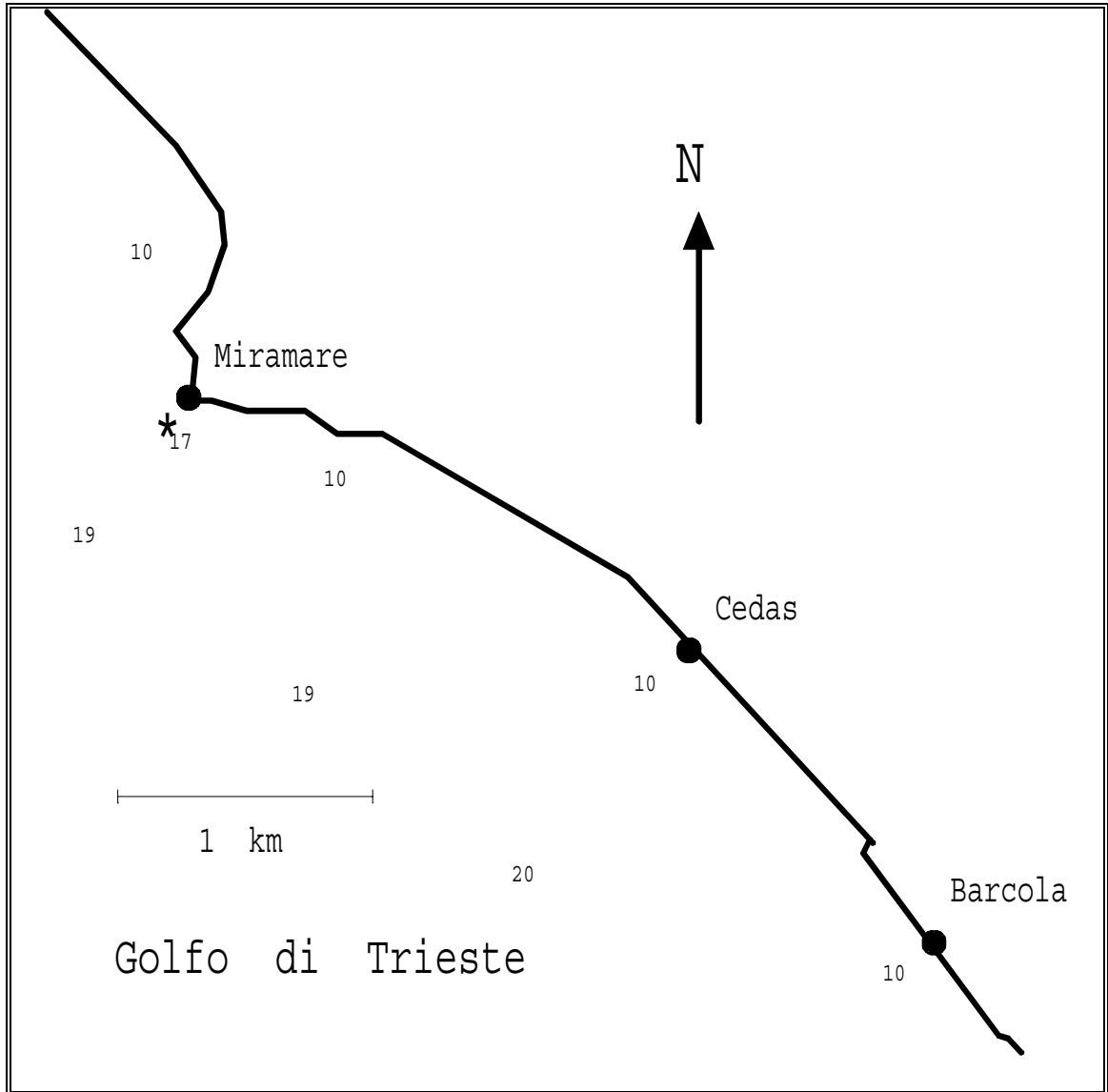
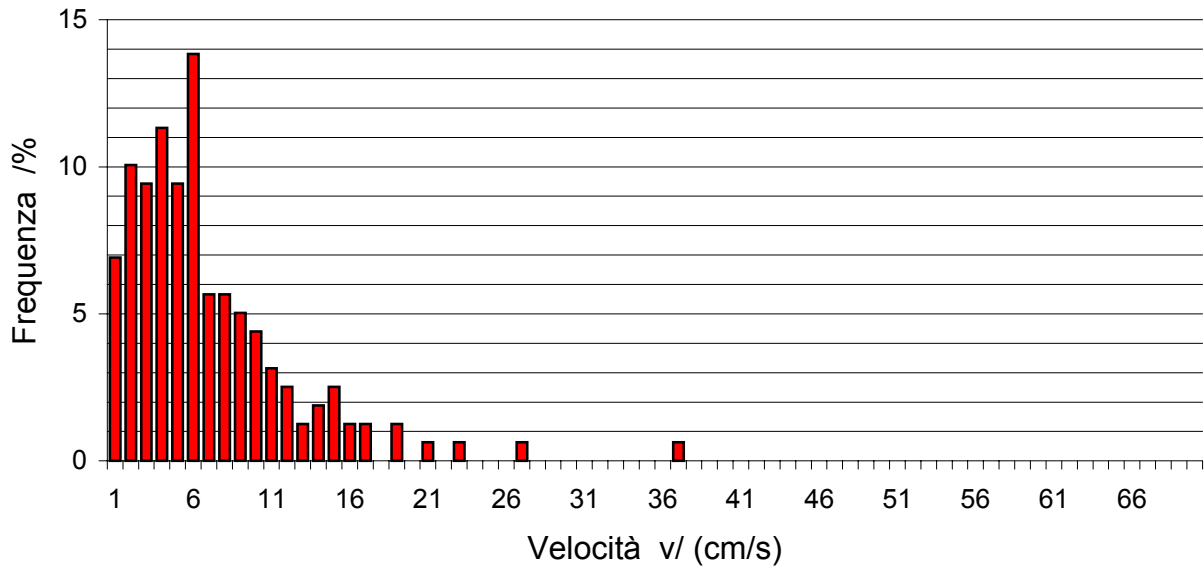


Fig. 11.- Ubicazione delle stazioni di misura nel Golfo di Trieste. Stazioni costiere di Barcola, Cedas e Miramare (misure della corrente superficiale, anni 1987, 1988); (*) stazione di Miramare - Parco Marino (profili verticali di corrente, anno 1992).
Batimetria in metri.

BARCOLA



CEDAS

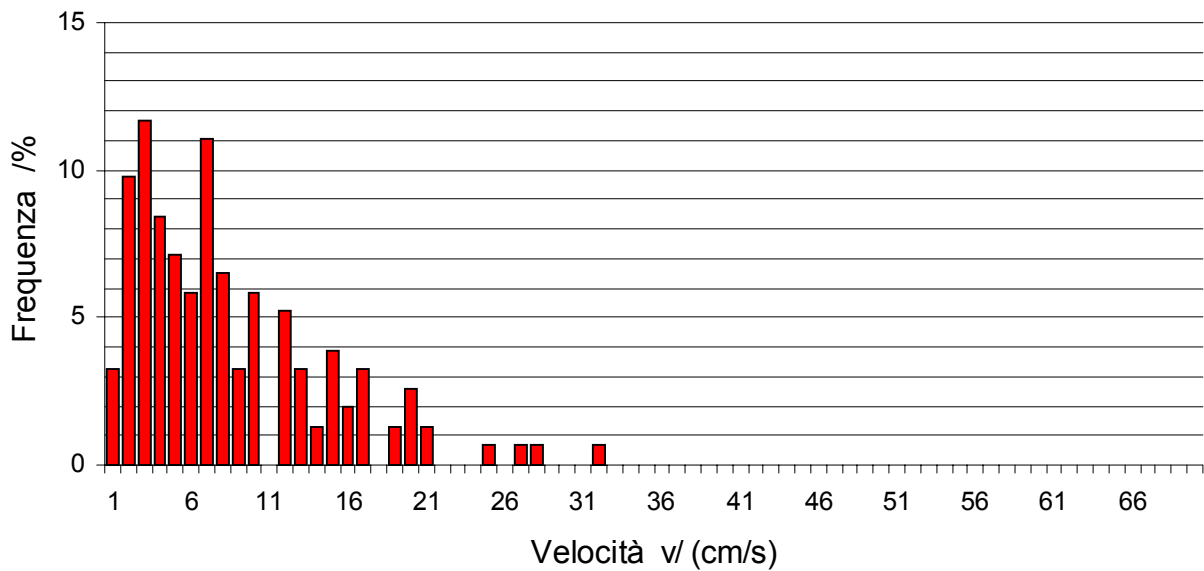
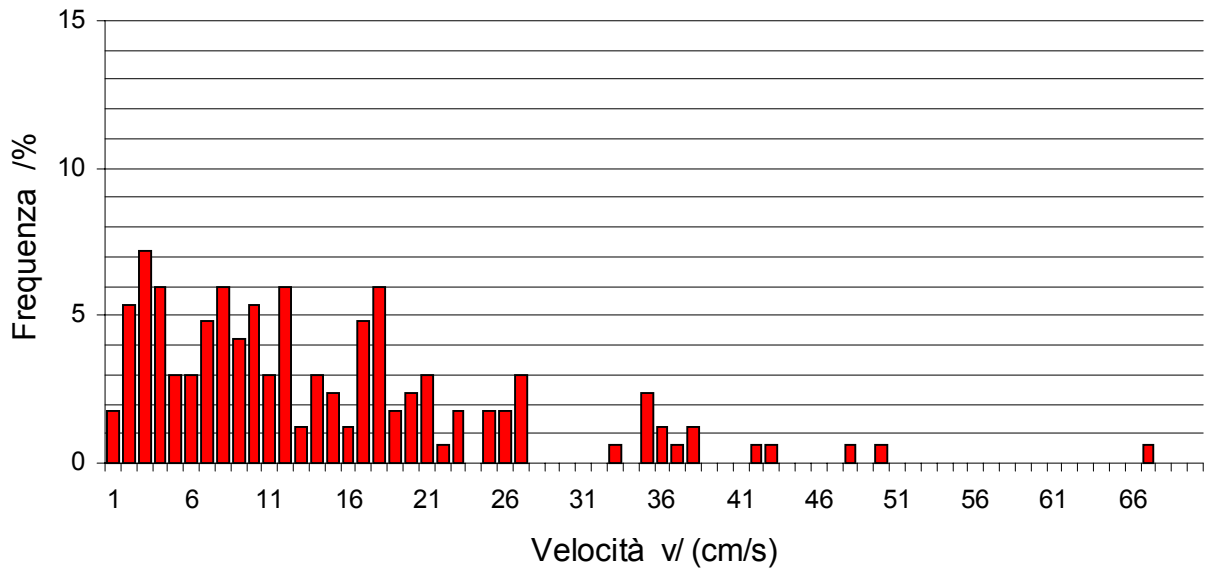


Fig. 12.- Istogramma della velocità della corrente marina nella stazione di Barcola (158 misure) e di Cedas (153 misure).

MIRAMARE



BARCOLA, CEDAS E MIRAMARE

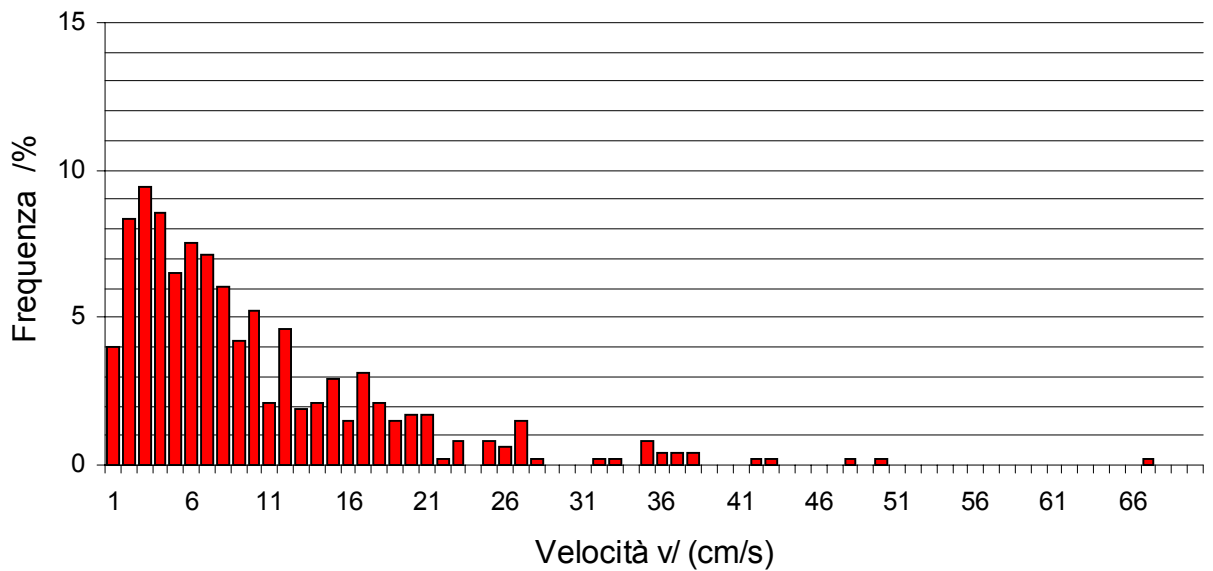


Fig. 13.- Istogramma della velocità della corrente marina nella stazione di Miramare (166 misure) e nelle tre stazioni (Barcola Cedas e Miramare) assieme (477 misure).

(Stravisi e Badina, 1991), la variazione temporale della marea astronomica (Stravisi, Ferraro e Luca, 1986; Stravisi 1987 d) $\Delta\eta/\Delta t$ in centimetri all'ora con l'indicazione della fase di marea f , dove i numeri 1,2,3,4 corrispondono rispettivamente ad *alta marea*, *marea calante*, *bassa marea* e *marea crescente*. Per ciascuna serie di misure, a fianco del numero progressivo e della data, è indicata l'ora (tempo medio dell'Europa centrale o GMT + 1h).

4.2. Analisi dei dati correntometrici.

4.2.1. Istogrammi delle velocità. Per avere le prime informazioni statistiche relative ai dati correntometrici superficiali delle stazioni di Barcola, Cedas e Miramare sono stati calcolati, per ciascuna stazione e per le tre stazioni assieme, gli istogrammi delle intensità v della velocità; i risultati sono rappresentati nelle *Figure 12 e 13*. Le classi di velocità hanno l'ampiezza di 1 cm/s; la frequenza percentuale è stata calcolata in funzione del numero n di dati compresi in ciascuna classe e del numero totale N di dati:

$$\text{frequenza percentuale} = 100 \cdot n / (N - 1) .$$

In base ai corrispondenti istogrammi cumulativi sono stati calcolati, per ciascuna stazione e per il campione totale, i quantili del 10%, 25%, 50% (mediana), 75% e 90% riportati nella *Tabella 5*.

quantile	Barcola	Cedas	Miramare	totale
10 %	1.3 cm/s	1.7 cm/s	2.4 cm/s	1.7 cm/s
25 %	2.9 cm/s	3.0 cm/s	5.6 cm/s	3.4 cm/s
50 %	5.2 cm/s	6.4 cm/s	11.1 cm/s	6.8 cm/s
75 %	8.5 cm/s	11.4 cm/s	18.4 cm/s	12.7 cm/s
90 %	13.7 cm/s	16.5 cm/s	26.9 cm/s	19.8 cm/s
media	6.9 cm/s	8.3 cm/s	14.2 cm/s	9.9 cm/s
<i>N</i>	158	153	166	477

Tab. 5.- *Quantili della distribuzione di frequenza dell'intensità della velocità della corrente superficiale a Barcola, Cedas, Miramare e campione totale; velocità media e numero totale N di dati.*

Le distribuzioni sono asimmetriche positive, cioè con una coda verso i valori maggiori: le medie sono infatti maggiori delle rispettive mediane. La velocità della corrente cresce da Barcola a Miramare, come indicato dalle rispettive medie e dai quantili; i valori massimi misurati nelle tre stazioni sono rispettivamente 37, 32 e 67 cm/s. Considerando il campione totale, vediamo che si ha 50 % di probabilità di trovare una corrente minore, e rispettivamente maggiore, di 6.8 cm/s; 10 % di probabilità di trovare una corrente minore di 1.7 cm/s o maggiore di 19.8 cm/s, e così via.

La distribuzione dei vettori velocità v secondo 16 settori (N, NNE...), relativi al campione

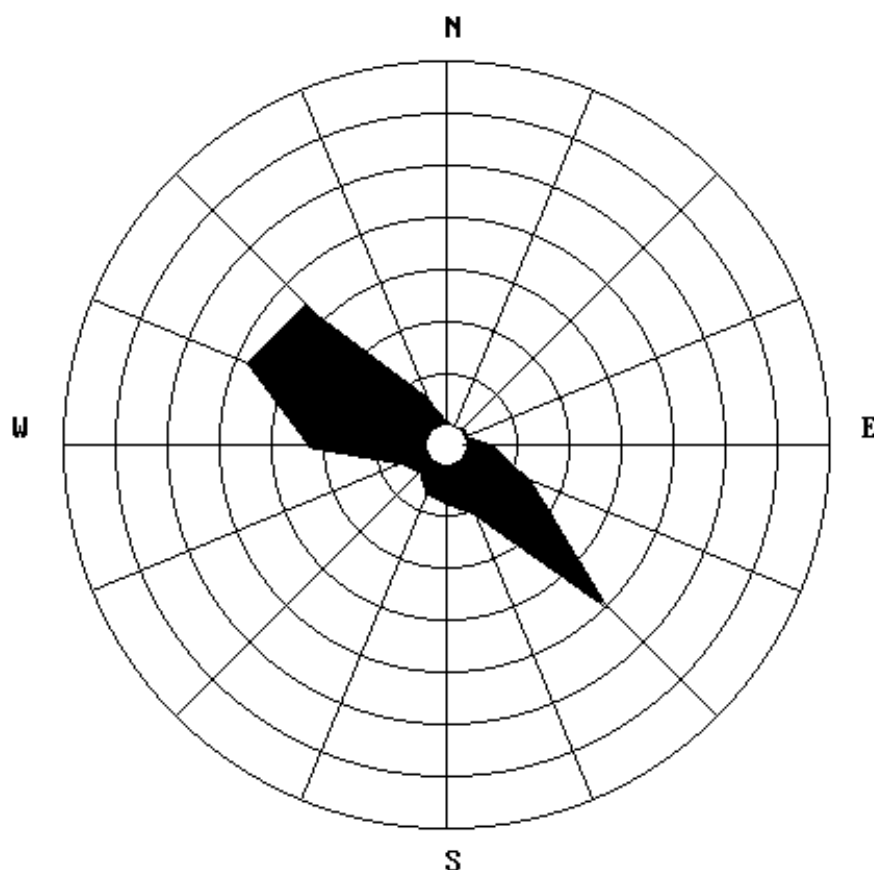


Fig. 14.- Distribuzione direzionale in 16 settori della frequenza percentuale della corrente a Barcola, Cedas e Miramare (totale 477 dati). Distanza tra i cerchi: 5 %.

totale delle tre stazioni (477 dati), sono riportati nel diagramma polare della *Figura 14*; i valori numerici della stessa distribuzione si trovano nella *Tabella 8*. La distribuzione è di tipo bimodale: la corrente è mediamente diretta a NW o a SE, cioè parallela alla linea di costa, con frequenze all'incirca uguali nei due versi.

4.2.2. Le componenti della corrente marina. Il campo orizzontale di velocità \mathbf{v} rappresentante la corrente marina è legato alle forze agenti nel mare tramite la cosiddetta *equazione del momento*:

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{v} \times \mathbf{f} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial z} + \mathbf{M} ;$$

i termini a destra sono rispettivamente la forza (specificata) di gradiente della pressione idrostatica p , la forza di Coriolis (\mathbf{f} è la componente verticale del vettore rappresentante la rotazione terrestre), la forza di attrito, intesa come trasmissione lungo l'asse verticale z (qui positivo in alto) della pressione di attrito orizzontale \mathbf{A} , e la forza di marea \mathbf{M} (Stravisi 1986 b). In altre parole questa equazione, che descrive la conservazione della quantità di moto, dice che la variazione temporale della velocità, o forza di inerzia, è data alla somma di quattro diversi contributi, dovuti rispettivamente (i) alle differenze orizzontali di temperatura, salinità e livello del mare, (ii) alla forza deviatrice di Coriolis, (iii) all'attrito e (iv) alla forza astronomica di marea. Comunemente si usa perciò dire che la corrente è composta dalla somma della corrente termoalina o di densità, della corrente di deriva, causata dall'attrito del

vento sulla superficie del mare e dalla corrente di marea. Differenze di densità (e di livello), vento e marea astronomica sono quindi gli agenti principali della circolazione marina. Nel caso del Golfo di Trieste, questa è inoltre condizionata dalle cosiddette condizioni al contorno, ovvero dalla corrente entrante attraverso il confine aperto del Golfo (linea Grado - Salvore), dalla geometria delle coste e dalla batimetria.

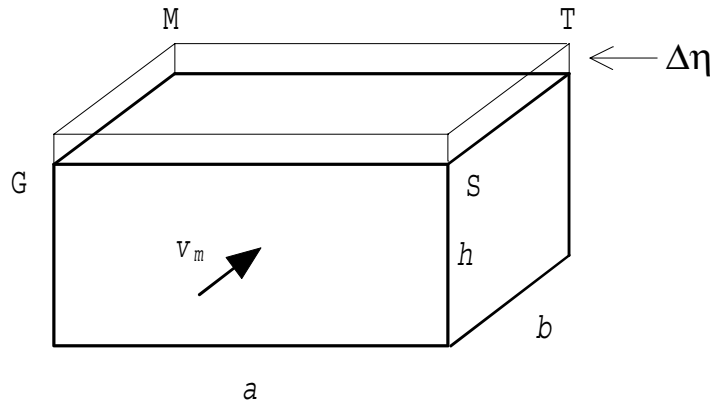


Fig. 15.- Stima della corrente di marea.

Una stima dell'intensità della corrente di marea è facilmente ottenuta con l'ausilio della *Figura 15*. Il Golfo di Trieste è schematicamente rappresentato da un parallelepipedo di lati a , b e profondità h con i vertici posizionati a Trieste, Monfalcone, Grado e Salvore (T,M,G,S). Durante una fase di marea crescente di durata Δt il livello del mare si innalza di $\Delta\eta$; l'aumento di volume è uguale al flusso d'acqua entrato nello stesso intervallo di tempo attraverso il lato aperto G-S:

$$a b \Delta\eta = a h (v_m \Delta t) .$$

L'intensità media della corrente di marea che attraversa la sezione aperta è quindi data da:

$$v_m = (b/h) \Delta\eta/\Delta t .$$

Considerando come valori rappresentativi $b = 20$ km, $h = 20$ m, $\Delta\eta = 40$ cm e $\Delta t = 6$ h, si calcola che $v_m = 2$ cm/s. Possiamo quindi ritenere che, con un valore medio di 2 cm/s, la corrente di marea raggiunga valori massimi, lungo il confine aperto del Golfo, di circa 10 cm/s; tale intensità inoltre diminuisce linearmente a zero con la distanza b dalla costiera triestina M-T. La conclusione è quindi che, nelle stazioni di Barcola, Cedas e Miramare da noi considerate la corrente di marea deve avere un'intensità molto piccola; visto inoltre che i valori effettivamente misurati sono alquanto maggiori, in media 9.9 cm/s (Tabella 5), si deduce che il ruolo fondamentale è giocato dalla corrente entrante nel Golfo dall'Adriatico e dalla corrente di deriva prodotta dal vento sul Golfo.

Nei paragrafi seguenti cercheremo dunque di studiare separatamente i contributi dati rispettivamente dal vento sul Golfo e dalla marea astronomica.

4.2.3. Correlazione con il vento. Nel paragrafo 2.9 abbiamo ricordato che la circolazione nel Golfo di Trieste è fortemente influenzata dal vento. L'intensità del campo di vento presente sulla superficie del Golfo è ben rappresentato dai dati anemografici della stazione di Trieste - ITN. Nell'ipotesi che anche nella zona costiera compresa tra Barcola e Miramare la

corrente marina abbia una componente di deriva significativa, analogamente a quanto avviene al largo, l'intensità della velocità dell'acqua dovrebbe crescere con la velocità del vento. Per verificare questa ipotesi è stata dunque calcolata, in base ai dati della Tabella 4, la regressione lineare tra le serie c_n e w_n , dove c è la media aritmetica dei dati esistenti nelle tre stazioni e w è la velocità media oraria del vento al tempo delle misure, per $n = 1, 173$ (numero di giornate campionate). I risultati della regressione (*Figura 16*) sono i seguenti:

$$c /(\text{cm/s}) = (0.80 \pm 0.13) w /(\text{m/s}) + (7.7 \pm 0.5) \pm 4.3 ;$$

con (\pm) sono indicati gli errori probabili dei parametri della retta e della regressione. In funzione del coefficiente di correlazione lineare $r = 0.302$ e del numero $N = 173$ di dati si calcola una probabilità di non correlazione pari a 0.53×10^{-4} : il che significa che le intensità della corrente marina e del vento sono correlati. Si noti inoltre che l'intercetta della retta di regressione è significativamente positiva (7.7 cm/s): ciò starebbe ad indicare che, anche in assenza di vento, è comunque presente una circolazione costiera di tipo quasi-stazionario, che in base ai risultati già noti, supponiamo per lo più dovuta alla corrente entrante dall'Adriatico.

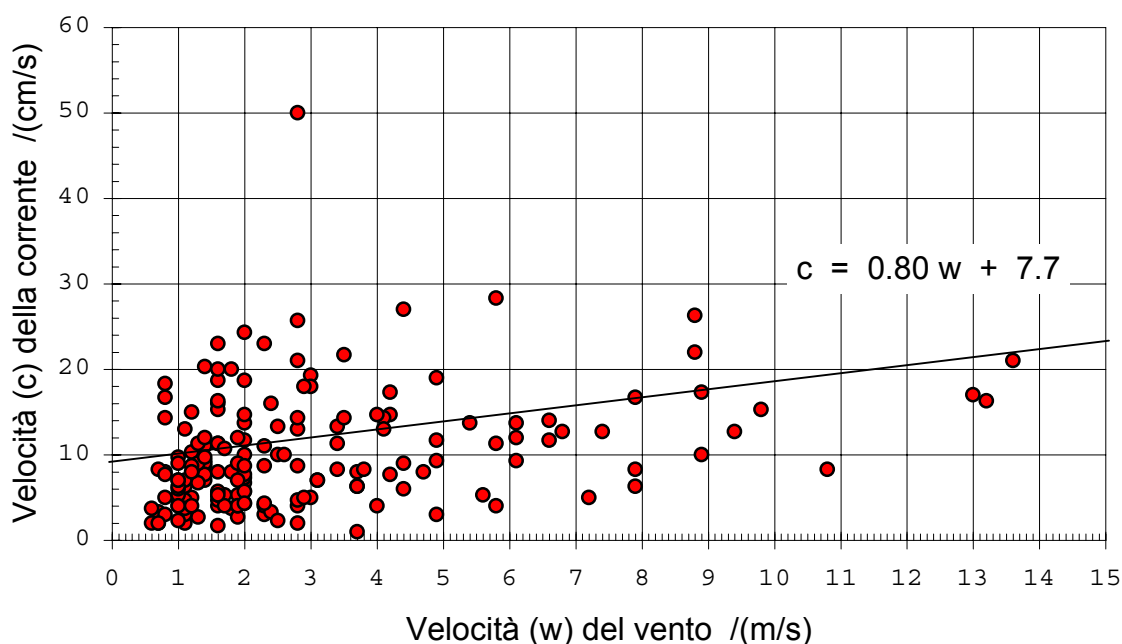


Fig. 16.- Velocità della corrente media a Barcola, Cedas e Miramare in funzione della velocità del vento a Trieste.

Per studiare l'eventuale dipendenza della corrente marina v dalla direzione del vento, sono state considerate separatamente, in ciascuna delle tre stazioni, le misure effettuate in presenza di venti orientali e rispettivamente occidentali, (*Figure 17, 18, 19, 20, 21 e 22*) con la seguente suddivisione:

- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| (E) venti orientali: | NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S |
| (W) venti occidentali: | SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, NNW, N |

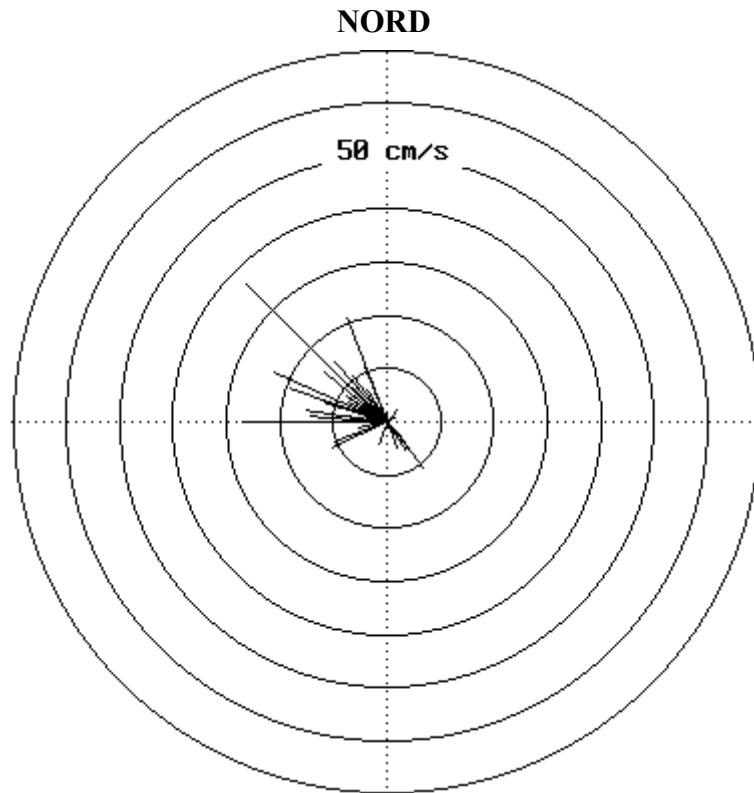


Fig. 17.- Velocità $v(\theta)$ misurate a **Barcola** con vento da E (77 casi).
Velocità risultante: 6.3 cm/s 298°.

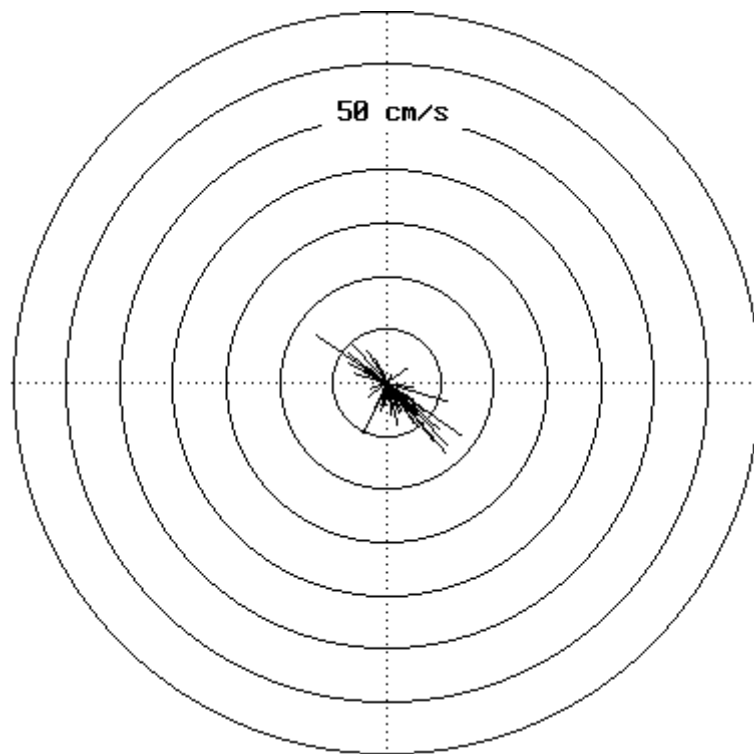


Fig. 18.- Velocità $v(\theta)$ misurate a **Barcola** con vento da W (81 casi).
Velocità risultante: 2.7 cm/s 150°.

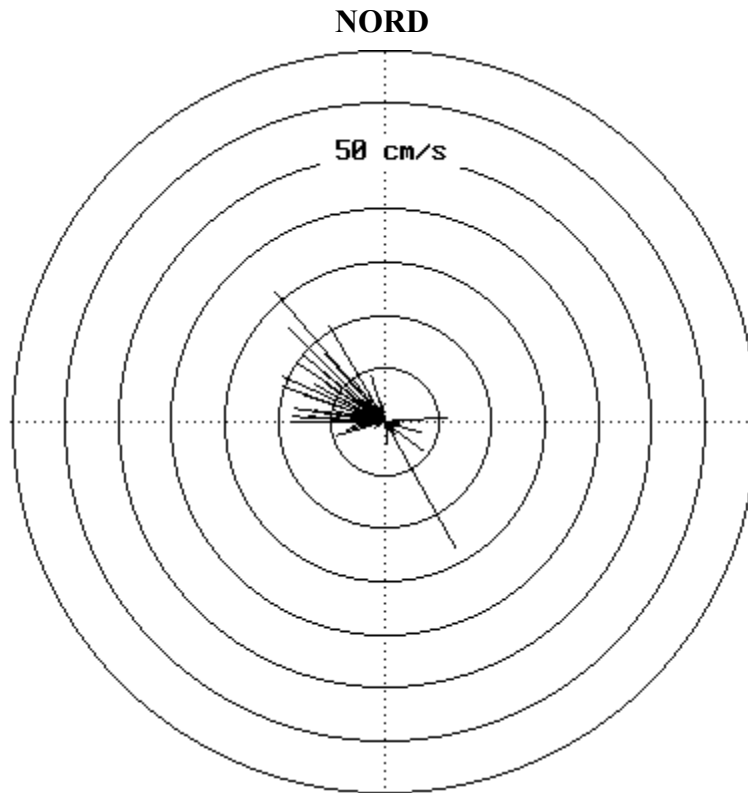


Fig. 19.- Velocità $v(\theta)$ misurate a *Cedas* con vento da E (75 casi).
Velocità risultante: 7.4 cm/s 296°.

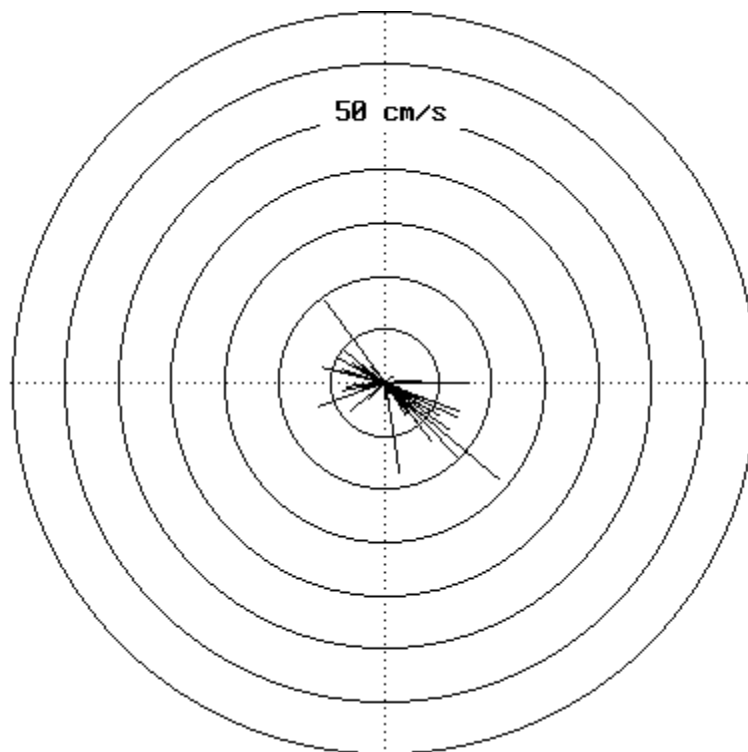


Fig. 20.- Velocità $v(\theta)$ misurate a *Cedas* con vento da W (78 casi).
Velocità risultante: 2.3 cm/s 142°.

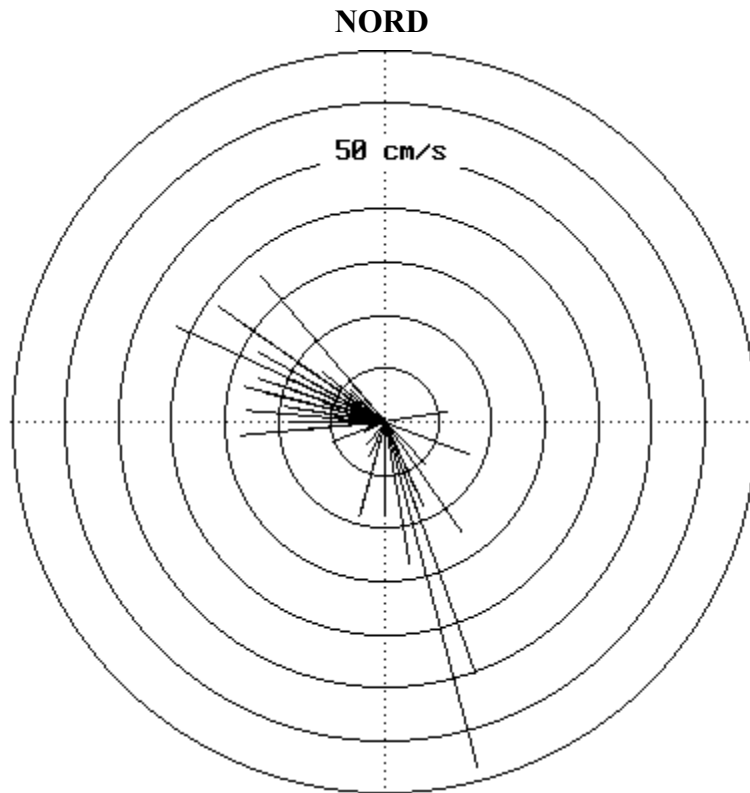


Fig. 21.- Velocità $v(\theta)$ misurate a **Miramare** con vento da E (85 casi).
Velocità risultante: 8.5 cm/s 275°.

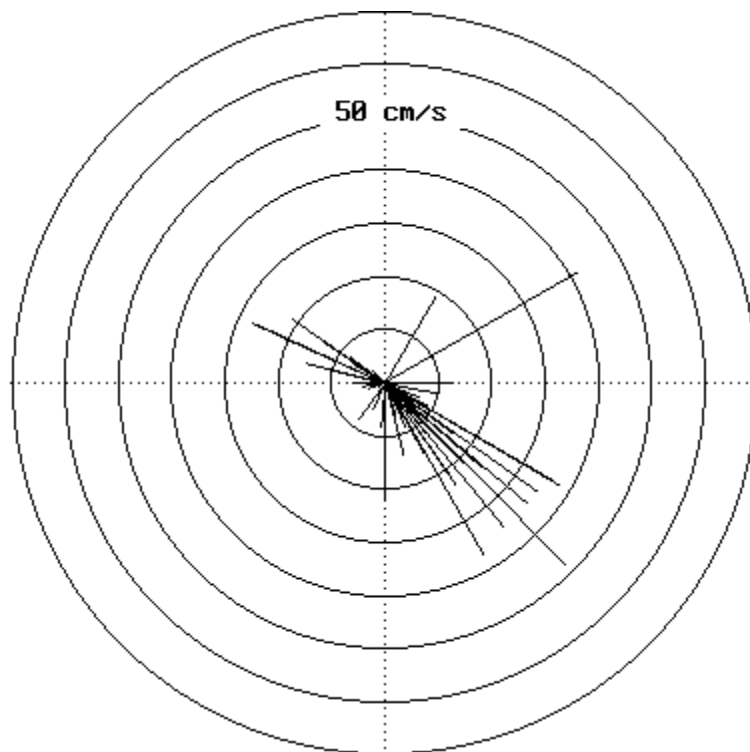


Fig. 22.- Velocità $v(\theta)$ misurate a **Miramare** con vento da W (81 casi).
Velocità risultante: 7.9 cm/s 137°.

vento	Barcola					Cedas					Miramare				
	<i>n</i>	<i>c</i> cm/s	<i>v</i> cm/s	ϑ	stab	<i>n</i>	<i>c</i> cm/s	<i>v</i> cm/s	ϑ	stab	<i>n</i>	<i>c</i> cm/s	<i>v</i> cm/s	ϑ	stab
E	77	8.1	6.3	298°	78 %	75	9.8	7.4	296°	76 %	85	14.7	8.5	275°	58 %
W	81	5.7	2.7	150°	47 %	78	6.9	2.3	142°	33 %	81	13.5	7.9	137°	59 %
tot	158	6.9	2.1	277°	30 %	153	8.3	2.6	285°	31 %	166	14.2	3.0	215°	21 %

Tab. 6.- Numero di misure *n*, velocità media scalare *c*, media vettoriale *v* e direzione risultante ϑ , stabilità percentuale della corrente superficiale di ciascuna stazione per venti orientali (E), occidentali (W) e totale (tot). Numero totale di misure: 477.

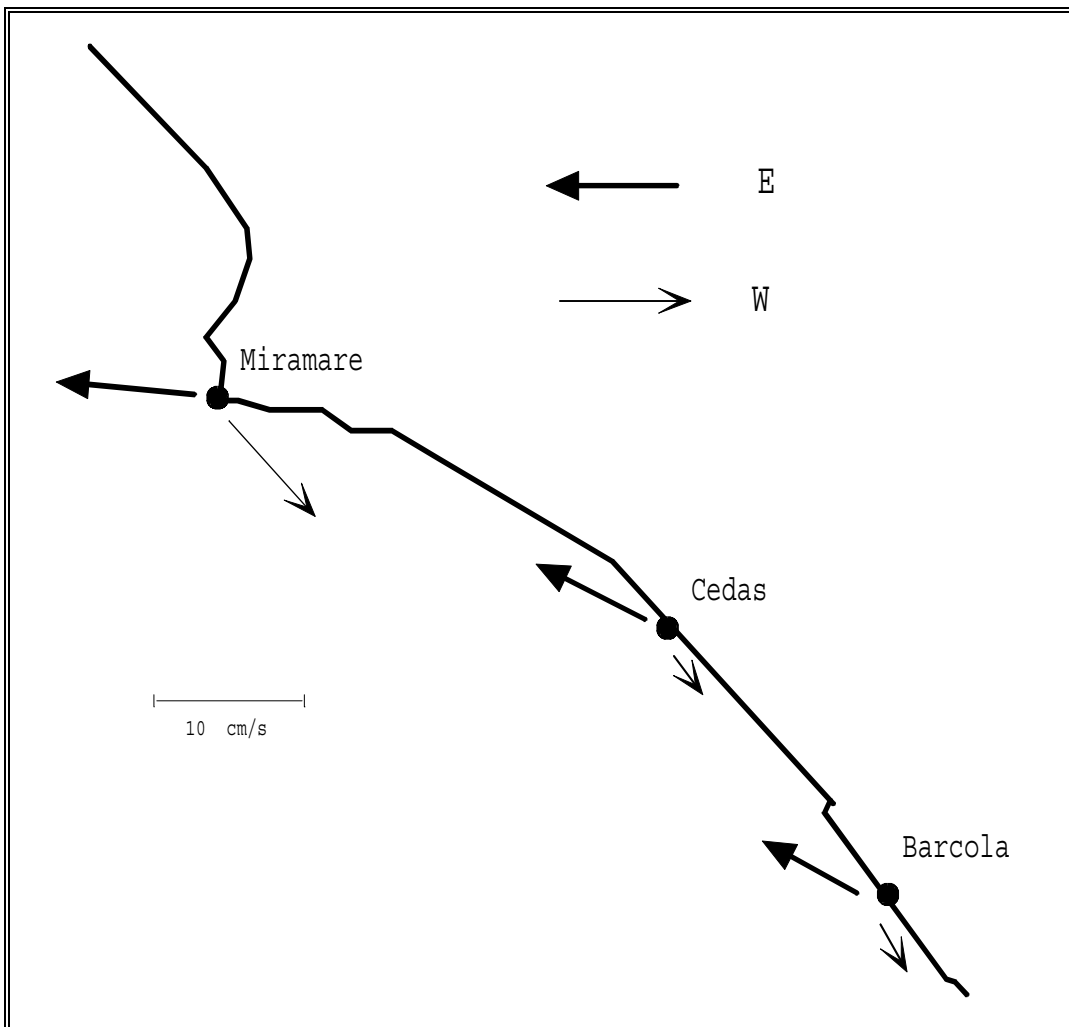


Fig. 23.- Velocità superficiali presso la costa nelle tre stazioni di misura: medie vettoriali in presenza di venti orientali (E) ed occidentali (W).

Per ogni stazione, per i due tipi di vento e per tutte le misure assieme, sono state calcolate la velocità media scalare c e la velocità risultante v . Detto n il numero di dati (v_i, θ_i) in ciascun gruppo, le definizioni sono le seguenti:

$$c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad , \quad \mathbf{v} \equiv (v, \vartheta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{v}_i \quad .$$

Il modulo v della velocità risultante è sempre minore di c , o uguale ad esso se tutti i vettori velocità hanno la stessa direzione; pertanto il rapporto $c/v \leq 1$ è un indice di stabilità della direzione della corrente. Questi dati sono riportati nella *Tabella 6*.

Le velocità medie vettoriali, rappresentate nella *Figura 23*, risultano dirette secondo il vento, in accordo con la circolazione nel Golfo al largo: l'intensità cresce mediamente da Barcola a Miramare. A Barcola ed al Cedas la stabilità della direzione della corrente è maggiore per i venti orientali (78 %, 76 %) che per quelli occidentali (47 %, 33 %); a Miramare esse sono uguali (58 %, 59 %); quanto detto appare anche da un esame delle Figure 17-22. Il profilo della costa svolge ovviamente un ruolo fondamentale: a Barcola ed al Cedas la corrente tende a mantenersi parallela alla riva; a Miramare, situato su di un promontorio, vi è una maggiore possibilità di variazione.

In conclusione: il vento influenza notevolmente la circolazione superficiale tra Barcola e Miramare, sospingendo in media la corrente parallelamente alla costa con verso concorde, ed aumentandone l'intensità di quasi 1 cm/s ogni metro al secondo. La circolazione in prossimità della riva è inoltre conforme a quella già nota al largo.

4.2.4. Correlazione con la marea. Seguendo lo stesso ragionamento già fatto nel paragrafo precedente per il vento, nell'ipotesi che la circolazione dipenda dalla marea astronomica e visto che la corrente di marea è proporzionale a $\Delta\eta/\Delta t$ (paragrafo 4.2.2), è stata

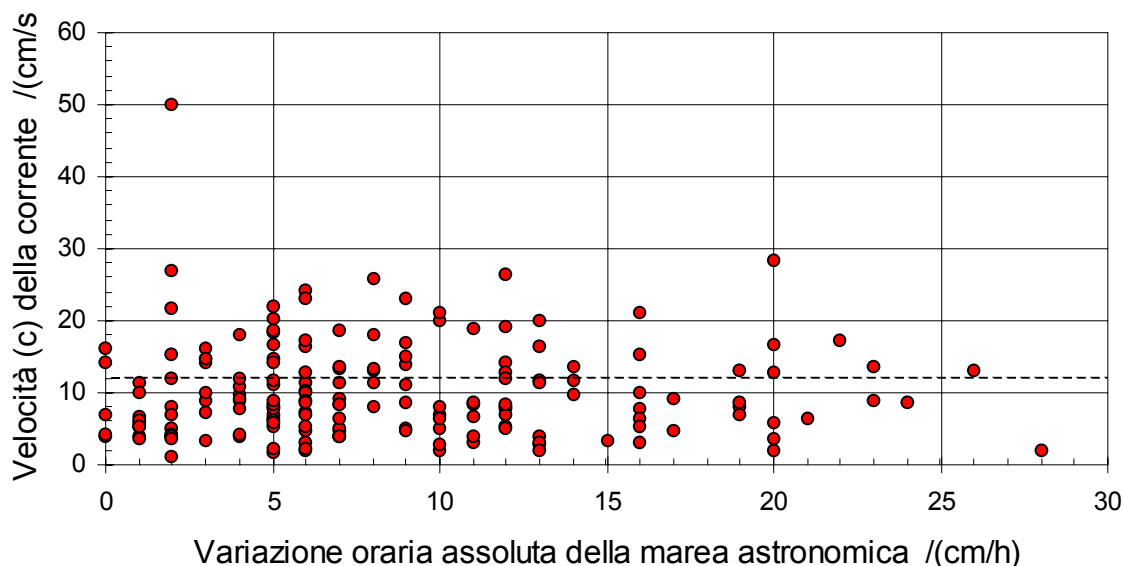


Fig. 24.- Velocità della corrente media a Barcola, Cedas e Miramare in funzione della variazione oraria assoluta della marea astronomica. Retta di regressione tratteggiata.

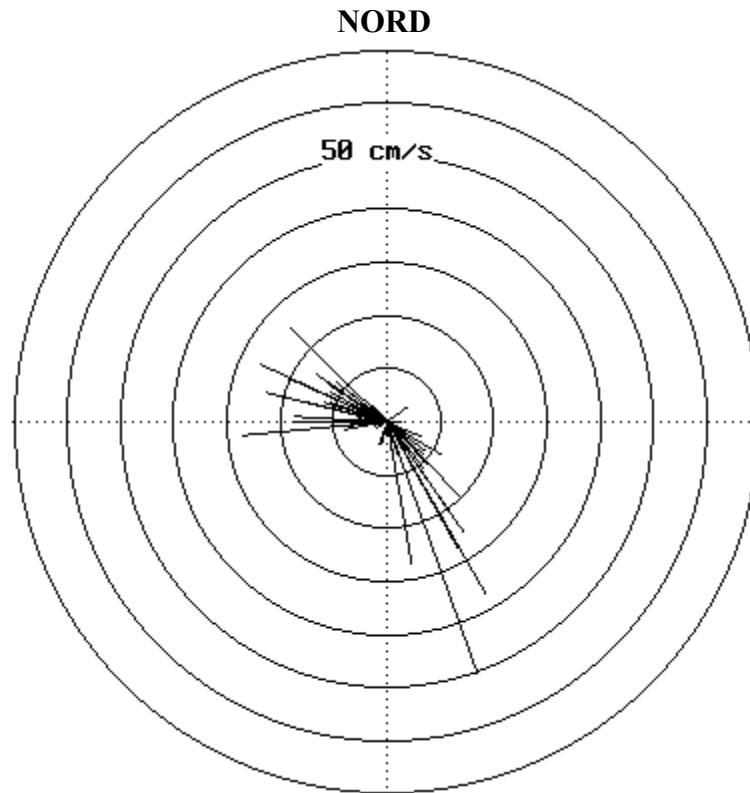


Fig. 25.- Velocità $v(\theta)$ misurate a *Barcola, Cedas e Miramare* in situazione di *alta marea* (84 casi). Velocità media: 3.0 cm/s 242°.

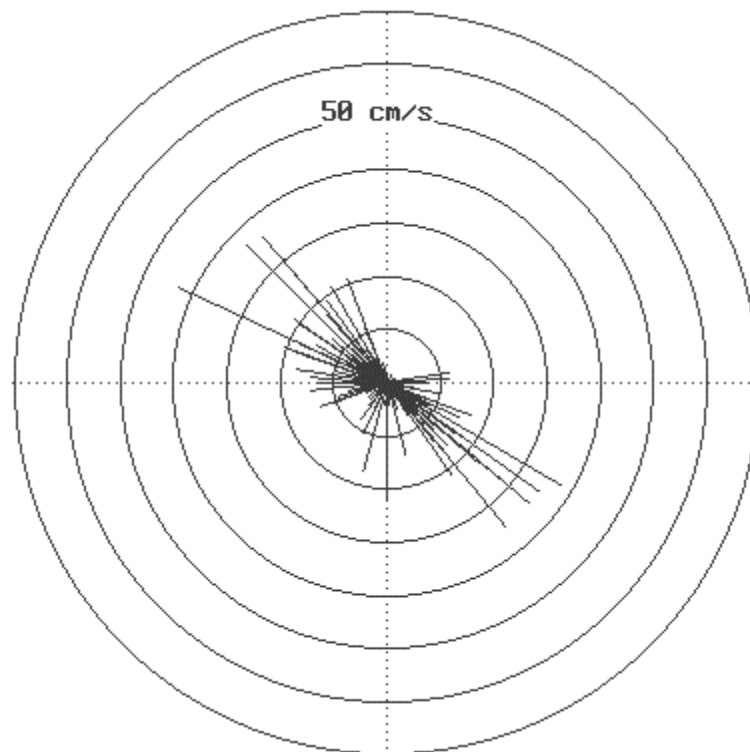


Fig. 26.- Velocità $v(\theta)$ misurate a *Barcola, Cedas e Miramare* in situazione di *maree calante* (179 casi). Velocità media: 1.3 cm/s 250°.

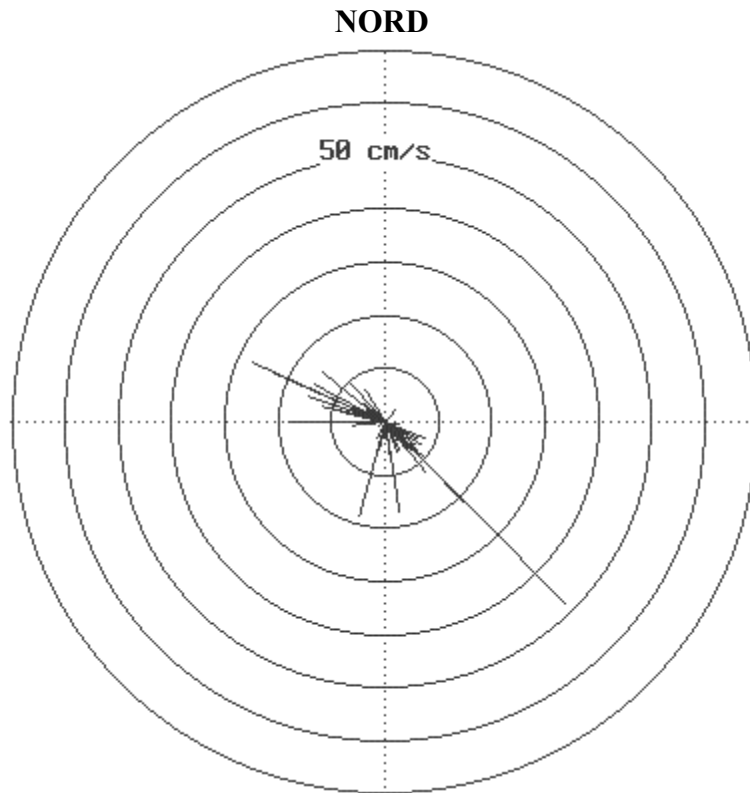


Fig. 27.- Velocità $v(\theta)$ misurate a *Barcola, Cedas e Miramare* in situazione di *bassa marea* (57 casi). Velocità media: 1.9 cm/s 211°.

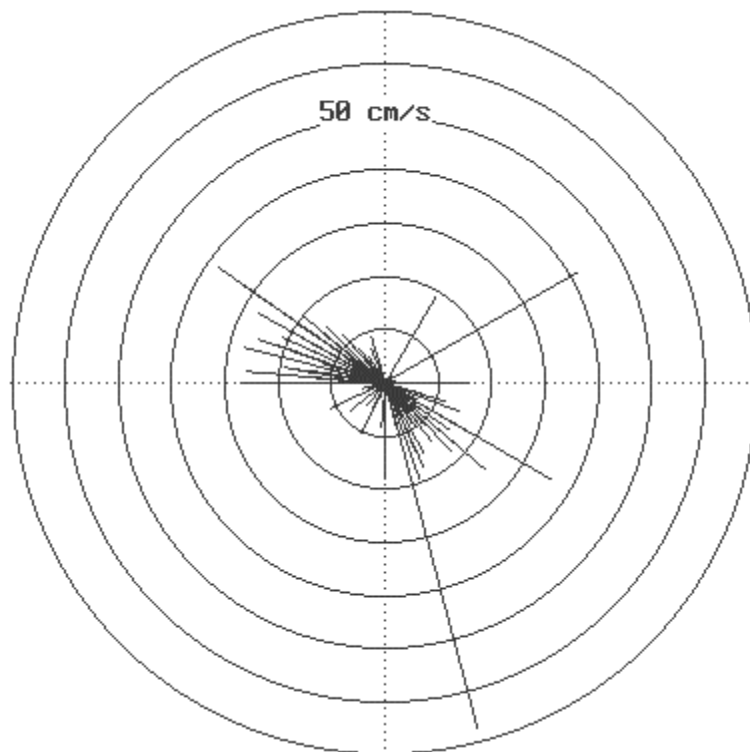


Fig. 28.- Velocità $v(\theta)$ misurate a *Barcola, Cedas e Miramare* in situazione di *marea crescente* (157 casi). Velocità media: 3.1 cm/s 272°.

	fase della marea	n	c cm/s	v cm/s	ϑ	stab
1	alta marea	84	9.6	3.0	242°	31 %
2	marea calante	179	9.8	1.3	250°	13 %
3	bassa marea	57	8.5	1.9	211°	22 %
4	marea crescente	157	10.6	3.1	272°	29 %
	totale	477	9.9	2.2	255°	22 %

Tab. 7.- Numero di misure n , velocità media scalare c , media vettoriale v e direzione risultante ϑ , stabilità percentuale della corrente superficiale nelle tre stazioni (Barcola, Cedas e Miramare) per quattro fasi della marea astronomica e totale.

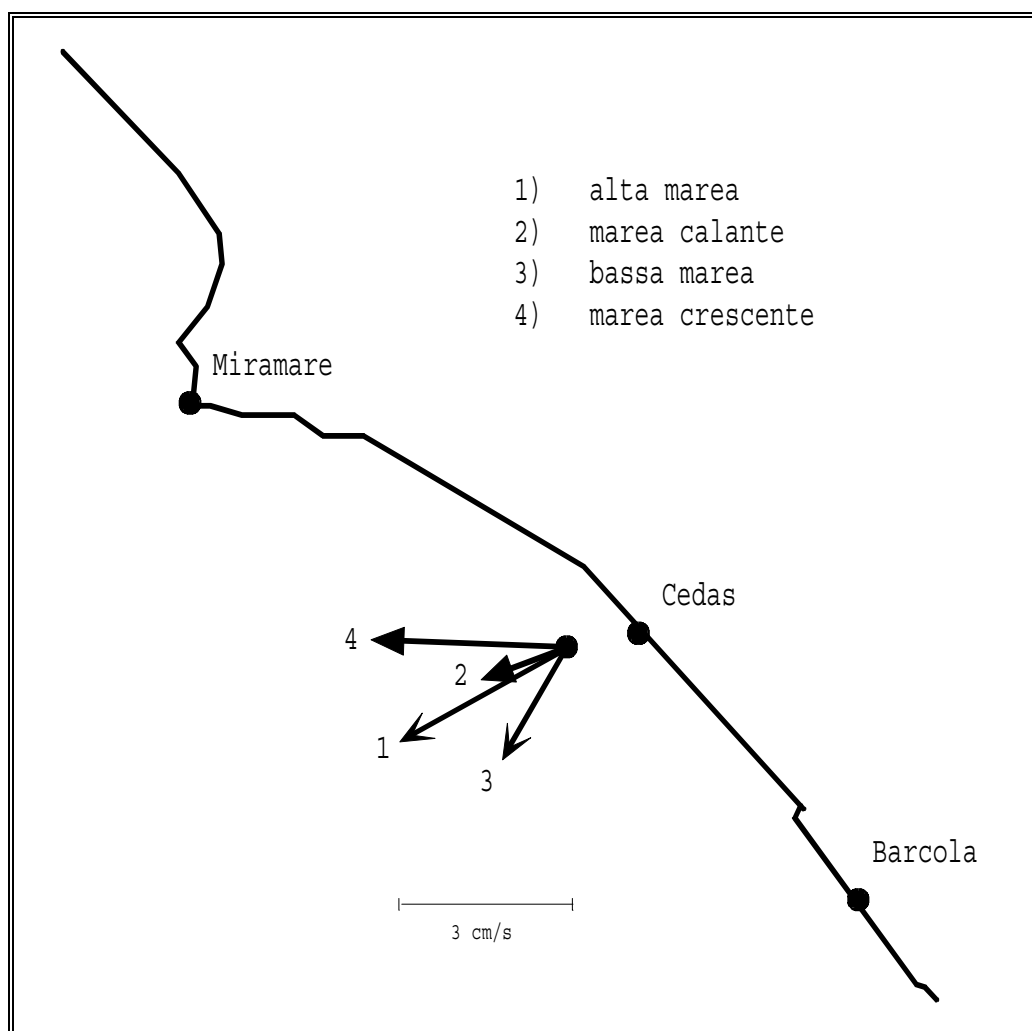


Fig. 29.- Velocità superficiali presso la costa nell'insieme delle tre stazioni di misura: medie vettoriali durante quattro fasi della marea astronomica.

calcolata la retta di regressione (*Figura 24*) tra i valori medi della velocità c misurati in ogni giornata nelle tre stazioni ed il valore assoluto della variazione oraria della marea astronomica (Tabella 4). Il risultato è il seguente:

$$c /(\text{cm/s}) = (-0.003 \pm 0.057) (\Delta\eta/\Delta t)/(\text{cm/h}) + (10.2 \pm 0.6) \pm 4.5 .$$

Il coefficiente di correlazione lineare è $r = -0.003$, che per $N = 173$ dà una probabilità di non correlazione uguale a 0.97. Corrente complessiva e marea astronomica sono quindi correlate con una probabilità di appena 3 %: questo indica che l'eventuale componente di marea della corrente costiera nelle tre stazioni è piccola in rapporto alla corrente totale.

I vettori velocità della corrente misurati a Barcola, Cedas e Miramare (Tabella 4), divisi in quattro gruppi a seconda della fase della marea astronomica, sono rappresentati nelle *Figure 25, 26, 27 e 28*: le tre stazioni sono state considerate assieme in quanto le singole distribuzioni sono tra loro poco differenziate. Le velocità medie scalari e vettoriali ed il corrispondente coefficiente di stabilità, per ciascuna fase di marea e per l'insieme delle 477 misure, sono riportati nella *Tabella 7*. Le medie vettoriali sono rappresentate nella *Figura 29* (si noti che la scala della velocità è diversa da quella della *Figura 23*); lo scostamento di ciascun vettore (1,2,3,4) dalla media totale indica velocità attribuibili alla marea dell'ordine di 1 cm/s, con una forte variabilità nelle rispettive direzioni. Tale analisi conferma che il segnale originato dalla marea astronomica nella circolazione costiera superficiale è molto debole al confronto del segnale attribuibile a cause diverse.

	totale		E		W		1		2		3		4	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
N	4	0.8	3	1.3	1	0.4	0	0.0	4	2.2	0	0.0	0	0.0
NNE	2	0.4	0	0.0	2	0.8	0	0.0	1	0.6	0	0.0	1	0.6
NE	3	0.6	1	0.4	2	0.8	1	1.2	0	0.0	1	1.7	1	0.6
ENE	3	0.6	2	0.8	1	0.4	0	0.0	1	0.6	0	0.0	2	1.3
E	13	2.7	4	1.7	9	3.7	1	1.2	9	5.0	1	1.7	2	1.3
ESE	33	6.9	4	1.7	29	12.0	4	4.7	10	5.6	5	8.6	14	8.9
SE	96	20.1	11	4.6	85	35.3	16	18.8	42	23.3	14	24.1	24	15.2
SSE	25	5.2	8	3.4	17	7.1	4	4.7	5	2.8	3	5.2	13	8.2
S	18	3.8	4	1.7	14	5.8	4	4.7	4	2.2	6	10.3	4	2.5
SSW	15	3.1	6	2.5	9	3.7	3	3.5	7	3.9	2	3.4	3	1.9
SW	9	1.9	3	1.3	6	2.5	0	0.0	4	2.2	1	1.7	4	2.5
WSW	13	2.7	6	2.5	7	2.9	2	2.4	6	3.3	1	1.7	4	2.5
W	54	11.3	46	19.3	8	3.3	12	14.1	19	10.6	5	8.6	18	11.4
WNW	90	18.8	70	29.4	20	8.3	20	23.5	30	16.7	11	19.0	29	18.4
NW	82	17.2	59	24.8	23	9.5	17	20.0	30	16.7	6	10.3	29	18.4
NNW	17	3.6	10	4.2	7	2.9	0	0.0	7	3.9	1	1.7	9	5.7
Totale	477		237		240		84		179		57		157	

Tab. 8.- Distribuzione direzionale della corrente superficiale a Barcola, Cedas e Miramare: totale; venti orientali (E) ed occidentali (W); marea alta (1), calante (2), bassa (3) e crescente (4). Numero *n* di misure e corrispondente frequenza percentuale.

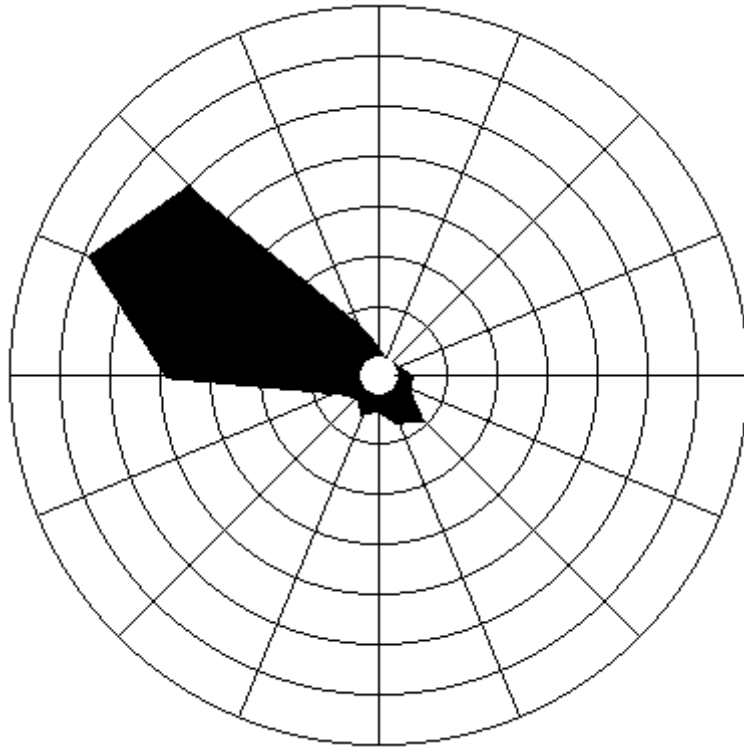


Fig. 30.- *Distribuzione direzionale in 16 settori della frequenza percentuale della corrente a Barcola, Cedas e Miramare con venti da E (237 dati). Distanza tra i circoli: 5 %.*

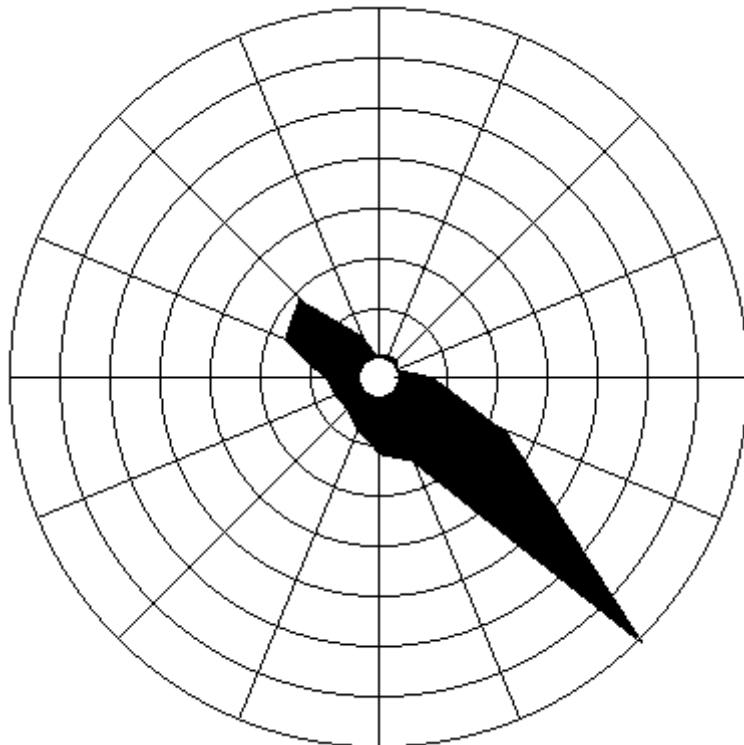
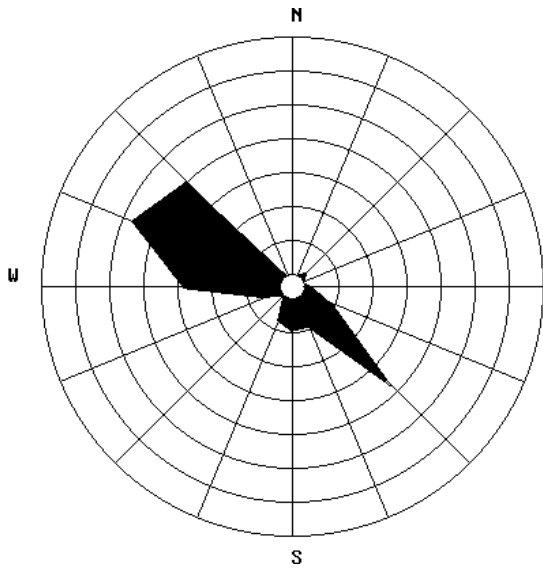
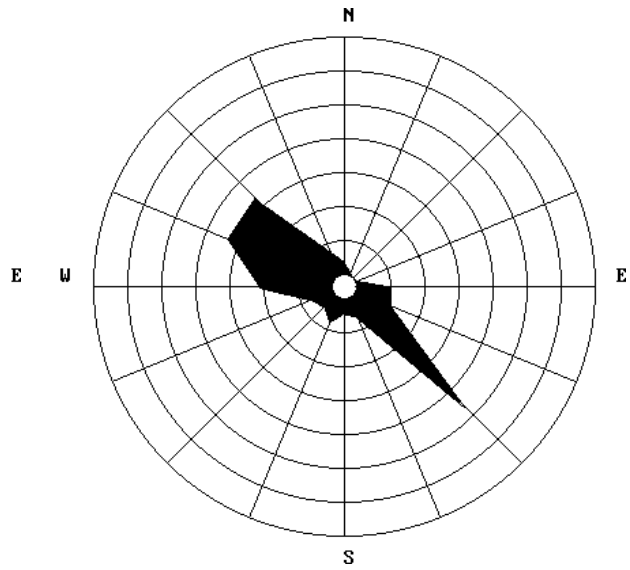


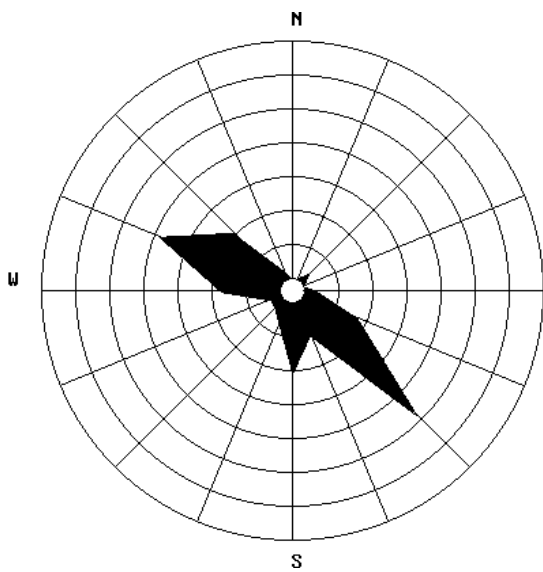
Fig. 31.- *Distribuzione direzionale in 16 settori della frequenza percentuale della corrente a Barcola, Cedas e Miramare con venti da W (240 dati). Distanza tra i circoli: 5 %.*



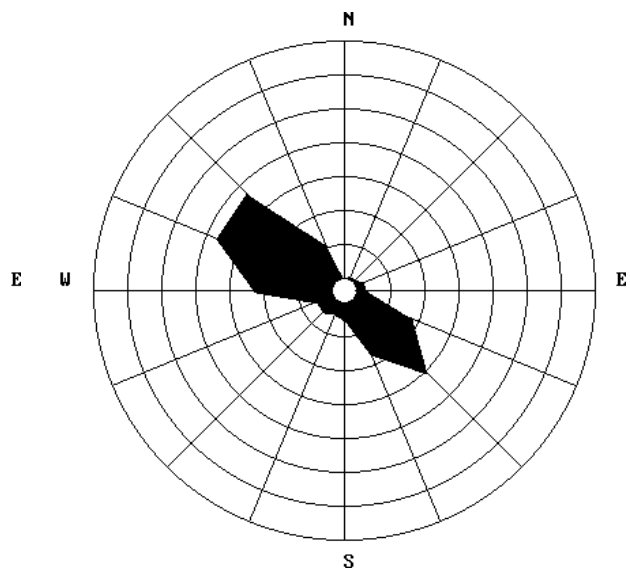
(1) Alta marea (84 casi)



(2) Marea calante (179 casi)



(3) Bassa marea (57 casi)



(4) Marea crescente (157 casi)

Fig. 32.- Distribuzione direzionale in 16 settori della frequenza percentuale della corrente a Barcola, Cedas e Miramare per quattro fasi della marea astronomica. Distanza tra i cerchi: 5 %.

4.2.5. Distribuzione direzionale della corrente superficiale. Sono state infine calcolate le distribuzioni direzionali della corrente superficiale nell'insieme delle tre stazioni di Barcola, Cedas e Miramare (dati della Tabella 4), secondo i 16 settori convenzionali N, NNE, ... NNW, relative (i) al campione totale, (ii) alle misure effettuate in presenza di venti orientali (E) e rispettivamente occidentali (W), e (iii) durante le quattro fasi della marea astronomica (alta, calante, bassa e crescente). Le distribuzioni sono riportate nella *Tabella 8*; le frequenze percentuali sono rappresentate con diagrammi polari nelle *Figure 30, 31 e 32*.

In accordo con le analisi effettuate nei paragrafi precedenti, anche da queste distribuzioni, essenzialmente bimodali, appare netta la tendenza della corrente a scorrere parallelamente alla linea media della costa (20.1 % verso SE e 18.8 % verso WNW nel campione totale), con netta prevalenza verso WNW (29.4 %) quando sul Golfo di Trieste spirano venti orientali e verso SE (35.3 %) per venti occidentali. La fase della marea astronomica viceversa non riesce a determinare in maniera significativa un verso preferenziale nella direzione di scorrimento lungo la riva: la frequenza è comunque maggiore verso SE per marea calante e bassa, verso WNW per marea crescente ed alta.

5. MISURA DEI PROFILI VERTICALI DELLA CORRENTE A MIRAMARE

5.1. Stazione, metodo di misura e dati. La seconda serie di misure correntometriche, appositamente eseguite per questa tesi, si riferisce ad una stazione situata nelle acque del Parco Marino di Miramare in corrispondenza della boa collocata 150 m a SW del castello:

Miramare - Parco Marino: 45° 42.50 ' N, 13° 42.65' E (profondità 17 m).

Sono stati eseguiti, nel periodo 7 luglio - 4 novembre 1992, 31 profili verticali di velocità e direzione della corrente in altrettante giornate, variamente intervallate a seconda della disponibilità di tempo e delle condizioni meteomarine. Le misure sono state effettuate con una croce di corrente, secondo il metodo pseudo-euleriano descritto nel paragrafo 3.2, alle profondità di 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 e 16 m. La corrente alla profondità nominale di "0 m" è stata misurata con il centro della croce lagrangiana, di altezza 50 cm, immersa 50 cm sotto la superficie. La lunghezza f della cima filata (Fig. 10) è normalmente di 10 m, talvolta ridotta ad 8 o 5 m a seconda della velocità della corrente; il tempo di scorrimento Δt è normalmente compreso tra 1 e 6 minuti. I dati correntometrici sono riportati nella *Tabella 9*; analogamente a quanto fatto per le misure costiere superficiali, anche in questo caso sono state riportate, per ciascun profilo verticale, la velocità e la direzione media del vento registrato nella stazione meteorologica di Trieste - ITN nell'intervallo orario precedente e comprendente le misure e la corrispondente variazione oraria della marea astronomica, indicandone la fase (alta marea, marea calante, bassa marea e marea crescente) con il codice 1, 2, 3, 4. Il segno "-" (stazioni 2, 3, 26 e 31) indica che i corrispondenti dati non sono stati rilevati.

I dati correntometrici sono stati archiviati mediante PC in un file Ascii, successivamente usato per il calcolo dei dati statistici ed il tracciamento dei diagrammi da programmi Fortran e Basic riportati nell'Appendice. Nei paragrafi seguenti riportiamo i risultati delle analisi eseguite, seguendo gli stessi criteri adottati nel capitolo precedente.

n	Data	ora inizio fine	Vento		Marea		Velocità / (cm/s) e direzione /°								
			m/s	dir	cm h	f	0 m	2 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m
1	7 7 1992	12:00 12:50	1.6	NW	11	4	8.3 330°	9.1 325°	10.0 300°	11.1 345°	8.3 330°	6.7 320°	7.1 325°	5.0 325°	5.6 330°
2	10 7 1992	10:45 11:20	3.5	ENE	-3	2	1.9 295°	1.9 340°	3.8 20°	2.5 40°	1.9 305°	3.7 305°	4.8 315°	0.8 35°	- -
3	13 7 1992	10:50 11:30	2.7	NNW	-8	2	6.7 140°	5.7 155°	5.6 150°	5.6 100°	5.6 90°	4.8 55°	6.7 50°	1.1 95°	- -
4	14 7 1992	13:15 13:55	2.2	WNW	-12	2	16.7 175°	6.7 190°	7.4 255°	4.2 230°	6.7 210°	6.7 170°	7.4 170°	4.2 150°	5.6 140°
5	15 7 1992	10:50 11:30	0.6	NW	-4	1	5.0 285°	5.0 280°	4.2 220°	3.1 245°	3.3 270°	4.2 245°	4.2 255°	2.8 235°	2.8 220°
6	27 7 1992	10:15 10:55	2.1	NW	-10	2	8.3 340°	11.1 315°	11.1 315°	11.1 320°	11.1 325°	8.3 320°	11.1 320°	5.6 315°	5.6 320°
7	29 7 1992	11:25 12:05	3.5	ENE	-17	2	12.0 185°	15.0 165°	11.1 175°	7.4 180°	6.7 195°	9.3 250°	6.7 195°	5.8 230°	10.0 205°
8	31 7 1992	09:15 09:55	2.1	NW	15	4	16.7 315°	16.7 305°	16.7 305°	18.2 310°	20.0 310°	16.7 310°	16.7 310°	15.4 305°	15.4 295°
9	3 8 1992	09:20 10:00	2.2	NW	20	4	9.5 0°	16.7 340°	18.2 320°	18.2 325°	14.3 330°	12.5 325°	11.1 350°	11.1 350°	11.1 340°
10	5 8 1992	11:00 11:40	3.8	E	10	4	20.0 160°	22.9 155°	32.0 145°	26.7 150°	17.8 155°	10.7 150°	7.3 160°	13.3 195°	10.0 195°
11	11 8 1992	16:25 17:05	2.6	W	12	4	8.3 130°	7.4 125°	6.1 115°	4.2 80°	3.8 60°	1.9 325°	3.8 310°	7.5 310°	2.5 305°
12	12 8 1992	09:00 09:40	4.4	ENE	1	1	18.2 330°	18.2 330°	18.2 340°	20.0 330°	22.2 320°	20.0 310°	25.0 320°	20.0 330°	14.3 320°
13	14 8 1992	11:15 12:05	3.0	WNW	-12	2	11.1 35°	11.1 20°	11.1 355°	10.0 320°	10.0 320°	3.3 80°	5.6 15°	6.7 0°	9.1 10°
14	17 8 1992	14:00 14:40	2.1	WNW	-19	2	16.7 150°	6.3 150°	3.4 140°	6.3 140°	5.3 135°	4.2 150°	3.7 130°	5.9 150°	8.3 135°
15	18 8 1992	15:15 15:55	1.8	NW	-16	2	18.2 155°	3.8 280°	8.3 235°	5.6 200°	4.8 160°	5.3 170°	7.1 165°	4.2 160°	2.8 170°
16	20 8 1992	16:00 16:40	3.5	NW	-12	2	20.0 275°	18.2 285°	16.7 290°	16.7 300°	16.7 295°	10.0 300°	9.1 300°	9.1 285°	10.0 275°

(Tab. 9)

n	Data		ora	Vento		Marea		Velocità / (cm/s) e direzione /°									
				m/s	dir	$\frac{\text{cm}}{\text{h}}$	f	0 m	2 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	
17	25	8	1992	14:30	1.9	NW	5	4	22.2	9.1	6.1	9.1	8.3	3.3	5.6	5.9	6.3
				15:10					155°	150°	155°	150°	160°	160°	165°	165°	150°
18	26	8	1992	14:00	2.3	NW	0	3	16.7	4.5	5.0	9.1	7.7	7.1	6.7	4.5	5.9
				14:40					155°	140°	140°	155°	140°	145°	140°	135°	135°
19	2	9	1992	15:15	3.2	W	-16	2	13.3	11.1	7.7	8.0	8.3	6.7	5.6	5.6	4.5
				15:55					135°	140°	140°	140°	145°	140°	135°	135°	130°
20	3	9	1992	15:00	2.2	WNW	-10	2	8.3	11.1	12.5	12.5	11.1	11.1	9.1	5.0	7.4
				15:40					315°	310°	310°	310°	310°	310°	310°	310°	300°
21	8	9	1992	14:25	2.3	WNW	2	3	20.0	18.2	14.3	5.6	4.2	3.0	6.3	6.3	6.3
				15:05					160°	165°	170°	165°	170°	170°	150°	150°	150°
22	9	9	1992	14:45	1.6	NW	-4	3	18.2	9.1	6.7	11.1	9.1	6.7	4.8	3.0	4.8
				15:25					165°	170°	170°	165°	165°	160°	165°	160°	170°
23	11	9	1992	15:20	2.0	NW	-3	3	11.1	14.3	14.3	14.3	14.3	16.7	14.3	7.7	10.0
				16:00					290°	290°	290°	290°	290°	295°	300°	290°	280°
24	14	9	1992	14:55	2.2	NNW	-11	2	6.3	2.0	2.2	2.2	3.0	1.7	2.0	1.6	1.9
				15:35					170°	165°	170°	155°	170°	160°	205°	180°	170°
25	16	9	1992	15:45	1.4	NW	-12	2	3.1	10.0	10.0	11.1	14.3	16.7	12.5	10.0	4.5
				16:25					185°	230°	245°	260°	275°	280°	285°	280°	260°
26	12	10	1992	16:30	10.7	ENE	9	4	25.0	-	-	6.7	-	-	-	-	-
				16:40					260°	-	-	220°	-	-	-	-	-
27	13	10	1992	14:10	7.9	ENE	-18	2	18.2	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	16.7	25.0	25.0
				14:50					180°	175°	170°	160°	160°	160°	165°	160°	160°
28	19	10	1992	15:00	3.2	ENE	-2	1	28.6	28.6	25.0	14.3	15.4	14.3	15.4	15.4	15.4
				15:40					295°	285°	290°	285°	290°	290°	290°	295°	290°
29	22	10	1992	15:20	1.4	NNW	15	4	12.5	11.8	5.9	3.8	3.3	2.4	1.9	3.3	3.7
				16:00					80°	75°	75°	80°	75°	90°	70°	65°	40°
30	26	10	1992	15:40	1.1	WSW	3	3	4.2	12.5	12.5	13.9	15.2	15.4	14.3	7.7	4.5
				16:20					190°	295°	295°	295°	300°	305°	300°	315°	305°
31	4	11	1992	16:20	3.9	WSW	5	4	11.1	-	11.1	-	11.1	-	-	-	-
				16:30					75°	-	60°	-	75°	-	-	-	-

Tab. 9.- Numero di stazione n, data ed ora di inizio e fine delle misure, velocità e direzione del vento a Trieste - ITN, variazione oraria e fase della marea astronomica; velocità e direzione della corrente marina in funzione della profondità nella stazione di **Miramare - Parco Marino.**

5.2. Analisi dei profili correntometricri

5.2.1. Istogramma delle velocità. La *Figura 33* rappresenta l'istogramma delle 264 misure di intensità della velocità della corrente marina relative alla stazione di Miramare - Parco Marino (da 0 a 16 m di profondità) riportate nella *Tabella 9*. La velocità media ed i quantili del 10 %, 25 %, 50 % (mediana), 75 % e 90 %, tratti dal corrispondente istogramma cumulativo, sono riportati nella *Tabella 10*. Questi dati possono essere confrontati con i corrispondenti dati della *Tabella 5* relativi alle misure superficiali costiere a Miramare. La probabilità di avere, ad una profondità qualsiasi, una velocità inferiore a 2.7 cm/s o superiore a 17.9 cm/s è dunque 10 %, e così via; la media (10.1 cm/s) superiore alla mediana (8.0 cm/s) indica che la distribuzione è asimmetrica positiva, cioè con una coda verso i valori alti, il che è caratteristico per una distribuzione di velocità.

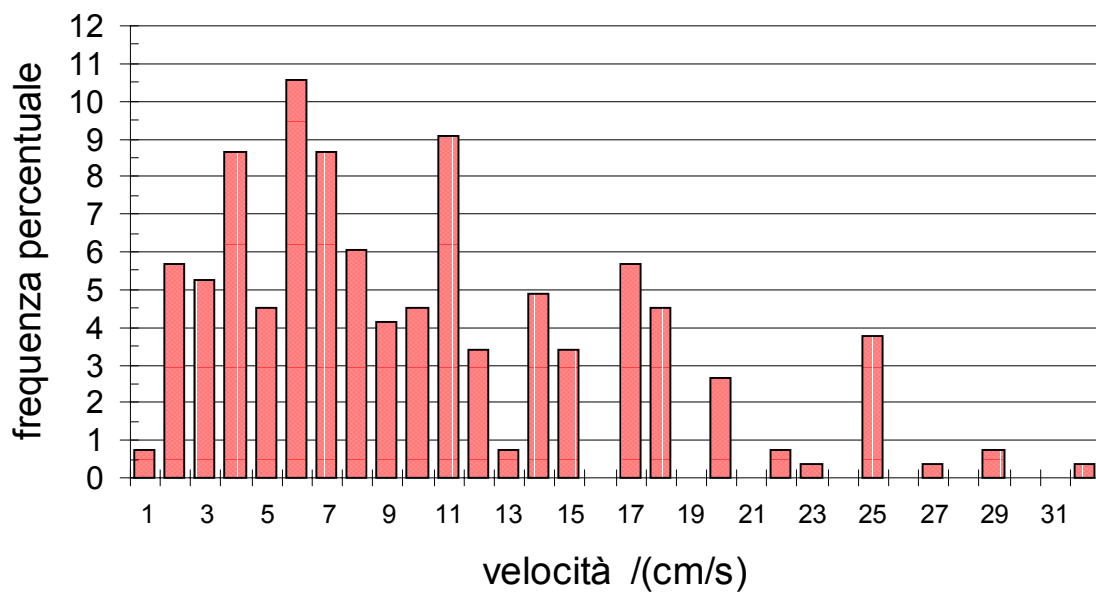


Fig. 33.- Stazione di Miramare - Parco Marino: istogramma della velocità della corrente dalla superficie al fondo ($z = 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16$ m). Misure totali: 264.

quantile	0 - 16 m
10 %	2.7 cm/s
25 %	5.0 cm/s
50 %	8.0 cm/s
75 %	13.6 cm/s
90 %	17.9 cm/s
media	10.1 cm/s
<i>N</i>	264

Tab. 10.- *Quantili della distribuzione di frequenza dell'intensità delle velocità della corrente nella stazione di Miramare - Parco Marino misurata da 0 a 16 m di profondità; velocità media e numero totale *N* di dati.*

n	$v_E /(\text{cm/s})$	$v_N /(\text{cm/s})$	$v /(\text{cm/s})$	ϑ
1	-4.36	6.34	7.69	326°
2	-0.82	1.99	2.15	339°
3	3.82	-0.88	3.92	103°
4	-0.71	-5.55	5.59	188°
5	-3.31	-1.13	3.49	252°
6	-5.96	7.09	9.26	321°
7	-1.95	-7.98	8.22	195°
8	-13.49	10.17	16.89	308°
9	-5.86	12.26	13.59	335°
10	6.37	-15.79	17.03	158°
11	1.22	0.40	1.29	72°
12	-11.14	15.92	19.44	326°
13	-0.07	7.41	7.41	0°
14	3.65	-4.81	6.04	143°
15	-0.27	-4.81	4.82	184°
16	-12.72	4.64	13.54	291°
17	3.11	-6.92	7.59	156°
18	4.02	-5.56	6.86	144°
19	4.98	-5.64	7.53	139°
20	-7.62	6.26	9.86	310°
21	2.68	-8.23	8.65	162°
22	1.81	-7.34	7.56	166°
23	-12.18	4.71	13.06	292°
24	0.35	-2.24	2.27	171°
25	-9.98	-0.68	10.00	267°
26	-11.08	-4.87	12.10	247°
27	6.31	-22.61	23.48	164°
28	-17.49	6.22	18.57	291°
29	4.67	1.42	4.89	73°
30	-9.75	5.41	11.15	300°
31	10.28	3.94	11.01	69°
tot	-2.44	-0.35	2.46	262°

Tab. 11.- *Miramare - Parco Marino: velocità media verticale della corrente marina calcolata per ogni stazione ($n = 1, 31$) e per l'insieme di tutte le stazioni (tot).*

La Tabella 11 riporta, per ogni stazione ($n = 1, N$; $N = 31$) e per l'insieme delle N stazioni, la media verticale pesata delle velocità misurate alle varie profondità $z = 0, 2, 4, \dots, 16$ m:

$$\mathbf{v} = (v_E, v_N) = (v, \vartheta) = \frac{1}{\sum \Delta(z)} \sum_z \Delta(z) \mathbf{v}(z)$$

Il peso $\Delta(z)$, corrispondente all'intervallo di profondità rappresentato, equivale ad 1 m per $z = 0$ m, a 2 m per $z = 2, 4, \dots, 16$ m. Le componenti est e nord del vettore velocità \mathbf{v} di intensità v e direzione ϑ sono rispettivamente v_E, v_N . La velocità media vettoriale della colonna d'acqua, dalla superficie al fondo, risulta essere di 2.5 cm/s per 262°. L'insieme degli N vettori \mathbf{v} è rappresentato nel diagramma polare della Figura 34.

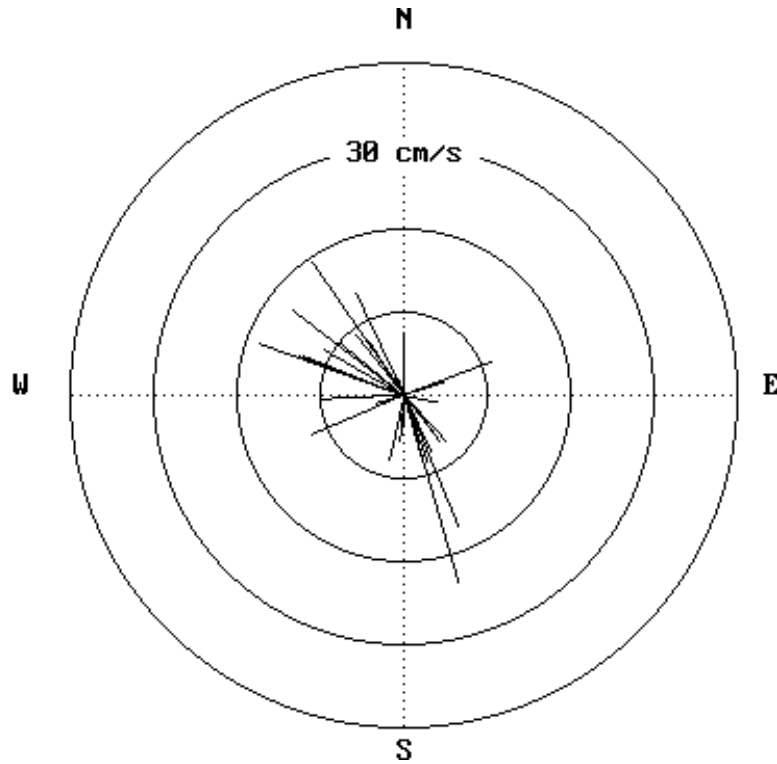


Fig. 34.- Medie verticali pesate delle velocità misurate a 0, 2, ... 16 m di profondità nella stazione di Miramare - Parco Marino. Velocità media della colonna: 2.5 cm/s, 262°.

z m	Totale (27)				Venti da E (5)				Venti da W (22)			
	c cm/s	v cm/s	ϑ	stab	c cm/s	v cm/s	ϑ	stab	c cm/s	v cm/s	ϑ	stab
0	13.8	4.0	185°	29 %	19.4	7.2	234°	37 %	12.5	4.1	167°	33 %
2	12.4	3.0	248°	24 %	21.9	8.5	210°	39 %	10.3	2.5	277°	25 %
4	11.9	3.7	258°	31 %	22.3	7.3	189°	33 %	9.6	4.2	280°	44 %
6	11.2	3.0	265°	27 %	18.7	6.6	183°	35 %	9.5	3.8	289°	40 %
8	10.7	3.6	273°	33 %	17.4	5.6	211°	32 %	9.2	4.0	290°	43 %
10	9.2	3.6	274°	39 %	15.9	6.0	232°	38 %	7.7	3.5	289°	46 %
12	8.9	3.4	285°	38 %	14.2	5.2	259°	36 %	7.7	3.1	295°	40 %
14	8.1	2.4	273°	30 %	15.9	5.7	235°	36 %	6.3	2.1	295°	34 %
16	8.0	2.2	250°	27 %	14.9	6.8	220°	46 %	6.4	1.5	280°	24 %
col	10.3	2.9	262°	28 %	17.8	6.0	216°	34 %	8.6	2.8	283°	32 %

Tab. 12.- Miramare - Parco Marino. Velocità media scalare, vettoriale e stabilità percentuale in funzione della profondità e per tutta la colonna (col): campione totale, stazioni con venti orientali (E) ed occidentali (W); numero di casi tra parentesi.

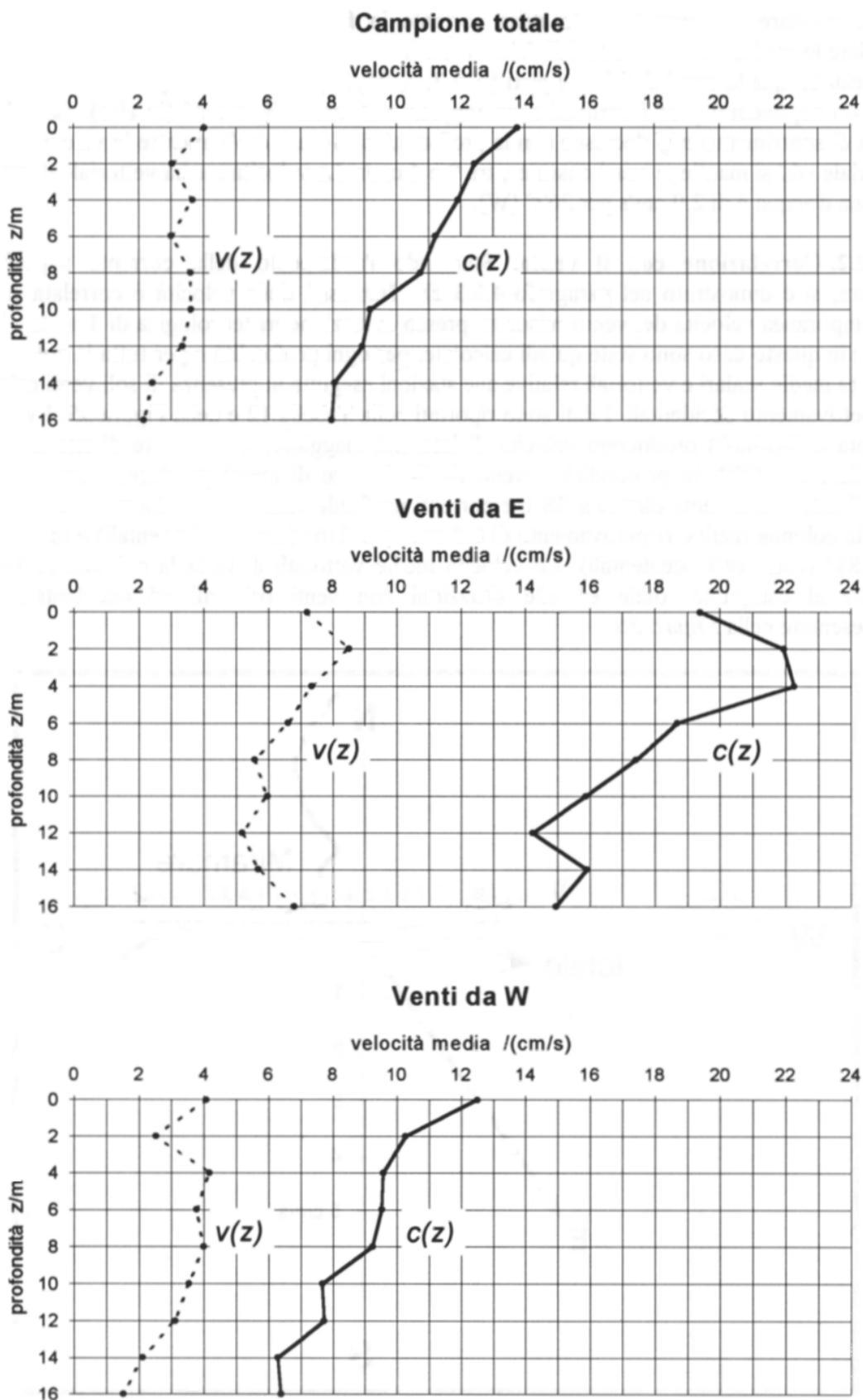


Fig. 35.- Profili verticali della velocità media scalare $c(z)$ e vettoriale $v(z)$: campione totale, misure con venti orientali (E) ed occidentali (W).

Per studiare il comportamento della corrente in funzione della profondità, sono state calcolate le medie scalari e vettoriali della velocità relative al campione totale delle N stazioni, tralasciando quelle con i dati incompleti ($n = 2, 3, 26, 31$); i dati sono riportati nella *Tabella 12*. I corrispondenti profili verticali sono rappresentati nella *Figura 35* (in alto). La velocità media di scorrimento $c(z)$ decresce con la profondità da 14 a 8 cm/s, mentre la velocità media vettoriale $v(z)$ si mantiene quasi costante, tra 2 e 4 cm/s. La velocità media vettoriale di tutta la colonna d'acqua è di 2.9 cm/s per 262° (W).

5.2.2. Correlazione con il vento. Studiando l'andamento della corrente superficiale costiera, si è dimostrato nel paragrafo 4.2.3 che l'intensità della velocità è correlata con la contemporanea velocità del vento misurato presso la stazione meteorologica di Trieste - ITN. Anche in questo caso sono state quindi calcolate, per ogni profondità e per tutta la colonna, le velocità medie scalari e vettoriali relative alle stazioni eseguite in presenza di soli venti orientali e rispettivamente occidentali. I dati sono riportati nella *Tabella 12* e nella *Figura 35*. I venti da E (bora e "borino") producono velocità di intensità maggiore, mediamente dirette a SW in superficie e a SSW in profondità. I venti da W (brezze di mare) producono una corrente superficiale mediamente diretta a SSE, e correnti profonde verso WNW. La velocità media di tutta la colonna risulta, rispettivamente di 6.0 cm/s per 216° (con venti orientali) e di 2.8 cm/s per 283° (con venti occidentali). Le velocità medie vettoriali di tutta la colonna (0-16 m), relative al campione totale ed alle situazioni con venti orientali ed occidentali sono rappresentate nella *Figura 36*.

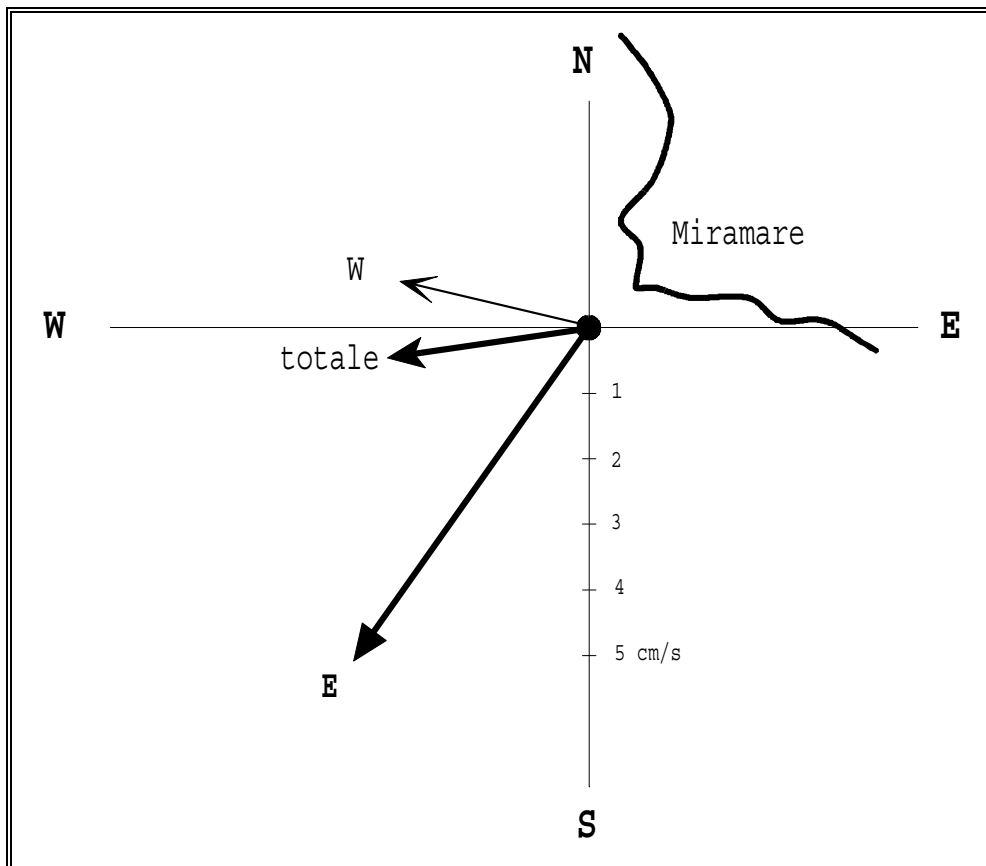


Fig. 36.- Miramare - Parco Marino. Velocità media vettoriale della colonna d'acqua: media di tutto il campione (totale), medie con venti orientali (E) ed occidentali (W).

strato	Totale (27)		E (5)		W (22)		E - Totale		W - Totale	
	v cm/s	ϑ	v cm/s	ϑ	v cm/s	ϑ	v cm/s	ϑ	v cm/s	ϑ
0 m	4.0	185°	7.2	234°	4.1	167°	5.5	266°	1.3	88°
2 - 16 m	3.0	267°	6.0	215°	3.1	287°	4.7	185°	1.1	5°
0 - 16 m	2.9	262°	6.0	216°	2.8	283°	4.5	186°	1.0	9°

Tab. 13.- *Miramare - Parco Marino. Velocità medie vettoriali della corrente marina nello strato superficiale (0 m), di fondo (2-16 m) e su tutta la colonna (0-16 m): campione totale, stazioni con venti orientali (E) ed occidentali (W). Velocità relative alle medie di tutto il campione (E/W - Totale). Tra parentesi il numero di casi.*

Le velocità medie vettoriali (Tabella 12) della corrente marina presentano, soprattutto nel caso del campione totale ed in quello dei venti occidentali, una direzione abbastanza costante da 2 a 16 m di profondità, ed una direzione significativamente diversa nello strato superficiale rappresentato dalle misure a 0 m. Appare perciò opportuno considerare separatamente le medie dei due strati, riportate nella *Tabella 13*. Possiamo ritenere che le velocità medie riferite all'insieme di tutte le stazioni (Totale) rappresentino la circolazione normale della corrente marina nella stazione considerata, mentre le medie (E/W) rappresentano la modificazione rispettivamente introdotta dalle due situazioni fondamentali del campo di vento sul Golfo di Trieste. Pertanto le differenze (E/W - Totale) tra le velocità (E/W) e le corrispondenti velocità normali, ovvero le velocità E/W riferite alle corrispondenti medie del campione totale, rappresentano, in ciascun strato considerato, l'effetto diretto dei due tipi di vento.

La velocità medie dello strato superficiale e di fondo, corrispondenti al caso generale, alla situazione con venti da E ed a quella con venti da W sono rappresentate nella *Figura 37*. La circolazione normale è dunque verso sud nello strato superficiale, verso ovest nello strato di fondo; le corrispondenti velocità medie sono rispettivamente di 4.0 cm/s (pari a 144 m/h ed a 3.5 km/giorno) e di 3.0 cm/s (pari a 108 m/h ed a 2.6 km/giorno).

Le velocità medie dello strato superficiale e di fondo, *relative alle velocità normali*, sono rappresentate, per i due casi di vento E/W, nella *Figura 38*. Questi vettori rappresentano la corrente di deriva associata ai venti orientali e rispettivamente occidentali: risulta chiaramente che, invertendo di 180° la direzione del vento, si inverte di 180° la direzione della corrente sia nello strato superficiale che in quello di fondo. La corrente di deriva dello strato superficiale ha inoltre direzione e verso concorde con quello del vento. I venti orientali (bora, borino) producono inoltre correnti di deriva alle quali è associato un trasporto medio con velocità di circa 5 cm/s; le corrispondenti velocità nel caso di venti occidentali (brezze di mare) sono dell'ordine di 1 cm/s.

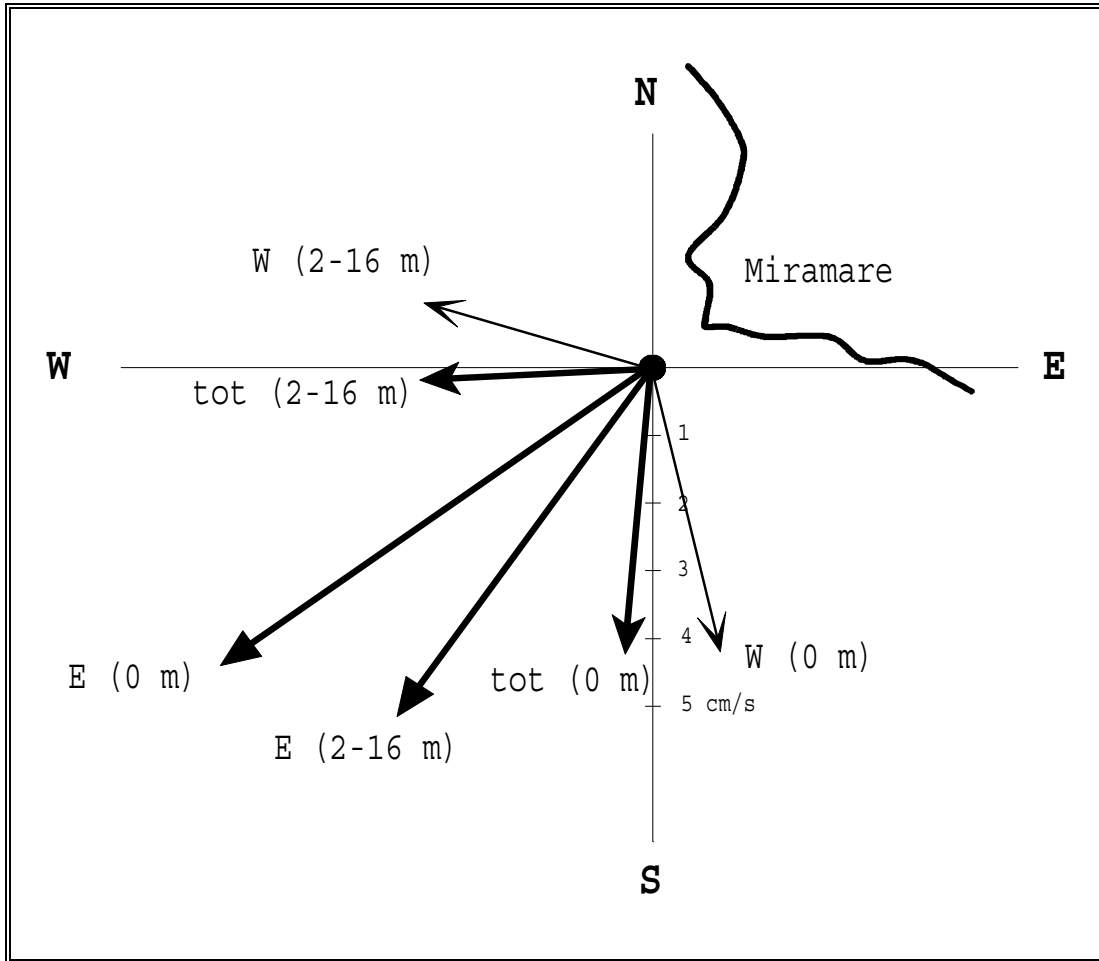


Fig. 37.- Miramare - Parco Marino. Velocità media vettoriale dello strato superficiale (0 m) e dello strato di fondo (2-16 m): media di tutto il campione (totale), medie con venti orientali (E) ed occidentali (W).

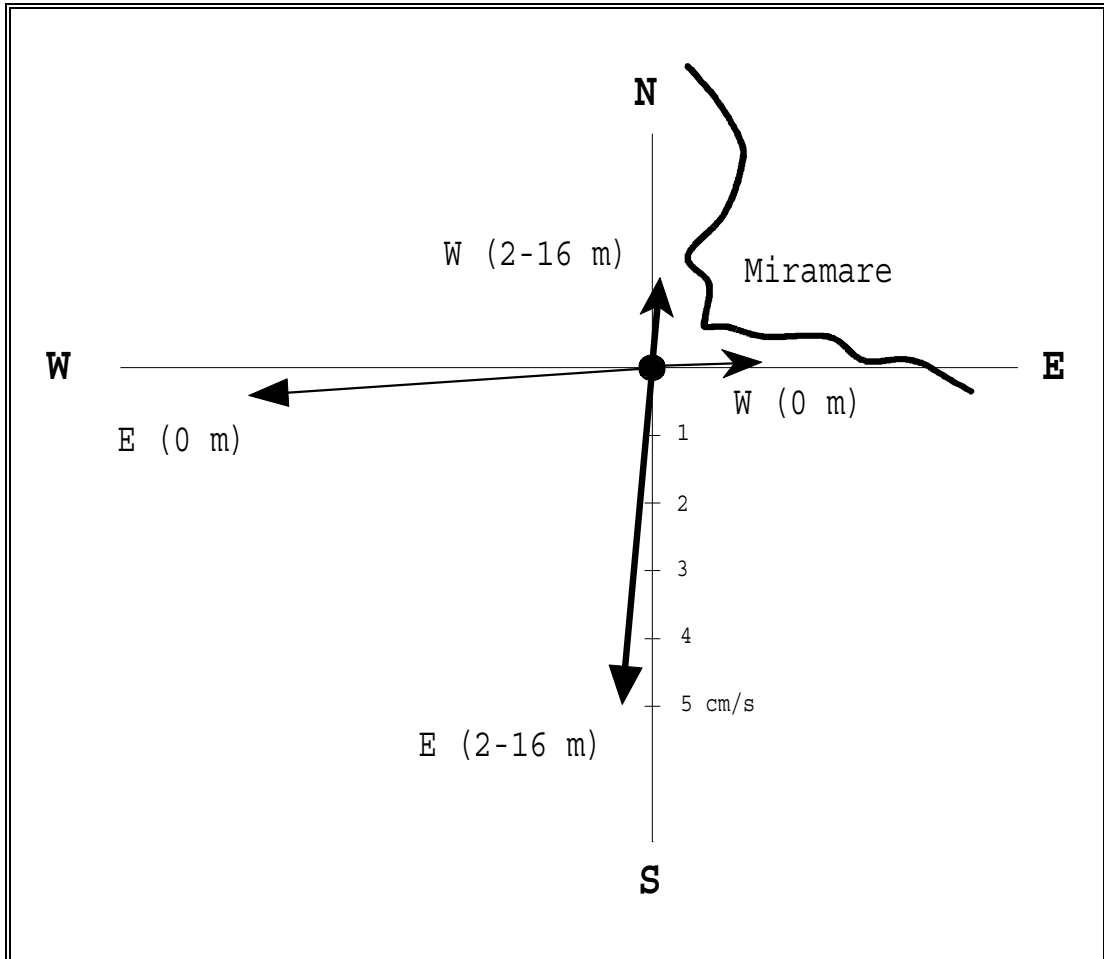


Fig. 38.- Miramare - Parco Marino. Velocità medie vettoriali dello strato superficiale (0 m) e dello strato di fondo (2-16 m) **relative** alle corrispondenti velocità di tutto il campione: medie con venti orientali (E) ed occidentali (W), rappresentanti le tipiche correnti di deriva associate ai due tipi di vento.

5.2.3. Correlazione con la marea. I risultati acquisiti nel paragrafo 4.2.4 (Figura 29), relativi alla eventuale componente della corrente superficiale costiera associata alla marea astronomica, hanno dimostrato come in quel caso questa fosse molto piccola (dell'ordine di 1 cm/s) e difficilmente rilevabile rispetto alle componenti di diversa origine.

Visto che per la stazione di Miramare - Parco Marino abbiamo a disposizione i dati di velocità della corrente marina in funzione della profondità, è possibile seguire, in base alle considerazioni seguenti, un diverso metodo di analisi. Secondo la teoria idrodinamica classica (vedi ad es. Stravisi 1986 b), la marea astronomica si propaga come un' *onda lunga*, avente cioè una lunghezza d'onda molto maggiore della profondità del bacino, e la velocità della corrente associata ad un'onda lunga è costante dalla superficie al fondo. Si può quindi assumere, con buona approssimazione, che l'eventuale corrente di marea presente nella stazione di Miramare abbia un comportamento analogo: per metterla in evidenza è quindi conveniente lavorare sulle velocità medie verticali della Tabella 11.

La *Tabella 14* riporta le medie vettoriali delle velocità medie verticali (0-16 m), calcolate per le quattro fasi di marea convenzionalmente considerate in questo lavoro. Per eliminare l'effetto del vento, sono state considerate le differenze tra i vettori medi verticali di ciascuna stazione e le medie verticali corrispondenti al vento del momento (E oppure W) riportate nella *Tabella 13*. Infine, per ridurre il rumore di fondo, le componenti $v_E(t)$, $v_N(t)$ relative al vento, pesate con il numero n di casi rappresentati, sono state interpolate con un'onda armonica

$$v = v_m + A \cos(2\pi (t - t_0) / T) \pm \sigma$$

avente il periodo medio ($T = 12.4$ h) della marea astronomica. Il valor medio v_m di ciascuna componente, l'ampiezza A e la fase t_0 dell'onda armonica interpolante e lo scarto quadratico medio σ di ciascuna interpolazione sono riportati nella *Tabella 15*.

	fase della marea	t/h	n	$v_E/(cm/s)$	$v_N/(cm/s)$	$v/(cm/s)$	ϑ
1	alta marea	0	3	-7.4	10.0	12.4	324°
2	marea calante	3.1	14	1.4	-1.4	2.0	136°
3	bassa marea	6.2	5	0.0	-2.8	2.8	180°
4	marea crescente	9.3	9	1.9	1.4	2.3	54°
	media pesata		31	0.3	0.9	0.9	72°

Tab. 14.- *Miramare - Parco Marino: istante t , numero di casi n , componenti est e nord e corrispondente velocità e direzione della corrente media verticale per quattro fasi della marea astronomica (periodo 12.4 h).*

componente	$v_m/(cm/s)$	$A/(cm/s)$	t_0/h	$\sigma/(cm/s)$
v_E	0.284	2.693	6.164	2.259
v_N	0.896	5.968	11.863	1.544

Tab. 15.- *Valor medio, ampiezza, fase ed errore quadratico medio delle onde armoniche rappresentanti le componenti est e nord della corrente di marea astronomica.*

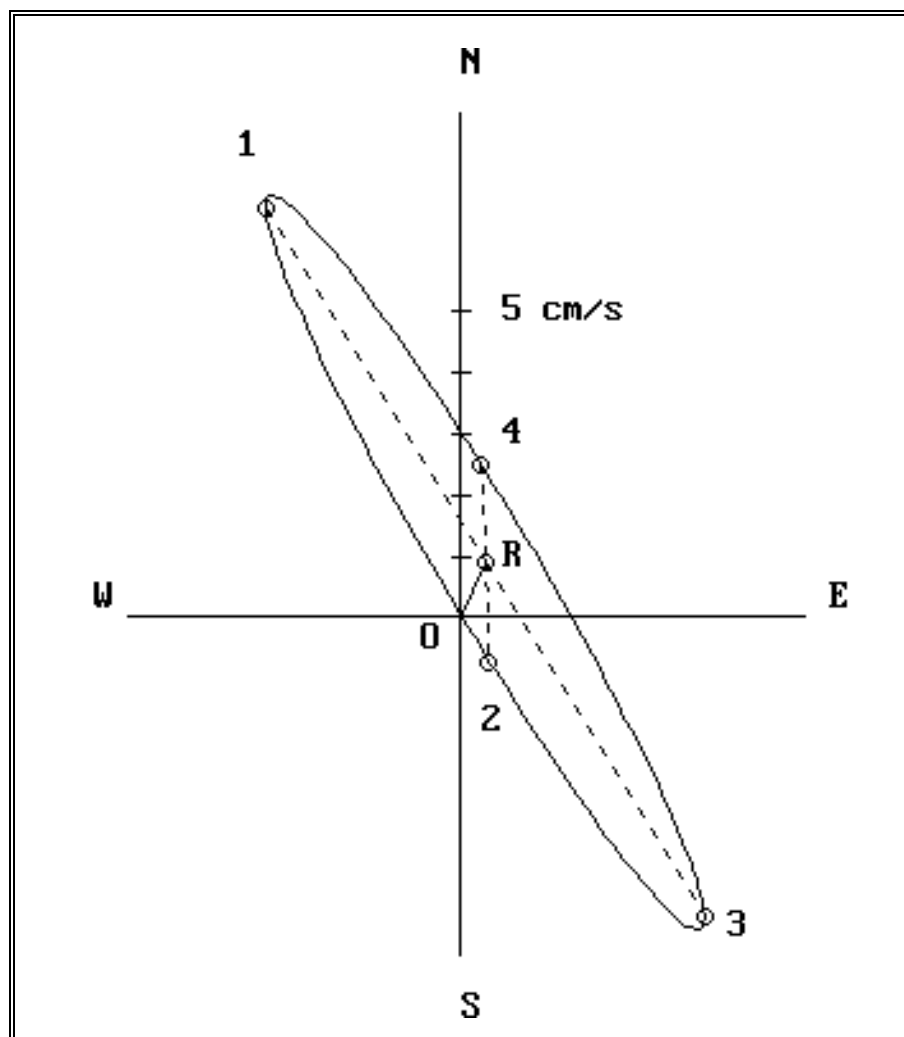


Fig. 39.- *Miramare - Parco Marino: ellisse della corrente di marea (rotazione in senso antiorario). I punti 1, 2, 3, 4 sono gli estremi dei vettori dall'origine O rappresentativi della velocità media verticale nelle fasi di alta marea, marea calante bassa marea e marea crescente; O-R è la velocità residua.*

Il vettore corrispondente alle componenti interpolate, con origine nel punto O, descrive con il suo estremo un'ellisse (Figura 39), tipica della corrente di marea astronomica, con senso di rotazione antiorario. L'asse maggiore è orientato da NW a SE, parallelamente alla linea principale di costa; la velocità della corrente di marea è compresa tra 1 e 7 cm/s. La corrente residua O-R è di 0.9 cm/s per 72° .

6. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti e descritti in questo lavoro si basano su di un insieme di dati correntometrici rilevati con metodi lagrangiani lungo la costa del Golfo di Trieste tra Barcola e Miramare. Si tratta di 477 misure eseguite in superficie, e di 264 misure effettuate a diverse profondità tra 0 e 16 m nelle acque del Parco Marino di Miramare. I dati di corrente sono stati archiviati su PC, analizzati con metodi statistici e correlati con i dati di vento, registrati in continuo presso la stazione meteorologica di Trieste - ITN del Laboratorio di Climatologia, e con le variazioni di livello della marea astronomica calcolata per Trieste. Le conclusioni si possono riassumere nei punti seguenti.

1. La circolazione costiera è generalmente in accordo con la circolazione al largo.
2. La direzione prevalente di scorrimento è parallela alla linea di costa.
3. La velocità media vettoriale in superficie presso la costa è di 2-3 cm/s verso W a Barcola, verso WNW al Cedas, di 3 cm/s verso SW a Miramare.
4. All'interno del Parco Marino, presso il castello, la velocità media vettoriale è di 4 cm/s verso S nel primo metro di profondità, di 3 cm/s verso W nello strato sottostante sino al fondo.
5. La corrente risulta correlata in maniera significativa con il vento di Trieste: il rapporto tra la variazione della velocità della corrente e del vento è $dc/dw = 0.008$. Venti orientali sul Golfo di Trieste (brezze di terra e bora) producono correnti costiere superficiali di deriva medie vettoriali di 6-7 cm/s verso WNW a Barcola e al Cedas, di 9 cm/s verso W a Miramare; nel Parco Marino producono correnti medie di 6-7 cm/s verso SW su tutta la colonna d'acqua. Venti occidentali sul Golfo (brezze di mare) producono correnti costiere superficiali medie vettoriali di 2-3 cm/s verso SE a Barcola e al Cedas, di 8 cm/s verso SE a Miramare; nel Parco Marino producono correnti medie di 4 cm/s verso SSE nello strato superficiale di un metro, di 3 cm/s verso WNW nello strato sottostante sino al fondo.
6. La corrente di marea astronomica superficiale costiera tra Barcola e Miramare è di circa 1 cm/s, e risulta pertanto difficilmente distinguibile nella circolazione generale. Nelle acque del Parco Marino si trova invece una tipica ellisse di corrente, che descrive la velocità media di tutta la colonna d'acqua, con rotazione in senso antiorario e con l'assemaggiore da NW a SE, parallelo cioè alla linea di costa. L'intensità della corrente di marea è compresa tra 1 e 7 cm/s; la corrente residua è di 1 cm/s verso ENE.
7. La velocità di scorrimento della corrente superficiale costiera, indipendentemente dalla sua direzione, aumenta in media da 7 cm/s a Barcola, 8 cm/s al Cedas a 14 cm/s a Miramare. Nel Parco Marino decresce con la profondità da 14 cm/s in superficie ad 8 cm/s a 16 m, con una media di 10 cm/s su tutta la colonna.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo il WWF, ed in particolare il coordinatore del Parco Marino di Miramare, per aver gentilmente messo a nostra disposizione l'imbarcazione ed il personale necessario all'esecuzione dei profili verticali di corrente nelle acque della riserva.

RIFERIMENTI

- BERGER P. (1979):** *Studio preliminare sulle correnti nella rada di Trieste*. Tesi di Laurea in Geologia, Università di Trieste, relatore F. Stravisi, 187 pag.
- BIDORINI I. (1974):** *Indagine sperimentale sul funzionamento della condotta di scarico di Barcola*. Tesi di Laurea in Ingegneria, Università di Trieste, relatore R. Olivotti.
- MICHELATO A. (1973):** *Studio sulle correnti di marea del Golfo di Trieste mediante il metodo idrodinamico-numerico*. Tesi di Laurea in Fisica, Università di Trieste, relatore G. Furlan, corr. F. Mosetti, 94pag.
- MOSETTI F. (1972):** *Alcune ricerche sulle correnti nel Golfo di Trieste*. Riv. It. Geofisica, 21, 1/2, 33-38.
- MOSETTI F. (1988):** *Condizioni idrologiche della costiera triestina*. Hydrores, V, 6, 29-38.
- POCECCO P. (1973):** *Contributo alla conoscenza di alcune caratteristiche correntometriche e chimico fisiche del Golfo di Trieste in funzione della progettazione delle opere di depurazione e smaltimento delle acque di fogna*. Tesi di Laurea in Ingegneria, Università di Trieste, relatore F. Ramponi, corr. R. Olivotti.
- PRINCI M., STRAVISI F., SPECCHI M. (1980):** *Osservazioni morfologiche, fisiche e chimiche sulla Baia di Muggia (Golfo di Trieste - Alto Adriatico)*. Mem. Biol. Mar. Oceanogr., 10 suppl., 275-284.
- STRAVISI F. (1973):** *Analysis of a storm surge in the Adriatic Sea by means of a two-dimensional linear model*. Acc. Naz. Lincei, Rend. Cl. Sc. Fis. Mat. Nat., 2 (VIII), 54, 243-260.
- STRAVISI F. (1977 a):** *Il regime dei venti a Trieste (1951 - 1975)*. Boll. Soc. Adriat. Sc., 61, 87-104.
- STRAVISI F. (1977 b):** *Bora driven circulation in northern Adriatic.*, Boll. Geofis. Teor. Appl., 19, 73/74, 95-102.
- STRAVISI F. (1983 a):** *Some characteristics of the circulation in the Gulf of Trieste*. Thalassia Jugosl., 19 (1-4), 355-363.
- STRAVISI F. (1983 b):** *The vertical structure annual cycle of the mass field parameters in the Gulf of Trieste*. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 1, 3, 239-250.
- STRAVISI F. (1983 c):** *Misure di trasparenza (disco Secchi) nel Golfo di Trieste*. Atti IV Congr. AIOL, 1980, 42/1-13.
- STRAVISI F. (1983 d):** *Normal climatic data for the Adriatic Sea*. FAO Fisheries Rep., n. 290, 59-67.
- STRAVISI F. (1986 a):** *Durata del vento a Trieste per settore di provenienza*. ITTS, Internal Rep. RF 5.
- STRAVISI F. (1986 b):** *Dispense del corso di Oceanografia*, FTC 86/2, 88 pag.
- STRAVISI F. (1986 c):** *Standard computations of physical seawater properties*, FTC 86/3, 17 pag.
- STRAVISI F. (1987 a):** *Interannual climatic variations in the Northern Adriatic sea*, FTC 87/1, 19 pag.

- STRAVISI F. (1987 b):** *Observations of surface currents in the Gulf of Trieste*, FTC 87/2, 14 pag.
- STRAVISI F. (1987 c):** *"THALASSIA 1951-1954" - Dati correntometrici, di temperatura e di trasparenza dell'acqua nel Golfo di Trieste*, FTC 87/4, 31 pag.
- STRAVISI F. (1987 d):** *Previsioni di marea per il Golfo di Trieste - 1988*, FTC 87/5, 34 pag.
- STRAVISI F. (1988):** *Caratteristiche oceanografiche del Golfo di Trieste, Parco Marino di Miramare*. Hydrores, V, 6, 39-45
- STRAVISI F. (1989):** *Fortran and BASIC programs for computing and plotting the astronomic tide*, FTC 89/4, 23 pag.
- STRAVISI F. (1990):** *"THALASSIA II" - Seawater temperature, salinity, current velocity, Secchi disc and underwater irradiance data in the Gulf of Trieste (1979-1984)*, LC 90/2, 119 pag.
- STRAVISI F. (1991):** *Previsioni di marea per il Golfo di Trieste - 1992*, LC 91/2, 35 pag.
- STRAVISI F. (1992 a):** *Winter dense water formation in the Gulf of Trieste*. NATO ASI: *"Atmospheric and Oceanic Circulation in the Mediterranean Basin"*, Santa Teresa, La Spezia, 1983, Rep. Met. Ocean., Harvard Univ., 40, 291-293.
- STRAVISI F. (1992 b):** *Caratteristiche meteorologiche e marine del porto di Trieste*, LC 92/2, 10 pag.
- STRAVISI F., BADINA G. (1989):** *Dati della Stazione Meteorologica di Trieste - Istituto Tecnico Nautico: anni 1979-1986*, FTC 89/3, 116 pag.
- STRAVISI F., BADINA G. (1991):** *Dati della Stazione Meteorologica di Trieste - Istituto Tecnico Nautico: anni 1987-1990*, FTC 91/1, 157 pag.
- STRAVISI F., BADINA G. (1992):** *Dati della Stazione Meteorologica di Trieste - Istituto Tecnico Nautico: anno 1991*, LC 92/1, 37 pag.
- STRAVISI F., CRISCIANI F. (1986):** *Estimation of surface heat and buoyancy fluxes in the Gulf of Trieste by means of bulk formulas*. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 4, (1), 55-61.
- STRAVISI F., FERRARO S. (1986):** *Monthly and annual mean sea levels at Trieste (1980-1984)*. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 4, (2), 97-104.
- STRAVISI F., FERRARO S., LUCA I. (1986):** *Golfo di Trieste: previsioni di marea per il 1987*. Nova Thalassia, Suppl., 45 pag.
- STRAVISI F., PIERI G., BERGER P. (1981):** *Golfo di Trieste: risultati delle misure correntometriche 1951-1954*. Boll. Soc. Adriat. Sc., 65, 23-35.