

**Università di Trieste
Istituto di Geodesia e Geofisica
Sezione di Oceanografia e
Meteorologia**

**Rapporto Interno
N. 93/1**

Franco Stravisi

**Il supporto scientifico per la
gestione di emergenze nell'Alto
Adriatico dovute a sversamento
accidentale di idrocarburi**

*Relazione presentata al
Comitato Tecnico-scientifico per la Protezione Civile
della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia
(Trieste, 30 marzo 1993)*

Trieste, 1993

INDICE

RIASSUNTO	3
1. CONDIZIONI TERMOALINE	3
2. LE CORRENTI NEL GOLFO DI TRIESTE	4
3. CONCLUSIONI	6
RACCOMANDAZIONI	12
RIFERIMENTI	12

Il supporto scientifico per la gestione di emergenze nell'Alto Adriatico dovute a sversamento accidentale di idrocarburi

Franco Stravisi

RIASSUNTO. In questa relazione si esamina, dal punto di vista dell'oceanografia fisica, lo stato attuale delle conoscenze relative alla circolazione marina nel Golfo di Trieste e nelle acque costiere del Friuli-Venezia Giulia, con particolare riguardo allo strato superficiale che potrebbe essere coinvolto nel trasporto di materiali galleggianti stratificati.

1. CONDIZIONI TERMOALINE

Le acque marine del Friuli-Venezia Giulia hanno condizioni termoaline particolari dovute alla collocazione geografica ed alla morfologia del mare Adriatico. Il bacino adriatico rappresenta un canale di comunicazione climatica tra il Mediterraneo ed il continente europeo: l'Adriatico settentrionale cede mediamente calore all'atmosfera, in modo che l'aria risulta calda per la sua latitudine mentre l'acqua marina diventa notevolmente fredda, specialmente nei mesi invernali (Stravisi 1983b; 1992a). La **Tab. 1** riporta, a titolo di esempio, i valori medi mensili tipici della temperatura, della salinità e della densità dell'acqua di mare ad 1 m di profondità.

	Temperatura /°C	Salinità /psu	Densità /(kg/m ³)
GEN	8.0	37.5	1029.3
FEB	7.0	37.7	1029.6
MAR	8.5	36.8	1028.7
APR	12.3	35.1	1026.7
MAG	17.2	33.6	1024.4
GIU	21.4	33.4	1023.2
LUG	23.7	34.6	1023.4
AGO	23.6	36.2	1024.6
SET	21.6	37.1	1025.9
OTT	18.4	37.1	1026.8
NOV	14.6	36.8	1027.5
DIC	10.9	37.0	1028.3
Anno	15.6	36.1	1026.5

Tab. 1.- *Valori medi mensili ed annuali della temperatura, salinità e densità dell'acqua di mare nel Golfo di Trieste alla profondità di un metro.*

Le variazioni della densità con la profondità sono praticamente nulle durante l'autunno e l'inverno, quando la colonna d'acqua è ben mescolata, mentre mostrano una forte stratificazione durante la primavera e l'estate, a causa del riscaldamento superficiale e dell'apporto di acqua dolce dai fiumi. La stratificazione tende a mantenere lo strato superficiale separato dall'acqua sottostante.

2. LE CORRENTI NEL GOLFO DI TRIESTE

Circolazione generale. La circolazione marina nelle acque del Friuli-Venezia Giulia è abbastanza ben nota nelle sue caratteristiche generali. Il Golfo di Trieste, per il quale segue un dettagliato riassunto della situazione, è stato però studiato molto più estesamente della parte occidentale, dalla foce del Tagliamento a Monfalcone.

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, 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 circolazione 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 termocline (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.

Profilo verticale della corrente. La velocità media di scorrimento della corrente marina nel Golfo di Trieste, come si è detto nel paragrafo precedente, diminuisce in maniera pressochè esponenziale da circa 12 cm/s a 0.5 m di profondità a circa 3 cm/s a 20 m. La **Fig. 1** riporta, a titolo di esempio, l'istogramma delle velocità superficiali misurate presso la costa tra Barcola e Miramare. Al largo i valori sono un po' maggiori. La direzione varia molto con il tempo, con la posizione e, in un dato punto, con la profondità.

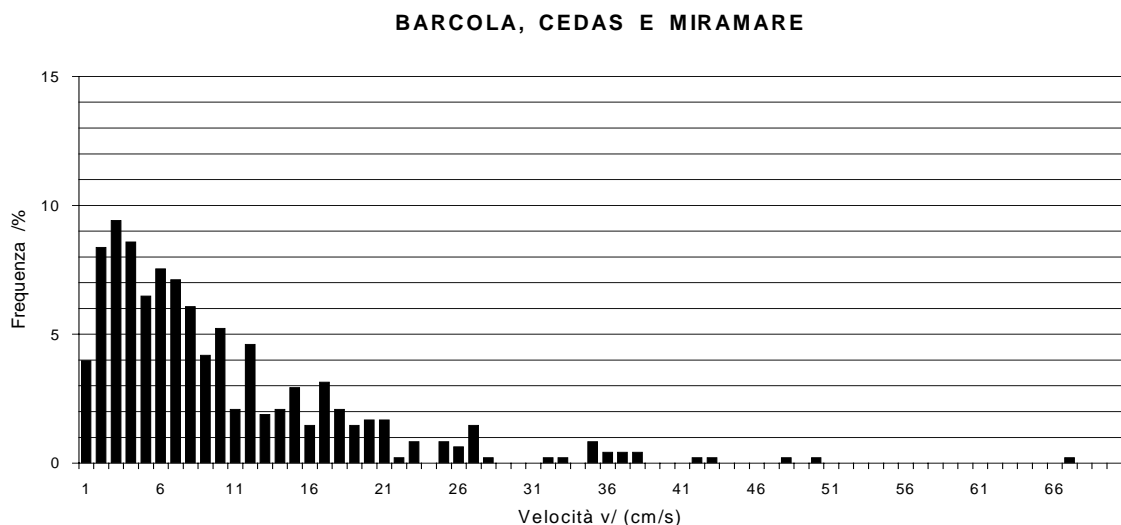


Fig. 1.- Istogramma della velocità della corrente costiera marina in superficie nelle stazioni di Barcola Cedas e Miramare (Stravisi e Battista, 1992).

Il gradiente di velocità è molto forte specialmente in prossimità della superficie marina, come appare dalla **Fig. 2**: nel caso qui preso ad esempio, passando da 10 a 50 cm di profondità, la direzione media ruota da SE a ad E mentre la velocità risulta praticamente dimezzata. Questo fatto è di grande rilevanza pratica, in quanto dimostra che la circolazione "della" superficie è normalmente ben diversa da quella descritta dalle misure e dai modelli convenzionali, i quali integrano uno strato superficiale più o meno profondo. *Il trasporto di materiali galleggianti, o di un film superficiale oleoso, deve quindi essere studiato con metodi particolari dedicati allo scopo.*

3. CONCLUSIONI

Il trasporto superficiale. In base al modello fenomenologico di circolazione precedentemente esposto, tenendo presente le osservazioni fatte a proposito del gradiente superficiale di velocità, le conclusioni che si possono trarre circa il trasporto superficiale nelle acque regionali è il seguente. La circolazione media, tipicamente presente in regime di brezze occidentali di mare o di venti deboli vari, è illustrata dalla **Fig. 3**: il trasporto medio è da Grado verso la costiera triestina e verso il porto di Trieste. Sono necessari venti orientali sostenuti, o la bora (ENE), per arrestare e quindi invertire il verso di questa circolazione. La **Fig. 4** mostra in particolare la situazione presso la riva tra Barcola e Miramare: analogamente a quanto succede al largo, anche qui la corrente superficiale ha un verso concorde con il vento. Nella Baia di Muggia (**Fig. 5**) la circolazione superficiale, rappresentata con tratto continuo, entra dalle principali bocche tra le dighe e la riva con venti occidentali, mentre con venti orientali e bora si evidenzia un flusso principale entrante da Punta Ronco ed uscente a nord, concorde con la circolazione esterna, ed un flusso proveniente dall'interno della baia ed uscente sempre a nord.

Complessivamente la situazione normale, in assenza cioè di mareggiate violente o di apporti fluviali eccezionali, può essere sintetizzata nel modo seguente:

L'effetto della corrente di marea sul trasporto è trascurabile;

il trasporto dipende prevalentemente dal campo di vento locale;

W) venti occidentali: *trasporto superficiale diretto da Grado e Monfalcone verso Trieste e verso la Baia di Muggia;*

E) venti orientali: *trasporto superficiale proveniente da Punta Salvore, uscente dalla Baia di Muggia e da Trieste, diretto verso Monfalcone e quindi verso Grado.*

*Il regime dei venti a Trieste è rappresentato dalla **Fig. 6**. La bora intensifica il caso (E), e rappresenta la situazione più favorevole per l'allontanamento dello strato superficiale dalla Baia di Muggia e per il ricambio generale dell'acqua nel Golfo di Trieste.*

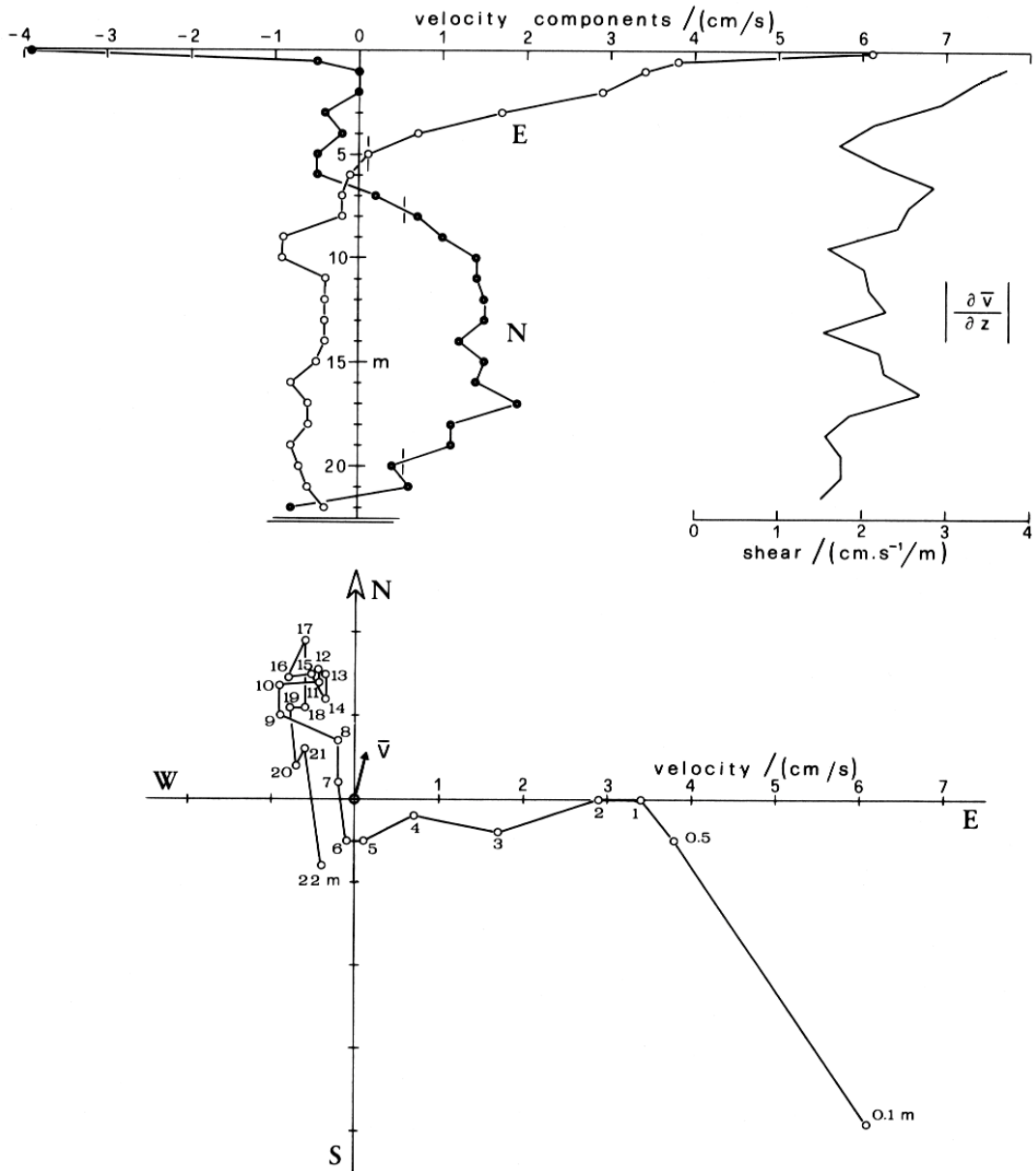


Fig. 2.- Profilo verticale medio della corrente marina in una stazione situata 3 km ad ovest della diga nord del porto di Trieste. Sopra: componenti est e nord. Sotto: estremi dei vettori velocità (staccati dall'origine) da 0.1 a 22 m di profondità sul piano orizzontale. (Stravisi, 1983 b).

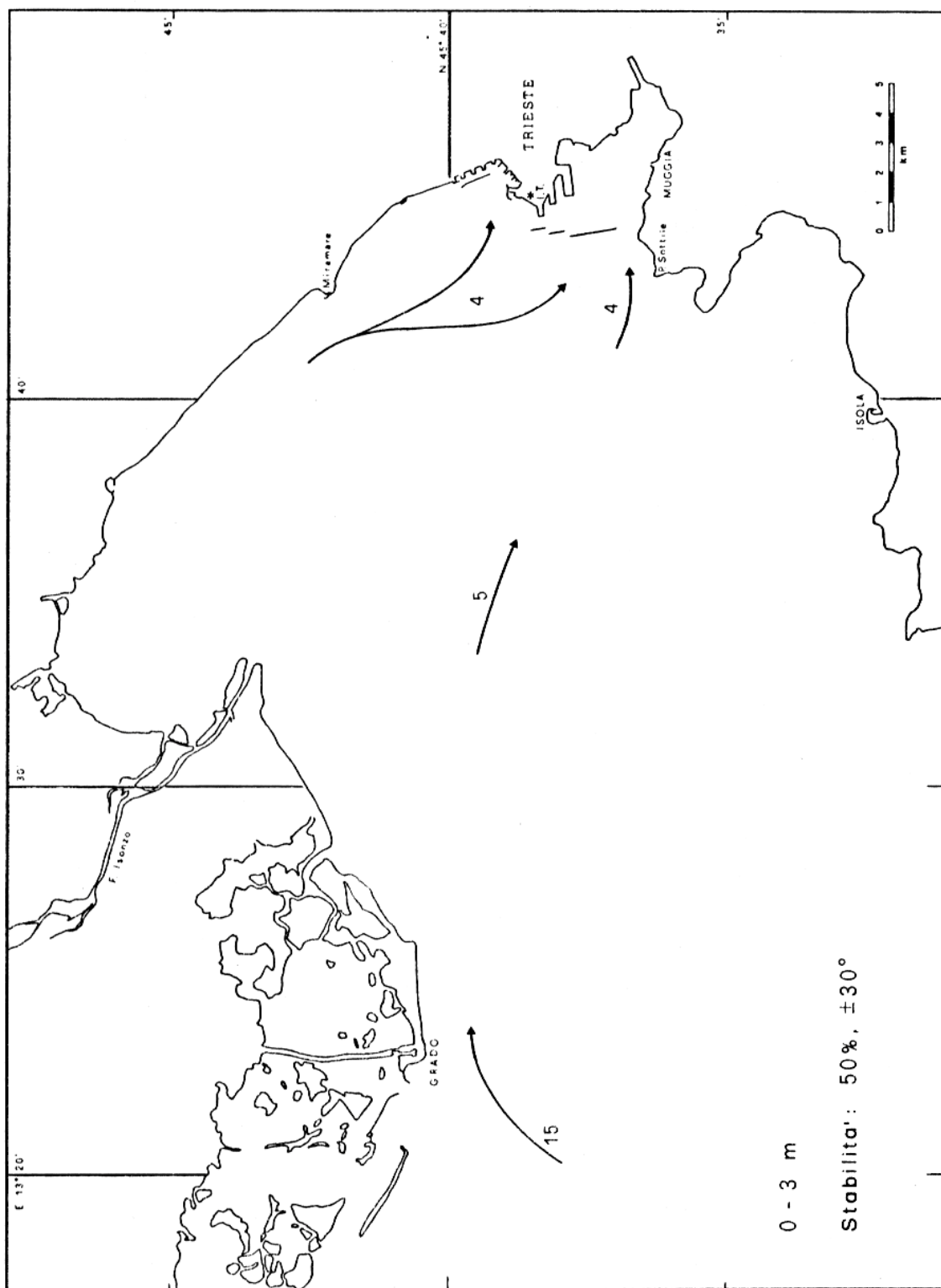


Fig. 3.- *Trasporto medio (da 0 a 3 m) nel Golfo di Trieste (Stravisi, Pieri e Berger, 1981).*

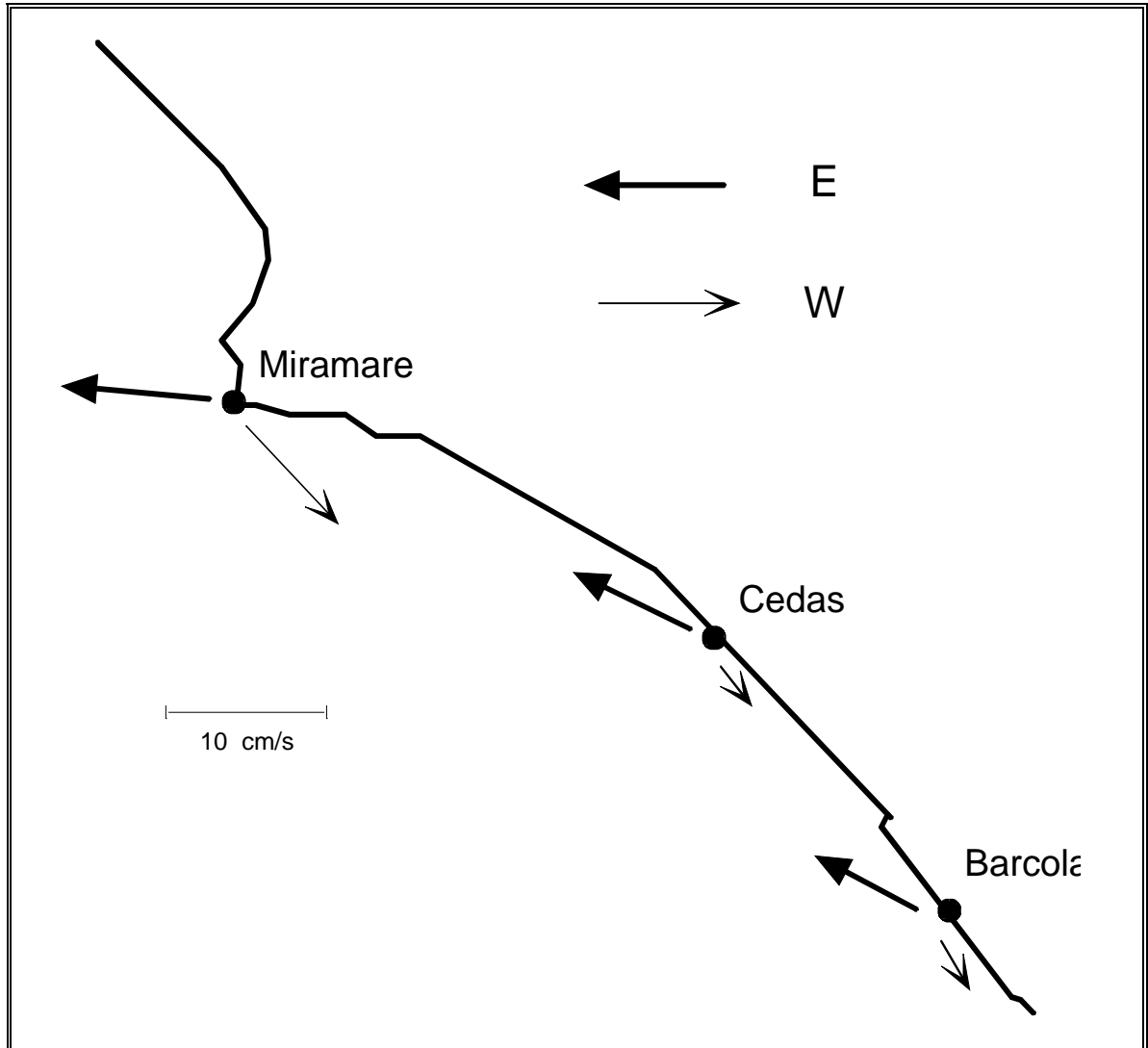


Fig. 4.- *Velocità superficiali presso la costa nelle stazioni di Barcola, Cedas e Miramare: medie vettoriali in presenza di venti orientali (E) ed occidentali (W).* (Stravisi e Battista, 1992).

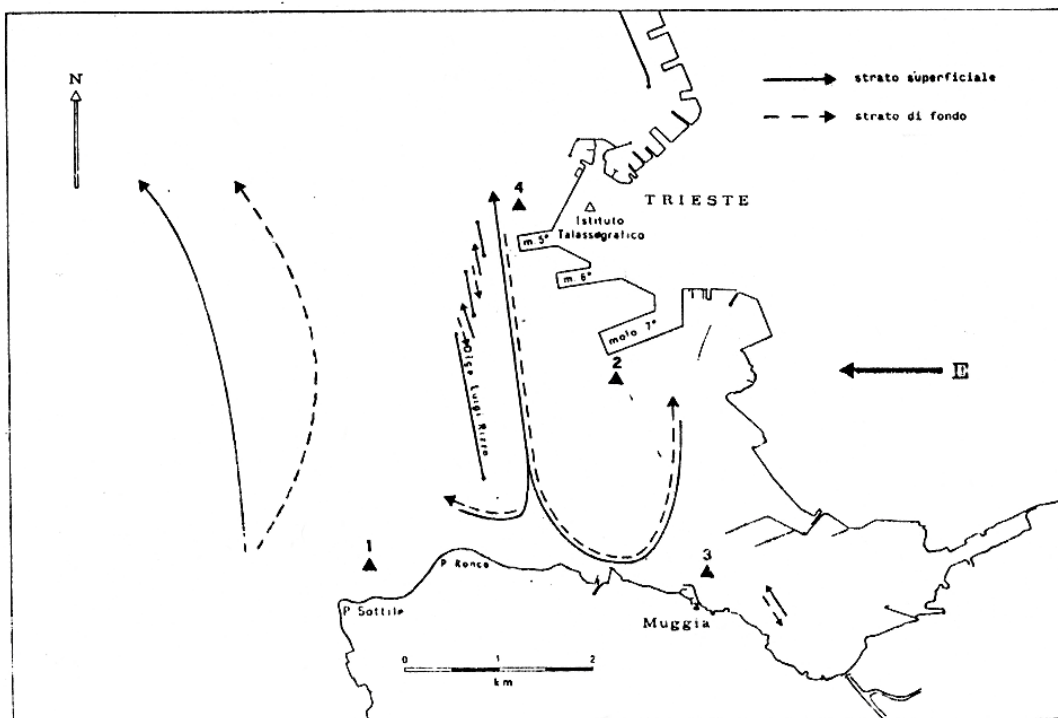
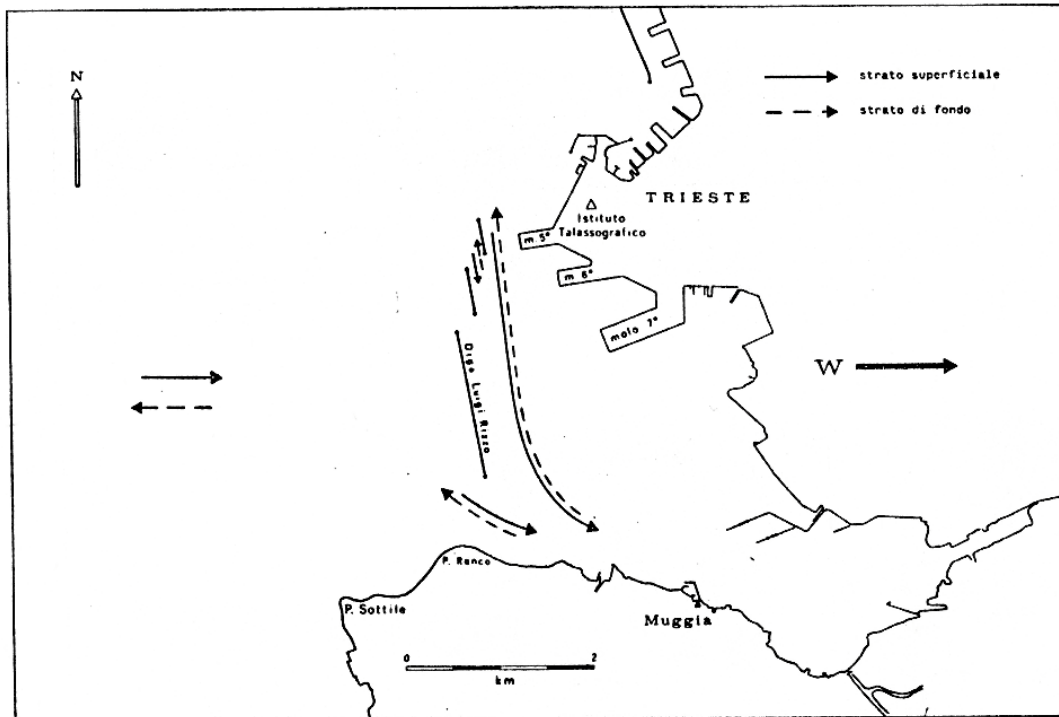
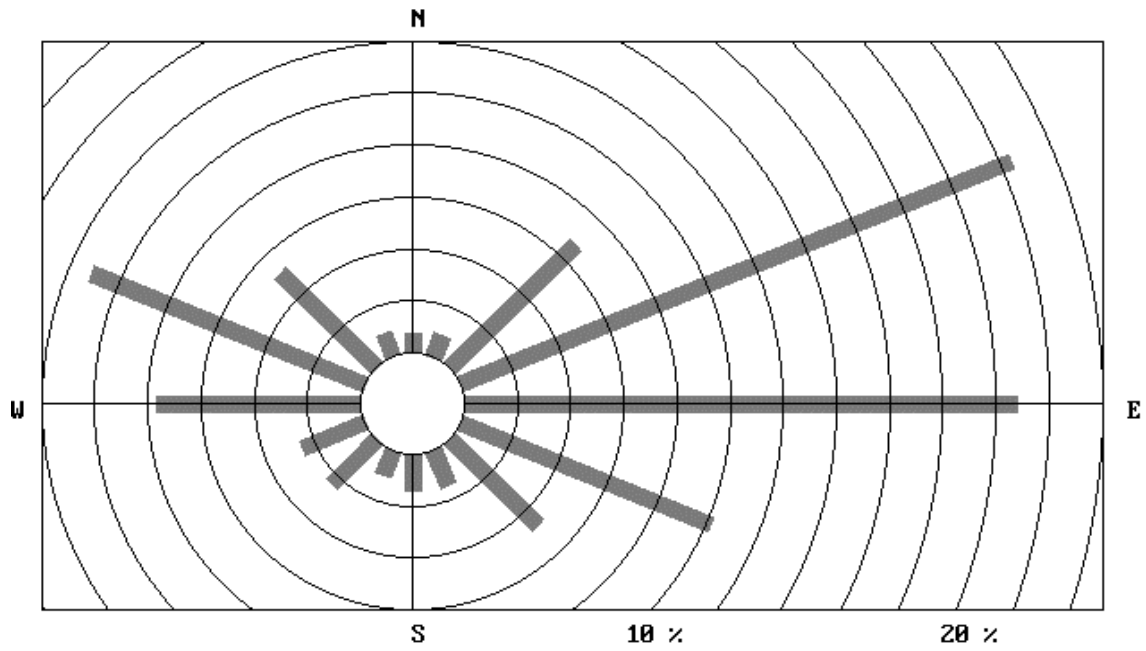


Fig. 5.- Circolazione superficiale (tratto continuo) e di fondo (tratteggiato) osservata nella Baia di Muggia in presenza di venti occidentali ed orientali. (Princi, Stravisi e Specchi, 1980).

TRIESTE - ITN

Frequenza percentuale del vento

ANNI 1987 - 1991



TRIESTE - ITN

Vento annuo filato (Totale: 100868 km) ANNI 1987 - 1991

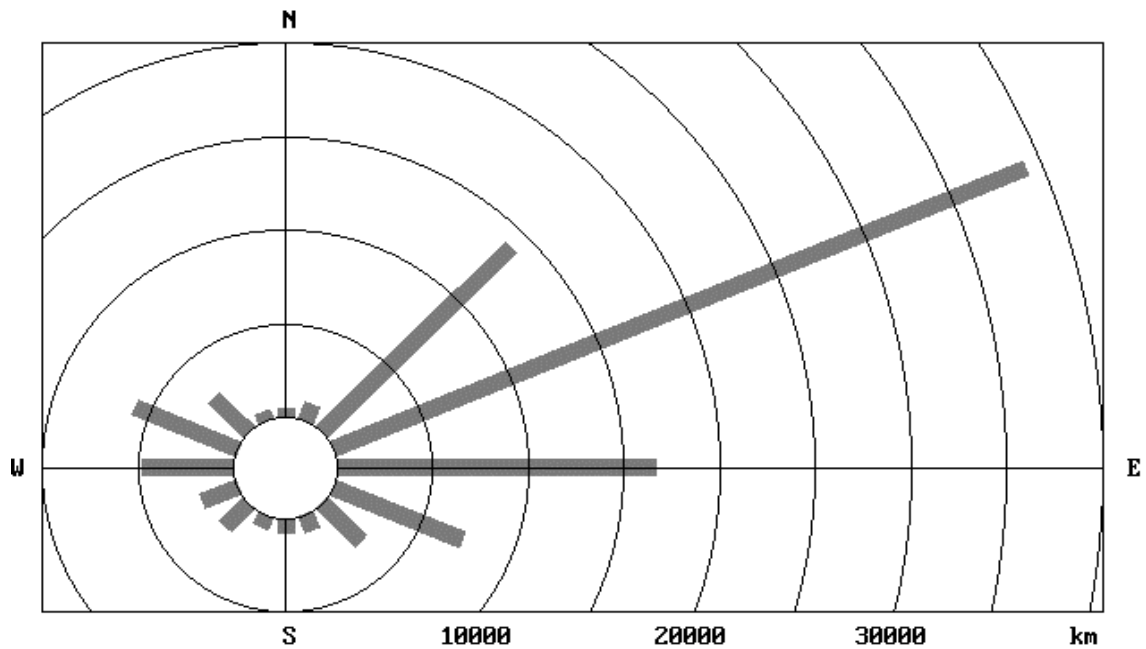


Fig. 6.- *Distribuzione direzionale annuale media (1987-1991) del vento a Trieste.*
(Stravisi, 1992 b)

RACCOMANDAZIONI

Al fine di una migliore comprensione dei meccanismi di circolazione e trasporto nelle acque regionali, e per un corretto controllo delle possibili situazioni a rischio raccomandiamo in particolare:

- (1) Eseguire uno studio dettagliato, mediante modelli numerici e misure dirette in mare, del trasporto superficiale con particolare riguardo alle zone costiere lagunari ed alla Baia di Muggia. Effettuare simulazioni numeriche sulla diffusione in mare di inquinanti in seguito ad eventi accidentali.
- (2) Studiare la fattibilità di un Centro di Osservazioni Meteomarine in tempo reale per la gestione di eventuali situazioni di emergenza a seguito di sversamenti in mare di sostanze inquinanti.

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. (1986 a):** *Durata del vento a Trieste per settore di provenienza*. ITTS, Internal Rep. RF 5.
- 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. (1988):** *Caratteristiche oceanografiche del Golfo di Trieste, Parco Marino di Miramare*. Hydrores, V, 6, 39-45
- 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. (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., BATTISTA G. (1992):** *Correntometria costiera nel Golfo di Trieste*, LC 92/4, 54 pag.
- STRAVISI F., PIERI G., BERGER P. (1981):** *Golfo di Trieste: risultati delle misure correntometriche 1951-1954*. Boll. Soc. Adriat. Sc., 65, 23-35.