



PIANO di GESTIONE della PESCA in MARE FRIULI VENEZIA GIULIA

Allegato 1

Descrizione ambientale particolareggiata

Fondo Europeo per la Pesca Reg. CE 1198/2006
Misura 3.1. Azioni Collettive (art. 37 lettera m)

Indice

1 INQUADRAMENTO AMBIENTALE.....	5
1.1 Atmosfera.....	6
1.1.1 Caratterizzazione climatica	6
1.1.2 Temperatura e umidità.....	7
1.1.3 Precipitazioni	10
1.1.4 Circolazione atmosferica.....	11
1.1.5 Transito delle depressioni	13
1.1.6 Venti principali	14
1.2 Meteoceanografia e idrodinamismo	18
1.2.1 Clima del moto ondoso.....	18
1.2.2 Direzioni e altezza dell'onda.....	18
1.2.3 Settori di traversia per le mareggiate	25
1.2.4 Distribuzione onda – periodo.....	26
1.2.5 Il regime delle correnti marine	27
1.2.6 Circolazione locale nel Golfo di Trieste.....	41
1.3 Caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua.....	54
1.3.1 Caratteristiche fisiche per il Golfo di Trieste	55
1.3.2 Caratteristiche chimico-ambientali delle acque marine costiere in Golfo di Trieste .	75
1.4. I fondali	99
1.4.1 Geomorfologia	99
1.4.2 Sedimentologia	108
1.4.5 Determinazione del livello di qualità ambientale del fondale marino	111

1 INQUADRAMENTO AMBIENTALE

Il Golfo di Trieste è costituito da un bacino piano semi-chiuso, situato nella parte più settentrionale dell'Alto Adriatico e si estende su un'area di circa 500 km² della piattaforma epicontinentale caratterizzata da un gradiente batimetrico molto basso (40 m/100 km).

Nello specifico, la zona interessata dal Piano di Gestione è totalmente confinata nelle acque costiere appartenenti al Golfo di Trieste e si colloca su fondali a profondità sempre inferiori alla batimetria dei 25 m.

Nelle Figg. 1.1.a e 1.1.b è stato schematizzato l'ambito di influenza del Piano di Gestione locale.

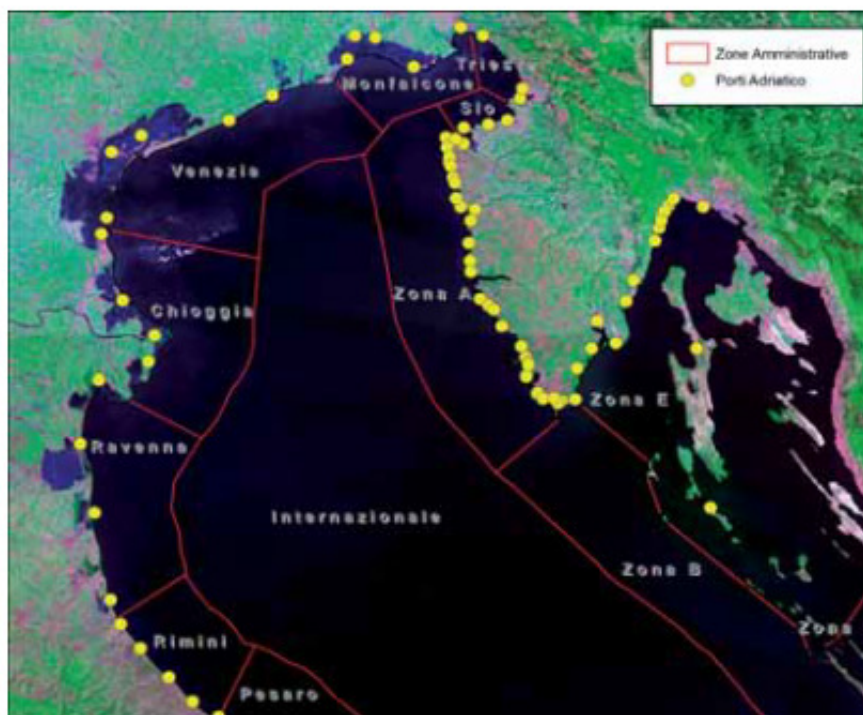


Fig. 1.1.a - Ambito di influenza del Piano di Gestione locale – campo vasto



Fig. 1.1.b - Ambito di influenza del Piano di Gestione locale – campo ristretto

1.1 Atmosfera

1.1.1 Caratterizzazione climatica

Allungato con asse in direzione NW-SE tra la penisola Italiana e quella Balcanica, con una larghezza media di circa 250 km, l'Adriatico rappresenta, se si esclude il Mar Nero, il bacino più settentrionale del Mare Mediterraneo. Tale fatto, assieme alla conformazione allungata del bacino - circa 800 km lungo l'asse, per circa 6° in latitudine - ha rilevanti conseguenze nella definizione del clima locale, come indicato nel seguito.

Il bacino Adriatico ha un clima di tipo mediterraneo: inverni miti ed umidi, estati calde e secche e stagioni intermedie che rappresentano transizioni, generalmente rapide, tra tali climi. Tuttavia, a causa del notevole sviluppo in latitudine del bacino, tale quadro presenta delle specificità locali e, nella zona settentrionale - di interesse per il presente studio - il clima assume caratteristiche più marcatamente continentali, con temperature invernali più basse, rapidi cambiamenti delle condizioni atmosferiche e maggiore escursione termica nel corso dell'anno.

1.1.2 Temperatura e umidità

I valori medi di temperatura dell'aria presentano un gradiente che tende a porsi longitudinalmente all'asse del bacino nella zona settentrionale e trasversalmente nella sezione centro-meridionale (Fig. 1.2), con escursioni di temperatura maggiori nei mesi invernali ($4\div5\text{ }^{\circ}\text{C}$) rispetto ai mesi estivi ($2\div3\text{ }^{\circ}\text{C}$).

I livelli di umidità relativa risultano più elevati nella sezione settentrionale e nei mesi freddi a causa della minore temperatura dell'aria, comunque con variazioni sostanzialmente modeste tra le varie stagioni (Fig. 1.3).

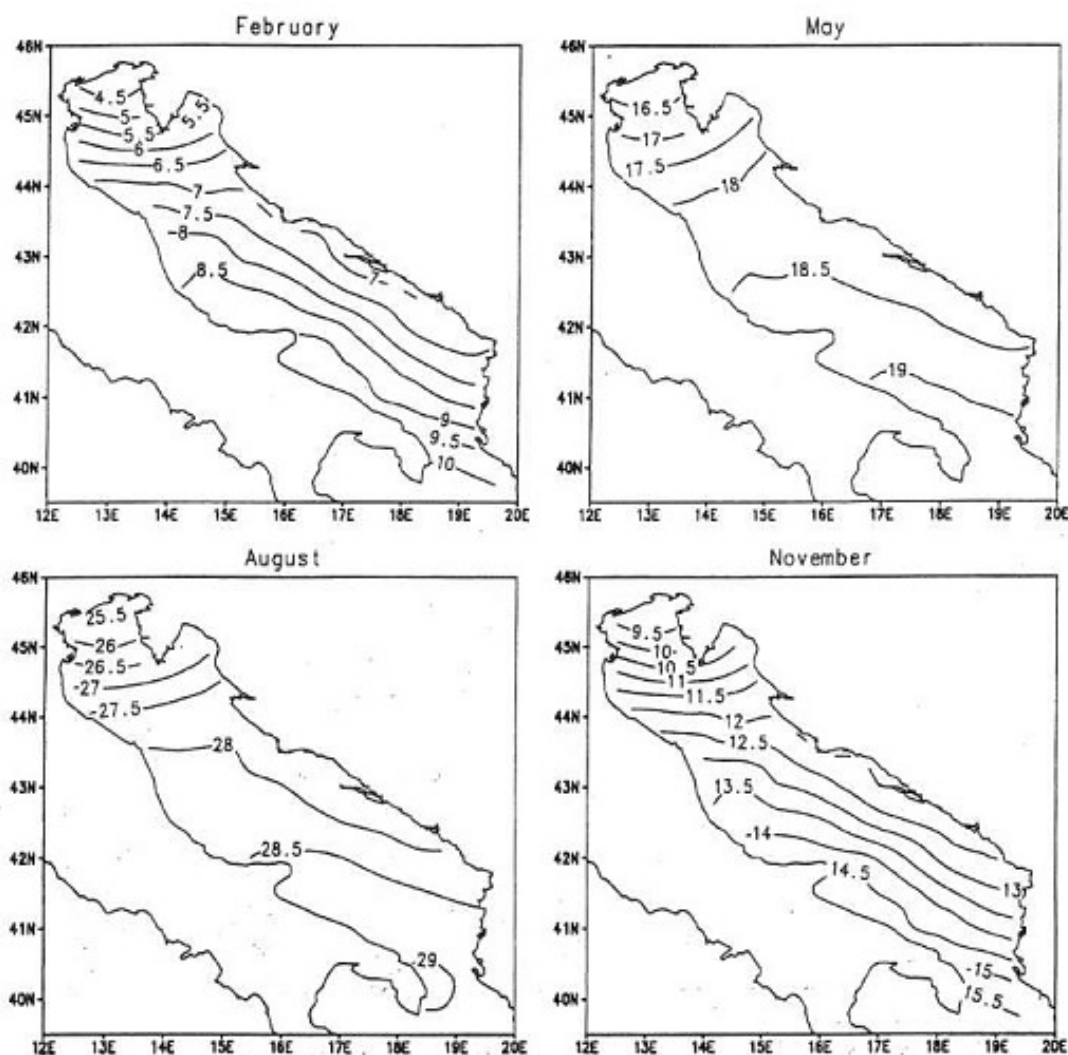


Fig. 1.2 - Isolinee della temperatura dell'aria sul bacino nelle diverse stagioni
(da Artegiani et al., 1997)

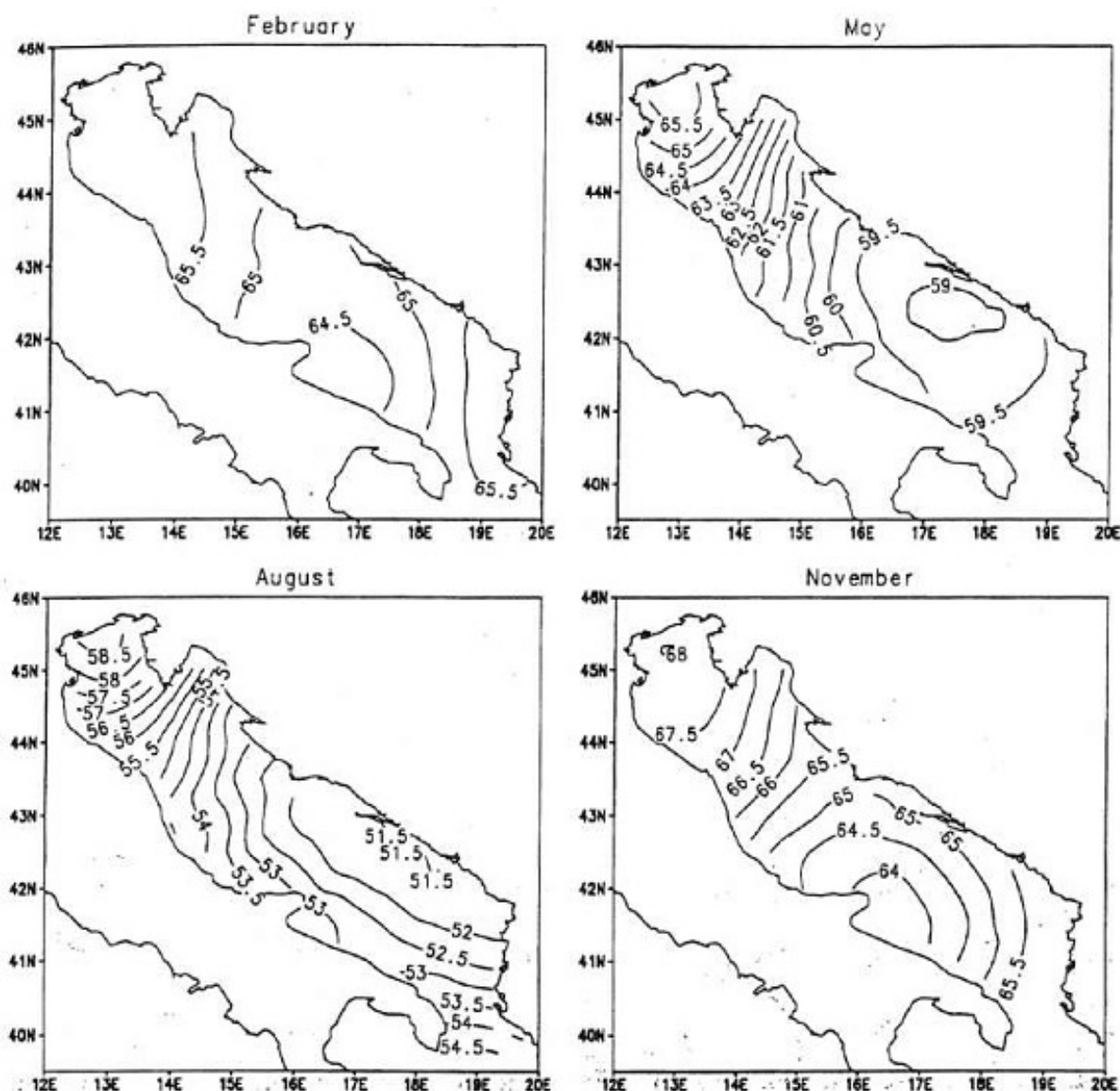


Fig. 1.3 - Isolinee di umidità relativa sul bacino nelle diverse stagioni
(da Artegiani et al., 1997)

Fascia costiera del Triveneto

È una zona abbastanza ridotta in profondità (pochi chilometri nelle province di Udine e Gorizia, partendo dalla linea di costa, meno di un chilometro nella provincia di Trieste), dove l'influenza del mare Adriatico mitiga la moderata continentalità del territorio pianeggiante. Essa può essere ulteriormente suddivisa in:

- sottozona occidentale e centrale, più fresca (dal Tagliamento all'Isonzo), in cui sono comprese anche le Lagune di Marano e Grado, e
- sottozona orientale, più mite (Monfalcone, foci del Timavo, costiera triestina, città di Trieste, Vallone di Muggia). Quest'ultima sottozona risente maggiormente

l'effetto protettivo offerto dalla barriera dell'altopiano carsico, a ridosso della linea di costa, che induce un clima rivierasco, ma anche la maggiore profondità del mare (10 – 25 m a Trieste, zona occidentale 0 – 10 m), che aumenta la capacità termica.

La temperatura media annua, su base trentennale (1961-1990, Servizio Idrografico Nazionale), per Trieste è di 14,4°C; per la zona occidentale si può considerare una temperatura inferiore di 0.5 - 1 °C. Gli estremi assoluti variano tra – 14 e + 38°C ma sono piuttosto rari e legati a particolari situazioni meteorologiche, quali le intense irruzioni di masse d'aria gelide continentali o l'apporto di masse d'aria tropicali; in entrambi i casi, la presenza della Bora enfatizza, sulla fascia costiera, non solo l'apporto di aria gelida da est, come è abbastanza noto, ma anche la compressione ed il riscaldamento (effetto föhn) delle masse d'aria calde tropicali nei mesi estivi. Cioè, la Bora, seppur di lieve intensità, è una con-causa dei massimi estremi di temperatura sulla costa (come anche sul resto della pianura regionale). Durante l'inverno sono comunque molto rari i giorni con temperature minime inferiori a –5°C e d'estate quelli con temperature massime superiori ai 32°C. In Tab. 1.1 è possibile confrontare l'andamento della temperatura del 2007 e del 2008 con la media del periodo 1961-1990.

	1961 - 1990	2007	2008
Temperatura dell'aria	Media (°C)	Media (°C)	Media (°C)
Gennaio	5,19	9,0	8,2
Febbraio	6,26	9,7	7,2
Marzo	9,03	12,3	9,6
Aprile	12,97	17,2	13,7
Maggio	17,53	20,1	19,1
Giugno	21,03	23,6	22,8
Luglio	23,62	25,2	24,9
Agosto	23,14	23,6	25,1
Settembre	19,77	19,0	19,5
Ottobre	15,30	14,9	16,9
Novembre	10,28	10,6	11,7
Dicembre	6,47	7,3	7,6

Tab. 1.1 - Andamento della temperatura dell'aria a Trieste – Dati
(Fonte Univ. Trieste – Dip. Sci. Terra)

La Fig. 1.4 riporta l'andamento della temperatura media registrato sul lungo periodo (1900-2009) dalla stazione meteorologica di Trieste, evidenziando un trend di incremento pari a $+ 0,01$ °C/anno.

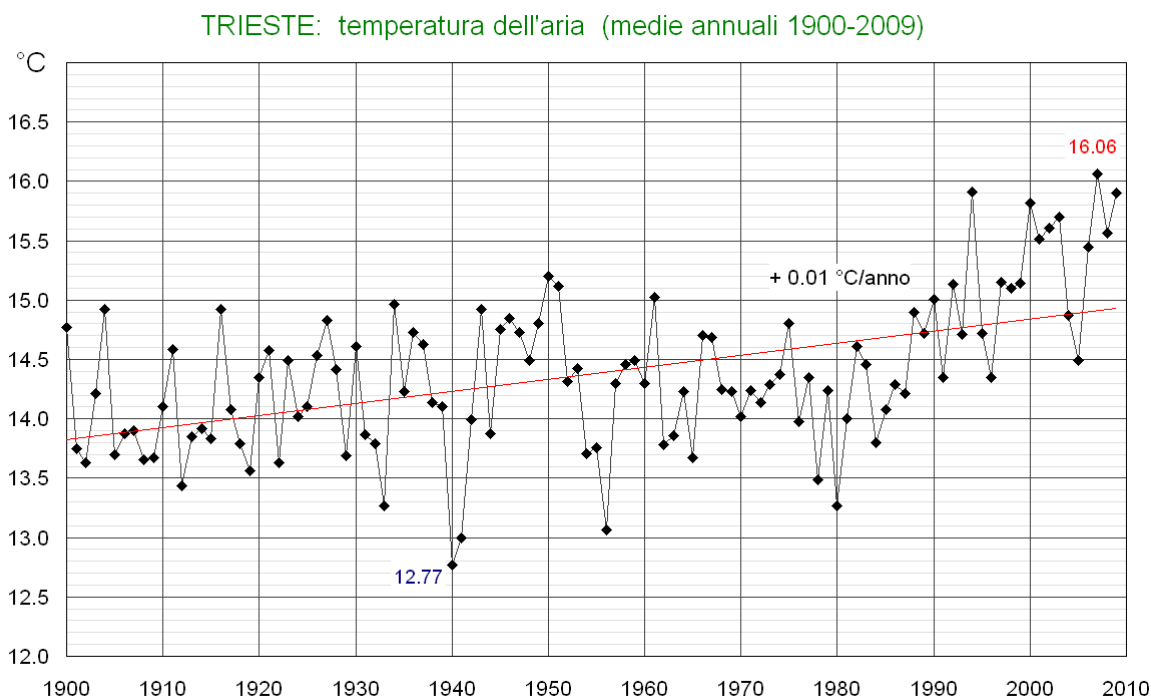


Fig. 1.4 - Andamento della temperatura media a Trieste sul lungo periodo (1900-2009)
(Fonte Univ. Trieste – Dip. Sci. Terra)

1.1.3 Precipitazioni

Nell'area di interesse la presenza di pioggia è più frequente nelle stagioni di transizione, con la massima probabilità di occorrenza in Primavera - mediamente 7 giorni ogni mese - mentre le piogge più intense si hanno nel periodo autunnale, con un massimo nel mese di Novembre, in cui il valore medio di precipitazione è di circa 70 mm. Occasionalmente, ed essenzialmente nel periodo invernale, si può avere neve lungo la costa.

In particolare nella fascia costiera del Golfo di Trieste per gli anni 2007 e 2008 sono presenti variazioni anche forti rispetto alla media del periodo 1961-1990 (Tab. 1.2, Fig. 1.5). Questo dimostra come l'andamento mensile può discostarsi anche di molto dalle medie.

	Valori normali 1961 - 1990		2007				2008			
	Totale (mm)	Max in 1 h (mm)	Totale (mm)	Max in 24 h (mm)	Max in 1 h (mm)	Max in 10' (mm)	Totale (mm)	Max in 24 h (mm)	Max in 1 h (mm)	Max in 10' (mm)
Gennaio	70,2	14,1	62,5	20,4	8,8	2,1	82,5	23,7	4,3	1,3
Febbraio	59,5	11,3	142,2	42,8	13,3	3,5	22,6	121,6	2,6	1,1
Marzo	74,6	14,8	56,5	27,1	6,6	2,3	89,4	21,0	8,0	3,3
Aprile	84,8	17,2	0,1	0,1	0,1	0,1	137,5	29,6	8,8	2,8
Maggio	79,8	25,0	173,4	129,6	45,8	16,5	49,4	16,7	6,7	5,8
Giugno	99,0	41,5	80,9	36,1	32,8	15,0	120,0	45,7	21,9	16,9
Luglio	70,1	38,8	29,6	9,5	9,2	6,4	101,4	64,5	16,0	8,8
Agosto	103,2	41,7	72,6	15,0	9,5	7,9	112,9	39,3	19,3	14,6
Settembre	102,1	36,9	194,2	45,0	16,9	10,0	20,8	11,5	4,2	3,8
Ottobre	82,4	23,8	46,2	19,6	9,0	3,1	98,3	49,0	30,2	13,7
Novembre	105,5	38,8	20,2	11,2	4,5	2,4	136,3	31,0	12,2	4,8
Dicembre	83,9	20,3	21,4	6,2	2,2	0,6	127,5	36,1	8,1	4,8
anno	1015,1	41,7	899,8	129,6	45,8	16,5	1098,6	64,5	30,2	16,9

Tab. 1.2 - Andamento delle precipitazioni – Dati
(Fonte Univ. Trieste – Dip. Sci. Terra)

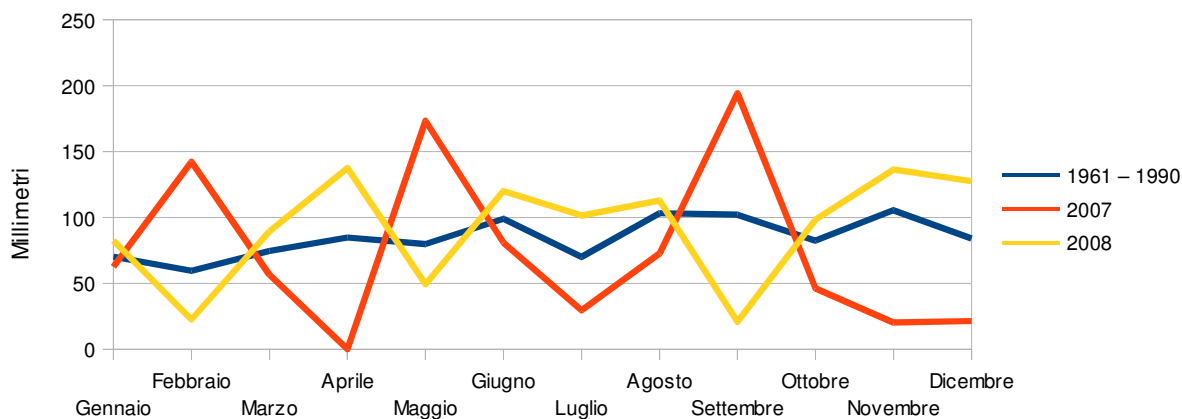


Fig. 1.5 - Andamento delle precipitazioni – Rappresentazione grafica
(Fonte Univ. Trieste – Dip. Sci. Terra)

1.1.4 Circolazione atmosferica

L'evoluzione annuale della circolazione atmosferica sul bacino del Mediterraneo è determinata dai cambiamenti dei grandi sistemi di pressione che interessano l'Oceano Atlantico, la massa continentale Euro-Asiatica e quella Africana.

Nel periodo invernale, l'anticiclone delle Azzorre, centrato sull'Atlantico, occupa la posizione più meridionale delle sue migrazioni annuali, mentre l'anticiclone siberiano è alla sua massima intensità sul continente eurasiatico. A sud della zona anticiclonica atlantica è presente un'area depressionaria sull'Atlantico e sull'Africa che occasionalmente può dare origine a fenomeni ciclonici di qualche importanza, mentre a Nord si ha il corridoio di transito delle depressioni atlantiche in movimento verso Est sul continente Europeo. Da tali movimenti depressionari possono aversi afflussi di aria fredda verso il Mediterraneo, dove vengono a contatto con masse di aria più calda ed umida, dando origine a fenomeni di ciclogenese con venti sostenuti e piogge intense. Occasionalmente, in qualunque periodo tra Ottobre e Maggio, il transito delle depressioni atlantiche è interrotto da afflussi di aria fredda di origine polare dall'Europa settentrionale e dalla Russia che possono spingersi fino a latitudini tropicali dando origine, a causa del grande contrasto termico, ad aree depressionarie che si formano sull'Atlantico e sul deserto Nord Africano per poi muovere verso il Mediterraneo.

Nei mesi primaverili si ha il graduale sviluppo di un'area anticiclonica nella zona tra la Groenlandia e l'Europa Settentrionale ed il contemporaneo decadere dell'anticiclone siberiano che generalmente collassa nel corso del mese di Aprile, cessando quindi di rappresentare una potenziale sorgente di masse di aria fredda per la zona mediterranea. Il Mediterraneo risulta ancora soggetto al transito di depressioni, determinate dall'intrusione di aria fredda dalle alte latitudini, che danno origine a nuvolosità e precipitazioni meno significative che nei mesi invernali, ma possono determinare venti di notevole intensità.

Il clima estivo si stabilisce sul Mediterraneo con l'intensificarsi dell'anticiclone delle Azzorre che sviluppa una diramazione verso le Alpi. Il processo inizia, in forma intermittente, nei mesi primaverili e, generalmente, giunge a compimento per la metà di Giugno. Le depressioni di origine Atlantica sono più deboli che nel periodo invernale e anche se occasionalmente possono interessare il Mediterraneo, raramente danno origine a fenomeni significativi. Estate più perturbate si hanno quando l'anticiclone si protende verso le isole britanniche e l'Europa settentrionale anziché verso le Alpi, esponendo il bacino ad afflussi di aria fredda di origine artica che, dalla Russia, penetrano nel bacino attraverso i Balcani o le Alpi.

1.1.5 Transito delle depressioni

La Fig. 1.6 riporta schematicamente le principali tracce di transito delle depressioni che interessano l'area del Mediterraneo. Le aree cerchiare indicano le principali zone di ciclogenesi nel bacino che costituiscono anche aree di intensificazione per le depressioni in transito; di particolare interesse, per la presente analisi, è l'area che si estende tra le Baleari e l'Adriatico Settentrionale, dove si formano oltre il 50% delle depressioni di origine Mediterranea, la maggior parte delle quali nel Golfo di Genova, da cui questo tipo di perturbazione trae il nome. L'attività di ciclogenesi è particolarmente attiva nel periodo invernale, specialmente nei mesi di Gennaio e Febbraio, in associazione all'afflusso di aria fredda dall'Europa Orientale.

Per quanto riguarda la fenomenologia nel bacino Adriatico risultano particolarmente rilevanti:

- le depressioni di origine Atlantica che giungono sull'Italia attraverso le rotte che transitano dal Golfo di Biscaglia e dal Golfo del Leone o dallo stretto di Gibilterra e dal Mare di Alboran. Dall'Italia possono proseguire verso E o NE, con fenomeni che interessano essenzialmente l'Adriatico Settentrionale o muoversi longitudinalmente lungo l'asse dell'Adriatico con direzione SE, determinando forti afflussi di bora su tutto il bacino;
- le depressioni che dalla Spagna e dall'Africa settentrionale transitano sullo Ionio e sull'Adriatico Meridionale, determinando afflussi di aria calda ed umida, che danno origine a fenomeni di Scirocco;
- le celle di bassa pressione che dalla Tunisia e dalla Libia muovono verso il Mar Nero, con fenomenologia che comunque è essenzialmente confinata nella sezione meridionale del bacino adriatico.

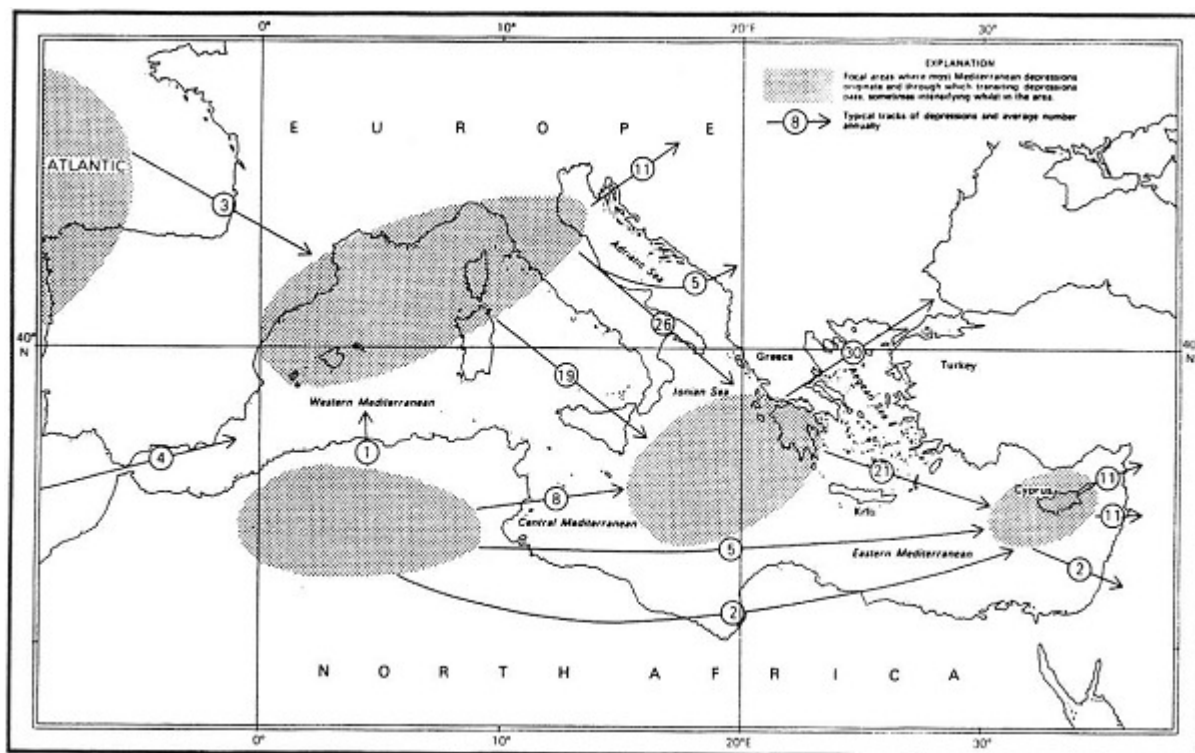


Fig. 1.6 - Principali rotte di transito delle depressioni sul bacino mediterraneo
(da Mediterranean Pilot Ed.1976, Revised 1988)

1.1.6 Venti principali

In associazione a tali configurazioni depressionarie sopra esposte, i venti più intensi nell'Adriatico risultano:

- **BORA:** è un vento freddo e secco da NE dovuto all'afflusso di aria continentale orientale ed artica attraverso il varco di Trieste o talvolta attraverso le montagne della costa orientale dell'Adriatico. In quest'ultimo caso la direzione tende a ruotare verso ENE o anche E. I venti di Bora sono generalmente associati alla presenza di un anticiclone ben sviluppato sull'Europa Settentrionale e di una bassa pressione relativa sul Mediterraneo oppure in coincidenza con il transito di depressioni sullo Ionio e sull'Adriatico meridionale, anche in presenza di una alta pressione relativamente debole sull'Europa. Tali situazioni sono maggiormente frequenti nel periodo invernale che in quello estivo. La frequenza e l'intensità della Bora tende a diminuire muovendosi da Est a Ovest e da Nord a Sud nel bacino. Nella sezione meridionale, a Sud di Ancona, si ha anche una rotazione nella direzione del vento che tende a porsi da NNW a costa e da N-NE al largo.

- **SCIROCCO:** è un vento caldo umido da Sud, dovuto all'afflusso di masse d'aria dall'Africa Settentrionale, rese umide dal transito sullo Ionio. Lo scirocco è generalmente associato alla presenza di una depressione ad Ovest dell'Adriatico, contrastata da un'alta pressione sui Balcani. A causa della configurazione del bacino lo Scirocco, che ha direzione Sud all'ingresso dell'Adriatico, tende a porsi da SE, con una intensificazione lungo la costa Orientale. Nell'Adriatico settentrionale, nella fascia tra Pesaro e Ravenna, si ha una ulteriore rotazione del vento che tende a porsi da E. Le massime intensità dei venti da Scirocco sono inferiori a quelle da Bora, ma possono risultare significative, specialmente nelle stagioni di transizione Primavera ed Autunno.
- **MAESTRALE:** è un vento da NW, non molto frequente nell'Adriatico Settentrionale in cui risulta associato al transito di fronti freddi, con massima probabilità di occorrenza nella tarda estate ed in autunno. Come accennato in precedenza, nella sezione meridionale del bacino i venti da NW risultano essenzialmente da una rotazione del vento di Bora.
- **LIBECCIO:** è un vento da SW, non molto frequente né persistente, associato alla presenza di depressioni sul bacino. I suoi effetti sono avvertiti soprattutto sulle coste orientali, tuttavia, all'altezza della foce del Po può piegare da SE, dando origine a mareggiate significative lungo la costa italiana.

In particolare nel Golfo di Trieste, dall'analisi della successiva Fig. 1.7, si può osservare come il regime dei venti sia caratterizzato dalle brezze locali, da invasioni di aria continentale (la bora) e da episodi di venti adriatici meridionali (scirocco). La distribuzione media annuale della durata e del percorso del vento nei diversi settori di provenienza è illustrata nella Fig. 1.7. Le brezze di mare a Trieste provengono dal IV quadrante (NW); caratteristiche delle giornate soleggiate, iniziano dopo l'alba e terminano prima del tramonto e sono più intense nei mesi estivi. Le brezze di terra dal I e II quadrante, di minore intensità, sono presenti di notte.

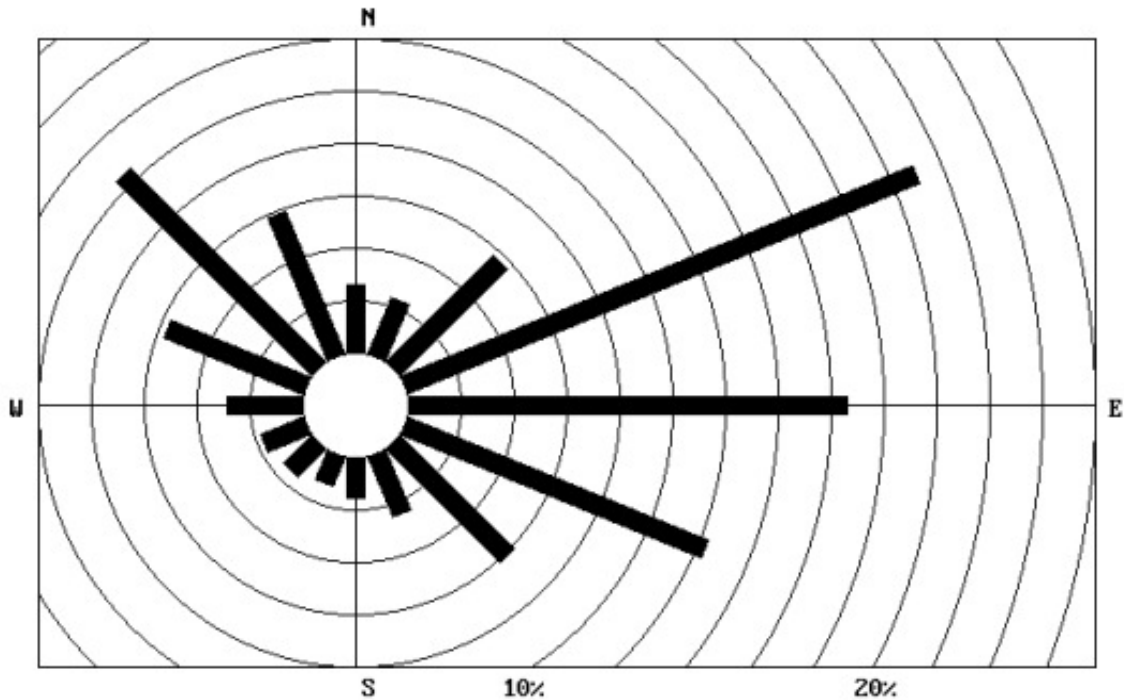
La bora è il vento dominante caratteristico del Golfo di Trieste; veloce e turbolento, questo vento può raggiungere velocità massime molto elevate, superiori a 180 km/h. La sua direzione media si mantiene relativamente costante, da ENE; tende verso NE all'aumentare della velocità e verso E negli episodi meno intensi (borino). La bora è causata da un'opportuna differenza di pressione tra il continente e l'Adriatico. Quando la pressione continentale è alta (situazione anticiclonica) il cielo è sereno e si parla di

bora chiara; viceversa, quando la pressione è bassa sull'Adriatico (situazione ciclonica), il cielo è coperto e si parla di bora scura. La bora porta sul golfo di Trieste aria continentale, normalmente più secca e perciò più densa di quella presente sul posto. Il vento, scendendo dall'altipiano carsico, tende quindi ad aumentare per gravità la sua velocità, e per tale motivo è detto catabatico. Contemporaneamente gli ostacoli del terreno producono nella corrente aerea vortici e mulinelli che rendono la bora particolarmente turbolenta in città, con forti raffiche alternate ad istanti di relativa calma; la turbolenza tende a diminuire sul mare, dove il vento diventa più teso. La bora è più frequente nei mesi freddi, da ottobre a marzo; durante la giornata, la sua velocità diminuisce in media del 5% durante le ore diurne.

TRIESTE

ANNI 1991 - 2000

Durata percentuale media annuale del vento



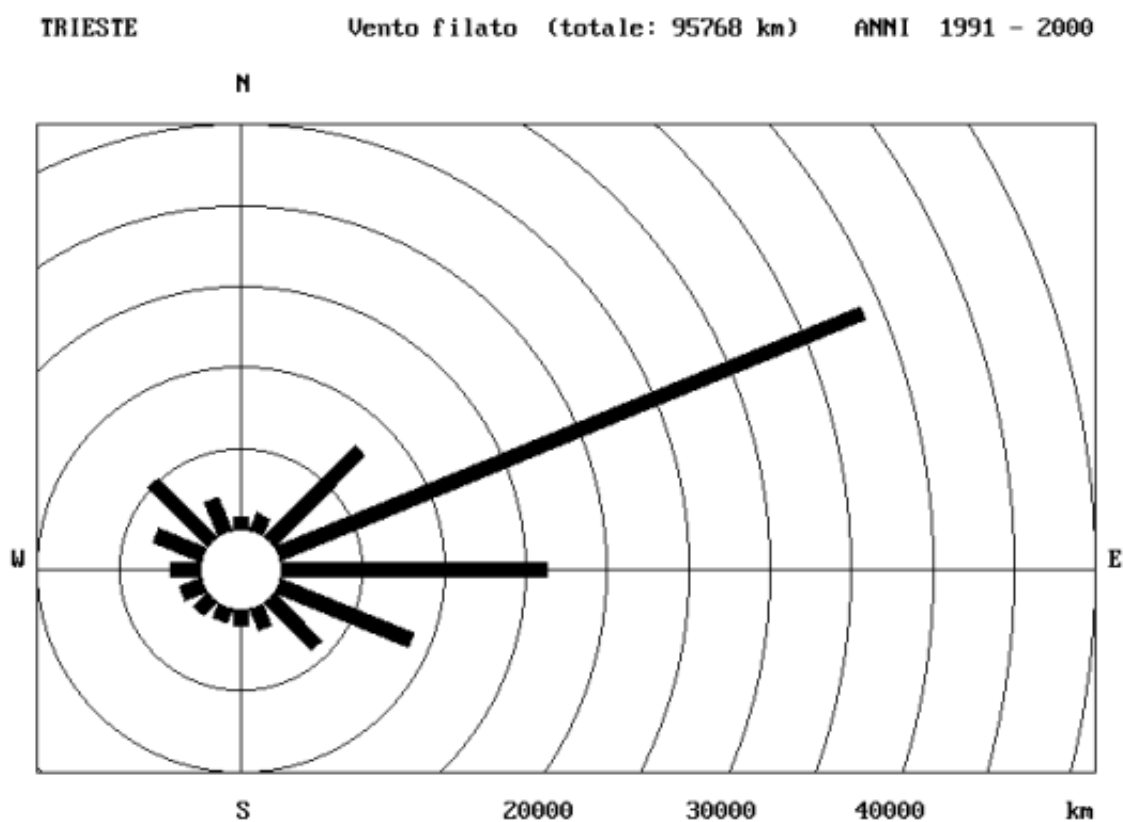


Fig. 1.7 - Distribuzione annuale media (1991-2000) della durata e del percorso del vento per direzione di provenienza. (Bussani, 2003)

1.2 Meteoceanografia e idrodinamismo

1.2.1 Clima del moto ondoso

Le fonti per la caratterizzazione della direzione e altezza d'onda nel Nord Adriatico si riferiscono a tre metodologie a carattere internazionale che si possono completare a vicenda:

- Dati provenienti dal KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) con i quali si risale alla direzionalità delle onde seguendo quella del vento dominante
- Elaborazioni di dati oceanografici provenienti dal centro meteorologico inglese "UK Meteorological Office" che ricostruisce lo stato del mare a partire dai dati meteorologici (carte bariche) e dal campo di moto.
- Dati dalla elaborazione CNR sulla ricostruzione del moto ondoso a partire dalle carte bariche e dal campo di moto, con taratura tramite dati satellitari. Nei seguenti paragrafi vengono mostrati più nel dettaglio i risultati delle indagini appena esposte.

1.2.2 Direzioni e altezza dell'onda

Dati KNMI

Esiste un buon accordo tra l'altezza d'onda da vento calcolata sulla base dei dati del KNMI - Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut - e quelli misurati in Adriatico, i dati del KNMI non contengono indicazioni sulla direzionalità degli stati di mare che per la definizione del clima è stata assunta uguale alla direzione del vento. Tale assunzione è generalmente abbastanza attendibile nel caso di bacini chiusi, con limitata rilevanza dei fenomeni di swell (onda lunga). La distribuzione direzionale del moto ondoso su base annuale e stagionale è mostrata nelle Tab. 1.3.1 ÷ Tab. 1.3.5.

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)- ANNUALE																
Dir (N°)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	Tot
0	5,1	2,8	0,9	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5
30	4,3	2,8	1,2	0,6	0,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6
60	8,4	5,3	2,6	1,2	0,5	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4
90	3,6	1,9	0,9	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0
120	3,2	1,7	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	6,3
150	8,7	4,8	1,6	0,6	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5
180	4,4	1,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2
210	2,1	0,9	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5
240	2,5	1,2	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
270	2,8	1,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3
300	2,9	1,2	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
330	5,7	1,9	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4
Tot	53,8	27,2	10,6	4,2	1,9	1,3	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	99,8
	calma 61,3			variabile 1,59												

Tab. 1.3.1 - Distribuzione direzionale degli stati di mare al largodell'Adriatico settentrionale – Annuale

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)- INVERNO																
DIR (N°)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	TOT
0	4,6	2,8	0,7	0,4	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9
30	4,1	3,0	1,8	0,6	0,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2
60	9,9	6,5	4,1	1,5	0,5	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	23,1
90	3,3	1,6	1,6	0,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3
120	1,5	1,6	0,6	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	4,2
150	5,4	4,5	2,1	0,7	0,2	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	13,5
180	3,9	2,1	0,7	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3
210	0,7	0,7	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,0
240	2,2	1,6	0,7	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8
270	2,7	1,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
300	1,6	1,3	0,8	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
330	5,9	3,4	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	10,3
TOT	45,9	30,1	14,2	4,5	2,1	2,0	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,3	0,0	0,1	0,2	100,1
	calma 44,9			variabile 1,59												

Tab. 1.3.2 - Distribuzione direzionale degli stati di mare al largo dell'Adriatico settentrionale – Inverno

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)-PRIMAV.																
DIR (N°)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	TOT
0	4,1	2,2	0,8	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	7,4
30	4,2	2,8	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6
60	8,7	4,8	1,9	1,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	17,2
90	3,8	1,7	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1
120	4,7	1,6	0,8	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7
150	11,4	6,4	1,6	0,5	0,2	0,3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	20,8
180	5,1	1,7	0,5	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8
210	2,9	1,3	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
240	2,9	1,5	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
270	2,3	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,4
300	1,9	1,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3
330	4,8	1,7	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3
TOT	56,6	27,5	8,6	3,5	1,3	1,6	0,1	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
	calma 62,68				variabile 2,17											

Tab. 1.3.3 - Distribuzione direzionale degli stati di mare al largo dell'Adriatico settentrionale – Primavera

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)- ESTATE																
DIR (N°)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	TOT
0	6,4	3,8	0,9	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5
30	4,8	2,3	0,7	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	8,3
60	7,2	4,0	1,3	1,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0
90	5,1	2,7	0,7	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0
120	4,7	1,7	0,4	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1
150	11,5	4,0	1,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9
180	5,6	1,6	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
210	2,4	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
240	2,8	0,7	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1
270	3,2	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9
300	4,2	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
330	7,1	1,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	8,8
TOT	65,0	23,9	6,8	2,8	0,8	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
	Calma 94,36				variabile 0,99											

Tab. 1.3.4 - Distribuzione direzionale degli stati di mare al largo dell'Adriatico settentrionale – Estate

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA H_s (m) - AUTUNNO																
DIR(N°)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	Tot
0	5,7	2,7	1,5	0,5	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7
30	4,4	3,3	1,3	1,1	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6
60	7,5	5,9	3,4	1,2	0,9	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,2
90	1,8	1,4	1,2	0,4	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3
120	1,5	2,1	1,2	0,2	0,1	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	5,9
150	5,8	3,8	1,8	0,8	1,1	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9
180	2,6	1,4	0,6	0,9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0
210	2,6	1,4	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7
240	1,9	1,2	0,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1
270	3,3	1,8	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7
300	4,5	0,9	0,5	0,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8
330	5,1	1,3	0,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1
Tot	46,5	27,2	13,3	6,7	3,7	1,3	0,5	0,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	100,0
	<i>calma 40,75</i>			<i>variabile 1,53</i>												

Tab. 1.3.5 - Distribuzione direzionale degli stati di mare al largo dell'Adriatico settentrionale – Autunno

Dati UKMO

Per la definizione delle caratteristiche ondametriche del Nord Adriatico si è fatto riferimento anche alle elaborazioni di dati oceanografici appositamente richiesti ed ottenuti dal noto centro meteorologico inglese "UK Meteorological Office".

Il modello European Wave Model dell'U.K.M.O. ricostruisce lo stato del mare a partire dai dati meteorologici (carte bariche) e dal campo di moto ondoso. Le agenzie meteorologiche nazionali iniziarono ad impiegare modelli di previsione spettrale delle condizioni di moto ondoso a partire dalla metà degli anni '70. I modelli operano in continuo, funzionando in cascata con modelli di previsione meteorologica, che forniscono loro i dati di vento necessari come input.

I modelli U.K.M.O. Global Wave Model e European Wave Model sono modelli della seconda generazione per la parametrizzazione non lineare dello spettro del moto ondoso.

I dati ottenibili, con cadenza di 30 minuti, sono relativi ad ogni nodo della maglia. Oltre ad altezza significativa, periodo medio e direzione media di propagazione, il

modello è in grado di fornire anche spettri direzionali, con 16 direzioni, discretizzati con 13 frequenze.

Il modello UK Met Office Wave Model copre le acque europee con una griglia locale (European Wave Model) le cui maglie hanno lati di 25÷30 km. L'archivio del modello, che elabora con continuità i dati meteorologici, fornisce dati sequenziali di vento e moto ondoso a partire dall'ottobre 1986.

Lo European Wave Model si annida all'interno del Global Wave Model (maglia di lato pari a 150 km), che elabora i dati su scala maggiore.

I dati forniti hanno consentito di caratterizzare lo stato del mare (e dei venti) sulla base dell'analisi delle più recenti carte bariche della zona e rappresentano una affidabile ed insostituibile fonte di informazione, in assenza di stazioni ondametriche locali.

I dati elaborati sono relativi al periodo di osservazione compreso tra giugno 1987 e maggio 2000; i punti di riferimento della griglia hanno le seguenti coordinate geografiche: 44.25N/12.73E, 45.25N /13.14E, 45.50N 13 /14E.

Nella Tab. 1.4 e Fig. 1.8 sono riportate rispettivamente le registrazioni di moto ondoso, ordinate per altezza significativa e direzione media di provenienza, ed il diagramma polare che rappresenta frequenze ed altezza in funzione della direzione di provenienza.

H1 To H2		Wave direction in degrees North												
-----		-----												
P(H>H1)														
		-15	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	
		15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	
0.00	0.50	0.97055	1327	3803	6551	7424	9516	11581	7121	4715	2501	1118	767	793
0.50	1.00	0.39838	626	3096	6172	4375	3821	4285	3112	2123	1216	614	343	313
1.00	1.50	0.09740	53	512	1864	1184	690	947	828	531	411	179	14	0
1.50	2.00	0.02527	17	113	625	318	102	223	199	83	12	0	0	2
2.00	2.50	0.00834	4	14	231	143	40	77	39	12	4	0	0	0
2.50	3.00	0.00270	0	7	61	82	18	13	15	4	0	0	0	0
3.00	3.50	0.00069	0	1	11	39	4	2	2	2	0	0	0	0
3.50	4.00	0.00011	0	0	0	8	0	0	2	0	0	0	0	0
4.00	4.50	0.00001	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Parts per thousand for each direction		20	75	155	136	142	171	113	75	41	19	11	11	

Tab. 1.4 - Registrazioni di moto ondoso ordinate per altezza e direzione (UKMO)

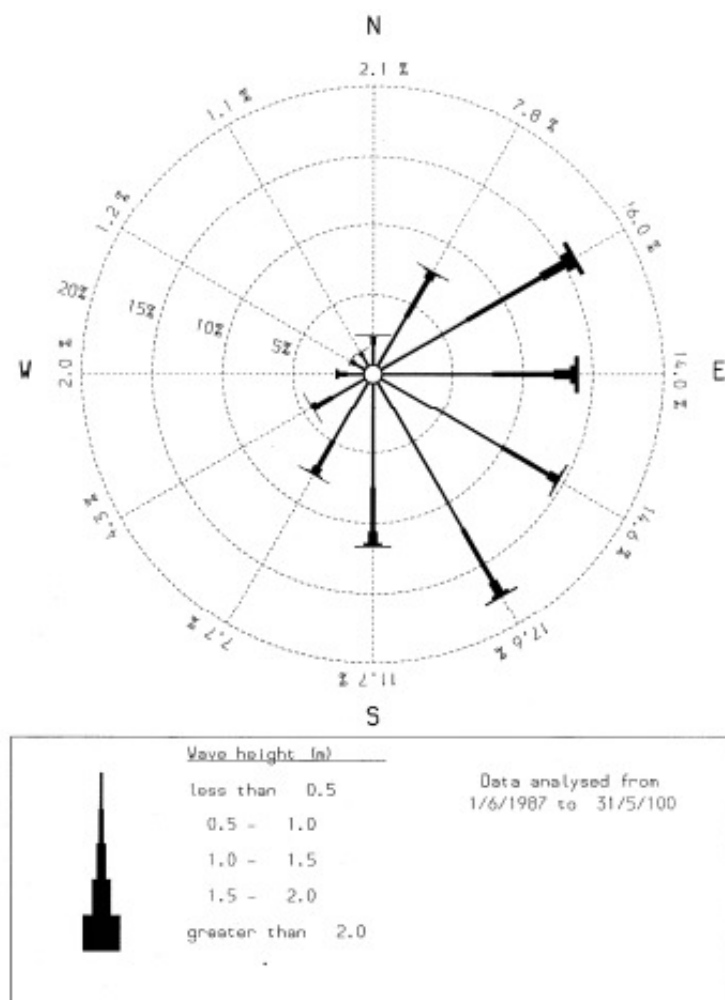


Fig. 1.8 - Diagramma polare delle frequenze e delle altezze d'onda (UKMO)

Dati CNR

I modelli di ricostruzione del moto ondoso a partire dalle carte bariche e, ovviamente dal campo di moto, sono di gran lunga la sorgente più abbondante e completa di dati, fornendo, ad intervalli regolari e con una grande densità spaziale, una grossa mole di informazioni. Possono tuttavia avere problemi di accuratezza, particolarmente in alcune zone, quali l'Adriatico, contornate da una complicata orografia. La soluzione è allora data dalla loro verifica ed eventuale taratura tramite i dati da satellite.

Seguendo questa linea sono state appositamente acquisite le statistiche rese disponibili da CNR-ISMAR, che sono le uniche che notoriamente considerano anche la taratura mediante dati da satellite e che caratterizzano la distribuzione percentuale degli eventi ondosi a partire da un database sufficientemente esteso.

Il punto a cui si riferiscono i dati ha coordinate geografiche 45°30'N, 13°E (Fig. 1.9), mentre il periodo di osservazione va dal 1992 al 2002. Si riporta nella successiva Tab. 1.5, un estratto di tale rapporto.

In tale tabella i risultati sono presentati in parti per 100.000. Questo permette di avere, senza perdere in accuratezza, tabelle costituite da numeri interi, e perciò di più immediata leggibilità. Trattandosi di 10 anni di climatologia ondosa (3650 giorni), per le statistiche relative al clima al largo, una parte su 100.000 corrisponde a circa $(3650\text{gg} \cdot 24\text{h} \cdot 3600\text{s}) / 100000 = 3153\text{ s}$ ovvero circa 0.87 ore nel periodo considerato. Per ciascuna classe della partizione considerata, sono state riportate, in parti su 100.000, le percentuali di accadimento di eventi ondosi compresi nelle varie classi della partizione.



Fig. 1.9 - Ubicazione del punto di riferimento dei dati CNR-ISMAR

DIR1 to DIR2 [°N]	Hs [m]											
	n. tot. osservazioni	0,0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5	3,5 - 4,0	4,0 - 4,5	4,5 - 5,0	5,0 - 5,5
0. - 10.	1160	1001	138	21	0	0	0	0	0	0	0	0
10. - 20.	1534	953	394	97	62	21	7	0	0	0	0	0
20. - 30.	1893	1070	462	256	35	42	28	0	0	0	0	0
30. - 40.	2423	1200	800	242	97	49	14	21	0	0	0	0
40. - 50.	3660	1449	1174	643	200	90	69	28	0	7	0	0
50. - 60.	5424	1961	1584	987	510	187	83	42	35	28	7	0
60. - 70.	4433	1422	1361	862	415	248	97	21	7	0	0	0

70. - 80.	3231	1339	946	559	214	124	21	7	7	7	7	0
80. - 90.	2500	1277	752	346	97	21	0	0	0	7	0	0
90. - 100.	2321	1401	560	262	49	35	0	0	0	14	0	0
100. - 110.	2171	1520	387	173	49	28	14	0	0	0	0	0
110. - 120.	3059	2277	559	160	35	28	0	0	0	0	0	0
120. - 130.	4693	3807	552	201	56	42	28	0	0	7	0	0
130. - 140.	6578	5306	732	380	111	21	21	7	0	0	0	0
140. - 150.	12733	9687	2237	553	138	76	14	14	14	0	0	0
150. - 160.	13666	9406	2718	974	339	138	49	14	21	0	7	0
160. - 170.	7826	4460	2458	567	202	104	28	7	0	0	0	0
170. - 180.	5462	3388	1368	463	131	63	28	7	14	0	0	0
180. - 190.	4041	2671	940	270	97	56	7	0	0	0	0	0
190. - 200.	3569	2546	690	208	104	21	0	0	0	0	0	0
200. - 210.	2541	1966	428	98	35	14	0	0	0	0	0	0
210. - 220.	1514	1208	243	49	7	7	0	0	0	0	0	0
220. - 230.	1036	856	159	14	7	0	0	0	0	0	0	0
230. - 240.	753	649	97	7	0	0	0	0	0	0	0	0
240. - 250.	249	228	14	0	7	0	0	0	0	0	0	0
250. - 260.	91	84	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
260. - 270.	77	63	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0
270. - 280.	111	76	14	14	7	0	0	0	0	0	0	0
280. - 290.	111	83	21	7	0	0	0	0	0	0	0	0
290. - 300.	70	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300. - 310.	84	63	14	7	0	0	0	0	0	0	0	0
310. - 320.	70	56	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0
320. - 330.	21	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330. - 340.	581	574	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340. - 350.	112	91	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350. - 360.	202	181	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	101514	65618	22115	8483	3011	1422	508	168	98	70	21	0

Tab. 1.5 - Frequenze di moto ondoso ordinate per altezza e direzione (CNR)

1.2.3 Settori di traversia per le mareggiate

Le tabelle 1.3.1 ÷ 1.3.5 nel precedente sottocapitolo mostrano la concentrazione degli eventi nei settori di traversia del vento. Il settore di Bora risulta dominante in tutte le stagioni con un picco nel periodo invernale (40.6% degli eventi) ed un minimo in estate (31.3%), mentre il settore da Scirocco presenta un picco in Primavera (28.6%) ed un minimo in Autunno (19.9%). A tali settori risultano associati anche gli eventi più intensi.

In accordo con i principali settori di traversia del vento, le più intense mareggiate risultano concentrate nei settori NW (Maestrale); NE-E (Bora); SE (Scirocco). Il moto ondoso da N e NW risulta più frequente nella sezione centrale e meridionale del bacino, specialmente nel periodo estivo. Nell'area di interesse, gli effetti lungo la costa italiana sono poco significativi. Le mareggiate associate ai fenomeni di Bora rivestono un ruolo particolarmente rilevante nell'area di interesse, mentre tendono ad attenuarsi procedendo verso Sud, in quanto l'effetto dovuto al decrescere della velocità del vento prevale sugli effetti legati all'aumento del fetch.

Nel Nord Adriatico il vento di Bora dà origine a mareggiate violente, di durata generalmente breve, con moto ondoso che tende a porsi tra NE e E. Per la morfologia del bacino e la ridotta estensione del fetch, le onde risultano in fase di crescita e quindi particolarmente ripide.

Le mareggiate da Scirocco sono invece caratterizzate da una crescita più lenta, con una intensità del moto ondoso che tende ad aumentare muovendo da Sud a Nord nel bacino. Nel Nord Adriatico, le mareggiate da Scirocco tendono a ruotare verso Est, a causa degli effetti dei bassi fondali, e ad assumere caratteristiche di mare morto (swell) persistendo anche abbastanza a lungo dopo la caduta del vento.

1.2.4 Distribuzione onda – periodo

La diversa lunghezza del fetch associato ai principali settori di traversia determina una dipendenza direzionale della ripidità delle onde, cioè della relazione tra altezza d'onda e periodo. Consideriamo due macro-settori direzionali:

- BORA (330° - 75° nord), caratterizzato da fetch ridotti e rapida crescita delle mareggiate
- SCIROCCO (75° - 165° nord), caratterizzato da fetch maggiori e significativa presenza di onde da swell.

Considerata la relativa inaffidabilità delle stime visive del periodo delle onde, per verificare tale dipendenza direzionale si è fatto riferimento alle misure non direzionali di moto ondoso effettuate alla piattaforma Annabella (13° 04' 44" E; 44° 13' 41" N) nel periodo Gennaio-Dicembre 1993. Di nuovo si è assunta la direzione dello stato di mare uguale alla direzione misurata del vento. I dati (Tab. 1.6.1 e 1.6.2) mostrano periodi mediamente più lunghi nel settore di Scirocco, anche se la differenza non appare particolarmente rilevante.

PIATTAFORMA ANNABELLA - RELAZIONE Hs - Ts - SETTORE BORA (315° - 75° N) - Hs (m)													
Ts (s)	,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
3,0	44,15	0,197	,021	,000	,000	,000	,000	0,00	,000	,000	,000	,000	
4,0	37,83	36,02	6,218	,320	,000	,000	,000	0,00	,000	,000			
5,0	13,91	43,71	44,15	18,05	3,96	,525	,000	0,00	,000	,000			
6,0	3,31	14,54	39,44	53,78	43,56	24,65	10,75	3,80	,958	,000			
7,0	,65	2,29	9,21	24,62	43,93	56,93	58,33	50,44	38,66	26,57	16,92	10,0	0,0
8,0	,12	,24	,910	4,08	8,11	16,84	28,70	41,67	53,67	62,94	67,69	70,0	75,0
9,0	,021	,018	,051	,157	,440	1,05	2,22	4,094	6,71	0,49	15,39	20,0	25,0
10,0	,003	,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000			
11,0	0,01	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000			
TOTALE	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 1.6.1 - Piattaforma Annabella - Settore bora (315° - 75° N)
Relazione tra altezza d'onda e periodo significativo (fonte SNAM)

PIATTAFORMA ANNABELLA - RELAZIONE Hs - Ts - SETTORE SCIROCCO (75° - 165° N) - Hs (m)													
Ts (s)	,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
3,0	40,21	2,48	,007	,000	,000	,000	,000	0,00	,000	,000	,000	,000	,000
4,0	40,65	35,64	4,876	,135	,000	,000	,000	0,00	,000	,000	,000	,000	,000
5,0	15,06	45,67	43,74	13,96	1,86	,097	,000	0,00	,000	,000	,000	,000	,000
6,0	3,36	14,13	41,53	54,49	36,02	14,20	3,70	,551	,000	,000	,000	,000	,000
7,0	,596	1,91	9,05	27,86	50,40	58,14	47,41	29,75	15,03	6,25	,000	000	,000
8,0	,095	,158	,760	3,40	11,08	25,53	43,47	57,85	63,34	59,38	52,00	4,000	25,00
9,0	,014	,010	,032	,152	,628	2,03	5,32	11,57	20,92	32,82	48,00	60,00	75,00
10,0	,002	,000	,000	,000	,000	,000	,116	,28	,65	1,56	,000	,000	,000
TOTALE	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 1.6.2 - Piattaforma Annabella - Settore Scirocco (75° - 165° N)
Relazione tra altezza d'onda e periodo significativo (fonte SNAM)

1.2.5 Il regime delle correnti marine

Il regime delle correnti nel bacino dell'Adriatico risulta dalla combinazione delle:

- circolazione termoalina, derivante dalla distribuzione di densità provocata dalla presenza di masse d'acqua di caratteristiche diverse nel bacino;
- circolazione di marea, determinata dalle variazioni di livello del bacino indotte dalla marea astronomica;
- circolazione da vento, indotta dallo stress del vento sulla superficie del mare;
- circolazione da sessa, risultante dalle oscillazioni libere del bacino determinate dagli accumuli costieri di acqua, per effetto dell'azione del vento.

1.2.5.1 Circolazione termoalina

Il peculiare regime termico ed idrologico del bacino determina la presenza di masse d'acqua con caratteristiche diverse che danno origine ad una significativa circolazione

baroclinica. Di seguito si fornisce una sintesi delle informazioni disponibili sull'idrologia e la distribuzione delle masse d'acqua, come premessa alla descrizione di tale circolazione.

1.2.5.2 Caratteristiche idrologiche del bacino

La distribuzione delle masse d'acqua nel bacino è controllata da tre fenomeni principali:

- gli scambi termici con l'atmosfera, modulati dalla variabilità stagionale del clima, che presenta significative differenze nelle varie sub-aree, a causa del notevole sviluppo in latitudine del bacino;
- gli importanti apporti di acqua dolce di origine meteorica e fluviale;
- l'interscambio con il resto del Mediterraneo attraverso il Canale di Otranto.

Per quanto riguarda il bilancio termico del bacino i valori medi mensili ed il bilancio annuale del flusso di calore alla superficie, sono definiti dalla somma algebrica del contributo della radiazione solare Q_s , della radiazione riflessa Q_b , dei flussi di calore latente e sensibile Q_h e Q_e

$$Q = Q_s + Q_b + Q_h + Q_e$$

Su base climatica il flusso medio annuale risulta negativo, cioè si ha una perdita netta di calore verso l'atmosfera che, per la chiusura del bilancio, richiede un afflusso di calore dal Mediterraneo attraverso il Canale di Otranto. Tale compensazione su base annuale è evidenziata dalla curva degli accumuli medi mensili di calore, il cui andamento risulta più ripido tanto in fase di crescita che di decremento di quanto stimato sulla base di un equilibrio locale con il flusso di calore (Fig. 1.10).

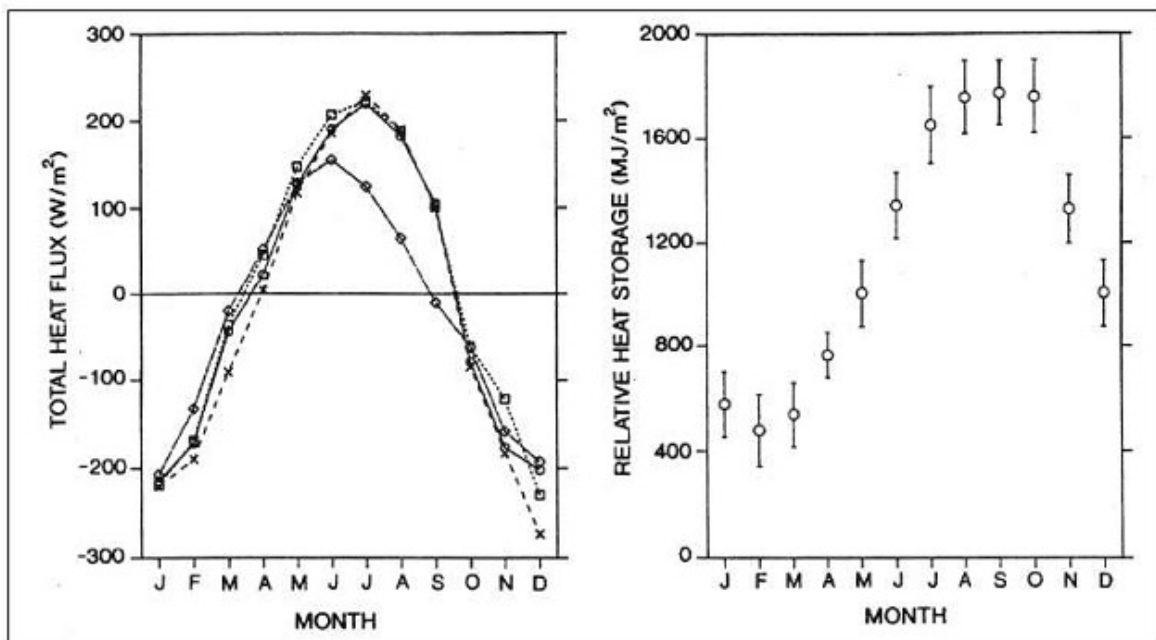


Fig. 1.10 - Confronto degli andamenti mensili del flusso totale di calore e dell'accumulo di calore nel bacino (da Artegiani et al., 1997)

Il bilancio dell'acqua dolce nel bacino, stimato dalla differenza tra perdite evaporative (E) ed apporti meteorici (P) e fluviali (R), risulta negativo in tutti i mesi (Fig. 1.11), quindi l'Adriatico opera come bacino di diluizione nell'ambito del Mediterraneo.

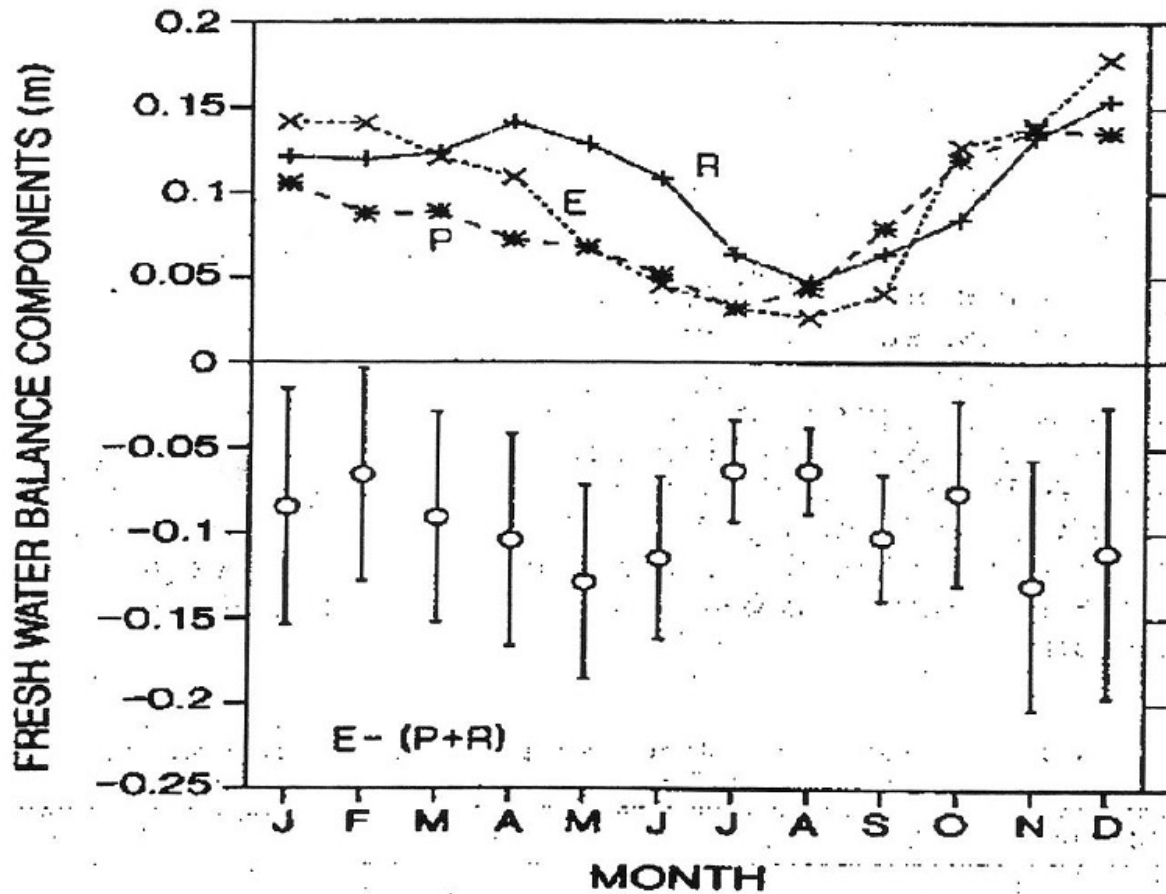


Fig. 1.10 - Confronto degli andamenti mensili del flusso totale di calore e dell'accumulo di calore nel bacino (da Artegiani et al., 1997)

La chiusura di tali bilanci definisce l'andamento della circolazione di tipo termo-alino osservata nel bacino e la particolare distribuzione delle masse di acqua: la presenza di masse di acqua a ridotta salinità nel bacino settentrionale determina un afflusso attraverso il Canale di Otranto di acqua più salata e calda di origine levantina (LIW = Levantine Intermediate Water) negli strati superficiale ed intermedio, che risale il bacino essenzialmente lungo la costa orientale e defluisce lungo quella Italiana. Tali apporti sono compensati da un deflusso nello strato di fondo, di acqua più fredda e densa di origine adriatica (ADW = Adriatic Deep Water), che va a costituire lo strato di fondo osservato nel Mediterraneo orientale (EMDW = Eastern Mediterranean Deep Water).

Distribuzione delle masse d'acqua

Per la descrizione della distribuzione delle masse d'acqua nel bacino Adriatico e della risultante circolazione baroclinica è opportuno considerare la suddivisione in sub-aree

indicata in Fig. 1.12 che, anche da un punto di vista idrologico, presentano caratteristiche omogenee.

La struttura verticale delle masse di acqua nell'Adriatico meridionale può essere schematizzata in tre strati:

- Lo strato *superficiale* è caratterizzato dall'evoluzione stagionale di un termoclino che si estende fino a profondità dell'ordine dei 75 m. La presenza del termoclino è già ben evidente nei dati primaverili e raggiunge il suo massimo sviluppo in estate, mentre in autunno si ha una graduale attenuazione del fenomeno che scompare nel periodo invernale, quando la distribuzione della temperatura sulla colonna d'acqua diventa omogenea. Tale ciclicità stagionale del termoclino è determinata essenzialmente dagli apporti costieri di acqua dolce, come evidenziato dalle misure di salinità, che mostrano una riduzione superficiale dei valori in tutte le stagioni con una accentuazione in primavera ed in estate.
- Lo strato *intermedio* - tra i 150 e i 400 m di profondità - è caratterizzato dalla presenza di acqua di origine levantina (MLIW, con $T > 13.5^{\circ}\text{C}$ e $S > 38.6$ psu) e presenta una debole modulazione stagionale.

Lo strato profondo è occupato dalle masse di acqua di origine adriatica (ADW) che defluiscono dal bacino per formare lo strato di acque profonde del Mediterraneo Orientale. Ben definite aree di formazione delle masse di acqua profonda sono state identificate nel basso ed alto Adriatico e, come indicato in precedenza, nello strato profondo si ha un deflusso netto di acqua relativamente fredda e densa (ADW) dal bacino settentrionale verso il Mediterraneo. Ma l'acqua profonda della sezione meridionale del bacino - SAdDW (South Adriatic Deep Water $S=38.6$ psu; $T=13.6^{\circ}\text{C}$) - risulta più calda e salata che nel medio (MAdDW $S=38.5$ psu; $T=11.6^{\circ}\text{C}$) ed alto Adriatico (NAdDW $S=38.3$ psu; $T=11.4^{\circ}\text{C}$). Quindi nel suo flusso verso il canale di Otranto la ADW subisce significativi fenomeni di intrusione e rimescolamento con le masse d'acqua dello strato intermedio e superficiale (Fig. 1.12).

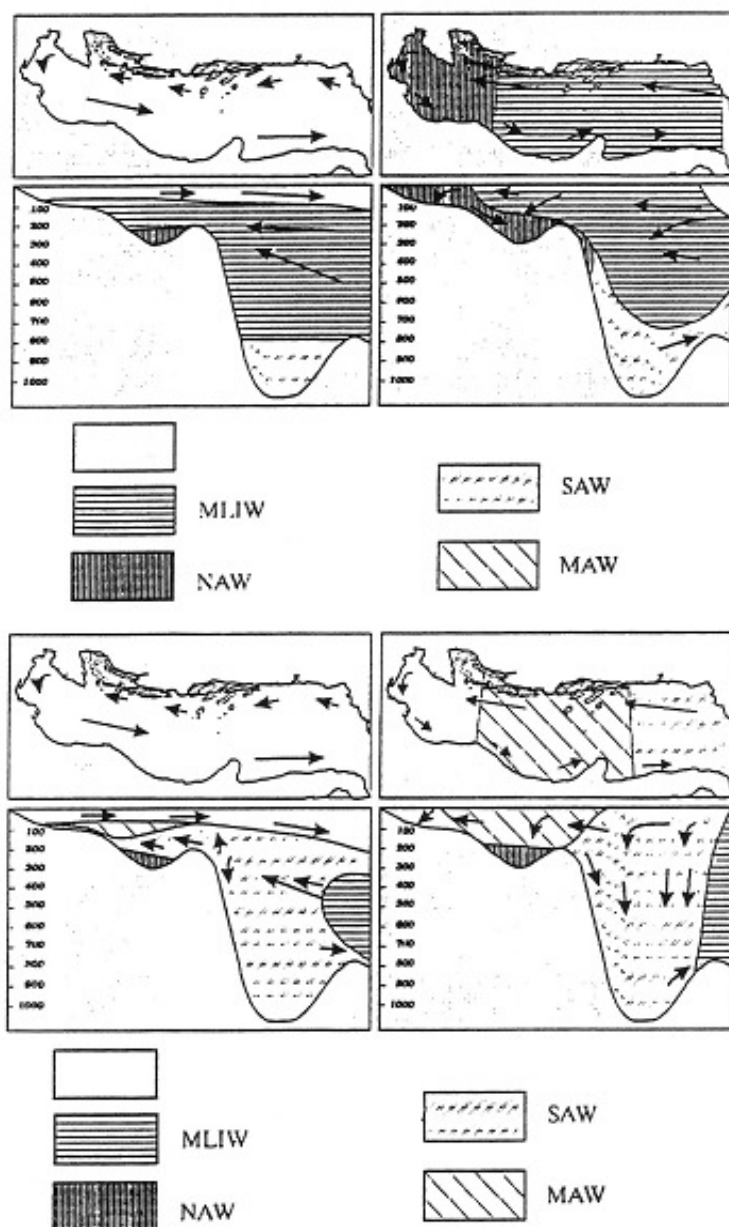


Fig. 1.12 - Schematizzazione della circolazione termo-alina e della distribuzione delle masse di acqua nel bacino (da Zore Armanda)

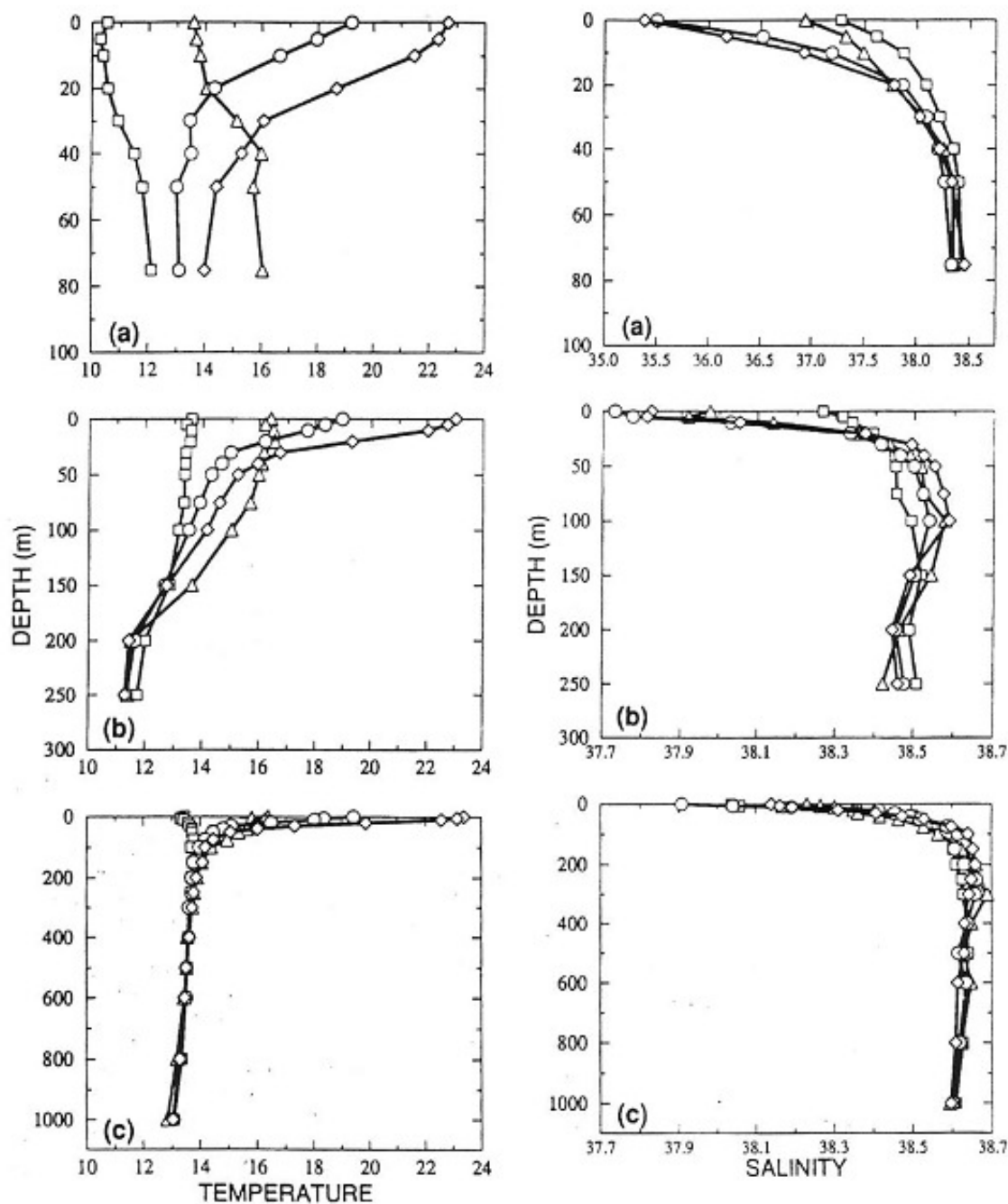


Fig. 1.13 - Andamenti stagionali di temperatura e salinità con la profondità nelle tre sub aree del bacino (da Artegiani et al., 1997)

Nell'Adriatico Centrale l'evoluzione stagionale del termocline interessa uno strato superficiale di circa 50 m (Fig. 1.13), ma il segnale stagionale è ben evidente tra i 50 e i 200 m di profondità, probabilmente determinato dalla variabilità stagionale degli influssi di acqua levantina. La massa d'acqua dello strato profondo - MAdDW - risulta leggermente meno fredda e significativamente più salina dell'acqua dell'Alto Adriatico.

D'altro canto una relativa carenza di ossigeno sembra indicare che i processi di ricambio locali sono deboli, quindi l'origine di tale massa d'acqua va condotta alla NAdDW, le cui caratteristiche vengono localmente modificate per effetto del rimescolamento con le masse degli strati superiori.

Nell'Adriatico settentrionale la formazione stagionale del termoclino si stabilisce nei primi 30 m di profondità, anche se si deve osservare che - per gli importanti apporti fluviali sul lato Italiano - significativi fenomeni di stratificazione possono essere presenti nella zona costiera anche a profondità notevolmente inferiori ed in stagioni diverse.

La presenza di un termoclino ben sviluppato è evidente nei dati medi climatici sia in primavera che in estate, mentre nella stagione autunnale inizia un processo di raffreddamento dello strato superficiale e in concomitanza nello strato di fondo si raggiunge il massimo valore di temperatura, probabilmente per una accentuazione dell'intrusione di acqua dal medio Adriatico. In inverno il processo di raffreddamento interessa l'intera colonna d'acqua. In tale stagione, il flusso di calore dal bacino verso l'atmosfera ed il completo rimescolamento della colonna d'acqua, provocato dalla combinazione di mareggiate intense e scarsa profondità dei fondali, determina la formazione delle masse di acqua fredda, densa e ben ossigenata, che costituisce il maggiore contributo alla ADW. Nei dati relativi a tale sezione del bacino non è invece ben rintracciabile il segnale legato al flusso di acqua levantina. Quindi, nell'Adriatico settentrionale si possono identificare due masse di acqua con caratteristiche distinte, l'acqua superficiale (NAdSW) con caratteristiche fortemente modulate dalla ciclicità stagionale, e l'acqua profonda (NAdDW), che viene rigenerata nel periodo invernale e presenta un segnale stagionale molto più debole.

Circolazione baroclinica

Una ulteriore analisi della circolazione indotta dai gradienti di densità è stata effettuata recentemente da Artegiani et al. [13] in base alla distribuzione stagionale dell'anomalia dell'altezza dinamica rispetto al valore medio annuale valutata rispetto alle profondità di riferimento di 30 m, corrispondente alla profondità media dell'Adriatico Settentrionale e di 140 m, corrispondente alla profondità minima dell'Adriatico Centrale.

Le isolinee di ΔD alla superficie rispetto al riferimento di 30 m. (Fig. 1.14) evidenziano una significativa struttura della circolazione che dalla foce del Po si protende lungo la costa Italiana.

Nella stagione invernale, tale struttura - (NAd = North Adriatic Current) - si esaurisce entro una fascia di un centinaio di km a sud del Po. Nella stagione primaverile, tale struttura si estende al largo e verso Sud e la corrente fluisce lungo la costa Italiana, con intensificazioni locali, fino all'Adriatico Meridionale. In estate si ha la separazione tra il ramo settentrionale ed il ramo centrale della circolazione, che da origine ad una corrente autonoma lungo la costa (W-Mad=West Middle Adriatic current), mentre al centro dell'Adriatico Settentrionale inizia a formarsi un nucleo di circolazione ciclonica (NAd Gyre) che giunge a pieno sviluppo nella stagione autunnale, per poi esaurirsi nel corso dell'Inverno. In autunno i due rami della circolazione si congiungono nuovamente, dando origine ad una corrente costiera, confinata lungo la costa italiana, estesa fino al bordo dell'Adriatico meridionale.

Va sottolineato che le isolinee di ΔD rispetto alla profondità di 30 m forniscono indicazioni abbastanza sommarie sulla circolazione nelle sezioni centrali e meridionali del bacino, a causa della ridotta profondità del riferimento rispetto alle profondità locali. Comunque, combinando il quadro delineato precedentemente per la sezione settentrionale con le indicazioni che emergono dalle isolinee di ΔD calcolate in superficie e alla profondità di 75 m - cioè circa alla profondità del termoclino stagionale - rispetto alla profondità di 140 m si ottiene il modello della circolazione baroclinica dell'Adriatico schematizzato in Fig. 1.15.

Nel periodo invernale la componente baroclinica della corrente lungo la costa è limitata a deboli rami della corrente del Nord Adriatico (NAd) - confinata in una ristretta area attorno alla foce del Po - e del Sud Adriatico - (W-Sad). Nella sezione meridionale, lungo l'asse del bacino, si ha un flusso verso Nord nei primi 100 m di profondità, che probabilmente è associato con una corrente costiera di ritorno, intensa ma confinata, non apparente nei dati disponibili. Comunque nel periodo invernale il segnale di densità è debole – come d'altronde evidenziato dalla distribuzione essenzialmente omogenea delle masse d'acqua - e la circolazione nel bacino è prevalentemente barotropica, governata dagli effetti di marea e dalla forzante meteorologica.

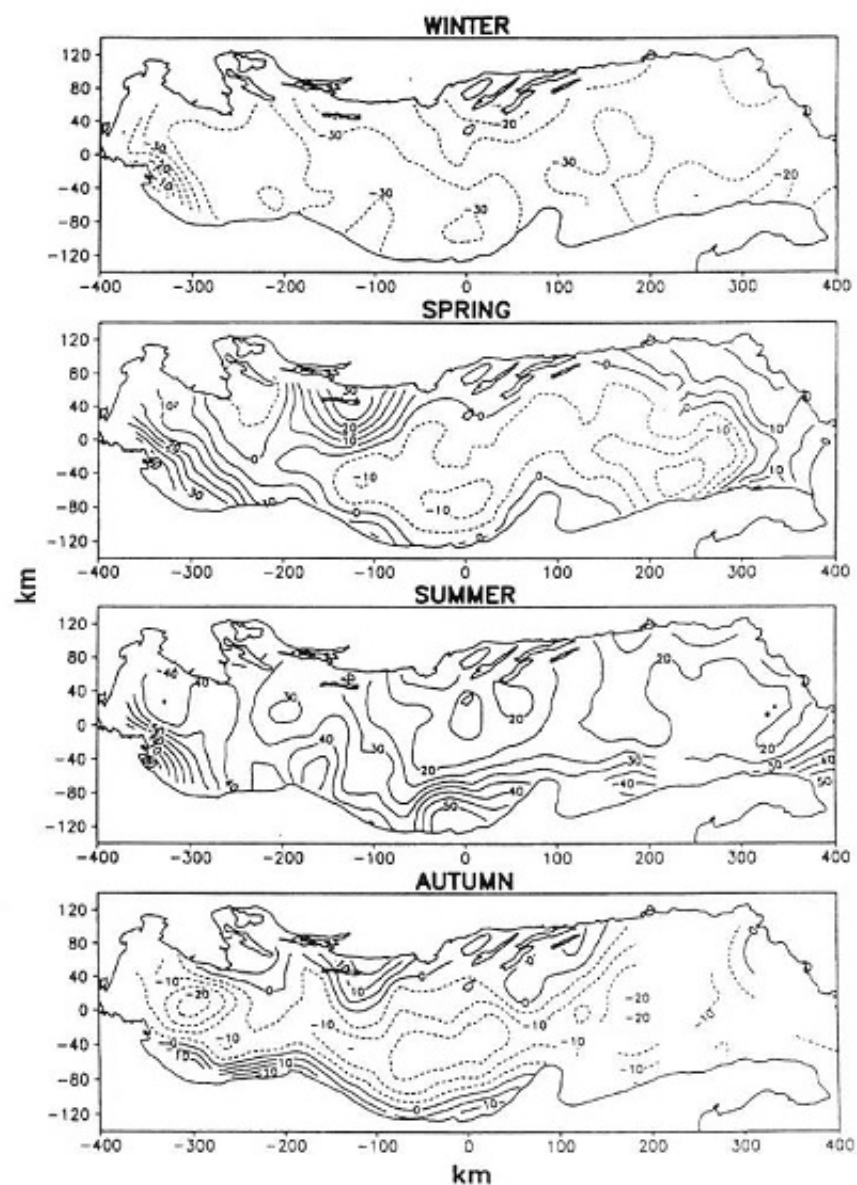


Fig. 1.14 - Isolinee dell'anomalia di quota dinamica rispetto alla profondità di riferimento di 30 m (da Artegiani et al., 1997)

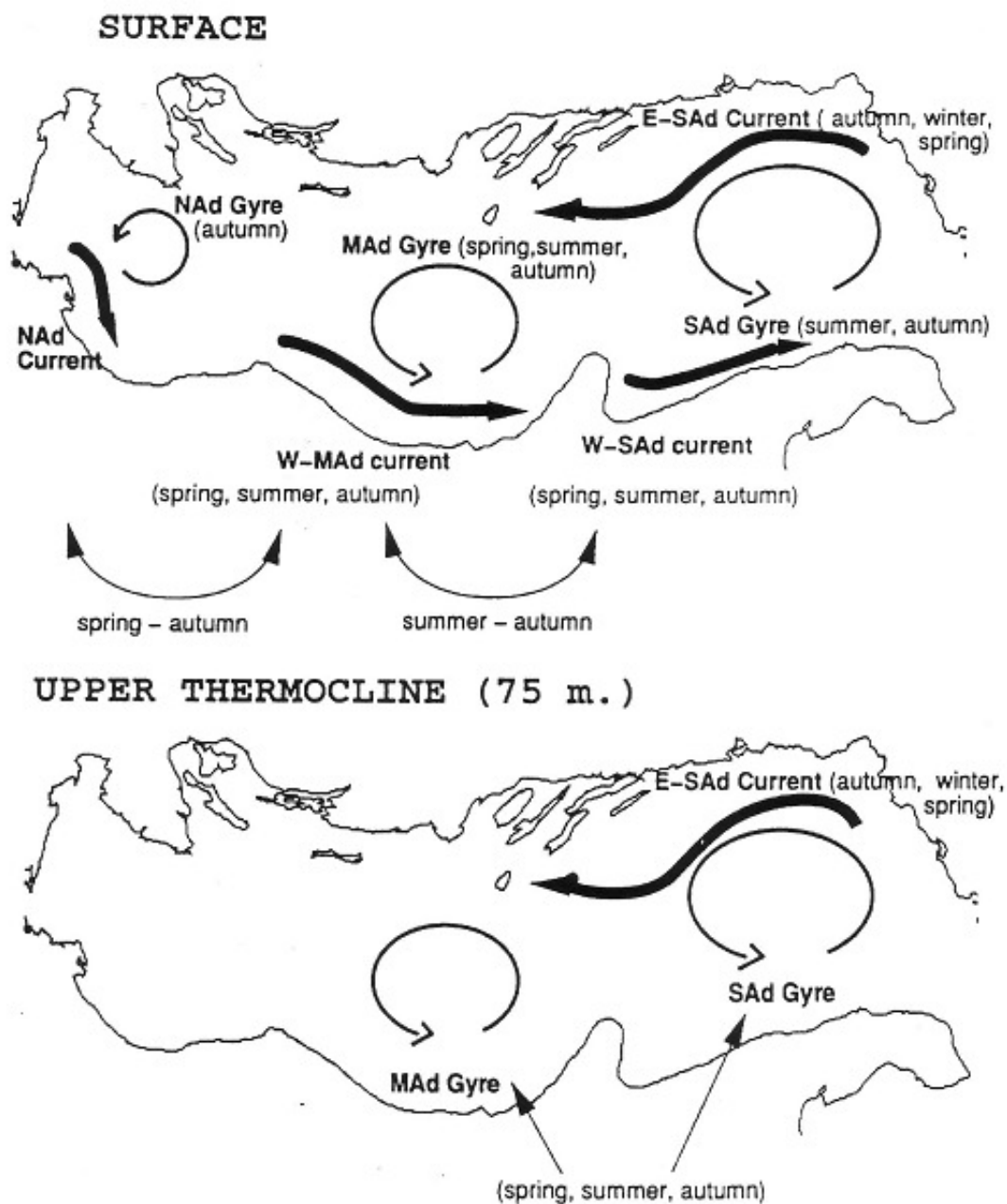


Fig. 1.15 - Schematizzazione della circolazione termo-alina nel bacino (da Artegiani et al., 1998)

In primavera, a livello superficiale, si stabiliscono i tre rami della corrente costiera occidentale (NAd, W-Mad, Sad), mentre sul lato orientale l'intrusione di acqua levantina da origine alla corrente costiera orientale sia in superficie che a livello del termoclino (E-SAd = Eastern South Adriatic Current). Nel periodo estivo si stabiliscono le due maggiori strutture cicloniche della circolazione del bacino (MAd gyre e SAd gyre), e si indeboliscono i rami costieri della stessa. In autunno la circolazione nel bacino raggiunge il massimo livello di coerenza, con lo stabilizzarsi delle tre strutture

cicloniche (NAd gyre; MAd gyre e SAd gyre) e la ricongiunzione dei rami della corrente costiera lungo la costa occidentale, mentre sul lato orientale si intensifica la E-SAd. L'intensità delle correnti associate alla circolazione di gradiente variano tra i 10÷15 cm/s all'altezza del canale di Otranto e i 4÷5 cm/s nel Golfo di Trieste.

Circolazione indotta dalla marea

Le maree dell'Adriatico non sono dovute ad un'azione gravitazionale diretta, ma rappresentano la risposta del bacino alle oscillazioni della superficie libera del Canale di Otranto. Le componenti fondamentali della marea sono la M2 - con periodo 12.42 h - del blocco semidiurno - e la K1 - 23.93 h - del blocco diurno (Fig. 1.16).

La componente diurna ha un'ampiezza che tende ad aumentare muovendo da Sud a Nord nel bacino, passando da ca. 4 cm nel canale di Otranto, a 18 nel Golfo di Trieste. Le linee cotidali - cioè le linee in cui l'onda di marea giunge allo stesso istante - si sviluppano longitudinalmente al bacino, con l'onda di marea che si propaga dapprima lungo la costa dalmata, per poi ruotare verso quella italiana.

La componente M2 presenta un nodo anfidromico - cioè ad escursione nulla della marea - a largo di Ancona, da cui si dipartono a raggiera le linee cotidali. L'ampiezza raggiunge un valore massimo di ca. 26 cm nel golfo di Trieste e si smorza procedendo verso Sud, fino ad annullarsi al nodo anfidromico, a partire da quale inizia nuovamente a crescere, fino ad un massimo di ca. 10 cm all'altezza di Bari, per poi decrescere nuovamente fino a raggiungere all'altezza di Otranto i valori tipici della marea Ionica (6-8 cm).

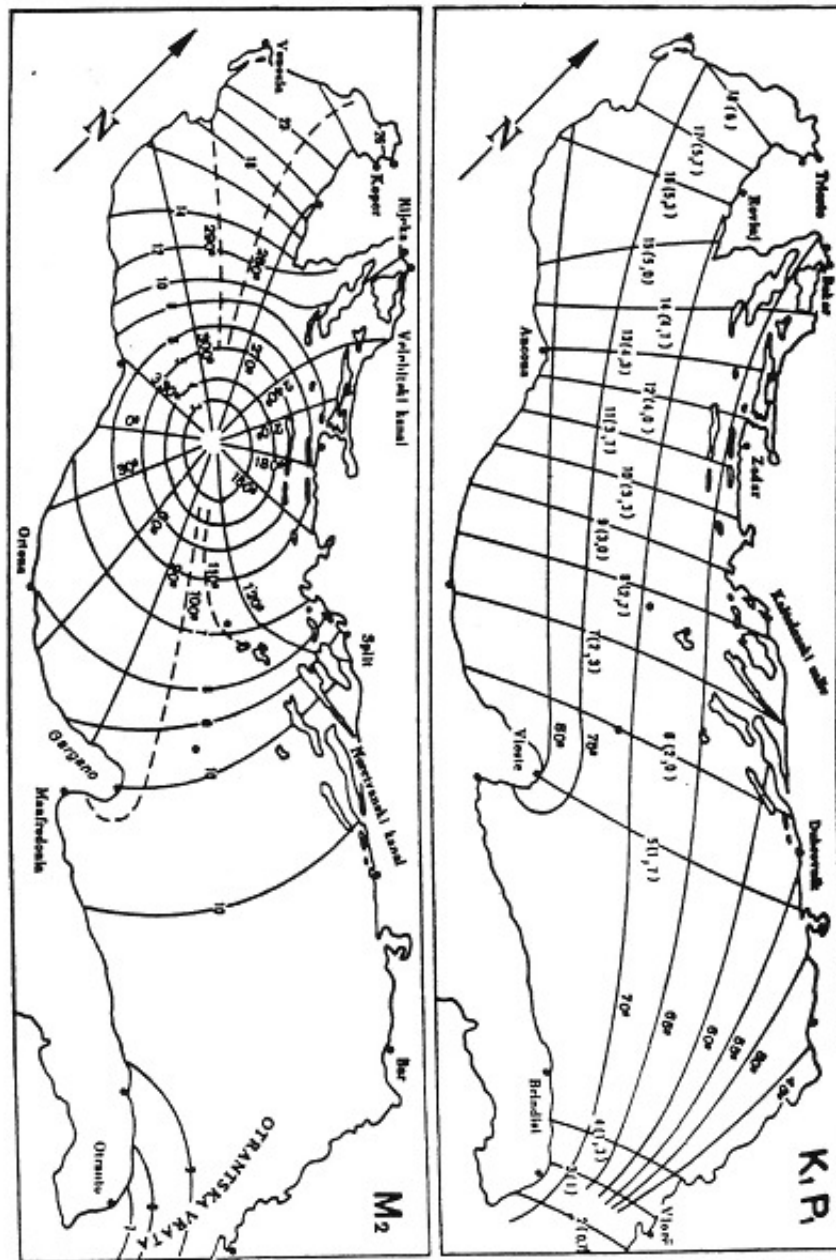


Fig. 1.16 - Andamento delle principali componenti della marea nel bacino (da Buljan, M.; Zore Armanda, M.)

Le velocità di corrente associate alla marea sono di discreta intensità nell'Adriatico settentrionale, con valori che raggiungono i 25 cm/s in prossimità della costa orientale, mentre lungo la costa italiana si riducono a valori dell'ordine dei 10 cm/s.

Circolazione indotta da vento e sesse

La circolazione indotta dall'azione del vento sulla superficie del mare presenta le variabilità tipiche delle condizioni atmosferiche e quindi mal si presta ad una caratterizzazione generale. Sulla base di simulazioni con modelli numerici, è stato

ricostruito l'andamento della circolazione per due mareggiate tipiche di particolare intensità da Bora e da Scirocco.

Nel caso della tempesta da Bora, l'azione del vento determina un iniziale abbassamento del livello marino nel Golfo di Trieste che richiama masse di acqua dal bacino, determinando un flusso iniziale di corrente lungo la costa istriana, con valori di corrente che raggiungono i 50-60 cm/s, seguito da un deflusso lungo la costa Emiliano-Romagnola, con valori di velocità dell'ordine dei 30-40 cm/s. Nel caso della mareggiata da Scirocco, la spinta del vento determina correnti che fluiscono verso Nord lungo la sponda orientale del bacino, con velocità che raggiungono i 60-70 cm/s, e contemporaneamente si stabilisce una corrente di deflusso, con velocità meno intense, che scorre verso Sud lungo la costa Italiana. L'azione del vento sulla superficie del mare determina un accumulo di masse d'acqua lungo la costa settentrionale del bacino che causa la creazione di un gradiente di pressione idrostatica che, nelle fasi attive della mareggiata, è equilibrato dallo stress del vento. Con il cadere del vento, tale equilibrio si rompe e inizia un rapido deflusso della massa d'acqua accumulata che avviene essenzialmente lungo la costa italiana, con intensità di corrente che, in prossimità della litorale emiliano-romagnola, raggiungono i 40-50 cm/s. Tale deflusso dà origine ad oscillazioni smorzate del bacino (SESSE) che possono permanere anche per diversi giorni dopo la caduta del vento.

L'Adriatico è continuamente interessato da sesse, anche se il fenomeno è più frequente da autunno a primavera. La massima intensità dell'oscillazione di sessa si riscontra nella sezione settentrionale, mentre procedendo verso sud si smorza sia l'ampiezza delle singole sesse che l'intensità spettrale del fenomeno (Fig. 1.17). Le frequenze dominanti dei fenomeni di sesse - 11.5 e 22 h - risultano molto prossime alle frequenze della marea astronomica, per cui i loro effetti non sempre risultano facilmente discriminabili dal segnale di marea.

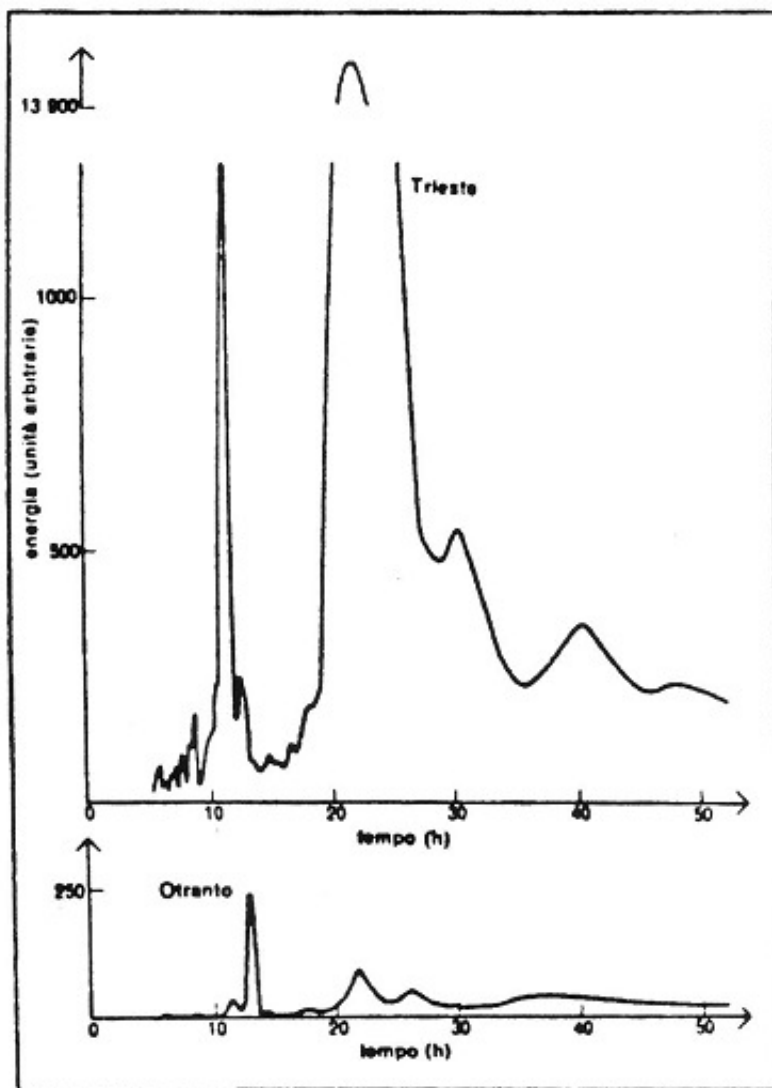


Fig. 1.17 - Spettri di potenza del segnale di sessa ai due estremi del bacino

1.2.6 Circolazione locale nel Golfo di Trieste

In generale all'interno del Golfo di Trieste, l'influsso d'acqua ad elevata salinità dai quadranti meridionali imprime una circolazione antioraria agli strati di fondo e intermedi, mentre in superficie gli apporti di acqua dolce, specialmente di provenienza isontina, determinano una circolazione verso SW, che in condizioni di piena può estendersi su tutto il golfo, fino alle coste istriane e a Trieste.

1.2.6.1 Distribuzione annuale e stagionale delle correnti (velocità e direzioni) a diverse profondità

Le correnti marine nel Golfo di Trieste sono di debole intensità, e di norma inversamente proporzionali alla profondità del bacino; valori tipici per la velocità sono 10 cm/s nella parte centrale ed orientale e 40 cm/s sui bassi fondali gradesi.

Velocità superiori si incontrano nelle bocche lagunari. Le correnti di marea sono poco efficienti al fine del ricambio nel golfo, in quanto si limitano a spostare avanti e indietro di pochi chilometri, ogni sei ore, la stessa massa d'acqua. Le correnti di maggiore interesse sono legate al vento (Fig. 1.18): la brezza di mare produce una circolazione superficiale da Grado verso il porto di Trieste; brezze di terra e venti orientali tendono a fermare e ad invertire questa circolazione.

Lo strato di fondo (sotto i 13 m) è prevalentemente interessato da una debole corrente antioraria di origine meridionale. La bora provoca un'intensa circolazione in senso antiorario dalla superficie al fondo: l'acqua, spinta fuori dal golfo dalla parte di Grado, è rimpiazzata da acqua adriatica che entra dalla parte di Punta Salvore. Nel Golfo di Trieste la bora rappresenta quindi il meccanismo più efficiente per il ricambio dell'acqua, che si completa in circa due giorni.



Fig. 1.18 - Correnti medie nel Golfo di Trieste
(strato superficiale in giallo, verso W, strato di fondo in verde, rotazione antioraria)

1.2.6.2 Variazioni del livello marino (marea astronomica – storm surge da vento – storm surge da onda)

Gli effetti del moto ondoso sono locali e limitati, in quanto la geometria del bacino e le caratteristiche del vento sono tali che, in generale, tutto il Golfo presenta condizioni di energia molto basse.

Infatti i venti regnanti e dominanti del primo quadrante (Bora), pur molto forti, hanno “fetch” (zona di mare su cui il vento, soffiando, innesca le onde) molto ristretto e, nella zona di Trieste, addirittura nullo. Il conseguente moto ondoso generato è caratterizzato da onde ripide, ma di altezza limitata.

I venti del secondo quadrante (Scirocco) hanno un “fetch” notevole (pari anche allo sviluppo di tutto il Mare Adriatico), ma le onde generate investono il Golfo quasi esclusivamente come onde rifratte e ciò a causa della Penisola Istriana, che chiude e ripara il Golfo da Sud-Est.

I venti del terzo quadrante (Libeccio) sono quelli che determinano le mareggiate più forti, in quanto presentano un “fetch” ampio (in pratica dal Litorale di Chioggia a Trieste), e le onde, quasi per niente attenuate da fenomeni di rifrazione, raggiungono la costa orientale del Golfo attraverso l’imboccatura Grado-Punta Salvare, aperta proprio verso Sud-Ovest.

Se da un lato i venti provocano innalzamenti e abbassamenti temporanei del livello marino, dall’altra fenomeni più complessi e lenti tendono a far innalzare il livello medio del mare nel golfo di Trieste. Sono stati condotti studi decennali sui questi trend di variazione. Quello che si è trovato è schematizzato come segue in Fig. 1.19.

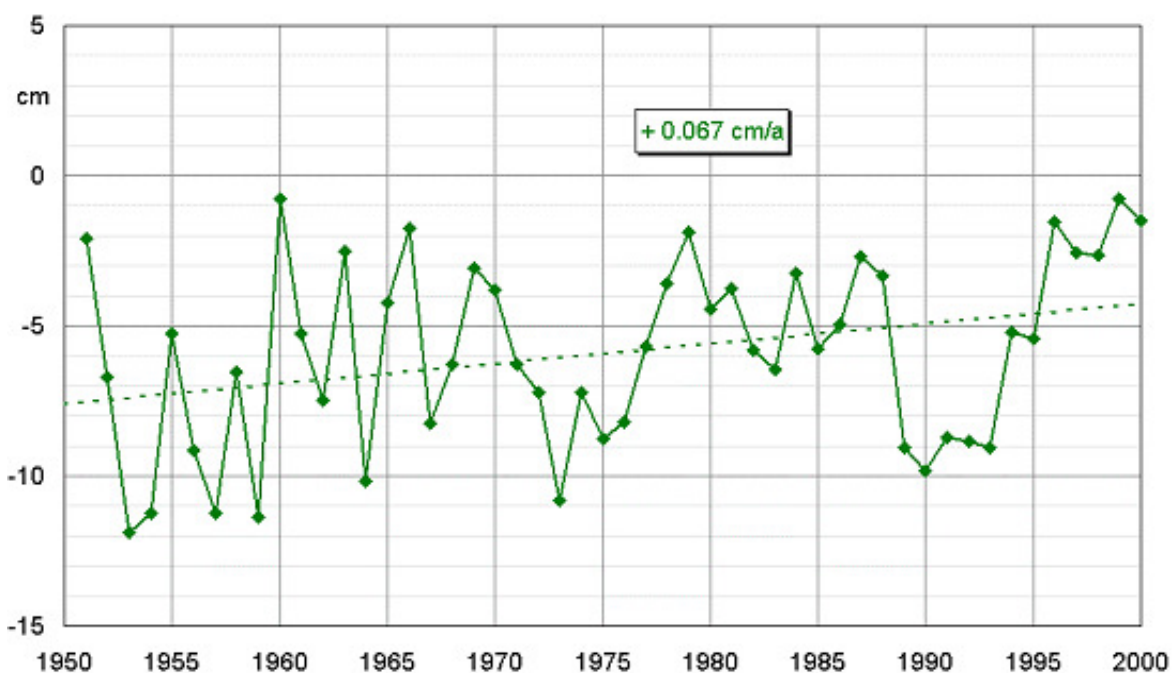


Fig. 1.19 - Andamento del livello medio annuale e decennale del mare a Trieste e relativa tendenza. Elevazioni sullo zero IGM (anni 1951-2000)

Lo zero corrisponde al piano di riferimento italiano (zero IGM), corrispondente al livello medio del mare registrato a Genova nel 1946. Occorre osservare che l'alto Adriatico è più basso di circa 10 cm rispetto al Mar Ligure, e che c'è stato un aumento medio di 3.3 cm in cinquant'anni; le oscillazioni da un anno all'altro sono di alcuni centimetri in più o in meno.

In ogni modo, in ogni serie di dati si può notare che periodi di aumento e di diminuzione si alternano: è quindi azzardato estrapolare al futuro ciò che è avvenuto nel recente passato, senza aver ben compreso le cause di queste variazioni. Comunque, è certo che le variazioni del livello del mare a lungo periodo sono dovute a cause climatiche e ad eventuali movimenti verticali locali della crosta terrestre. Come si può sempre vedere dalla figura precedente, a Trieste il livello del mare varia in media, da un anno all'altro, di circa 5 cm.

Tornando alle variazioni temporanee e brevi del livello marino occorre considerare la marea meteorologica. Essa è l'insieme delle variazioni del livello marino, con periodi compresi tra pochi giorni e poche ore, causate dal vento (di cui si sono precedentemente esposti gli effetti locali) e dalle differenze della pressione dell'aria sul mare durante il transito delle perturbazioni atmosferiche. I modelli matematici sono in grado di fornire solo previsioni di tale fenomeno a breve scadenza con una accuratezza analoga a quella dei modelli usati per la previsione del tempo.

Per calcolare con breve anticipo la marea meteorologica nel Golfo di Trieste con un'approssimazione, ad esempio, sufficiente agli scopi nautici ci si può attenere alle indicazioni seguenti. Il livello del mare si innalza (abbassa) di circa 2 cm per un abbassamento (aumento) di un hPa (un ettopascal, pari ad un millibar) della pressione atmosferica. Venti sciroccali persistenti per alcune ore sul bacino Adriatico causano un innalzamento del livello marino, mentre la Bora produce un abbassamento, pari a circa 15 cm per una velocità media del vento di 10 m/s (36 km/h). Le perturbazioni meteorologiche, inoltre, producono delle oscillazioni del livello marino chiamate sesse: i venti meridionali innescano la sessa fondamentale del Mare Adriatico, che ha un periodo di 21,5 ore ed un'ampiezza che può raggiungere, a Trieste, 50 cm nei casi più intensi.

Tale fenomeno può durare, attenuandosi nel tempo, per più giorni di seguito. La Bora produce una sessa con periodo di 3-4 ore tra Trieste e Venezia; il Golfo di Trieste può oscillare, tra Trieste e Duino, con un periodo di circa 1 ora.

L'effetto combinato di una bassa pressione atmosferica sul golfo e di forti venti meridionali può, dunque, produrre a Trieste un innalzamento del livello del mare sino a circa 130 cm sopra il livello medio; viceversa un'alta pressione con forte Bora può produrre un abbassamento sino a circa 60 cm sotto il livello medio.

Anche la *marea astronomica* lunisolare ha effetti sulla variazione del livello del mare. Essa è causata dalle forze gravitazionali e centrifughe esistenti nei sistemi terra-luna e

terra-sole in rotazione attorno agli assi dei rispettivi sistemi. Essa viene comunemente calcolata mediante il cosiddetto metodo armonico, ovvero sommando un certo numero di componenti di marea rappresentate da onde sinusoidali: sette componenti (quattro con periodo semidiurno e tre con periodo diurno) sono sufficienti per avere a Trieste l'approssimazione di un centimetro. La marea astronomica a Trieste è di tipo prevalentemente semidiurno: si verificano cioè normalmente due alte e due basse maree al giorno. La massima ampiezza della marea astronomica a Trieste è di 81 cm sopra o sotto il livello medio.

Nel Mare Adriatico la marea si propaga ruotando in senso antiorario: l'onda di marea viaggia verso nord lungo la costa orientale, raggiunge Trieste, si dirige a sud lungo la costa italiana e così via, completando il giro in poco più di dodici ore. La velocità media di propagazione è, quindi, di circa 120 km/h: in base a tale velocità si può calcolare la differenza di tempo con la quale l'alta e la bassa marea si manifesta in punti diversi lungo la costa.

Le previsioni di marea si riferiscono, in base a quanto descritto, alla componente astronomica della variazione complessiva del livello marino. Le altezze sono espresse in centimetri: i valori positivi indicano un innalzamento, quelli negativi un abbassamento rispetto al livello del mare determinato in quel momento dai fattori climatici e meteorologici. Viene adottato il Tempo Medio dell'Europa Centrale (TMCE), corrispondente al tempo di Greenwich (GMT) più 1 ora, ovvero la cosiddetta ora solare locale. La curva, datata gennaio 2002 e riportata di seguito in Fig. 1.20, è un chiaro esempio dell'andamento della marea astronomica nel tempo. L'asse orizzontale è marcato ogni sei ore a partire dalla mezzanotte (TMEC); le suddivisioni dell'asse verticale corrispondono ad un dislivello di 40 centimetri. Sono indicate anche le fasi lunari (il disco nero rappresenta la luna nuova).

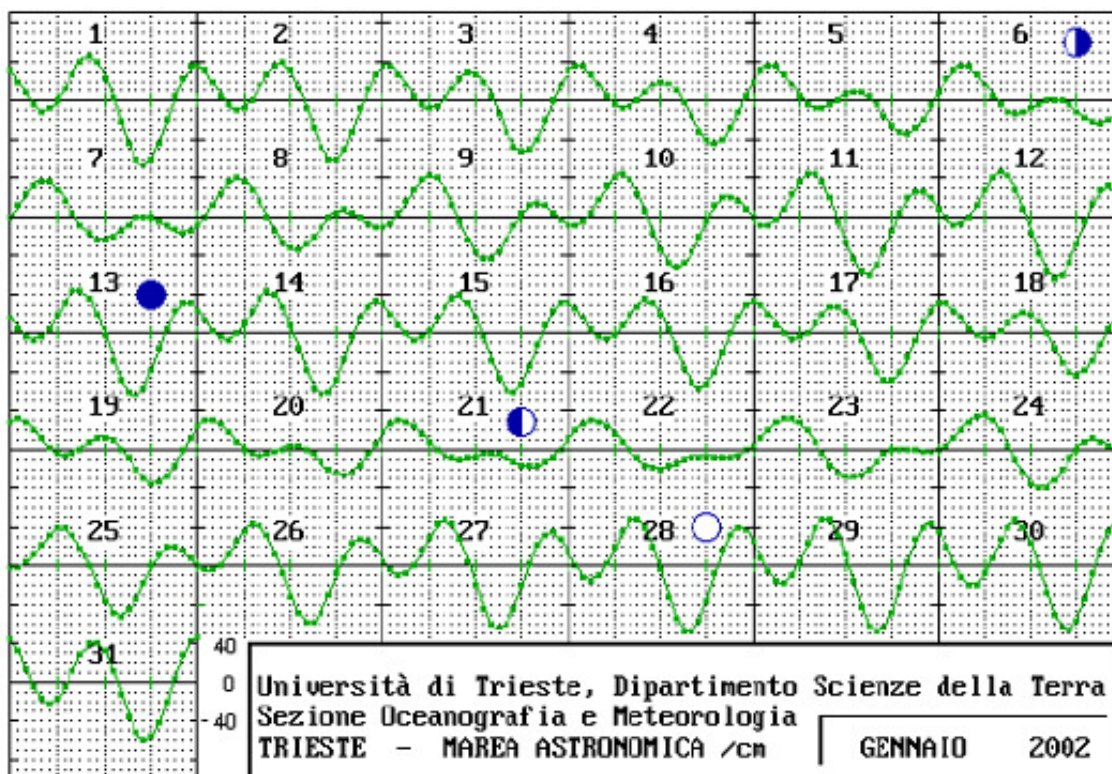


Fig. 1.20 - Marea astronomica del mese gennaio 2002

Effetti combinati meteo-astronomici

Un fenomeno non raro nel Golfo di Trieste è la cosiddetta *acqua alta*, in passato detta anche colma o acqua dei morti, poiché capita spesso in novembre. Le cause dell'acqua alta sono di tipo meteorologico: bassa pressione atmosferica e scirocco persistente sul bacino Adriatico causano un innalzamento del livello del mare (ingorgo) nella sua parte settentrionale sino a 70 cm. Le stesse cause innescano anche la sessa longitudinale dell'Adriatico, ossia un'oscillazione del livello con un periodo di 21.5 h, ed un'ampiezza che può raggiungere a Trieste i 50 cm; sessa e ingorgo possono quindi produrre un innalzamento complessivo di 120 cm. Nel caso in cui un tal evento coincida con un'alta marea astronomica, l'acqua alta risultante può raggiungere i 2 m sul livello medio. La massima acqua alta sinora registrata a Trieste è stata quella del 26 novembre 1969, con 193 cm sullo zero IGM.

A titolo di esempio vengono riportati in Tab. 1.7 le osservazioni effettuate dall'Istituto talassografico di Trieste dal 1944 al 1979 riguardo a questi effetti combinati espressi come massime escursioni in cm rispetto al livello medio del mare.

Anno	Massimo livello	Minimo livello	Massima Escursione
1944	98	102	200
1945	104	96	200
1946	108	114	221
1947	124	93	217
1948	134	101	235
1949	106	109	215
1950	98	100	197
1951	141	91	232
1952	98	114	212
1953	96	110	205
1954	116	95	210
1955	103	89	192
1956	90	101	190
1957	96	104	200
1958	106	104	210
1959	129	105	234
1960	117	103	220
1961	122	89	221
1962	98	95	193
1963	106	100	206
1964	102	105	206
1965	124	116	240
1966	133	91	224
1967	115	103	218
1968	128	98	226
1969	199	96	295
1970	117	91	208
1971	98	98	196
1972	116	105	221
1973	96	97	193
1974	94	109	203
1975	121	100	221
1976	113	105	218
1977	112	93	205
1978	107	96	203
1979	141	94	235

Tab. 1.7 - Escursioni del livello del mare rispetto al livello medio

1.2.6.3 Cartografia del campo correntometrico relativa al golfo di Trieste

Dal 1951 al 1954 il flusso delle correnti all'interno del Golfo di Trieste è stato studiato da parte del CNR. I dati si riferiscono a 51 stazioni (Fig. 1.21) e comprovano importanti considerazioni verificate anche da studi più recenti:

- la velocità della corrente di marea nelle zone interessate dalle misure non supera in genere i 2-3 cm/s
- la velocità della corrente, calcolata con modelli monostrato, dovuta a sesse locali od adriatiche di ampiezza moderata non supera i 3 cm/s
- le correnti di densità non superano i 3 cm/s

- la circolazione, con velocità medie tra le superfici ed il fondo dell'ordine dei 10 cm/s, è dovuta principalmente al vento sul golfo.

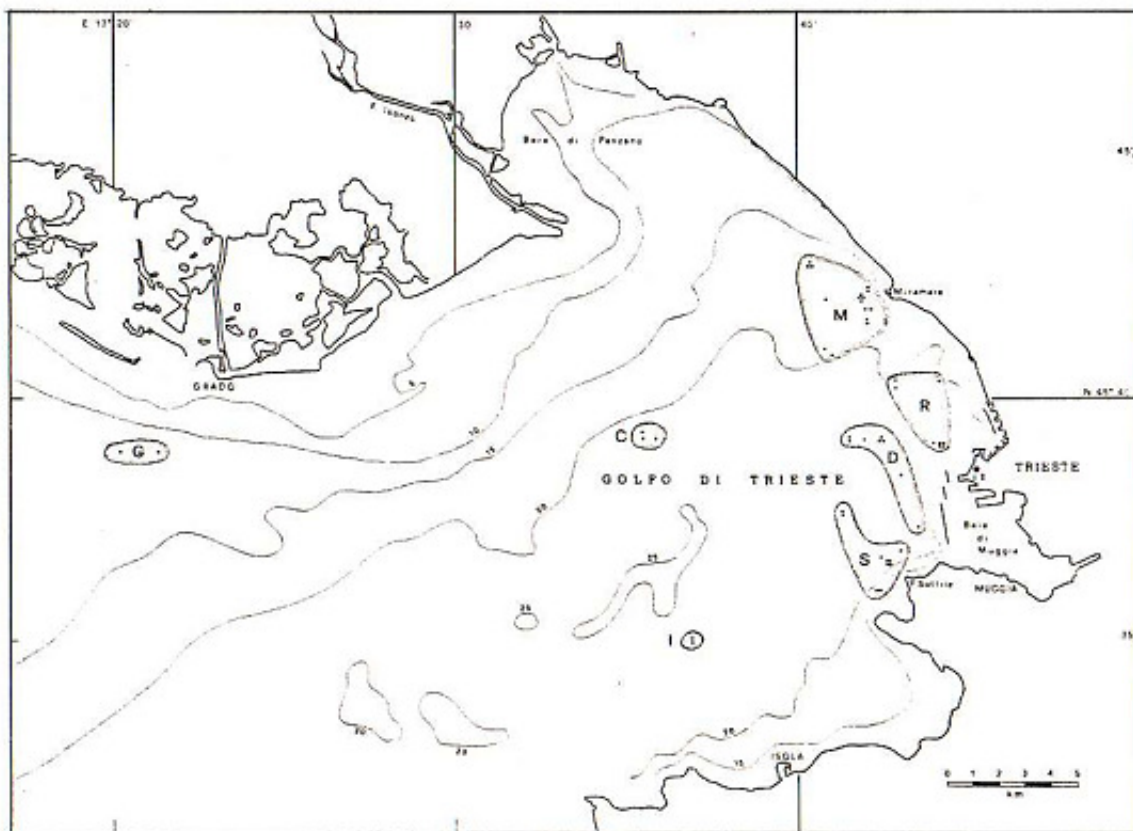


Fig. 1.21 - Ubicazioni delle stazioni correntometriche raggruppate in zone

Anche se non sono state considerate situazioni di forte bora o scirocco, è interessante osservare la Fig. 1.22 dove vengono rappresentati gli istogrammi delle velocità medie scalari rispetto alla profondità: c'è un naturale abbassamento dei valori dalla superficie al fondo, dove si raggiungono al massimo i 10 cm/s per brevi periodi. La Fig. 1.23 rende ancor più esplicita tale situazione.

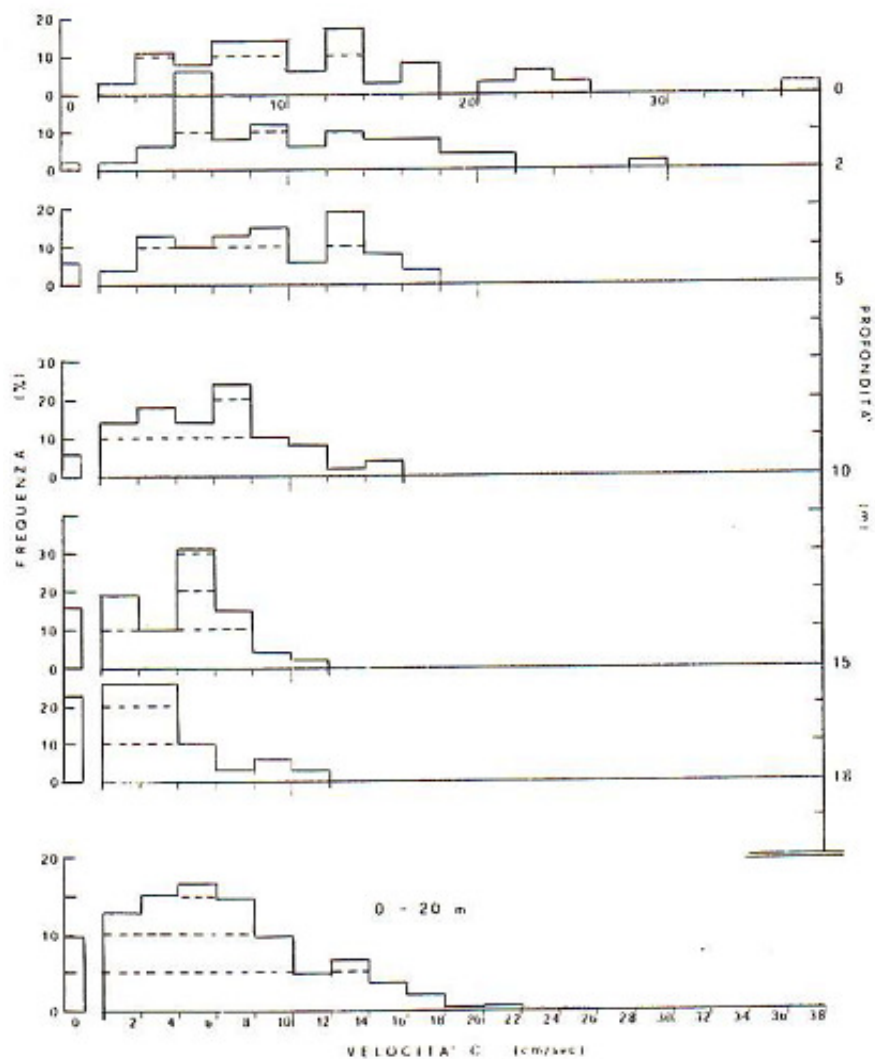


Fig. 1.22 - Istogrammi della velocità media scalare giornaliera della corrente alle quote standard

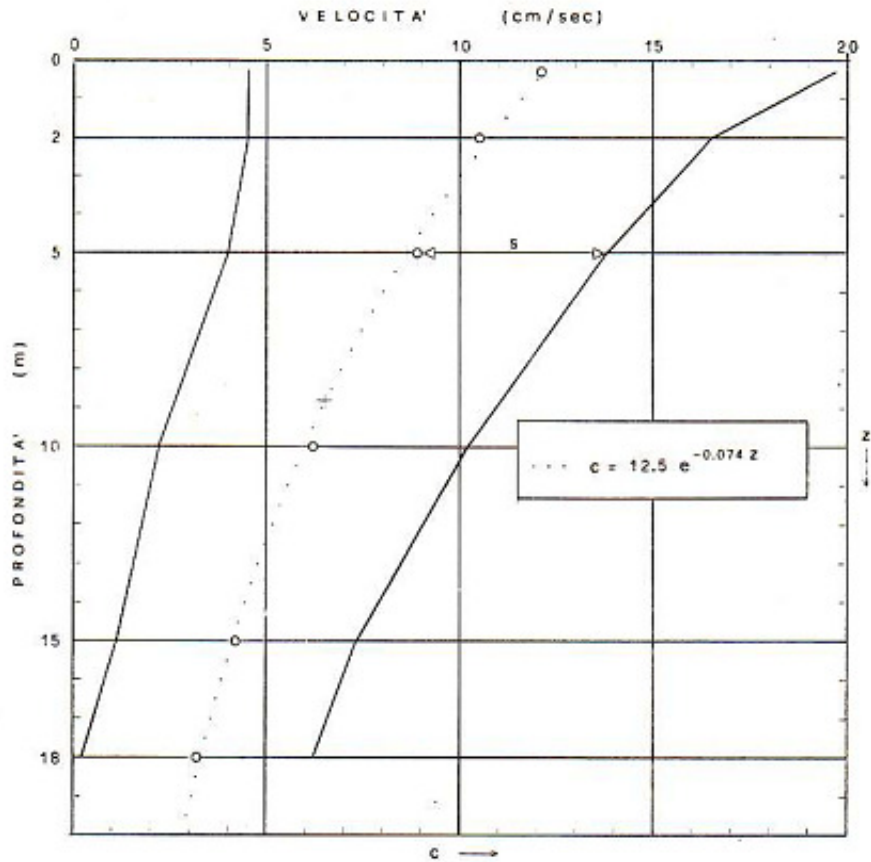


Fig. 1.23 - Profilo medio della velocità della corrente

Le correnti nello strato superficiale (0-3 m) mostrano una generale tendenza, in presenza di venti occidentali (Fig. 1.24), a ruotare in senso orario; le velocità residue sono più elevate sui bassi fondali avanti Grado (15 cm/sec), minori nella parte orientale del golfo (4-5 cm/sec). Tra Miramare e Punta Sottile la corrente ha una componente dominante da nord a sud, ed una componente entrante nella rada di Trieste e nella baia di Muggia.

Il verso della circolazione residua si inverte nello strato intermedio (3-13 m), e diminuiscono i valori di velocità; nelle zone C ed R (Fig. 1.21) si notano effetti di trascinamento ad opera dello strato superficiale (Fig. 1.25).

Nello strato di fondo, sotto i 13 m (Fig. 1.26), le correnti residue sono deboli (1-2 cm/s), ma mostrano una decisa rotazione in senso antiorario, guidato dalla linea di costa e dal fondale.

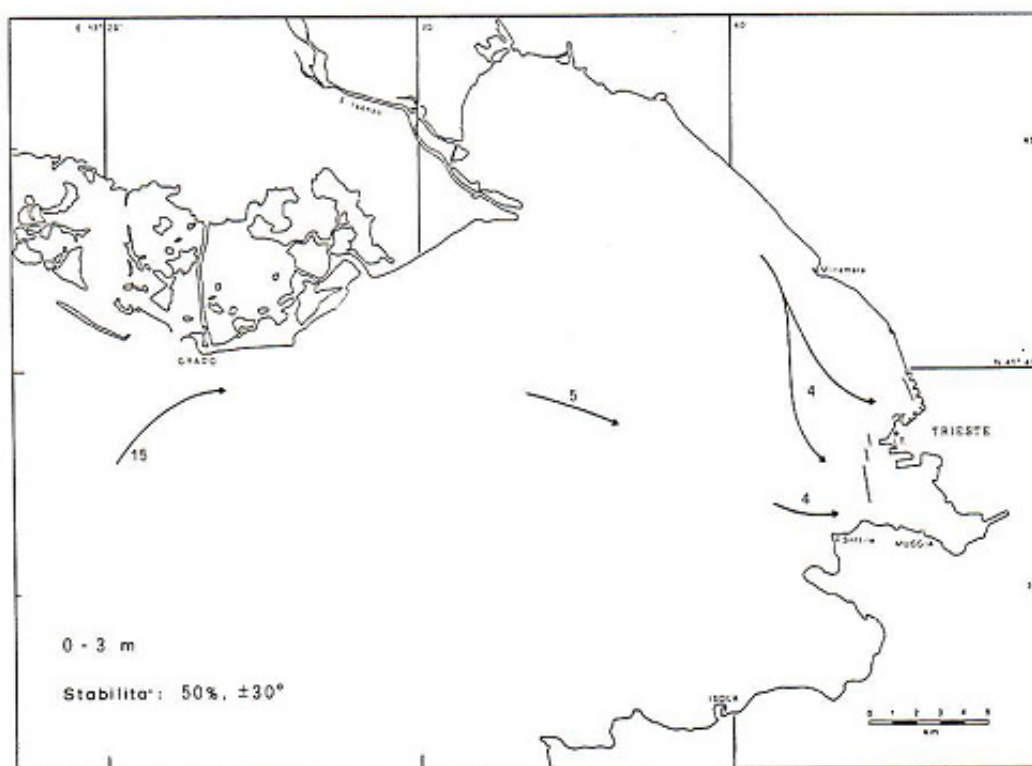


Fig. 1.24 - Correnti residue dello strato superficiale (velocità in cm/s)

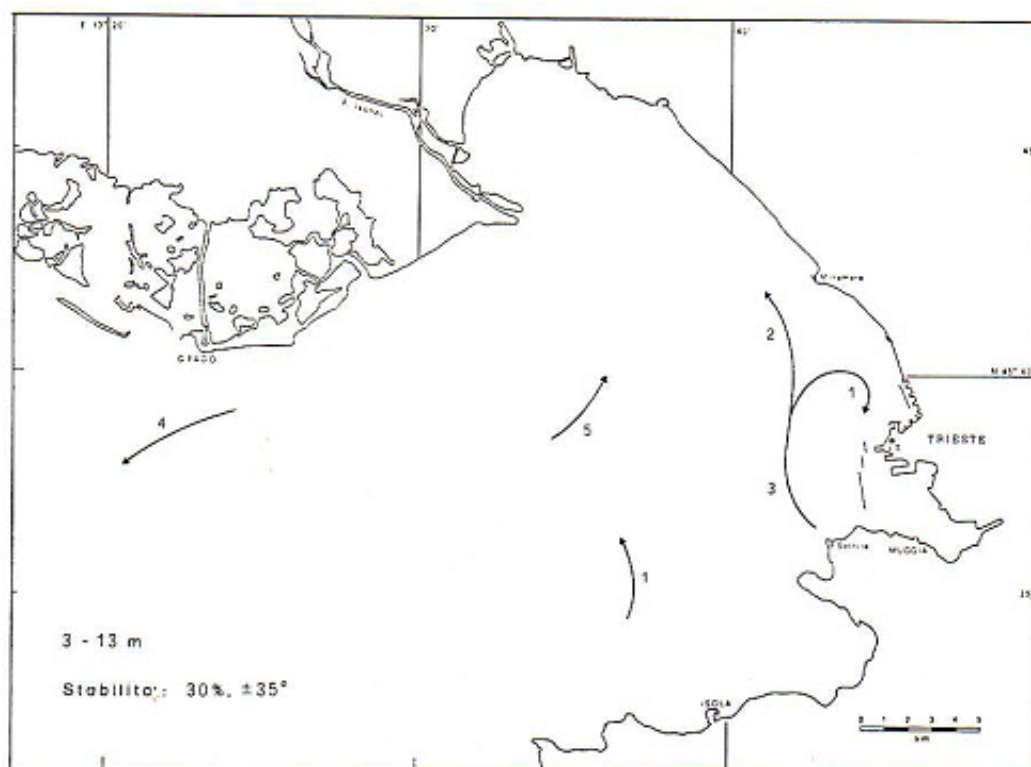


Fig. 1.25 - Correnti residue dello strato intermedio (velocità in cm/s)

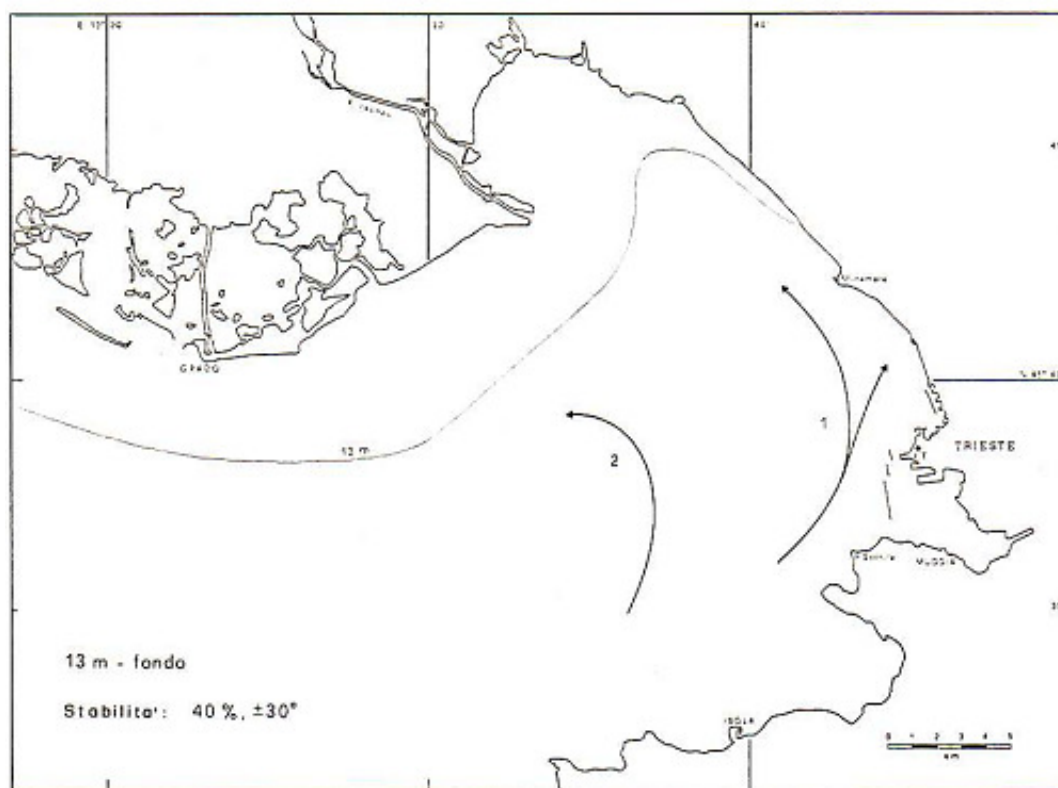


Fig. 1.26 - Correnti residue dello strato di fondo (velocità in cm/s)

La circolazione del golfo di Trieste appare caratterizzata da un movimento rotatorio in senso antiorario interessante lo strato intermedio e profondo; lo strato superficiale ruota in senso orario in presenza di venti occidentali sul golfo, e tende ad invertire il verso di rotazione in presenza di venti orientali. A scala minore, la turbolenza orizzontale fa sì che in un dato punto, soprattutto presso insenature o punte della costa, si possano avere ampie fluttuazioni rispetto alla direzione media.

Si può affermare che le correnti marine, presenti con velocità variabili mediamente tra 2 e 10 cm/s, hanno un ruolo subordinato nella dispersione dei sedimenti che, lungo la fascia costiera è fortemente condizionata dalla geomorfologia dei fondali e dagli apporti fluviali.

1.3 Caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua

La bassa profondità del bacino e l'ingresso di acque dolci ricche di nutrienti fanno dell'Adriatico settentrionale una delle aree più produttive del Mediterraneo.

Il bacino settentrionale si sviluppa a nord della congiungente il Promontorio del Conero (regione Marche) con Capo Promontore, capo estremo dell'Istria. Le caratteristiche oceanografiche del bacino variano in funzione della fisiografia e della meteorologia dell'area che determinano la modificazione stagionale (estate - inverno) delle caratteristiche termoaline delle masse d'acqua. Da novembre a marzo la miscelazione è pressochè completa mentre tra la fine di marzo/inizio aprile ed ottobre si osserva una stratificazione termoalina delle masse d'acqua. Tale stratificazione è determinata essenzialmente dall'effetto combinato di due fattori:

- l'aumento degli apporti di acque dolci dai fiumi che sfociano nell'Alto Adriatico in seguito allo scioglimento delle nevi (fiumi Po, Adige, Brenta, Piave, Livenza, Tagliamento e Isonzo, solo per citare i principali);
- la maggiore intensità di irraggiamento solare conseguente all'inversione del ciclo termico.

Il Golfo di Trieste gioca un ruolo importante nell'evoluzione delle caratteristiche idrologiche e delle correnti dell'intero bacino Alto Adriatico, essendo uno dei siti di formazione di acqua particolarmente fredda.

L'elevata latitudine, la limitata profondità e la presenza di cospicue masse continentali determinano un'esaltazione del fenomeno di stratificazione termoalina per le masse d'acqua del Golfo di Trieste che rappresenta la parte più settentrionale del mare Adriatico ed è caratterizzato da limitata profondità dei fondali, che al massimo raggiungono i 25 m.

In estate la presenza di acqua dolce riversata dai fiumi e il riscaldamento superficiale causano una netta stratificazione della colonna d'acqua. In superficie si trovano acque più calde e più diluite, mentre acque più dense e fredde rimangono confinate in profondità da uno o più picnoclini: gli scambi tra gli strati sovrapposti sono praticamente assenti.

In inverno invece, a causa del minor irraggiamento termico, le acque sono completamente rimescolate e le grandezze chimico - fisico - biologiche sono confrontabili lungo la colonna d'acqua.

Come si visto nel capitolo precedente la circolazione delle masse d'acqua in profondità avviene quasi sempre in senso antiorario con velocità molto basse (2-3 cm/s), mentre in superficie le acque si muovono generalmente in senso orario. La velocità dello

strato superficiale aumenta in presenza di venti provenienti dal mare e diminuisce al prevalere delle brezze di terra.

1.3.1 Caratteristiche fisiche per il Golfo di Trieste

Un anno di monitoraggio delle acque marino-costiere operato da ARPA-FVG (Giugno 2008 – Giugno 2009)

L'Unione Europea, con la direttiva quadro in materia di acque 2000/60 CE, assegna particolare attenzione alle acque di transizione (lagunari) e marino-costiere, quali corpi recettori finali dei distretti idrografici.

Le acque costiere regionali appartengono alla parte più settentrionale del bacino dell'Alto Adriatico, caratterizzata da una limitata profondità dei fondali e da un limitato ricambio e recentemente designato quale "area sensibile" dal D. Lgs. 152/2006. Inoltre le acque di transizione regionali sono costituite da Siti di Interesse Comunitario (SIC), ossia siti che ospitano habitat naturali particolarmente preziosi e meritevoli di tutela, quali le lagune di Marano e di Grado.

In questa particolare situazione gli ambienti marini e costieri possono risentire, più che in altre zone, degli effetti negativi dovuti alle attività antropiche, in particolare quelle legate ai settori dei trasporti marittimi, dell'industria, della pesca e del turismo. Lungo l'arco costiero sono infatti insediati gli scarichi dei complessi urbani di Trieste, Muggia e Monfalcone, con le rispettive aree industriali e portuali, e due importanti centri turistici, Grado e Lignano, con massicce presenze nei mesi estivi. Significativa inoltre l'area industriale dell'Ausa-Corno, sede di industrie collegate al centro di depurazione della Bassa Friulana, che ha una condotta di scarico posizionata a 6 km dalla costa.

Le attività di pesca, acquacoltura e molluscoltura sono molto sviluppate lungo tutta la costa e nelle lagune di Marano e Grado. Inoltre, negli ultimi anni si sono presentate delle emergenze dovute alla presenza di mucillagini o al proliferare di alghe potenzialmente dannose per l'uomo e l'ambiente.

Le acque marine e lagunari devono pertanto rispettare molteplici e precisi "obiettivi di qualità", sia generali che legati a specifiche destinazioni d'uso delle acque, sui quali l'ARPA-FVG svolge attività mirate di monitoraggio, quale quello della qualità delle acque marine e costiere che viene effettuato, con cadenza quindicinale, in molteplici punti posti, a diverse distanze dalla costa, in 8 aree rappresentative di distinte situazioni.

Le schede – redatte dall'Osservatorio Alto Adriatico con cadenza quindicinale – hanno la finalità d'informare in modo semplice ed immediato sulle caratteristiche idrologiche delle acque del golfo di Trieste. I dati di monitoraggio di seguito prodotti si riferiscono a quattro transetti perpendicolari alla costa, localizzati in prossimità delle principali fonti di pressione e ciascuno costituito da tre o quattro stazioni di campionamento, situate tra 200-500 e 4000 m dalla costa.

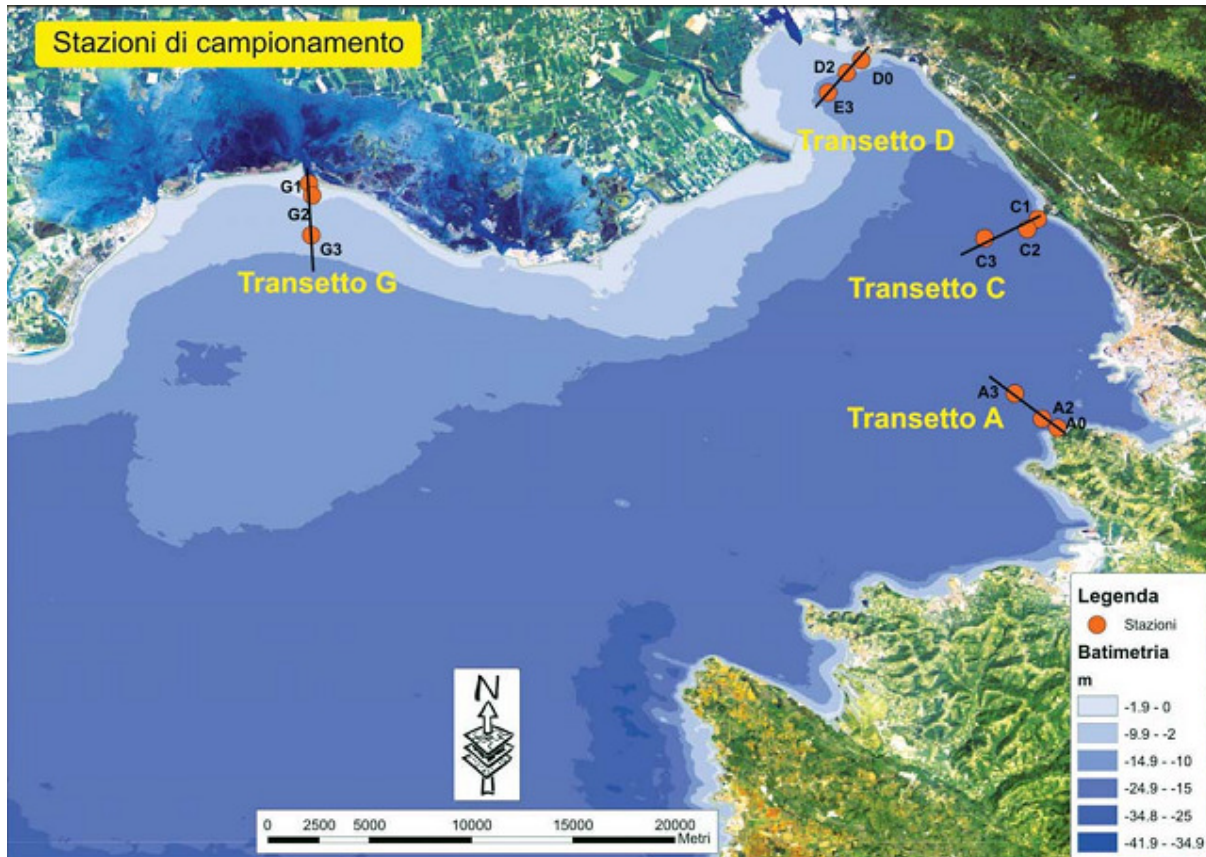


Fig. 1.27 - Stazioni di campionamento delle acque marino – costiere (transetti A, C, D, G)
Fonte: ARPA FVG

Di seguito vengono riportati i commenti alle schede pubblicati da ARPA-FVG, per l'ultimo anno di dati disponibili (giugno 2008 – giugno 2009).

Osservazioni relative al monitoraggio di giugno 2008

La temperatura media del bacino, rilevata durante la campagna di monitoraggio del mese di giugno, risulta di poco superiore alle precedenti misure ed è paragonabile a quella della serie storica 1997-2006. La temperatura media del bacino è di 19.6 °C e mostra un incremento di 0.7 °C rispetto a quanto rilevato a fine maggio. La salinità media, rilevata ad inizio giugno, pur risultando maggiore a quella registrata nel corso della precedente campagna, è ancora inferiore alla media storica 1997-2006. Le acque

del golfo presentano, infatti una salinità media di 35.7 psu, valore inferiore di 0.4 psu rispetto alla media della serie storica. Quanto osservato è dovuto al perdurare dell'effetto di diluizione, per l'incremento degli apporti fluviali, che ha caratterizzato le acque del golfo a partire dalla seconda metà di maggio. Nell'area del golfo caratterizzata da profondità superiori a 14-15 m, l'analisi dei dati di densità dell'acqua evidenzia la stabilità della colonna d'acqua tipica della stagione estiva. Si individuano, infatti, tre distinte masse d'acqua: una superficiale con temperatura di 20-23 °C e bassa salinità, 27-36 psu; una massa d'acqua intermedia in cui si struttura il gradiente termico che presenta una variazione di temperatura da 19 °C a 16 °C e salinità compresa tra 34 e 37 psu ed infine una massa d'acqua di fondo più omogenea che presenta la minima temperatura rilevata, 13-14 °C, e salinità di 37.5 psu.

Dalla distribuzione orizzontale dei parametri idrologici evidenziata dalle mappe tematiche si osserva una distribuzione omogenea della temperatura superficiale in tutto il bacino con valori compresi tra 22-24 °C, i massimi di 26 °C interessano l'area costiera prossima alla Laguna di Marano e Grado, i minimi di 13 °C si rilevano negli strati di fondo nella parte centro-orientale del golfo. In superficie, la salinità varia da 27 a 32 psu in prossimità della Baia di Panzano, della foce isontina e nella zona occidentale antistante la laguna, salinità lievemente superiori, 32-36 psu, caratterizzano le acque superficiali nell'area centro-orientale del golfo. Al fondo valori di salinità più elevati compresi tra 37 e 38 psu distinguono la zona centro-orientale del bacino mentre gli strati di fondo della fascia costiera occidentale presentano salinità comprese tra 32 e 36 psu.

Valori di ossigeno disciolto in saturazione e sovrassaturazione caratterizzano le acque superficiali di tutta l'area di studio con massimi di 120 % di saturazione in prossimità della foce isontina. Anche gli strati di fondo sono in saturazione o leggera sottosaturazione, ed i valori massimi si osservano lungo la fascia costiera antistante Muggia. La concentrazione superficiale della clorofilla *a* indotta varia tra 0.4-1 µg/L con un massimo di 1.8 µg/L nella Baia di Panzano, al fondo il parametro si attesta tra 0.8 e 1 µg/L nell'area centro-orientale del golfo mentre nelle zone prospicienti Grado e Lignano il parametro è compreso tra 1.8-2 µg/L, un nucleo a valori più elevati (2.1 µg/L) contraddistingue le acque di fondo della Baia di Panzano. Le osservazioni effettuate con telecamera subacquea mostrano ancora la presenza di aggregati gelatinosi in forma di fiocchi millimetrici e filamenti di lunghezza variabile intorno a 10 cm con densità da media ad elevata più evidenti alle profondità comprese tra 10 e 17 metri. Nel corso della crociera, in particolare nell'area centrale del golfo, si osservano

numerosi esemplari di meduse appartenenti alla specie *Aurelia aurita*, di piccole e medie dimensioni, sia isolati che in densi sciami.

Osservazioni relative al monitoraggio di luglio 2008

La temperatura superficiale del mare nella prima decade di luglio presenta, soprattutto nell'area centro-orientale del golfo un generale incremento di 3-4°C rispetto a fine giugno. L'incremento di temperatura è evidente anche negli strati subsuperficiali della colonna d'acqua e valori di 24-25°C si misurano anche alla profondità di 10 m. La temperatura media del bacino è di 23.9°C, valore che è superiore di 2.5°C rispetto a quello della serie storica 1997-2006 ed è paragonabile alla temperatura media rilevata a luglio 2007. L'area del golfo più al largo, caratterizzata da maggiore batimetria, è costituita da tre masse d'acqua ben definite (superficiale, intermedia e di fondo) ed un marcato gradiente termico (termoclino), sito tra 10 m e 12 m di profondità separa lo strato superficiale da quello intermedio; in prossimità della costa la colonna d'acqua presenta una temperatura più omogenea e non si rileva un evidente termoclino. Le temperature minime (16°C) caratterizzano gli strati d'acqua prossimi al fondale marino nell'area centro-orientale del golfo. Il minore apporto nel bacino di acque dolci di derivazione isontina, osservato tra fine giugno ed inizio luglio, determina un generale aumento della salinità soprattutto nello strato superficiale del golfo. Non sono più identificabili nuclei superficiali a salinità inferiore a 30 psu osservati nelle precedenti campagne di misura ed i minimi del parametro (32-33 psu) si riscontrano nel tratto di mare antistante Grado e Lignano; i valori massimi (37.7-37.8 psu) caratterizzano le acque intermedie e di fondo dell'area centro-orientale del golfo. Come già osservato a fine giugno, anche in questo monitoraggio, l'ossigeno disciolto è in saturazione e sovrassaturazione in tutta l'area di studio. In particolare, negli strati superficiali il parametro si presenta in saturazione e sovrassaturazione con massimi di 120% di saturazione nell'area antistante la città di Grado. Negli strati di fondo si registrano valori di ossigeno in sovrassaturazione e forte sovrassaturazione (128% di saturazione) nell'area antistante la foce dell'Isonzo ed in prossimità della bocca lagunare di Porto Buso. Valori elevati del parametro si rilevano anche negli strati intermedi della colonna d'acqua posizionati immediatamente al di sotto del termoclino nell'area centro-orientale del golfo. La concentrazione superficiale della clorofilla *a* indotta varia tra 0.2-2 µg/L ed i valori massimi si misurano nell'area prospiciente Lignano. Negli strati di fondo si individuano due nuclei a concentrazioni

più elevate: uno nella zona costiera antistante la laguna di Grado, ed uno nell'area centrale del golfo che presenta valori di 2.8 µg/L.

In generale, la colonna d'acqua risulta caratterizzata da una buona trasparenza con un'elevata profondità di scomparsa del Disco Secchi. Nelle stazioni più profonde tale misura di trasparenza ha un valore medio di circa 18 m, mentre nelle stazioni di campionamento costiere il Disco Secchi è visibile fino in prossimità del fondale marino. Le osservazioni effettuate con telecamera subacquea mostrano un lieve incremento degli aggregati gelatinosi rispetto alla precedente campagna. Dallo strato superficiale alla profondità di 15-20 m sono presenti, con densità media, fiocchi millimetrici e filamenti di lunghezza variabile tra 10-15 cm. A profondità superiori a 20 metri si nota un incremento dei filamenti di maggiore dimensione (circa 20 cm), che mostrano un'elevata densità. Nel porticciolo di Grignano è stata, inoltre, rilevata la presenza di una striscia superficiale di schiuma e aggregato gelatinoso ampia circa 30-40 m e larga 3-5 m. Nel corso della crociera è stato avvistato un solo esemplare di medusa appartenente alla specie *Rhizostoma pulmo*.

Osservazioni relative al monitoraggio di agosto 2008

La temperatura media delle acque marino costiere del Golfo di Trieste, presenta, nella campagna di monitoraggio di agosto, un marcato incremento rispetto i mesi precedenti. Il valore medio del parametro è di 25.0°C e risulta di 0.9°C maggiore rispetto a quello di inizio agosto, superando di 1.4°C la media storica 1997-2006 e di 1.1°C il valore registrato nello stesso periodo del 2007. Tale incremento è probabilmente associabile al forte riscaldamento dello strato superficiale del mare nei primi giorni di agosto (28°C nell'area occidentale del bacino) e al successivo mescolamento delle masse d'acqua per effetto della forte burrasca che ha colpito il Golfo di Trieste la notte tra l'8 e il 9 agosto in cui sono stati registrati venti di intensità superiore a 160 km/h. Questo evento ha portato alla formazione di una colonna d'acqua tendenzialmente omogenea sia nell'area costiera che in centro bacino (batimetrie di 24-25 m) dove non si evidenzia più il netto termoclino che caratterizzava la colonna d'acqua nel periodo tra luglio ed agosto. In particolare, la distribuzione superficiale della temperatura varia tra 24 e 25°C in tutto il bacino con un massimo di 26°C nella zona costiera più orientale del golfo. In prossimità del fondale, nell'area occidentale, il parametro si mantiene su valori compresi tra 24-25°C, mentre nella zona orientale, nelle stazioni a maggior batimetria, la temperatura raggiunge i 20°C a 25 metri di profondità. Considerando la serie storica della

temperatura del mese d'agosto nello strato di fondo della stazione C1 posta a 200 metri al largo di Miramare si osserva che il periodo 1991-2001 è caratterizzato da un valore medio di $20.9 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$, il periodo 2002-2006 da una media di $22.05 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$, il 2007 da un valore di 23.2°C mentre in questa campagna si registra una temperatura di 25°C . L'incremento di temperatura evidenziato dall'analisi della serie storica di agosto potrebbe confermare la tendenza ad un possibile riscaldamento del bacino. La salinità media del golfo, si mantiene su valori paragonabili a quelli riscontrati nella precedente campagna. Negli strati superficiali si evidenziano salinità più basse nell'area influenzate maggiormente dagli apporti fluviali e lagunari, i valori minimi di 29 e 31psu si rilevano nella Baia di Panzano e nell'area antistante la città di Lignano. Negli strati prossimi al fondo si osserva una maggiore uniformità del parametro con valori che variano tra a 37.0 e 37.5 psu. La distribuzione dell'ossigeno disciolto superficiale risulta omogenea in tutta l'area monitorata con valori generalmente in saturazione; valori in leggera sottossaturazione (85% di saturazione) si registrano solamente in una zona costiera compresa tra Lignano e Porto Buso. Il valore massimo del parametro è di 106% di saturazione e caratterizza lo strato superficiale della Baia di Panzano.

Negli strati di fondo il minimo di 53% di saturazione caratterizza l'area centro-orientale del bacino, stazione P5. Ad inizio agosto, gli strati prossimi al fondale marino di questa stazione si presentavano in forte sottossaturazione (<30% di saturazione), l'incremento della concentrazione di ossigeno osservato in questa campagna, potrebbe confermare la minore stabilità della colonna d'acqua ed un aumento degli scambi gassosi tra le masse d'acqua del bacino. La concentrazione superficiale della clorofilla a indotta risulta omogenea in tutto il golfo e non supera il valore massimo di $1.0 \mu\text{g/L}$, misurato nell'area antistante la città di Lignano. Al fondo il parametro si mantiene su valori relativamente bassi raggiungendo un massimo di $2.4 \mu\text{g/L}$ nella zona orientale del golfo. Nella stazione a maggior batimetria (P5) si rileva, a 20 metri di profondità, un picco del parametro di $6 \mu\text{g/L}$. Nel corso delle due crociere non sono stati avvistati esemplari di meduse o di altri organismi macroplanctonici.

Osservazioni relative al monitoraggio di settembre – inizio ottobre 2008

Per effetto degli eventi meteorologici che hanno interessato la regione nei giorni 13-14 settembre, le acque marino costiere del Golfo di Trieste, tra fine mese ed inizio ottobre, subiscono un sensibile abbassamento della temperatura. Il valore medio del parametro diminuisce di 3.4°C rispetto a inizio settembre. Nei primi giorni di ottobre si

raggiunge un valore medio di 17.9°C che è inferiore alla media storica 1997-2006 di 1.5°C. Dalla distribuzione superficiale della temperatura si osserva che il raffreddamento interessa inizialmente la fascia costiera occidentale, per poi coinvolgere tutto il bacino ad inizio ottobre, quando si registra il minimo superficiale di 16.5°C a Porto Buso. In prossimità del fondale marino, l'evoluzione della temperatura si verifica similmente a quanto osservato nello strato superficiale, a metà settembre si registra un minimo di 20°C nell'area costiera antistante la città di Grado, che nei primi giorni di ottobre scende a 17.0°C. Nello stesso periodo, temperature di fondo più elevate, pari a 18.6°C, contraddistinguono l'area centro-orientale del bacino e quella occidentale a maggior batimetria.

La salinità media del golfo varia da 37.4psu a metà settembre a 37.2psu nella prima campagna di ottobre e risulta maggiore di circa 0.7psu rispetto alla media storica 1997-2006. In entrambe le campagne, negli strati superficiali, si evidenziano salinità più basse nella fascia costiera antistante le lagune, la foce isontina e nella Baia di Panzano con un minimo di 32.0psu. I massimi superficiali caratterizzano l'area centro-orientale del golfo e raggiungono il valore di 37.8psu in entrambe le campagne. Negli strati prossimi al fondo si ha una maggiore uniformità del parametro per tutto il periodo considerato, con il minimo di 34.7 relativo alla seconda campagna di settembre, nell'area costiera prospiciente Lignano e il massimo di 37.8psu misurato in centro golfo.

La distribuzione dell'ossigeno disciolto superficiale, nella seconda campagna di settembre, risulta abbastanza omogenea in tutta l'area monitorata con valori in leggera sottosaturazione e un minimo di 84% di saturazione nella Baia di Panzano. In questa campagna anche i valori di saturazione di ossigeno rilevati negli strati prossimi al fondo risultano in lieve sottosaturazione con un minimo di 76.6% nella stazione più profonda del golfo, sita a 15 km al largo di Miramare. Ad inizio ottobre, in superficie, si osserva una distribuzione del parametro più eterogenea rispetto la precedente: due nuclei con valori in leggera sottosaturazione caratterizzano la fascia costiera antistante le lagune e la fascia costiera prospiciente la città di Trieste, mentre si registrano valori in saturazione nelle aree antistanti Lignano e la costiera triestina. Negli strati di fondo, ad inizio ottobre, una situazione di sottosaturazione continua a contraddistinguere tutta l'area orientale del bacino ed una ristretta zona occidentale, mentre si registrano valori in saturazione lungo la fascia costiera antistante Lignano e le lagune.

In entrambe le campagne la concentrazione superficiale della clorofilla *a* indotta risulta piuttosto omogenea in tutto il bacino. Nella seconda campagna di settembre, in superficie, si registrano valori bassi che non superano 0.9µg/L rilevati al largo di Lignano, mentre a ottobre, un incremento della concentrazione del parametro caratterizza tutto lo strato superficiale del golfo. I valori massimi di 1.3 e 1.9µg/L si presentano in prossimità della foce dell'Isonzo e nell'area orientale del bacino. Negli strati di fondo a settembre si misura un massimo di 2.1µg/L in prossimità della foce isontina. Ad inizio ottobre si registra un aumento del parametro con valori compresi tra 1.5 e 3.9µg/L, un picco di 5.8µg/L si misura in centro golfo, e potrebbe indicare un incremento della biomassa fitoplanctonica che tipicamente caratterizza le acque di fondo del bacino all'inizio della stagione autunnale.

Le osservazioni effettuate con telecamera subacquea mostrano un aumento degli aggregati gelatinosi rispetto a fine agosto ed inizio settembre. Filamenti di lunghezza variabile, di circa 10 cm e densità medio-elevate interessano gli strati subsuperficiali e di fondo della colonna d'acqua. Il fondale marino risulta, comunque, nella norma. Nel corso della crociera sono stati segnalati diversi sciame di *Rhizostoma pulmo* lungo la costiera triestina ed in particolare nell'area prossima alla zona portuale di Trieste.

Osservazioni relative al monitoraggio di ottobre – inizio novembre 2008

Le acque marino costiere del Golfo di Trieste, tra fine ottobre e inizio novembre, subiscono un lieve abbassamento della temperatura rispetto ai valori misurati ad inizio ottobre. A fine ottobre il parametro ha un valore medio di 17.9°C che, nella campagna del 6 novembre, si abbassa di soli 0.7°C. La temperatura registrata in queste due campagne di monitoraggio risulta di circa 1.0°C superiore rispetto a quella della media storica. La distribuzione superficiale del parametro presenta un gradiente positivo dall'area costiera occidentale a quella orientale di circa 1.5°C.

La salinità a fine ottobre è ancora relativamente elevata con un valore medio di 37.13 psu, mentre ad inizio novembre si osserva una forte diluizione del bacino che mostra una salinità media di 35.74 psu. La diluizione è associata all'incremento delle portate fluviali, in particolare il fiume Isonzo registra un valore prossimo a 900 m³/s il primo novembre (dati forniti dall'Unità Operativa Idrografica di Udine). La distribuzione dell'acqua a bassa salinità interessa soprattutto lo strato superficiale dell'area costiera occidentale del golfo. L'ossigenazione del bacino è buona con valori in saturazione nello strato superficiale e subsuperficiale, in prossimità del fondale marino la

concentrazione del parametro decresce leggermente e valori in sottosaturazione caratterizzano l'area orientale del golfo.

La clorofilla indotta permane su concentrazioni basse, a fine ottobre i valori più elevati pari a 2.0-2.5µg/L caratterizzano la Baia di Panzano e l'area costiera antistante la Laguna di Marano, ad inizio novembre è lo strato superficiale dell'area orientale del golfo a presentare le maggiori concentrazioni di clorofilla.

Le osservazioni effettuate con telecamera subacquea non evidenziano anomali distribuzioni degli aggregati gelatinosi nella colonna d'acqua. Sono presenti, fiocchi e piccoli filamenti a densità rada; in generale, si osserva un decremento degli aggregati rispetto ad inizio ottobre. Nel corso della crociera di inizio novembre sono stati avvistati, al largo della Baia di Panzano, alcuni esemplari della medusa *Rhizostoma pulmo*.

Osservazioni relative al monitoraggio di novembre - dicembre 2008

Le acque marino costiere del Golfo di Trieste, tra fine novembre e la prima metà di dicembre, subiscono un abbassamento della temperatura rispetto ai valori misurati ad inizio novembre. Il 27 novembre il parametro ha un valore medio di 13.0°C e risulta inferiore alla temperatura media di inizio mese di circa 4°C. Il monitoraggio del 17-18 dicembre evidenzia un valore medio di 12.1°C. La temperatura media del mare relativa a queste due campagne di monitoraggio si presenta paragonabile a quella indicata dalla media storica (1997 - 2006). La salinità media del bacino è fortemente influenzata dagli apporti fluviali. A fine novembre il parametro mostra un valore paragonabile a quello della media storica ed è in aumento rispetto alla salinità media d'inizio novembre. A metà dicembre, per l'effetto di considerevoli apporti fluviali registrati tra l'11 e il 14 dicembre, il parametro subisce un ulteriore decremento presentando un valore medio di 35.7 psu. Le masse d'acqua a bassa salinità interessano soprattutto lo strato superficiale dell'area costiera occidentale del golfo; nel monitoraggio del 17 e 18 dicembre è osservabile un forte gradiente salino a circa 5 km al largo della foce isontina. In entrambi i monitoraggi l'ossigenazione della colonna d'acqua si presenta in saturazione o lieve sottosaturazione, un leggero decremento del parametro si registra in prossimità del fondale marino. La clorofilla indotta permane su concentrazioni basse, i valori più elevati pari a 1.2 µg/L caratterizzano l'area costiera occidentale antistante la Laguna di Marano. Tra il 30 novembre ed il primo dicembre il litorale della regione ha subito l'effetto di un burrascoso sciroccale seguito da una fortissima libeccata che hanno prodotto danni ingenti alle strutture costiere e notevoli fenomeni di erosione degli arenili.

Osservazioni relative al monitoraggio di gennaio – marzo 2009

Le acque marino costiere evidenziano nei mesi invernali del 2009 una temperatura leggermente più elevata (0.8-0.9°C) rispetto a quella indicata dai valori della serie storica. La salinità presenta valori inferiori a quelli della serie storica. Tale distribuzione delle caratteristiche termiche e saline del golfo è da associare alle temperature relativamente alte dell'aria osservate, nell'area costiera, tra metà gennaio e metà febbraio e ai cospicui apporti del fiume Isonzo interessanti il bacino a fine gennaio ed inizio febbraio. Le salinità più elevate, prossime a 38 psu, caratterizzano le acque più profonde dell'area centro-orientale del golfo, mentre basse salinità si misurano nell'area costiera occidentale. Tale distribuzione dei parametri, associata alla formazione di correnti superficiali per l'azione dei venti da NE, evidenzia un'elevata dinamica delle masse d'acqua del golfo ed un loro rapido scambio con quelle dell'Alto Adriatico. L'ossigeno disciolto presenta, per tutto il periodo, valori in saturazione o leggera sottosaturazione, tipici del periodo invernale, la clorofilla a indotta permane su valori compresi tra 0.6µg/L e 1.2µg/L. Ad inizio marzo si osserva un ulteriore incremento della temperatura superficiale più marcato nell'area costiera prospiciente la Laguna di Marano e di Grado che, associato ad un generale aumento della concentrazione di ossigeno disciolto e di clorofilla a, potrebbe indicare la fase di passaggio dalla situazione con caratteristiche oceanografiche invernali a quella con caratteristiche più primaverili. Durante le campagne di monitoraggio è stata osservata la sporadica presenza di esemplari di medusa *Rhizostoma pulmo* e ad inizio marzo la presenza di organismi appartenenti al phylum *Ctenofori*.

Osservazioni relative al monitoraggio di aprile 2009

Tra fine marzo ed inizio aprile, le acque marino costiere evidenziano ancora una temperatura leggermente più elevata rispetto a quella indicata dai valori della serie storica. Ad inizio aprile si osserva l'instaurarsi del processo di riscaldamento dello strato superficiale del mare. La salinità si mantiene su valori inferiori a quelli della serie storica per l'effetto degli abbondanti apporti fluviali che si manifestano particolarmente cospicui tra il 30 e 31 marzo quando il fiume Isonzo registra valori di portata superiori a 1500 m³/s. L'effetto degli apporti fluviali impulsivi associato a quello delle precipitazioni atmosferiche si evidenzia soprattutto nella distribuzione della salinità dello strato superficiale che presenta una elevata variabilità nel golfo con un minimo nell'area antistante l'abitato di Trieste. In prossimità del fondale marino la

salinità ha in generale valori compresi tra 37 e 38 psu. L'ossigeno disciolto è in saturazione o leggera sovrassaturazione con massimi superficiali nella Baia di Panzano, la clorofilla *a* indotta presenta un ulteriore leggero incremento rispetto al monitoraggio di inizio marzo, le concentrazioni più elevate del parametro si misurano nell'area occidentale del bacino in prossimità del fondale marino. La distribuzione di questi parametri potrebbe indicare un generale aumento della biomassa della comunità fitoplanctonica del golfo. Durante la campagna di monitoraggio è stata osservata la presenza di esemplari di meduse appartenenti al genere *Aequorea*.

Osservazioni relative ai monitoraggi di maggio - giugno 2009

Nel periodo aprile - maggio la temperatura del golfo presenta un valore medio più elevato, rispetto a quello evidenziato dalla serie storica (1998-2008). Tale distribuzione segue, in generale, quella della temperatura dell'aria misurata in ambito costiero. In particolare a fine maggio la differenza tra i valori medi è di circa 3°C e la colonna d'acqua, nell'area di centro bacino con profondità di 25 m, ha un'elevata stratificazione termica con valori di 22°C e 12°C rispettivamente in superficie e al fondo. A giugno la temperatura media del bacino decresce e ha valori paragonabili a quelli della serie storica (1998-2008). La salinità del golfo si mantiene su concentrazioni inferiori a quelle evidenziate dalla serie storica e la massima diluizione del bacino si osserva a fine maggio ed inizio giugno in cui la stratificazione termica è più marcata e permette una migliore distribuzione nello strato superficiale e subsuperficiale delle acque di derivazione isontina. L'ossigeno disciolto nelle campagne di maggio e giugno si presenta, generalmente, in sovrassaturazione con massimi a fine maggio pari a 130% di saturazione accompagnati da concentrazioni di clorofilla *a* indotta di 3-4 µg/L, a fine giugno le masse d'acqua prossime al fondo dell'area centro-orientale del bacino sono in leggera sottosaturazione.

Gli aggregati gelatinosi nella colonna d'acqua del golfo di Trieste non mostrano particolari anomalie fino ad inizio maggio e si presentano generalmente in forma di "neve marina". Tra il 20 e 26 maggio il bacino ed in generale tutto l'Alto Adriatico, è interessato da un incremento degli aggregati gelatinosi che si presentano con fiocchi e filamenti biancastri di dimensione inferiore al centimetro e densità elevata soprattutto nello strato superficiale. Tali anomale formazioni non sono più evidenti nelle giornate successive.

Le meduse rilevate nel periodo di indagine appartengono al genere *Aequorea*, presente principalmente in sciame in aprile; alle specie *Aurelia aurita* e *Rhizostoma*

pulmo osservate sia in sciame che in singoli individui in maggio e alla specie *Chrysaora hysoscella* che ha presenze sporadiche nel golfo a fine maggio.

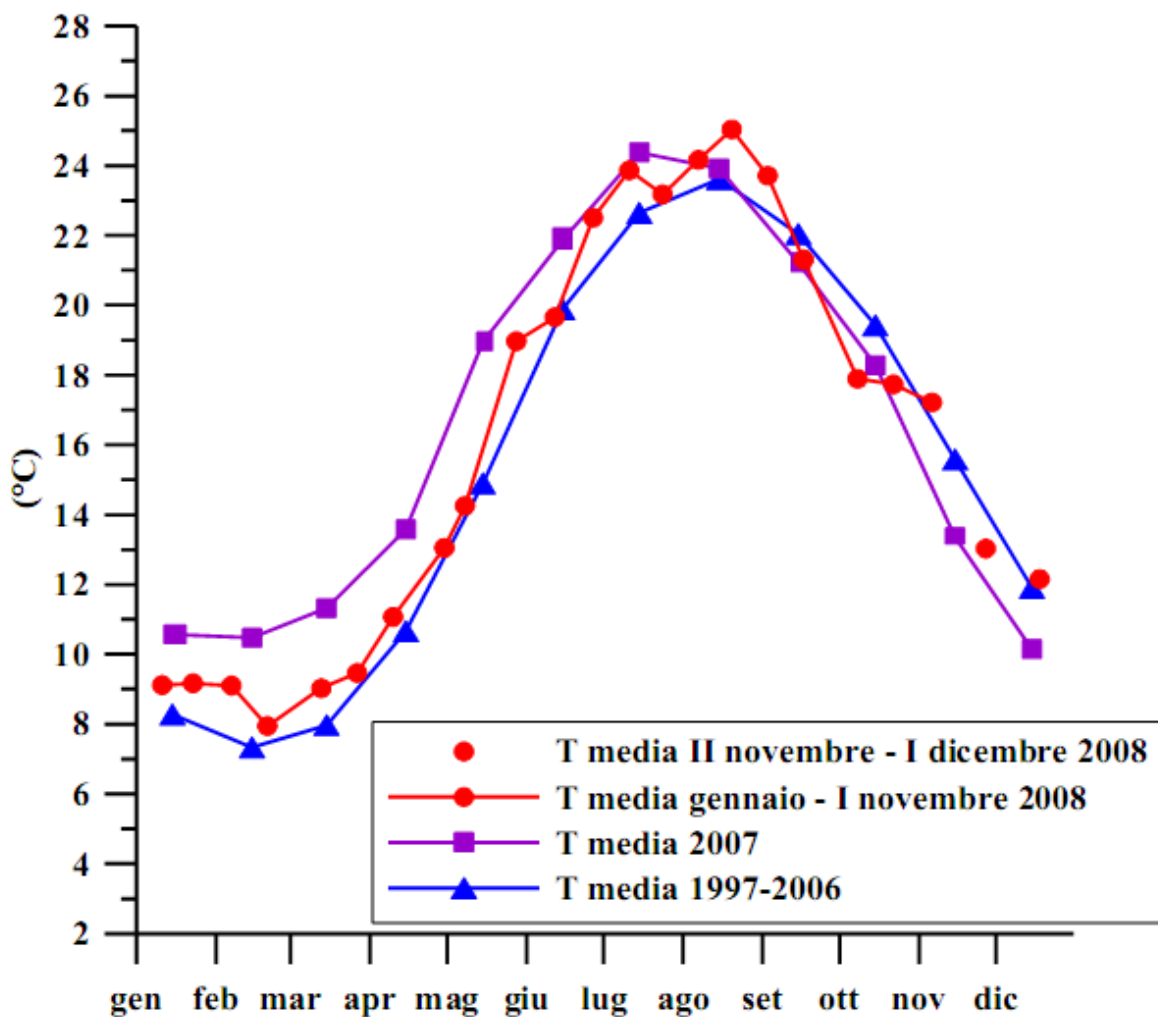


Fig. 1.28 - Serie storica della temperatura (T) del mare nel periodo gennaio-dicembre dal 1997 al 2008. Misure relative alle stazioni dei transesti A, C, D, G. Fonte: ARPA FVG

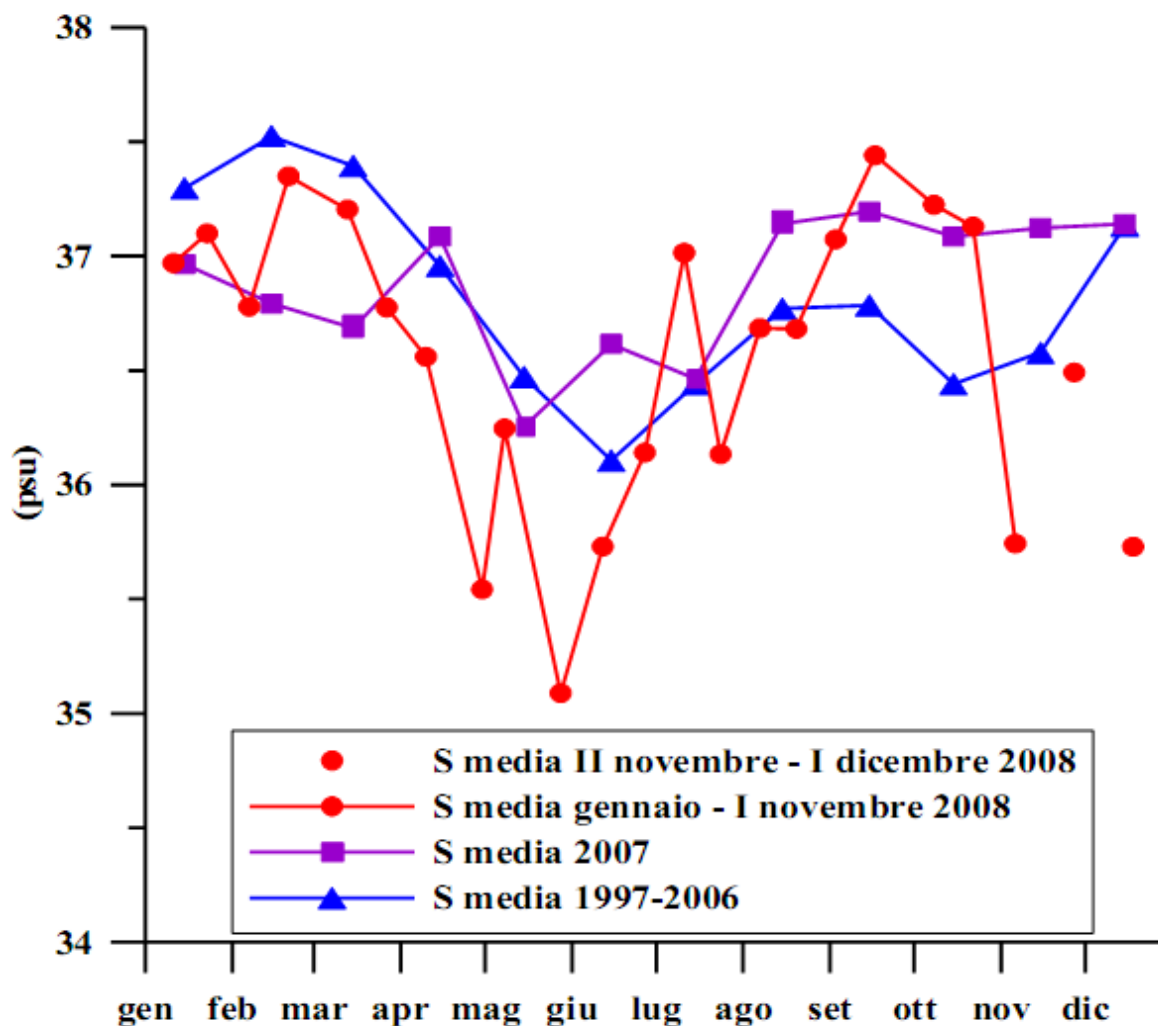


Fig. 1.29 - Serie storica della salinità (S) del mare nel periodo gennaio-dicembre dal 1997 al 2008. Misure relative alle stazioni dei transetti A, C, D, G. Fonte: ARPA FVG

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLE CONDIZIONI INVERNALI - 1 di 2

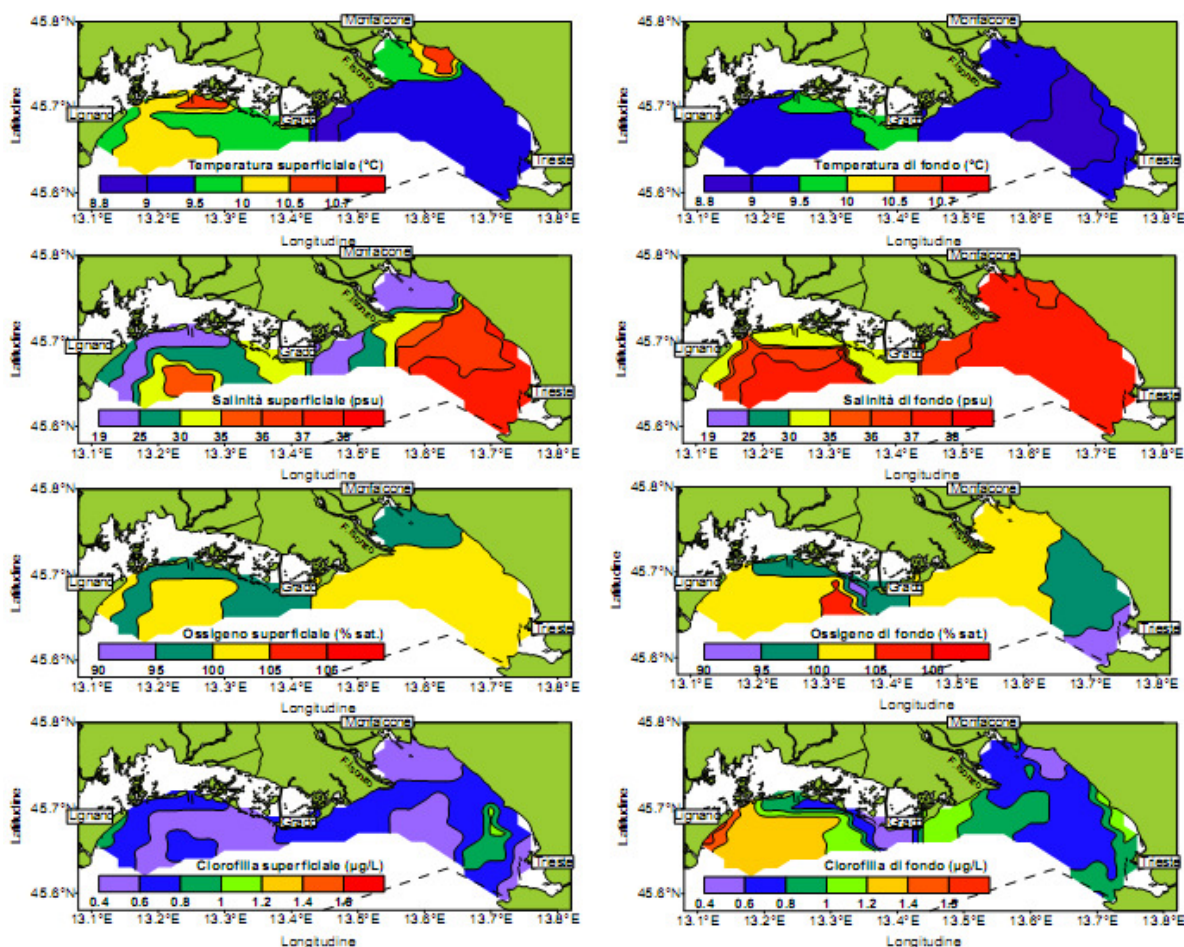


Fig. 1.30 - Distribuzione orizzontale della temperatura e salinità nello strato superficiale e in prossimità del fondale marino
Dati relativi alle campagne 2008-2009. Fonte: ARPA FVG

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLE CONDIZIONI INVERNALI – 2 di 2

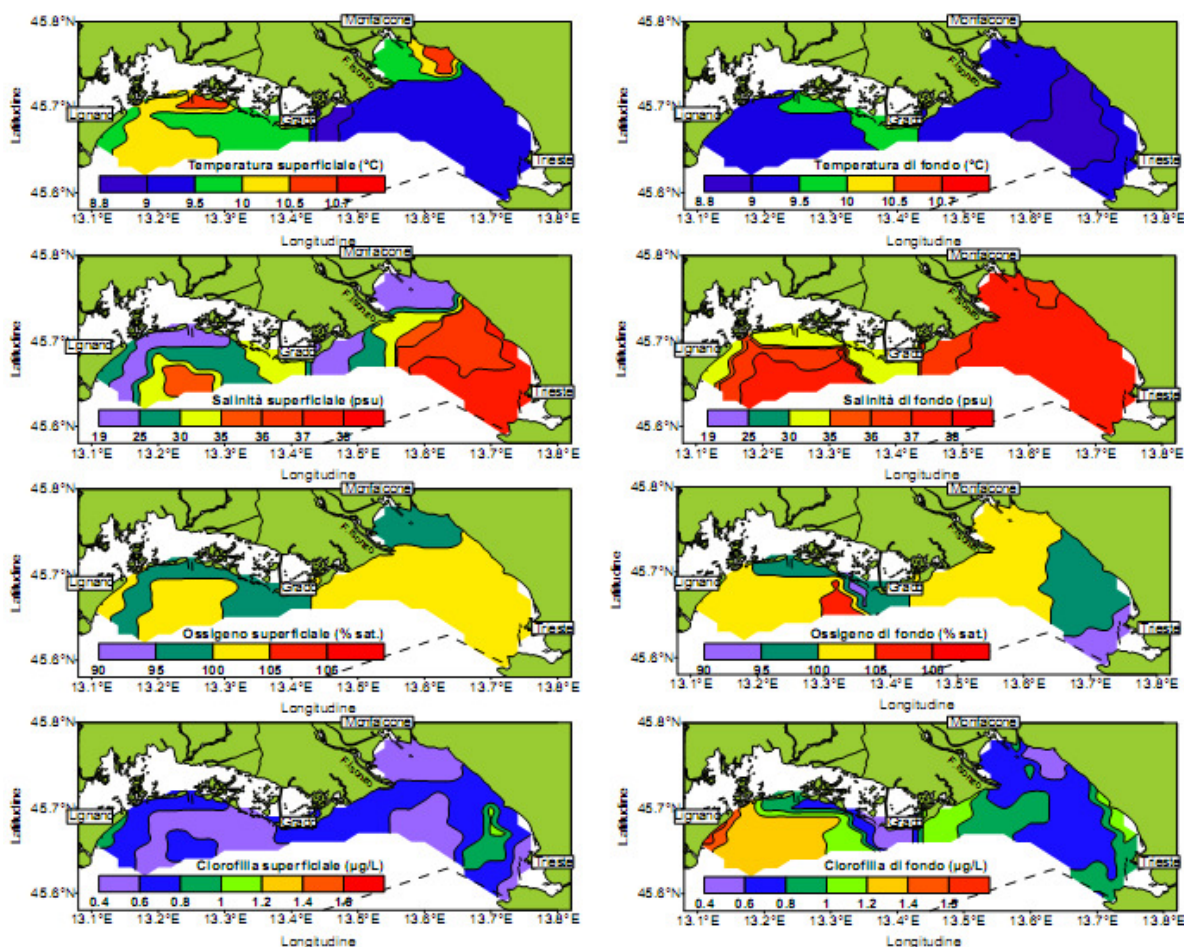


Fig. 1.31 - Distribuzione orizzontale di ossigeno disciolto e clorofilla nello strato superficiale e in prossimità del fondale marino
Dati relativi alle campagne 2008-2009. Fonte: ARPA FVG

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLE CONDIZIONI ESTIVE – 1 di 2

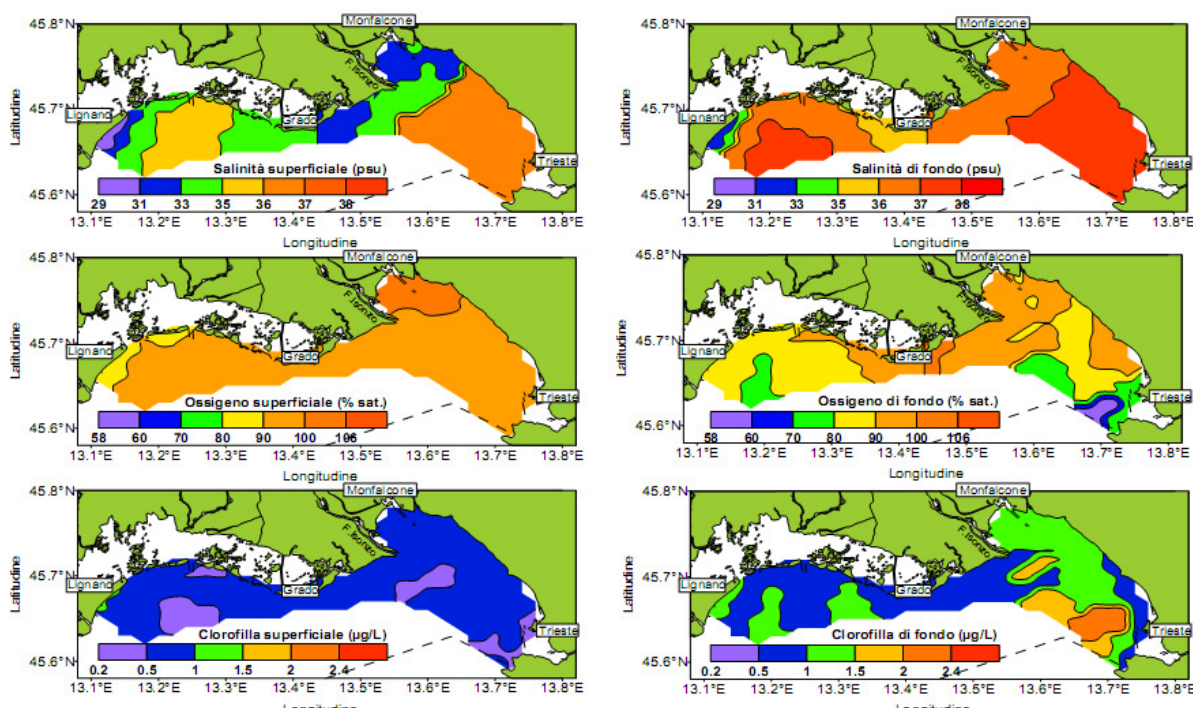


Fig. 1.32 - Distribuzione orizzontale della temperatura e salinità nello strato superficiale e in prossimità del fondale marino
Dati relativi alle campagne 2009. Fonte: ARPA FVG

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLE CONDIZIONI ESTIVE – 2 di 2

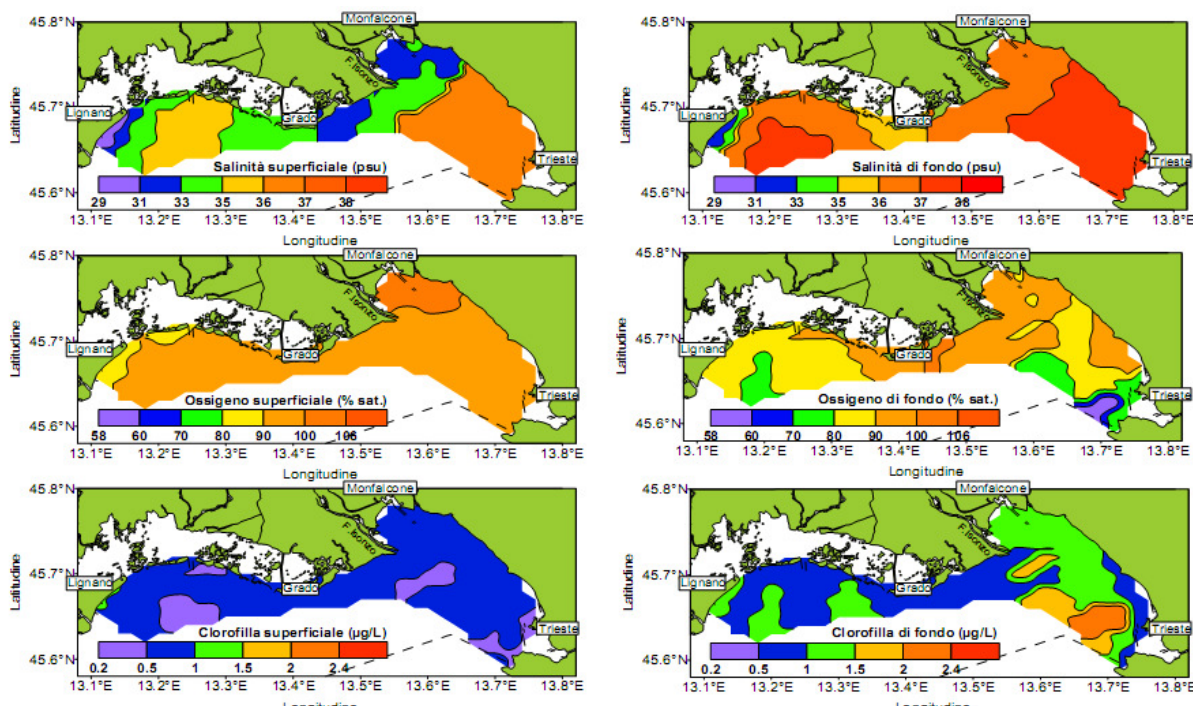


Fig. 1.33 - Distribuzione orizzontale di ossigeno disciolto e clorofilla nello strato superficiale e in prossimità del fondale marino
Dati relativi alle campagne 2009. Fonte: ARPA FVG

I dati riportati evidenziano che:

- l'area in prossimità di Punta Sottile, è influenzata dalle correnti ascendenti provenienti dalla costa istriana e raramente da acque di derivazione isontina;
- le aree site nella parte più interna del Golfo, sono soggette ad una forte pressione antropica e sono influenzate dagli apporti d'acque dolci dei fiumi Timavo e Isonzo;
- l'area in corrispondenza della bocca lagunare di Porto Buso, permette di seguire le variabilità idrologiche, chimiche e biologiche delle acque provenienti dalla laguna retrostante;
- l'area presso la foce del Tagliamento è interessata dalle acque lagunari e da quelle provenienti dalla condotta sottomarina.

L'andamento della temperatura del mare nel lungo periodo

La temperatura del mare a Trieste è registrata presso la stazione mareografica di Porto Lido (45°38'55"N, 13°45'18"E). Viene misurata a 10 m dalla riva in superficie (0.3 m) ed a 2 m di profondità.

Nei dodici anni compresi tra il 1996 ed il 2008 le temperature estreme del mare sono state rispettivamente 4.50 °C (23/1/1999: la superficie calma del mare congelò in ampie zone della costa) e 29.97 °C (23/7/1998) a 0.3 m, 5.73 °C (8/2/2005) e 29.25 °C (23/6/2002) a 2 m di profondità.

Il periodo più caldo si è avuto durante l'estate 2003, il più freddo durante l'inverno 2005.

La Tab. 1.8 riporta la temperatura mensile ed annuale media, minima e massima del mare a 2 metri di profondità per tutto il periodo considerato.

1996-2008	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	anno
media	9,49	8,43	9,46	12,38	17,41	22,04	24,45	24,66	22,18	19,2	15,51	11,89	16,46
MIN	6,43	5,73	5,88	7,97	10,82	13,73	18,39	18,96	18,27	13,52	11,21	7,88	5,73
MAX	12,86	11,92	14,47	18,49	24,56	29,25	28,47	28,45	26,2	23,3	19,35	16,56	29,25

Tab. 1.8 – Trieste (1996-2008): temperatura mensile ed annuale media, minima e massima del mare a 2 metri di profondità (°C)

Per quanto attiene l'andamento delle escursioni termiche giornaliera a 2 m di profondità, queste sono pari a circa 0.4 °C durante la stagione fredda; nella stagione calda sono normalmente comprese tra 1 e 3 °C, ma in giornate particolari, quando la bora mescola la colonna d'acqua, si hanno sbalzi da 4 sino a quasi 10 °C (25 giugno 2002).

Il gradiente termico verticale (in questo caso la differenza tra la temperatura superficiale e quella a 2m) è minimo nella stagione invernale, caratterizzata da una marcata omotermia, e massimo nella stagione calda, quando arriva a 0.5 – 1.0 °C/m. La superficie è normalmente più calda, ma durante l'inverno sono frequenti marcati raffreddamenti correlati ad intrusioni di aria fredda continentale.

Due figure illustrano la tendenza sul periodo 1946-2008: la Fig. 1.34 rappresenta l'andamento della temperatura media annuale del mare a Trieste a 2 m di profondità. La tendenza lineare del periodo mostra un aumento di 1.12 °C al secolo; la media 1946-2008 è di 15.98 °C. La differenza tra la temperatura media annuale del mare e quella dell'aria, a Trieste, è positiva (il mare riscalda l'atmosfera): si è mantenuta attorno ad 1.5 °C sino al 1988, e dal 1989 è scesa di circa 0.3 °C, contemporaneamente alla fase di riscaldamento.

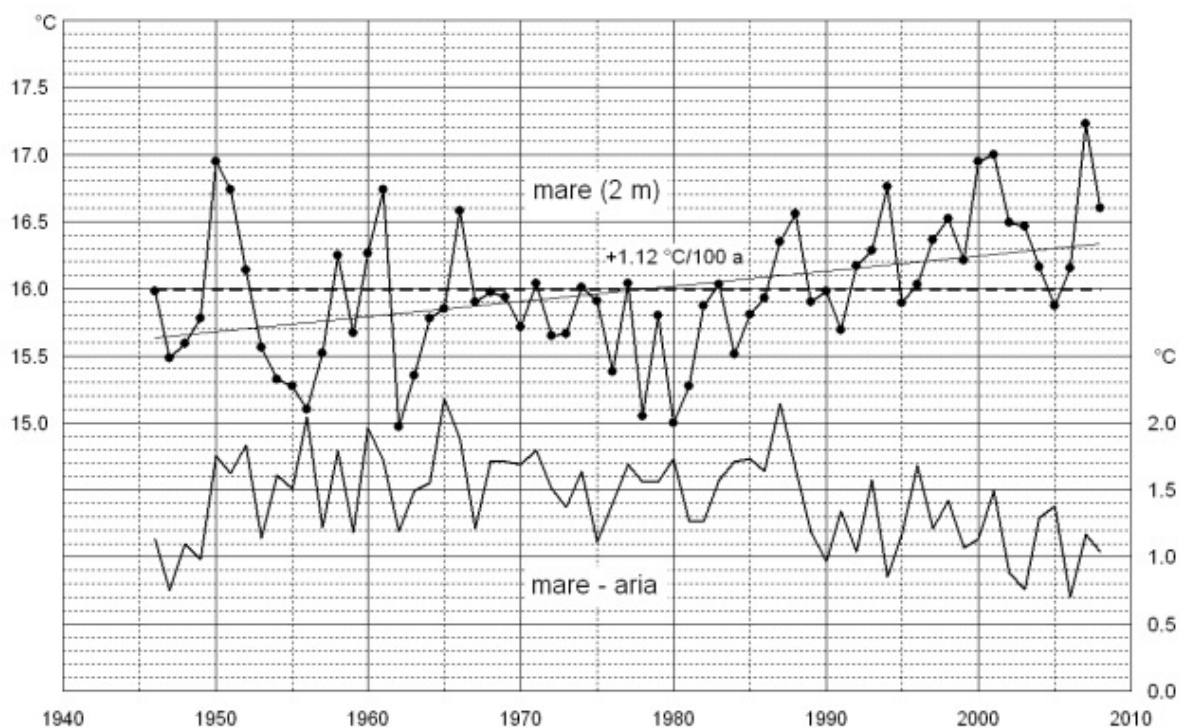


Fig. 1.34 – Trieste (1946-2008): temperatura del mare a 2 m, media e tendenza lineare; differenza tra la temperatura del mare a 2 m e la temperatura dell'aria.

La Fig. 1.35 riporta le serie 1946-2008 delle medie stagionali. Le temperature medie del periodo (a 2 m) sono rispettivamente di 9.50 °C per l'inverno, 12.64 °C per la primavera, 23.12 °C per l'estate e 18.57 °C per l'autunno. La temperatura invernale ha una tendenza all'aumento: di recente, sono stati particolarmente caldi gli inverni 1987-1988, 2000-2001 e 2006-2007. La temperatura del mare in primavera, più fresca negli anni '70 e '80, si è poi portata al di sopra della media; la primavera 2007 è stata la più calda sinora registrata. Durante l'estate meteorologica la temperatura del mare si è mantenuta leggermente al di sotto della media tra il 1953 e la metà degli anni '80, ed è aumentata di circa 1 °C nell'ultimo decennio; mostra un periodo di circa 50-60 anni. La stagione autunnale mostra una tendenza all'aumento della temperatura di circa 1 °C negli ultimi sessant'anni.

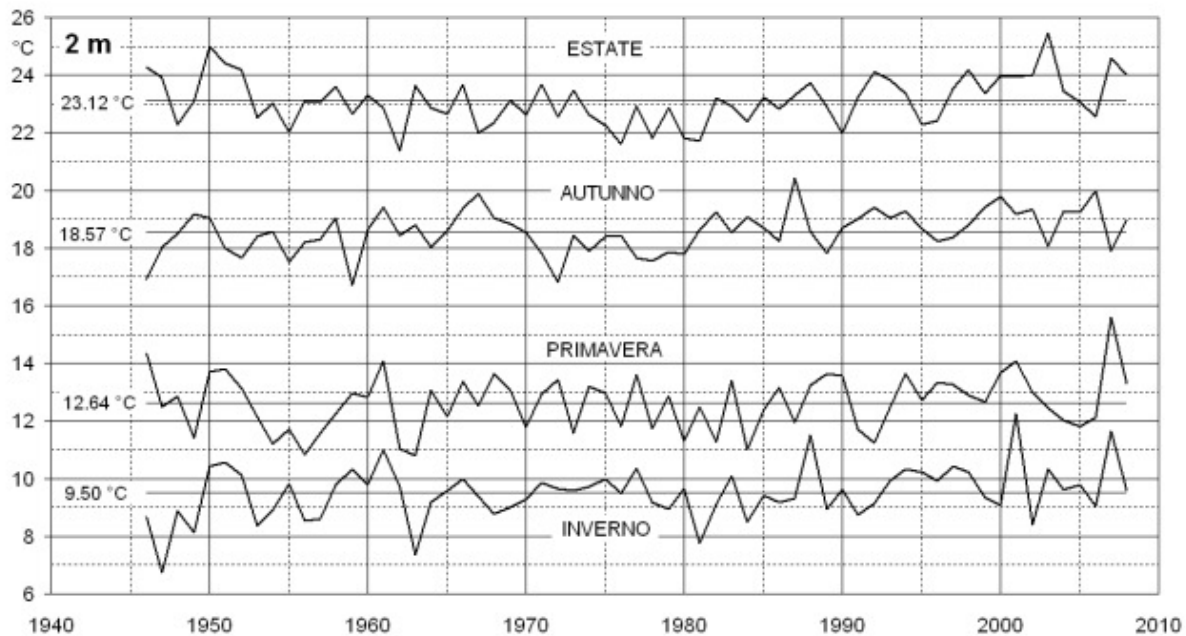


Fig. 1.35 – Trieste (1946-2008): temperatura stagionale del mare a 2 m e corrispondenti valori medi

Conclusioni circa il monitoraggio delle acque marino-costiere

Le anomalie meteorologiche e oceanografiche che si riscontrano negli ultimi 3-4 anni probabilmente sono da associare ad episodi isolati, ma comunque vanno a sommarsi ad altre peculiarità climatiche evidenziate negli ultimi anni come ad esempio: il mare ghiacciato nel golfo di Trieste a fine gennaio 1999, la laguna di Marano e Grado ghiacciata del febbraio 2006, la bassa temperatura del mare di agosto 2006 e l'anomala distribuzione delle masse d'acqua nel luglio 2003 che ha fatto supporre un'inversione della circolazione delle correnti marine del bacino.

Un altro importante campanello d'allarme dell'aumentata variabilità climatica del bacino è fornito dall'aumento dei periodi di magra della portata dei fiumi afferenti all'Alto Adriatico, che presentano però brevi momenti di intenso apporto fluviale.

E' importante evidenziare che negli ultimi anni la frequenza di situazioni meteorologiche e oceanografiche anomale sembra in aumento, indicando un incremento della variabilità delle caratteristiche ambientali del bacino. Ciò, ovviamente, si ripercuote anche sulle sue caratteristiche biologiche come la riduzione delle microalghe, la comparsa delle mucillagini in periodo invernale e i rilevanti sciame di meduse (cfr. capitolo "L'ecosistema marino").

L'aumento della frequenza degli eventi anomali, di cui il riscaldamento globale appare uno dei principali fattori scatenanti soprattutto a partire dagli anni 2000, potrebbe indicare un momento di criticità nell'ecosistema Alto Adriatico che potrebbe tendere verso nuovi equilibri ambientali.

Nel corso del finire dell'estate 2007, a margine della conferenza nazionale sul Clima, sono comparse sulla stampa opinioni allarmistiche quali: "Adriatico in agonia, il caldo lo uccide" o "Scompare la corrente del Golfo di Trieste" - La Repubblica - 11/09/07.

Sulla base dei dati scientifici esistenti tali affermazioni non trovano alcun riscontro, così come non trova alcun riscontro nell'analisi modellistica ambientale la previsione dell'evoluzione dell'Adriatico verso profili tipici dello stagno marino o salmastro. Ciò non significa che i fenomeni di adattamento dell'habitat marino dell'Alto Adriatico possano presentare anche eventi traumatici, come morie o migrazione di specie termosensibili; incremento delle alghe tossiche o altri fenomeni particolari.

1.3.2 Caratteristiche chimico-ambientali delle acque marine costiere in Golfo di Trieste

1.3.2.1 Tipologia ed entità delle fonti di immissioni

Sul tratto di costa della regione FVG gravitano i corsi d'acqua dei fiumi Tagliamento e Isonzo oltre a contributi minori dati dal fiume Timavo, che è stato interessato da gravissimi fenomeni di inquinamento legati alla presenza di insediamenti industriali situati nell'ambito del bacino montano in territorio sloveno.

Ulteriori contributi provengono dalle principali bocche lagunari (Lignano, Porto Buso, Grado), che ricevono le acque dei fiumi e dei canali che sfociano all'interno della laguna di di Marano e di Grado, e, in misura ancora minore, dal torrente Rosandra e dal rio Ospo, che s'immettono nelle acque della parte orientale del Golfo di Trieste.

Gli insediamenti costieri più importanti sono costituiti dai porti commerciali di Trieste e di Monfalcone, che appartengono al sistema Alto Adriatico; troviamo poi vicino la città di Trieste la Ferriera di Servola e la centrale elettrica di cogenerazione, e vicino a Monfalcone la Cartiera Burgo e la centrale termoelettrica dell'ENEL.

I principali insediamenti urbani sono costituiti da Trieste, Monfalcone, Muggia, Grado e Lignano, quest'ultimi, essendo centri d'interesse turistico-balneare, incrementano notevolmente la popolazione residente in periodo estivo.

Utilizzo prevalente del territorio costiero

In generale, il 60% della costa ha vocazione balneare, il 10% risulta destinato all'allevamento dei molluschi ed il rimanente 30% è adibito ad usi diversi (portuali, ecc.).

Principali insediamenti urbani costieri

I principali insediamenti urbani presenti lungo la costa sono: la città di Trieste con 211200 residenti; la città di Monfalcone con 26400 residenti; le cittadine di Muggia con 13300 residenti; di Grado con 8700 residenti e di Lignano Sabbiadoro con 6.000 residenti.

Quest'ultime due, essendo centri di insediamenti turistico-balneari, aumentano notevolmente la popolazione residente in periodo estivo, raggiungendo circa 250000 abitanti a Lignano Sabbiadoro e 80000 a Grado.

Tipologia ed entità degli apporti

Complessivamente lungo la costa, da Muggia alla foce del fiume Tagliamento, sono stati costruiti sette impianti che si caratterizzano per la lunghezza delle condotte, dell'ordine di diversi chilometri, e per i diffusori, che risultano molto lunghi e provvisti di numerosi getti di scarico. La dispersione dei liquami viene effettuata attraverso apposite colonne applicate alla tubazione principale che consentono un elevato frazionamento dei getti e pertanto rilevanti gradi di diluizione iniziale.

Gli impianti di depurazione (per agglomerati superiori ai 150000 abitanti equivalenti) che gravano sulle coste della regione sono tre, oltre a quello di Zaule per il trattamento di reflui depurati della condotta a mare di Trieste:

- S.Giorgio di Nogaro, (carico totale trattato A.E. 250000);
- Lignano Sabbiadoro (carico totale trattato A.E. 180000);
- Trieste-Muggia- S.Dorligo (carico totale trattato in A.E. 239000).

Gli altri impianti di depurazione (per agglomerati inferiori ai 150000 abitanti equivalenti) sono tre:

- Grado (53950 A.E.), in località Primero
- Staranzano (45000 A.E)
- Duino-Aurisina (5000 A.E.).

Tutti gli impianti sopra citati scaricano i reflui direttamente in mare mediante condotte sottomarine, a distanze variabili dalla costa.

La condotta a servizio dell'impianto di depurazione centralizzato di S. Giorgio di Nogaro è stata realizzata allo scopo di allontanare dall'area lagunare gli scarichi civili ed industriali provenienti da un esteso bacino di utenza dell'entroterra. I liquami, prima dell'immissione nella condotta, sono sottoposti ad un trattamento di depurazione chimico, fisico e biologico tradizionale. La condotta attraversa la laguna ed il cordone litoraneo esterno e quindi si spinge a mare alla distanza di 6 km dalla costa, con un diffusore che presenta una conformazione ad Y.

L'impianto di depurazione di Lignano Sabbiadoro ha una condotta di scarico a mare della lunghezza di 7,5 km.

L'impianto di depurazione di Trieste è dotato di uno scarico a mare costituito da due condotte affiancate aventi lunghezza rispettivamente di 6,5 km e 7,5 km. I liquami sono sottoposti a un trattamento primario con precipitazione chimica (abbattimento fosforo).

Sono, inoltre, in via di ultimazione i lavori per la realizzazione di collettori di un sistema integrato di fognatura che comprende la realizzazione di collettori fognari, che raccolgono le acque reflue dei Comuni di Muggia e S. Dorligo della Valle, della Zona Est di Trieste e area industriale, e il convogliamento degli stessi presso l'impianto di depurazione di Zaule (TS), già in esercizio da qualche anno. Quest'ultimo recapita i reflui depurati nella citata condotta a mare di Trieste.

La condotta di scarico a mare dell'impianto di depurazione di Grado è lunga circa 5 km. Quest'opera assieme a quella di S. Giorgio di Nogaro ha contribuito ad allontanare i liquami dal bacino lagunare.

Lo smaltimento dei liquami a Duino-Aurisina avviene mediante condotta sottomarina lunga circa 1,9 km, preceduto da un trattamento biologico tradizionale.

L'impianto di depurazione di Staranzano, intercetta o centralizza tutti gli scarichi del comprensorio di Monfalcone (9 comuni) smaltendo l'effluente finale a mare mediante condotta sottomarina (in corso di collaudo). I liquami sono sottoposti ad un trattamento biologico tradizionale.

Stima degli scarichi autorizzati

Per la Provincia di Trieste esistono altri apporti puntuali (scarichi autorizzati dalla Provincia ai sensi D. LGS. 152/99) di minore entità e diversa tipologia. Nella baia di Muggia, all'interno delle dighe foranee vengono scaricate in mare, sotto costa, le

acque della centrale elettrica di cogenerazione di Servola e quelle reflue industriali della Ferriera. Nel torrente Rosandra vengono scaricate in superficie le acque reflue industriali di un'azienda (Wartsila Italia) che vende e fornisce assistenza nell'ambito di motori diesel. A S. Giovanni di Duino, vicino alla cittadina di Duino, vengono scaricate acque industriali superficiali della cartiera Burgo.

Tipologia ed entità degli insediamenti industriali

Nel territorio della Bassa Friulana è localizzata la più importante zona industriale dell'area complessiva (Zona industriale Aussa-Corno). Il Consorzio per lo sviluppo Industriale gestisce dal 1964 l'area compresa fra i fiumi Aussa e Corno, nella zona più vicina al mare della provincia di Udine, area che comprende anche lo scalo di Porto Nogaro, area portuale di piccole dimensioni, la cui attività, però, è in costante sviluppo.

Le aziende sino ad ora insediate rappresentano alcune delle realtà più significative a livello nazionale nel settore siderurgico, metalmeccanico, conciario, chimico ed alimentare.

Nella zona industriale gestita dal Consorzio sono attualmente presenti 50 insediamenti industriali che contano 2500 addetti. Lo scalo di Porto Nogaro ha movimentato, nel 1996, più di 800.000 tonnellate di merci.

L'altro polo produttivo è localizzato nella parte sud-orientale della regione ed è rappresentato dall'area del porto industriale di Trieste. Questa zona comprende una serie d'infrastrutture (Ferriera di Servola, Centrale elettrica di cogenerazione, Wartsila Italia), comprese tra l'area portuale della città di Trieste ed il confine sloveno, che costituiscono un' "area critica" per quanto riguarda la movimentazione di sostanze pericolose e di conseguenza la qualità delle acque marine. In particolare la zona compresa tra la foce del torrente Rosandra (Canale navigabile - Baia di Muggia) ed il rio Ospò, denominata piana di Zaule, è stata (fino agli anni '80) sede di numerose industrie, alcune di notevole importanza per il carico inquinante (Raffineria Aquila, Raffineria Triestina di Olii Minerali).

Con la pubblicazione del decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del 24 febbraio 2003, riguardante la perimetrazione delle "aree da sottoporre ad interventi di caratterizzazione, messa in sicurezza d'emergenza, bonifica, ripristino ambientale e attività di monitoraggio", è stato individuato un sito d'interesse nazionale (SIN). Tale area si sviluppa, a terra, tra lo Scalo Legnami (Porto di Trieste) e la cittadina di Muggia, mentre la parte a mare, comprende la Baia di Muggia e tutto il tratto di mare tra il molo sesto e punta Ronco.

Sull'area, come già accennato, insistono svariate attività produttive di tipo siderurgico, chimico, di deposito e stoccaggio di oli minerali e prodotti petroliferi raffinati, nonché aree dismesse, sede in passato di impianti di smaltimento, di raffinazione e lavorazione di oli lubrificanti. Il principale problema ambientale è rappresentato dall'inquinamento delle aree di ex raffinerie e di depositi di idrocarburi (ex raffineria ESSO ed ex Aquila) per lo più costieri, nonché dalla presenza di una notevole contaminazione dei sedimenti nelle aree portuali.

Tipologia dei porti

Il Porto di Trieste si caratterizza per la presenza di aree "Porto Franco" (speciale normativa doganale che garantisce agli operatori commerciali internazionali condizioni esclusive). Porto classificato come "regional", viene considerato "regional competitive", ovvero dotato di strutture che garantiscono allo scalo una competitività in ambito regionale. È il primo scalo in Italia nella movimentazione di prodotti petroliferi, con un progressivo incremento del traffico container. Amministrato dall'Autorità Portuale, si sviluppa su una superficie di oltre due milioni di metri quadrati, lungo 20 km di costa. Il Porto Franco di Trieste ha 12000 metri di banchine, 47 ormeggi operativi, di cui 11 destinati al traffico container, e fondali fino a 18 metri di profondità.

Il porto di Monfalcone è il centro intermodale che, nel raggio di 25 km, ingloba il porto, l'aeroporto di Ronchi dei Legionari, l'autoporto e la stazione confinaria di Gorizia e lo scalo ferroviario di Cervignano. È classificato come porto di interesse "average", ossia dotato di strutture che rispondono "mediamente" alle esigenze degli operatori. Nell'attuale fase di sviluppo dell'attività del porto, in continua ascesa, vengono manipolate oltre 3 milioni di tonnellate di merce secca di varia natura. Il Porto di Monfalcone vanta il primato in Italia nel settore della manipolazione di prodotti forestali. Lo scalo ha 1500 metri di banchine e 140000 m² di piazzali, con fondali che variano dai 7,5 ai 12,5 metri di profondità.

Tipologia ed entità delle fonti di inquinamento da mare

Il sistema portuale regionale nell'anno 2000 ha dato luogo, tra sbarchi ed imbarchi, a una movimentazione di circa 52.481.000 tonnellate di merci, con un aumento rispetto al volume di traffici avvenuti nel 1999 del 6,9%. A tale aumento hanno contribuito tutti e tre i porti regionali (Trieste, Monfalcone e Porto Nogaro), ma in termini assoluti è significativo l'aumento dei traffici nel porto di Trieste, attraverso il quale passa il

90,7% del flusso marittimo di merci della regione. La maggior quota di merci che transitano attraverso il porto di Trieste è rappresentata da prodotti energetici di cui gli olii minerali sono la componente principale (74,5%), tra questi il petrolio greggio destinato al Terminal SIOT, il più importante del Mediterraneo, costituisce il 72,5%. Il restante traffico commerciale è costituito da altre tipologie merceologiche: carboni, legnami, minerali, cereali e semi oleosi; significativa è la specializzazione nel settore del caffè, con appositi terminali attrezzati. Il traffico containers è dell'ordine di 200000 T.E.U. l'anno, quello dei camion su navi RO-RO/ferry di circa 190000 unità, mentre il traffico passeggeri supera le 200000 persone imbarcate e sbarcate (Autorità portuale del Porto di Trieste).

Tipologia ed entità dei carichi zootecnici

Altre fonti di immissione a mare sono dovute agli allevamenti zootecnici intensivi di notevole dimensioni che sono collocati nell'area tra i fiumi Stella e Cormor, sull'area dello Zellina ed infine su tutta l'area a Sud dell'abitato di Torviscosa. I percolati delle stalle e dei depositi di letame giungono in laguna attraverso il sistema di idrovore. Secondo i dati ISTAT del 5° censimento generale dell'agricoltura (ottobre 2000), nelle quattro province della regione (Pordenone, Udine, Gorizia e Trieste) gli allevamenti maggiori sono a carico delle specie avicole (Udine e Pordenone), seguiti da quelle bovine (Udine e Pordenone) e suine (Udine).

Tipologia ed entità degli allevamenti ittici

Per quanto attiene la produzione ittica, in Friuli Venezia Giulia esistono 120 aziende di cui 50 di acqua dolce e 70 di acqua salata.

In acque interne, un fenomeno molto particolare come quello delle risorgive, ha permesso di ottenere allevamenti di trote nella zona collinare di S. Daniele del Friuli, con caratteristiche del tutto simili a quelle dei torrenti di alta montagna.

La vallicoltura è diffusa fin dai tempi antichi nell'Alto Adriatico. Le zone lagunari di Grado e Marano hanno sviluppato, fin dai primi insediamenti di pescatori in questa zona, il metodo delle valli da pesca come organizzazione produttiva dell'ecosistema lagunare. In laguna di Marano sono presenti 17 valli da pesca per 320 ha di superficie, in laguna di Grado 38 per un totale di 1410 ha. Vengono allevate specie ittiche quali: orate, branzini, cefali ed anguille. A S. Dorligo, un comune in provincia di Trieste, opera un impianto di allevamento di salmonidi, che utilizza le acque del Rosandra.

1.3.2.2 Osservazioni su nutrienti, azoto e fosforo totali (campagna SNAM di rilevamenti 04/2006 - 03/2007)

Gli elementi che funzionalmente sono coinvolti nei processi biochimici degli organismi viventi sono chiamati essenziali e nella chimica oceanografica è d'uso comune indicare l'azoto, il fosforo e la silice come elementi nutrienti o più semplicemente nutrienti.

Queste sostanze possono trovarsi nell'ambiente acquatico nella forma disciolta (convenzionalmente si indica come disciolto un composto che passi attraverso una membrana filtrante con porosità pari a 0,45 μ m) o in quella solida sospesa nella colonna d'acqua, sotto forma di composti organici e inorganici. In considerazione del fatto che i produttori primari possano assorbire solamente (a parte poche eccezioni) le forme inorganiche dell'azoto, del fosforo e della silice, restringe il termine "nutrienti" all'azoto ammoniacale (NH_4^+), a quello nitrico e nitroso (NO_3^- , NO_2^-), all'ortofosfato ($\text{HPO}_4 =$, chiamato anche fosforo reattivo) e all'acido silicico ($\text{Si}(\text{OH})_4$) presenti in forma disciolta nella colonna d'acqua.

I nutrienti inorganici sono sostanze fondamentali per la crescita dei produttori primari negli ambienti acquatici; sono sostanzialmente di origine autoctona e originati attraverso la mineralizzazione batterica della materia organica disciolta (DOM) e particellata (POM).

Nelle zone costiere antropizzate i nutrienti possono, inoltre, derivare da sorgenti puntuali, quali ad esempio gli scarichi delle acque reflue urbane ed industriali, e da quelle diffuse, riconducibili al dilavamento dei terreni agricoli trattati con un eccesso di fertilizzanti e dalle precipitazioni atmosferiche (Paerl et al., 1999).

L'apporto d'acque ricche di sostanze nutritive provenienti dai fiumi e da altre fonti puntuali/diffuse può stimolare, nelle acque marine delle zone costiere, ad un abnorme accrescimento fitoplanctonico (bloom). In queste condizioni le cellule fitoplanctoniche senescenti depositandosi negli strati più profondi della colonna d'acqua inducono ad un aumento dell'attività di mineralizzazione batterica ed al relativo consumo di ossigeno necessario per sostenere il processo metabolico. Se la stratificazione termoclinale è molto accentuata, come generalmente avviene nei mesi estivi/autunnali, si possono verificare fenomeni di anossia al fondo che, se si protraggono per lunghi periodi di tempo, portano alla morte della popolazione eterotrofa bentonica, come avvenne in un'area circoscritta del Golfo di Trieste nel settembre 1990 (Orel et al., 1993).

La ricerca, al fine di trovare il nutriente limitante la crescita dei produttori primari negli ambienti marini, ha perciò avuto una notevole attenzione, poiché l'incremento di

un nutriente limitante può portare all'eutrofizzazione e al deterioramento della qualità delle acque (Holmboe et al., 1999). Esiste da oltre venticinque anni un acceso dibattito su quale nutriente, soprattutto tra il fosforo e l'azoto, è limitante la produzione primaria negli oceani e nei mari (Tyrrell, 1999).

I cicli biogeochimici marini sono molto complessi e non è possibile determinare con certezza quale nutriente sia limitante alla crescita fitoplanctonica, basandosi unicamente sulle concentrazioni trovate nei campioni d'acqua. Ad esempio, molte specie fitoplanctoniche sono capaci di immagazzinare le sostanze nutritive in periodi d'abbondanza e perciò continuare a proliferare in periodi di carenza (Andersen et al., 1991). La velocità del ciclo è anche importante, come è stato dimostrato per quello del fosforo; Benitez-Nelson e Buesseler (1999) hanno messo in evidenza che il tasso di turnover del fosforo disciolto e particellato è molto veloce e varia su scala stagionale, il che suggerisce che basse concentrazioni di fosforo possono sostenere una produzione primaria relativamente alta.

Sistemi marini come quello del Golfo di Trieste sono molto complessi da interpretare in quanto, sebbene regolati dai principi classici descritti dall'oceanografia chimica e biologica, sono fortemente influenzati da tutta una serie di fattori esterni all'ambiente marino quali, ad esempio, gli apporti continentali di acque dolci (Malej et al., 1995) e i venti intensi che agendo sinergicamente con il basso fondale del Golfo, inducono il mescolamento tra le acque superficiali e quelle profonde. Questa situazione determina un'elevata eterogenicità in quanto causa la formazione di strutture spazio-temporali complesse, che si manifestano con gradienti ed andamenti articolati delle concentrazioni dei diversi analiti (Seuront e Lagadeuc, 1997).

I valori della concentrazione dei nutrienti relativi alle acque marine costiere della regione, rilevati da aprile 2006 a marzo 2007 da SNAM, sono riassunti nella tabella 1.13.

La normativa vigente riguardante la tutela delle acque dall'inquinamento, D.Lgs. 152/2006, ha rimosso l'indice trofico TRIX quale indicatore di qualità delle acque marino costiere. SNAM, allo scopo di confrontare i dati pregressi, ha ritenuto opportuno continuare a calcolare tale indice.

N=618	N _{TOT} μmol L ⁻¹	N-NH ₄ μmol L ⁻¹	N-NO ₂ μmol L ⁻¹	N-NO ₃ μmol L ⁻¹	P _{TOT} μmol L ⁻¹	P-PO ₄ μmol L ⁻¹	Si-Si(OH) ₄ μmol L ⁻¹
MIN	1,39	<LOD	<LOD	<LOD	0,10	<LOD	0,04
MAX	105,46	6,12	1,16	68,67	1,18	0,73	47,34
Media	18,05	1,28	0,27	9,79	0,53	0,07	6,13
Mediana	15,42	1,13	0,20	6,05	0,53	0,04	4,72
MAD	11,71	0,65	0,21	8,08	0,27	0,04	4,03

Tab.1.9 - Tabella riassuntiva delle concentrazioni dei nutrienti dell'area costiera regionale e relativa a 12 mesi di monitoraggio (aprile 2006-marzo 2007)
(LOD, limite di rilevabilità)

I valori mediani dei nutrienti e della salinità, rilevati in dodici mesi di campionamento (aprile 2006-marzo 2007), sono stati analizzati statisticamente per evidenziare eventuali raggruppamenti. Il risultato ottenuto ha permesso di suddividere le acque marino costiere della Regione in tre sottobacini:

- sottobacino I, caratteristico del Golfo di Trieste
- sottobacino II, Baia di Panzano
- sottobacino III, fascia di mare compresa tra P.ta Sdobba ed il fiume Tagliamento.

	N _{TOT} μmol L ⁻¹	N-NH ₄ μmol L ⁻¹	N-NO ₂ μmol L ⁻¹	N-NO ₃ μmol L ⁻¹	P _{TOT} μmol L ⁻¹	P-PO ₄ μmol L ⁻¹	Si-Si(OH) ₄ μmol L ⁻¹
N=168 Sottobacino I							
MIN	2,07	<LOD	<LOD	<LOD	0,13	<LOD	0,04
MAX	42,50	4,24	1,16	13,54	1,18	0,73	7,28
Media	9,09	1,09	0,22	1,79	0,52	0,07	2,44
Mediana	7,52	0,95	0,10	1,09	0,53	0,04	2,28
MAD	3,89	0,64	0,14	1,63	0,27	0,04	1,66
N=72 Sottobacino II							
MIN	3,29	<LOD	0,03	<LOD	0,13	<LOD	0,94
MAX	73,48	5,12	0,62	68,67	1,07	0,43	47,34
Media	24,63	1,56	0,23	16,86	0,54	0,11	11,22
Mediana	23,53	1,47	0,21	12,35	0,50	0,08	9,80
MAD	17,76	0,95	0,13	14,54	0,34	0,10	8,23
N=382 Sottobacino III							
MIN	1,39	0,01	<LOD	<LOD	0,10	<LOD	0,20
MAX	105,46	6,12	1,03	61,94	1,18	0,47	44,01
Media	20,71	1,31	0,30	11,98	0,53	0,06	6,80
Mediana	18,85	1,17	0,25	9,65	0,53	0,03	5,79
MAD	9,80	0,65	0,22	9,30	0,27	0,04	4,12

Tab.1.10 - Tabella riassuntiva della concentrazione dei nutrienti nei tre sottobacini individuati nell'area costiera Regionale e relativa a dodici mesi di monitoraggio (aprile 2006-marzo 2007)

Nel caso di elevate precipitazioni nel bacino imbrifero del fiume Isonzo le acque dolci e di conseguenza il relativo carico di sostanze nutrienti, possono interessare anche la zona più orientale del Golfo di Trieste fino a lambire le coste della Repubblica Slovena e di quella Croata.

Dalla fotografia satellitare riportata in Fig.1.37 risulta evidente che nel caso di “plume” consistenti le acque dolci isontine, evidenziate nell’immagine da un colore più chiaro dovuto al materiale solido trasportato dal fiume, riescano ad interessare tutto il golfo di Trieste (Fig.1.38).



Fig. 1.37 - Immagine satellitare MODIS-AQUA relativa ad un evento di plume del fiume Isonzo, marzo 2001 (Gruppo Oceanografia da satellite, ISAC)



Fig. 1.38 - Forte evento di “plume”

Le acque isontine, più chiare per il carico solido particellato, raggiungono la zona portuale della città di Trieste (foto ed elaborazione di Andrea Bussani).

Nella Fig.1.39 sono illustrati gli andamenti dell'indice TRIX calcolati da SNAM a seguito dei rilevamenti di aprile 2006-marzo 2007. Nel sottobacino I è presente la migliore "qualità trofica", secondo la vecchia normativa (D.Lgs. 152/99), nei termini della concentrazione dei nutrienti (DIN e fosforo totale) dei processi di fotosintesi e mineralizzazione batterica (percentuale di saturazione dell'ossigeno) e di biomassa dei produttori primari (clorofilla "a"). Il sottobacino II, pur mantenendo una percentuale elevata di condizioni elevate/buone, in tre occasioni (maggio, giugno e luglio) è risultato in una situazione di mediocrità; nel caso del sottobacino III questa condizione si è manifestata solamente nel febbraio 2007, mentre negli altri undici mesi la qualità delle acque sono risultate elevate/buone.

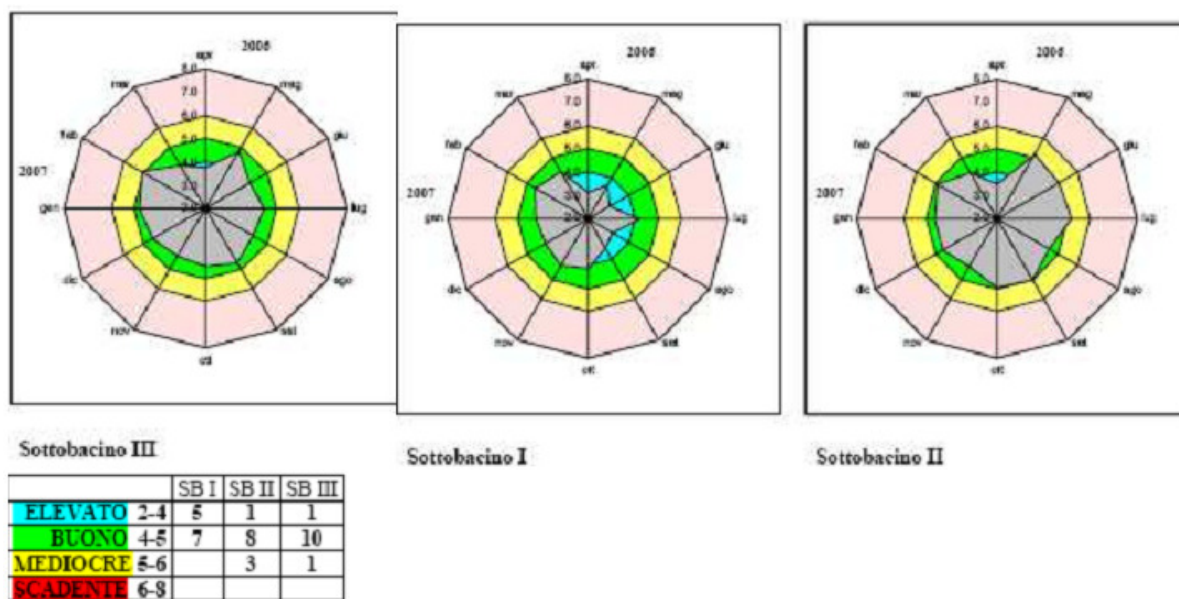


Fig.1.39 - Indice TRIX dei sottobacini regionali. Nella tabella sono indicati il numero di eventi – anno (SB: SottoBacino) – Fonte SNAM

Il valore dell'indice TRIX per la valutazione dello stato ambientale (superato dall'entrata in vigore del D.Lgs. 152/2006) è stato calcolato secondo la formula:

$$\{ \text{Log} [\text{Chl a} \times \text{IOD\%} \times \text{N} \times \text{P}] - [-1,5] \} / 1,2$$

in cui sono considerati i dati della percentuale di ossigeno disciolto (O.D.%), della clorofilla "a" (Chl a), del fosforo totale (P) e del DIN azoto minerale disciolto (somma di azoto ammoniacale, nitroso e nitrico) (N).

1.3.2.3 Il monitoraggio istituzionale sulla qualità delle acque marino-costiere e di transizione

Le risorse idriche sono soggette a molteplici e diversificate pressioni derivanti dalla massiccia antropizzazione del territorio, dalle dimensioni del sistema produttivo comprendente i servizi, la piccola e media industria, la grande industria e il settore agricolo e zootecnico.

Le aree fortemente antropizzate costituiscono un nodo critico per l'elevata domanda di acqua per usi civili, industriali, ricreativi e per la produzione di altrettanti volumi di reflui da sottoporre a trattamenti depurativi. I sistemi di collettamento e di depurazione, in alcuni casi, risultano inadeguati e non sufficientemente idonei (potenzialità, livelli di trattamento, assenza di vasche di prima pioggia) ad abbattere il carico inquinante dei volumi di acque reflue e industriali prodotti dagli agglomerati. Si aggiungono, inoltre, la difficoltà del controllo degli scarichi puntuali nel settore industriale e la scarsa sensibilità verso tali problematiche da parte degli operatori dei vari settori produttivi.

La Direttiva comunitaria 91/271/CEE, concernente il trattamento delle acque reflue urbane, ha fissato il 31/12/2005 quale data ultima per l'adeguamento tecnologico dei depuratori delle acque reflue urbane e delle reti fognarie a servizio di agglomerati con oltre 2.000 abitanti equivalenti (a.e.). Da tale data le infrastrutture depurative e fognarie devono essere conformi agli standard previsti dalla normativa.

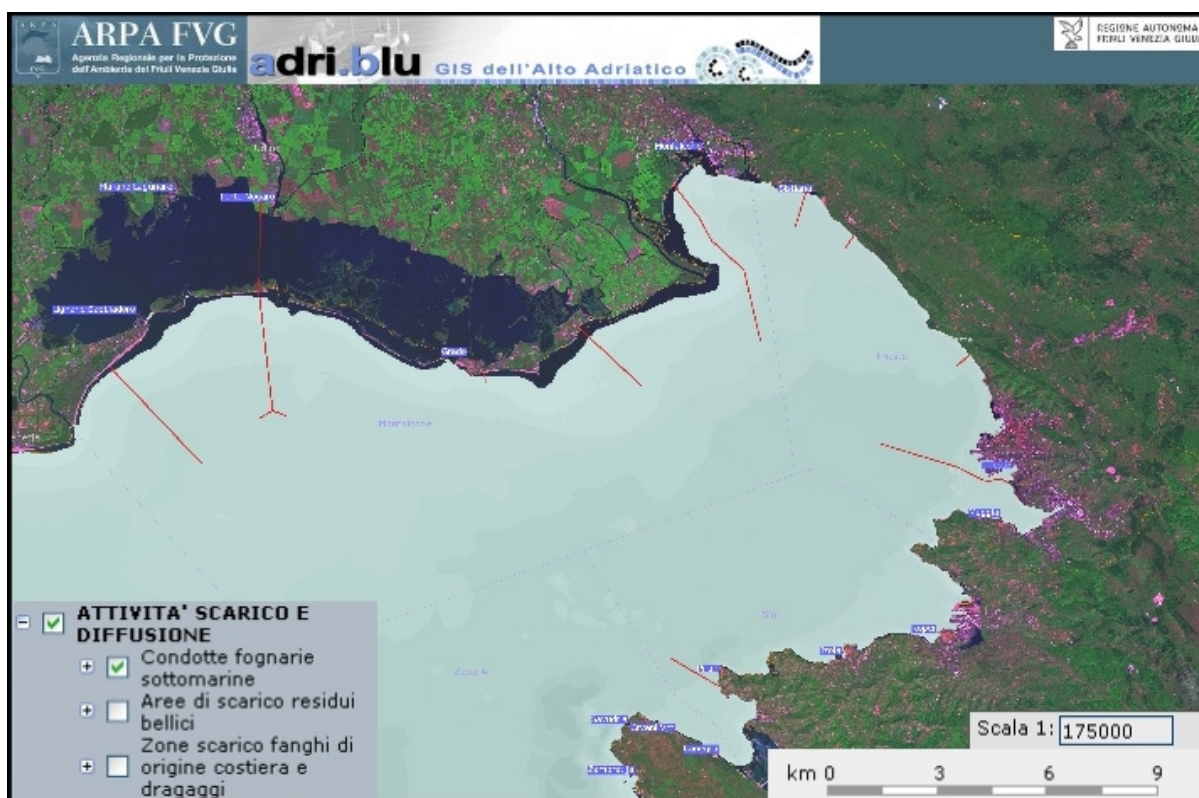


Fig 1.40 – Localizzazione delle condotte fognarie sottomarine nell'area di studio
Fonte: Web GIS "AdriBlu" - ARPA FVG

Allo stato attuale l'area urbana di Trieste-Muggia e San Dorligo-Dolina, così come pure i Comuni di Monfalcone e Cervignano sono sotto procedura d'infrazione UE per per la mancata ottemperanza, nonostante la prima lettera di diffida del 2004, alla direttive europee: «Le acque reflue urbane non trattate costituiscono sia un pericolo per la sanità pubblica che la principale causa di inquinamento delle acque costiere e interne», è il commento - riportato dalla stampa locale - di Janez Potočnik, commissario europeo per l'ambiente. «Non è accettabile che più di otto anni dopo il termine stabilito l'Italia e la Spagna non si siano ancora conformate a questa importante normativa. La Commissione non ha altra scelta se non portare i due casi di fronte alla Corte di giustizia dell'Unione europea».

Nel dettaglio, la Procedura in questione è la 2004/2034 "Trattamento delle acque reflue urbane": dopo la lettera di messa in mora del 9 luglio 2004, la Commissione europea, in data 17 ottobre 2007, ha inviato una lettera di messa in mora complementare segnalando che alcuni agglomerati presenti nella nostra Regione non hanno un impianto di trattamento delle acque reflue urbane conforme alle previsioni

della direttiva 91/271/CEE. In particolare, si segnala che rispetto agli agglomerati già segnalati nella precedente messa in mora, un agglomerato sito a S. Dorligo non è conforme e per uno sito a Monfalcone non sono state rese informazioni chiare, mentre per un agglomerato sito a Cervignano del Friuli non è stata data alcuna informazione; tra gli agglomerati non segnalati in precedenza, non sono state rese informazioni chiare su di un agglomerato sito a S. Giorgio di Nogaro. Il termine di risposta scadeva al 24 dicembre 2007.

Sono state inviate al Ministero per le Politiche comunitarie le informazioni richieste. La regione è di fatto inadempiente e si impegna ad ottemperare indicando dei termini. Con parere motivato del 19 febbraio 2009, la Commissione europea ha segnalato che, nonostante le informazioni inviate dalla Repubblica italiana, alcuni agglomerati non risultano tuttora soddisfare i requisiti di cui agli articoli 3 e 4 della direttiva 91/271/CEE. In particolare, per la nostra Regione il parere motivato segnala 3 agglomerati non conformi: Cervignano del Friuli, Monfalcone e S. Dorligo. Il Servizio infrastrutture civili e tutela acque da inquinamento ha inviato al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare con nota prot. ALP9-37587/E/28/152 e con e-mail del 6 marzo 2008 le informazioni richieste. L'ultimo aggiornamento del Ministero dell'Ambiente è stato inviato il 24 aprile 2009 da Italrap (la Rappresentanza permanente dell'Italia presso l'Unione Europea) alla Commissione.

Il sistema Wise - Water Information System for Europe

WISE è il sistema interattivo su web volto ad informare i cittadini europei sulla qualità dell'acqua e sulle politiche dell'Unione Europea in materia di risorse idriche. E' stato realizzato congiuntamente dalla Commissione Europea e dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) e presentato in occasione della Giornata Mondiale dell'Acqua del 2007.

Questo sistema offre ai cittadini la possibilità di monitorare la qualità dell'acqua nella loro zona. Selezionando la regione ed il bacino idrografico, si può visualizzare la qualità dell'acqua potabile, la qualità delle acque di balneazione ed il trattamento delle acque reflue. Gli esperti possono anche trovare ulteriori dati e analisi di dettaglio sui bacini fluviali europei.

I temi e la sezione dati di WISE (curata dalla EEA) forniscono informazioni sull'inquinamento delle acque di fiumi, laghi e mari europei. Ulteriori sezioni presentano articoli mensili sui temi dell'acqua, come l'inquinamento da nitrati dei fiumi.

Il sistema offre l'accesso pubblico ai dati sull'acqua e informazioni fornite dagli stati membri all'EEA e alla Commissione Europea.

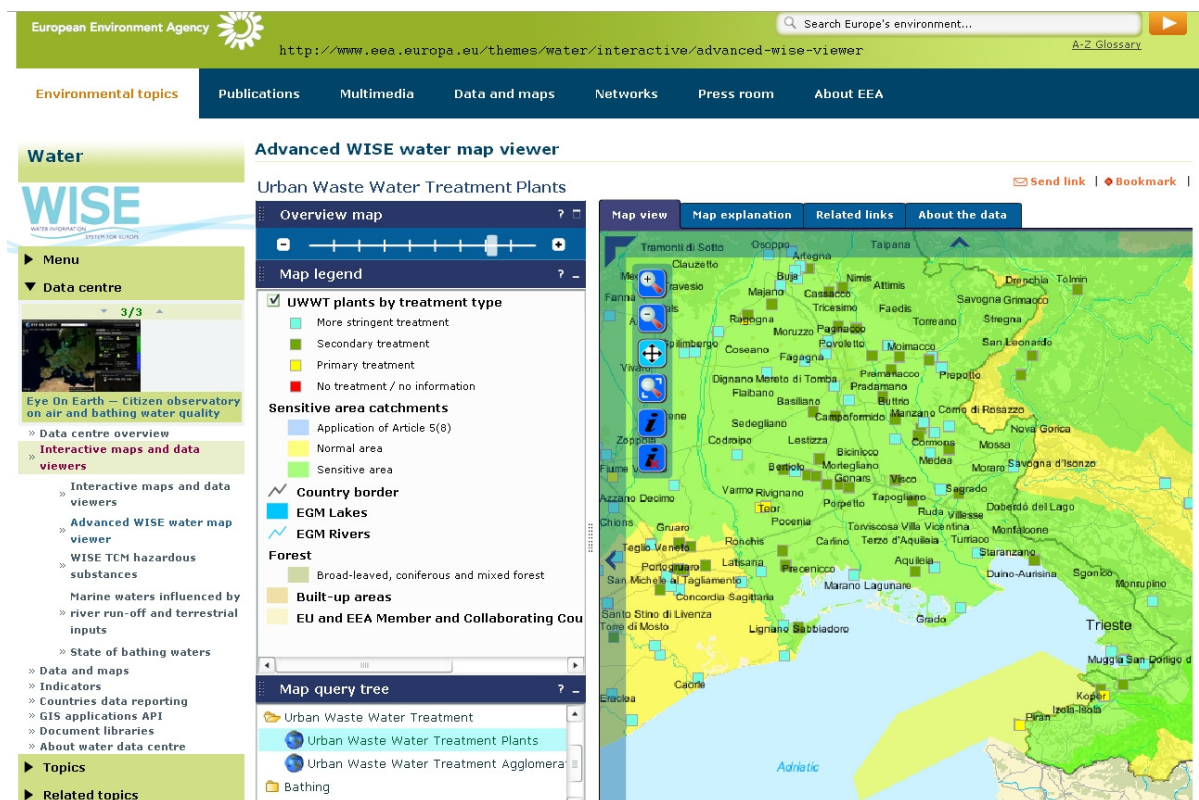


Fig 1.41 – Finestra di interrogazione del sistema WISE

Le informazioni attualmente disponibili (aggiornamento: 23 giugno 2010) sul funzionamento dei depuratori costieri operanti nell'area di studio sono le seguenti:

Identificativo impianto	Località	Periodo di riferimento	Abitanti equivalenti	Trattamento	BOD 5	COD	Azoto (N) totale	Fosforo (P) totale
IT050000000000180	Caorle - Palangon	31/12/05	120.000	N removal	pass	pass	not relevant	not relevant
IT050000000000209	San Michele al Tagliamento	31/12/05	150.000	N and P removal	pass	pass	not relevant	not relevant
IT060000000000043	Latisana - Bevazzana	31/12/05	5.000	N and P removal	pass	pass	not relevant	not relevant
IT060000000000044	Lignano Sabbiadoro	31/12/05	180000	Secondary	pass	pass	fail	fail
IT060000000000098	Consorzio Laguna	31/12/05	698.000	N and P removal	pass	pass	pass	pass
IT060000000000054	Grado	31/12/05	80.000	Other more stringent treatment than N and/or P removal	fail	fail	fail	fail
IT060000000000063	Depuratore di Staranzano	31/12/05	625.000	Other more stringent treatment than N and/or P removal	pass	pass	pass	pass
IT060000000000063	Duino Aurisina – Sistiana mare	31/12/05	7.500	Secondary	pass	pass	not relevant	not relevant
IT060000000000008	Trieste Servola	31/12/05	220.000	Other more stringent treatment than N and/or P removal	fail	fail	fail	fail
IT060000000000072	Trieste Zaule	31/12/05	66.700	More stringent treatment - N removal	pass	pass	pass	fail
SI_KCN_00025	Koper	31/12/06	50.000	Primary	fail	fail	pass	pass
SI_KCN_00068	Piran	31/12/06	30.000	Primary	fail	fail	fail	fail

Tab. 1.11 – Funzionamento dei depuratori costieri nell'area oggetto di studio

Fonte:

Portale web dell'EEA – Agenzia Europea per l'Ambiente

pagina "Urban Waste Water Treatment Plants"

<http://www.eea.europa.eu/themes/water/interactive/uwwt-plants>

Il monitoraggio attivato dall'ISPRA

Le acque costiere rappresentano l'interfaccia principale tra i fattori di pressione localizzati sulla costa, o nell'immediato entroterra, e le acque pelagiche verso le quali, prima i fiumi e poi le correnti marine ne veicolano e diffondono gli effetti. Inoltre, proprio in questa ristretta fascia di mare si sviluppano i più complessi ecosistemi marini (praterie di Posidonia, coralligeno, ecc.), vi hanno luogo fondamentali fasi dei processi che regolano la vita negli oceani (zone di riproduzione, risalita di acque profonde, ecc.) e, in definitiva, si ha il maggior livello di biodiversità e di ricchezza ambientale: tutto ciò rende queste acque particolarmente importanti e sensibili ai cambiamenti. A dicembre del 2000 è entrata in vigore, a livello europeo, la nuova Direttiva Quadro sulle Acque (Direttiva 2000/60/CE), una legislazione innovativa nella politica comunitaria sulle acque che affronta i problemi della salvaguardia e tutela delle acque, considerando gli ambienti acquatici nella loro complessità e definendo degli obiettivi di qualità ambientale da raggiungere per tutti i corpi idrici. L'Italia ha recepito tale direttiva (D.Lgs. 152/2006) con l'obiettivo di raggiungere uno stato di qualità buono per tutti i corpi idrici entro il 2015.

Con riferimento al D.Lgs. 152/99, per le acque marino – costiere, l'unico indicatore di stato era l'Indice di Stato Trofico (TRIX). Tale indicatore presentava comunque qualche limite, in quanto era significativo solo per i fenomeni di eutrofizzazione e non esaustivo della complessità ecosistemica. Con l'abrogazione del D.Lgs. 152/99, per il recepimento della Direttiva europea sulle acque, i criteri di classificazione non si basano più sui valori dell'indice TRIX ma sugli elementi biologici di qualità (fitoplancton, macroalghe, macroinvertebrati bentonici e angiosperme) supportati dagli elementi chimico fisici e idromorfologici.

Nuovi indicatori di qualità delle acque marino - costiere potranno essere definiti quando i dati sugli elementi biologici di qualità ne permetteranno il popolamento. Il programma di monitoraggio nazionale per le acque marino – costiere (finanziato ai

sensi della L 979/1982) che tiene conto di tali elementi, come previsto anche nella Direttiva 2000/60CE, è iniziato nel 2008.

Conseguentemente, attualmente è stato possibile popolare solo l'indicatore Acque idonee alla vita dei molluschi che individua aree marine e salmastre per le quali deve essere eseguito il monitoraggio per un gruppo selezionato di parametri chimici e fisici, la cui accertata non conformità richiede l'implementazione di attività di protezione e miglioramento.

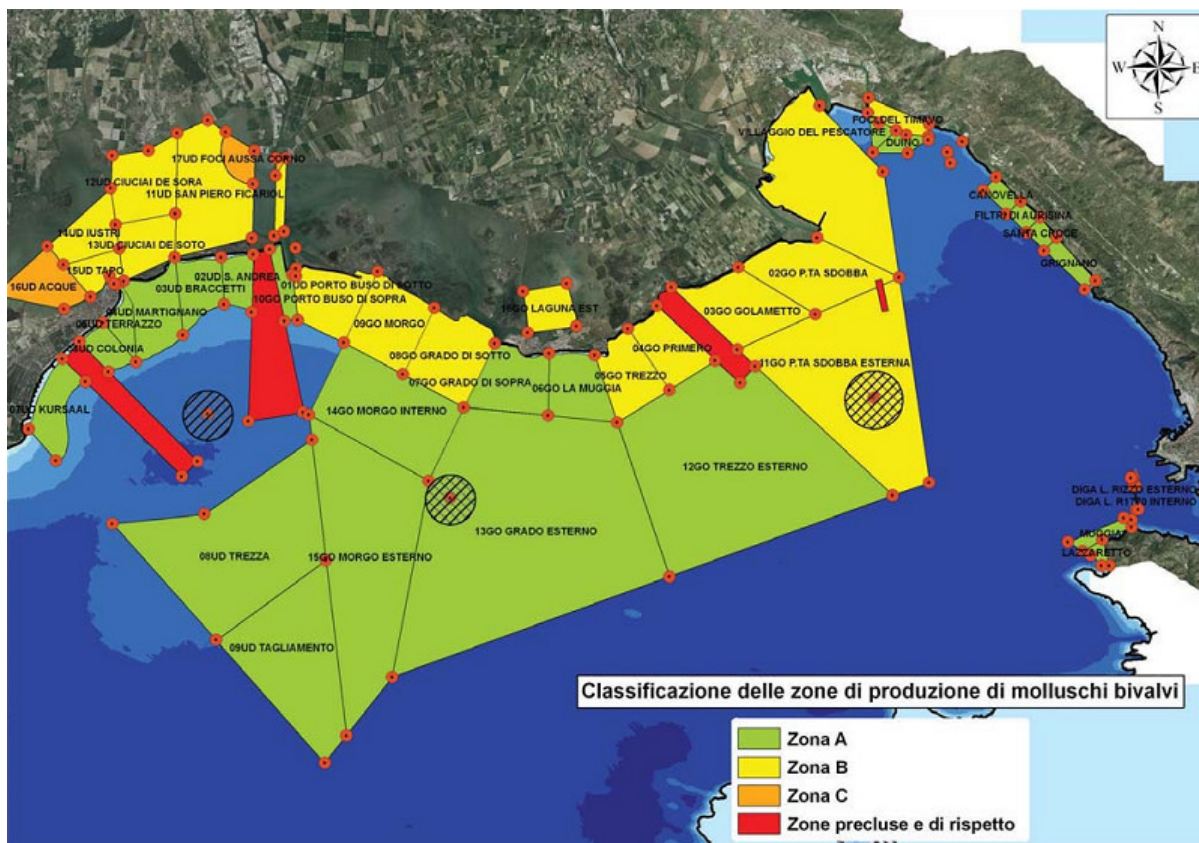


Figura 1.42 - Classificazione della qualità delle acque in cui si effettua la raccolta di molluschi e gasteropodi
ARPA FVG - Rapporto sullo Stato dell'Ambiente (2005)

Per il tema Inquinamento delle risorse idriche, gli indicatori presi in considerazione da ISPRA sono:

- Medie dei nutrienti in chiusura di bacino, che stima il carico inquinante convogliato ai laghi e a mare dai principali corsi d'acqua;
- Depuratori: conformità dei sistemi di fognatura delle acque reflue urbane;
- Depuratori: conformità dei sistemi di depurazione delle acque reflue urbane;
- Programmi misure balneazione.

Nella tabella 1.12 sono riportati per gli indicatori la finalità, la classificazione nel modello DPSIR e i principali riferimenti normativi.

Nome Indicatore	Finalità	DPSIR	Riferimenti Normativi
Indice di qualità batteriologica ^b	Valutare il grado di contaminazione delle acque marine di balneazione determinato da scarichi urbani, civili e agrozootecnici, che alterano in tutto o in parte le caratteristiche naturali	S	-
Balneabilità ^b	Valutare l'impatto dei fattori di contaminazione sulla fruizione delle acque costiere ai fini della balneazione	I	Direttiva 1976/160/CE DPR 470/82 e s.m.i.
Acque idonee alla vita dei molluschi	Verificare lo stato di qualità delle acque destinate alla vita dei molluschi	S	Direttiva 1979/923/CEE D.Lgs. 152/99 e s.m.i., abrogato dal D.Lgs. 152/06; DM 18 settembre 2002, n. 198

^b L'indicatore è in corso di ridefinizione. La relativa scheda indicatore, pertanto, non è riportata nella presente edizione.

Tabella 1.12 - Quadro delle caratteristiche degli indicatori (edizione 2009)
Qualità delle acque marino costiere e di transizione

Fonte:

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2010)

Annuario dei dati ambientali, edizione 2009

<http://annuario.apat.it/>

Per le acque di balneazione, dal 1999 l'ARPA regionale esegue sulle acque costiere i controlli per la verifica dell'idoneità alla balneazione, previsti dalla precedente normativa in materia fino al 2009 e dalla nuova normativa vigente in materia a decorrere dall'anno 2010. Il 24 marzo 2006 è entrata in vigore la Direttiva 2006/7/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 15 febbraio 2006, relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione e che abroga la Direttiva 76/160/CEE. Tale nuova Direttiva è stata recepita dall'Italia con D.Lgs 30 maggio 2008 n. 116 e resa applicabile dalla emanazione del successivo Decreto Ministeriale Salute Ambiente del 30 marzo 2010.

Le novità più significative rispetto alla normativa precedente (D.P.R. 470/82 e s.m.i.) sono:

- Valutazione di solo 2 parametri batteriologici: Escherichia coli ed Enterococchi intestinali (più specifici come indicatori di contaminazione fecale)

- Frequenza dei controlli 1 volta la mese da aprile a settembre, secondo un prestabilito calendario
- Giudizio di qualità basato su nuovo calcolo statistico (Valutazione del 95° percentile (o 90° percentile) della normale funzione di densità di probabilità (PDF) log 10 dei dati microbiologici)
- Classificazione delle acque sulla base dei dati delle ultime 3-4 stagioni balneari
- Analisi integrata d'area: predisposizione profili delle acque (entro 24 marzo 2011)
- Revisione rete di monitoraggio (con possibile accorpamento di punti contigui aventi caratteristiche simili).

Più in dettaglio:

- il Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 116 (recante "Attuazione della Direttiva 2006/7/CE relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione e abrogazione della Direttiva 76/160/CEE") prevede tra l'altro che, a partire dal 5 luglio 2008, non si valutano i parametri "pH", "colorazione" e "trasparenza" (oltre che il parametro "ossigeno disciolto" già regolamentato con il Decreto Legislativo n. 94 del 2007) di cui al DPR n. 470/82 ai fini del giudizio di idoneità delle acque di balneazione, a condizione che si adottino adeguate misure di gestione tra cui la prosecuzione delle attività di controllo algale per determinare i potenziali rischi per la salute umana e l'informazione al pubblico
- il Decreto Ministeriale Sanità e Ambiente 30 marzo 2010 (decreto di attuazione del D.Lgs. 116/2008) definisce i criteri per determinare il divieto di balneazione durante la stagione, detta disposizioni in materia di controlli dei fenomeni di proliferazione cianobatterica o di macroalghe, fitoplancton o fitobenthos marino, nonché sulle modalità di trasmissione delle informazioni, al Ministero della Salute, sui profili delle acque di balneazione ed altre informazioni inerenti il tema.

Il D.Lgs. 116/2008 e relativo Decreto Attuativo, prevedono siano effettuate su ogni punto di prelievo rilevazioni **di parametri ambientali** (temperatura aria, temperatura acqua, vento corrente, onde, ecc.), **ispezioni di natura visiva** (residui bituminosi, vetro, plastica, gomme, altri rifiuti) e prelievi di **campioni** di acqua per l'**analisi batteriologica in laboratorio** (*Escherichia coli* ed Enterococchi intestinali).

I parametri d'indagine delle acque di balneazione e relativi valori limite di legge, per la valutazione dell'idoneità durante il periodo di campionamento, sono riportati in tabella 1.13.

Parametri	Corpo idrico	Valori limite
Enterococchi intestinali	Acque marine	200 n*/100 ml
	Acque interne	500 n*/100 ml
Escherichia coli	Acque marine	500 n*/100 ml
	Acque interne	1000 n*/100 ml

(*) n = UFC o MPN

Tab. 1.13 - Acque di balneazione: parametri e valori limite

Su ogni punto di balneazione durante il periodo di campionamento sono previsti dei **controlli** con una **frequenza mensile** (controlli "ordinari") per tutti i punti in esame ad eccezione di quelli classificati come non idonei ex art. 7 del D.P.R. 470/1982 per i quali è prevista una frequenza dei controlli quindicinale. In caso di esito sfavorevole di una analisi è prevista la chiusura del sito di balneazione e la successiva effettuazione di campioni "aggiuntivi" fino al riscontro di un esito di analisi favorevole che permette la riapertura del sito.

I dati analitici ottenuti nell'ambito di tale programma sono mensilmente inviati al Portale Acque del Ministero della Salute. Al termine della stagione balneare si redige un rapporto sui risultati dell'attività di monitoraggio svolta dai competenti Uffici in applicazione della vigente normativa di settore.

L'ARPA FVG mette a disposizione in tempo reale i dati sulla balneabilità, comprese le serie storiche, alla pagina web:

<http://www.arpa.fvg.it/index.php?id=246>

I risultati del monitoraggio disponibili in rete vengono di seguito evidenziati per quanto attiene all'area oggetto di studio :

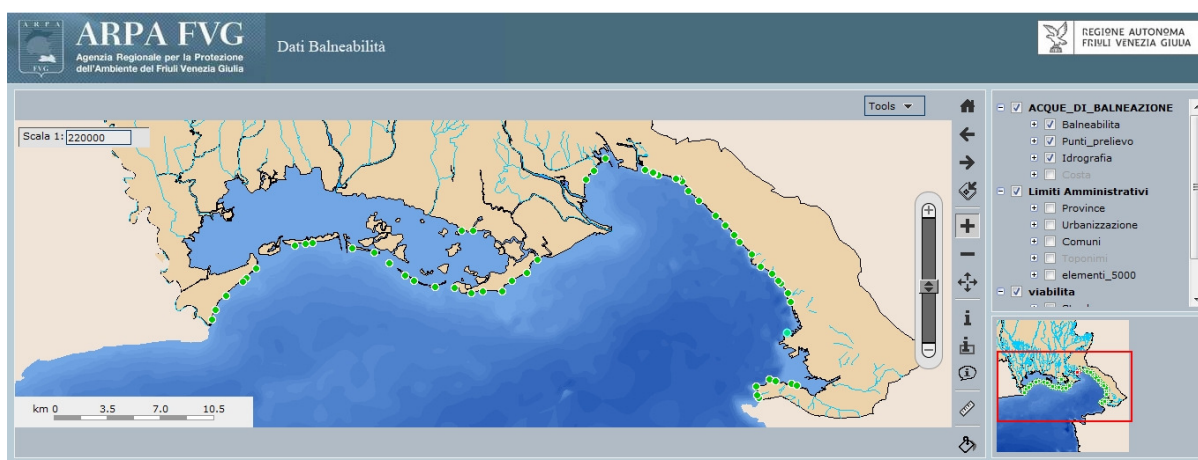


Figura 1.43 – Idoneità alla balneazione - Restituzione grafica degli esiti dei controlli per il territorio regionale - Fonte: ARPA FVG



Figura 1.44 – Idoneità alla balneazione - Restituzione grafica degli esiti dei controlli per il territorio comunitario - Fonte: EEA – portale WISE

Lo sviluppo del monitoraggio ambientale: prima applicazione della Direttiva 2000/60/CE alle acque superficiali

La legislazione comunitaria di riferimento che disciplina lo stato di qualità ecologico e chimico delle acque è la Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), entrata in vigore il 22 dicembre 2000 e recepita dall'Italia con il D.Lgs. 152/2006. Detta direttiva pone le basi per una maggiore cooperazione tra gli Stati membri dell'Unione Europea rispetto alla tutela degli ambienti acquatici e introduce il concetto di "qualità ambientale", stabilendo che gli stessi debbano raggiungere il migliore "stato ecologico" e "stato chimico" possibile o, comunque, pervenire al conseguimento di un

“buono stato” delle acque superficiali e sotterranee entro 15 anni dall’entrata in vigore della direttiva stessa, ovvero entro il 2015.

L’attuazione della direttiva sulle acque è coordinata a livello nazionale dal Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare, con la collaborazione dell’ISPRA, e la partecipazione delle Autorità di Bacino, delle regioni, delle ARPA/APPA e di altri istituti di ricerca.

L’applicazione della direttiva si esplica attraverso quattro tappe principali relative ai seguenti aspetti:

1. Tipologia: gli Stati membri devono identificare dei tratti distinti e significativi di corpi idrici, sulla base delle caratteristiche idromorfologiche e fisico-chimiche degli stessi.
2. Condizioni di riferimento: per ciascuna tipologia, gli Stati membri devono stabilire un insieme di condizioni di riferimento che riflettano, quanto più possibile, condizioni naturali indisturbate, ovvero di impatto antropico nullo o trascurabile riferite a degli Elementi di Qualità Biologica (EQB), idromorfologica, chimica e chimico-fisica.
3. Reti di monitoraggio: ciascuno Stato membro dovrà mettere a punto delle reti di monitoraggio al fine di: classificare i corpi idrici in una delle 5 classi di stato ecologico; evidenziare eventuali cambiamenti nello stato ecologico di bacini idrici definiti “a rischio”. I programmi di monitoraggio dovranno rispondere all’esigenza di evidenziare la risposta dell’EQB agli eventuali impatti cui esso è sottoposto, distinguendo la variabilità spaziale/temporale, relativa ai valori di background naturale, dalla variabilità legata agli effetti delle pressioni antropiche sul sistema.
4. Sistema di classificazione: le condizioni riportate per ciascun EQB devono essere confrontate con le condizioni di riferimento. Dal grado di deviazione dalle condizioni di riferimento (Environmental Quality Ratio, EQR) dipenderà l’appartenenza a una delle 5 categorie di stato ecologico: “elevato”, “buono”, “sufficiente”, “scadente”, “pessimo”.

Le tappe descritte sono ripercorse a livello nazionale nei Decreti Ministeriali collegati al D.Lgs. 152/2006, ovvero:

- il decreto Tipizzazione (DM 131/2008 – *“Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione corpi idrici, analisi delle pressioni); per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile*

2006, n. 152, recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 4, dello stesso decreto") – vedi oltre;

- il decreto Monitoraggio (DM Ambiente 14 aprile 2009, n. 56 – "Regolamento recante i criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo")– vedansi paragrafi successivi;
- il decreto Classificazione (attualmente in fase di approvazione).

Sistema nazionale di tipizzazione (DM 131/2008)

Per una completa e adeguata tipizzazione delle acque marino-costiere italiane, sono stati presi in considerazione i principali fattori geomorfologici e idrologici che caratterizzano gli ambienti marino-costieri: la morfologia dell'area costiera, sia emersa (compresa l'area di terraferma adiacente) sia sommersa; la natura del substrato; la profondità dell'area litorale sommersa; la stabilità verticale della colonna d'acqua. A livello nazionale, uno studio sulla geomorfologia costiera aveva già portato a una distinzione delle coste italiane in 6 tipologie principali, denominate rilievi montuosi (A), terrazzi (B), pianura litoranea (C), pianura di fiumara (D), pianura alluvionale (E), pianura di dune (F).

D'altra parte, una tipizzazione delle coste basata esclusivamente sulle caratteristiche geomorfologiche dei litorali non è del tutto adeguata a rappresentare tutte le possibili tipologie. Sono stati pertanto presi in considerazione anche quei fattori che qualificano ulteriormente la fascia costiera, relativamente agli effetti degli input di acqua dolce di provenienza continentale, i quali, essendo meno densi delle acque marine più salate, tendono a stratificarsi sugli strati più profondi. La presenza di apporti di origine fluviale può quindi determinare condizioni di elevata stratificazione di densità, come ad esempio si verifica nella fascia costiera adriatica interessata dagli apporti padani.

Il parametro idrologico che meglio si presta a descrivere questo tipo di approccio è rappresentato dalla stabilità della colonna d'acqua, che fornisce una misura diretta della stratificazione di densità. In questo modo, il concetto di tipologia viene esteso anche ai numerosi fattori, indicatori di pressione antropica, che influenzano lo stato di qualità della fascia costiera (nutrienti, sostanze contaminanti, ecc. contenuti potenzialmente nelle acque dolci, che determinano la stratificazione).

Sulla base delle elaborazioni effettuate sui dati del Programma Nazionale di Monitoraggio (*ex lege* 979/82 "Difesa del Mare"), condotto dalle 15 regioni costiere in convenzione con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sono state identificate tre diverse tipologie di sistemi idrologici, basate sui valori medi annuali della stabilità verticale della colonna d'acqua: alta (1), media (2), bassa (3).

Il monitoraggio e la classificazione (DM 56/2009)

L'obiettivo del monitoraggio nazionale è quello di stabilire un quadro generale coerente ed esauriente dello stato ecologico e chimico delle acque di ciascun bacino idrografico, ivi comprese le acque marino costiere assegnate al distretto idrografico in cui ricade il medesimo bacino idrografico, e di permettere la classificazione di tutti i corpi idrici superficiali, "individuati" per gli scopi previsti dalla direttiva.

Le autorità competenti definiscono i programmi di monitoraggio per ciascun periodo in cui si applica un piano di gestione del distretto, assicurando all'interno di ciascun bacino idrografico:

- la scelta dei corpi idrici da sottoporre al monitoraggio di sorveglianza e/o operativo in relazione alle diverse finalità dei due tipi di controllo;
- l'individuazione di siti di monitoraggio in numero sufficiente e in posizione adeguata per la valutazione dello stato ecologico e chimico, tenendo conto ai fini dello stato ecologico delle indicazioni minime riportate nei protocolli di campionamento.

Attraverso l'azione conoscitiva delle attività antropiche, delle loro pressioni e dei dati di monitoraggio pregresso è possibile effettuare una valutazione della vulnerabilità dello stato dei corpi idrici e pervenire a una previsione circa la capacità degli stessi di raggiungere o meno, nei tempi previsti dalla direttiva, gli obiettivi di qualità. In relazione alla previsione di raggiungimento o meno dei predetti obiettivi, il corpo idrico viene definito "non a rischio", "probabilmente a rischio" e "a rischio".

La direttiva prevede 3 tipi di monitoraggio: di sorveglianza, operativo e di indagine.

1.4. I fondali

1.4.1 Geomorfologia

Zona di Trieste

L'area si presenta delimitata, nella sua porzione settentrionale, dai modesti rilievi di natura flyschoidale del Monte S. Pantaleone; nel settore orientale dalla zona industriale che comprende gli impianti petroliferi e l'inceneritore del Comune di Trieste, mentre ad Ovest e a Sud, è delimitata dal mare della Baia di Muggia.

Nel complesso il paesaggio si presenta pianeggiante con quote modeste sul livello del mare, ma con ondulazioni e terrazzamenti di natura antropica legate agli interventi effettuati nel tempo per la realizzazione prima di una cassa di colmata, poi di una discarica di inerti e, successivamente, di impianti di lavorazione di materiale di cava.

Nel complesso la Valle di Zaule si presenta come una piana di circa 3 km² di ampiezza, allungata in senso E-O.

La piana, che risulta essere assai modificata rispetto alla sua condizione naturale, ha forma sinusoidale collegabile ad un antico meandro che nei tempi antichi doveva continuare nella Valle di Muggia, a quel tempo emersa.

Verso sud bordano la pianura le piccole alture della dorsale Caresana – Aquilinia, allungate in senso Est-Ovest che comprendono il rilievo di Monte d'Oro Belvedere, mentre la parte settentrionale si mostra morfologicamente più articolata con le modeste ondulazioni di Monte Montebello, Monte Castiglione e Monte S. Pantaleone.

L'attuale morfologia è il risultato del modellamento operato dagli agenti meteorici, in particolare l'azione fluviale e marina nel corso del Quaternario. Ne sono derivati, tra l'altro, alcuni estesi terrazzamenti di cui resta traccia nella costanza di quota topografica dei rilievi collinari, che bordano i crinali del Carso e dell'Istria settentrionale nonché le forme incise, attualmente riempite di sedimenti di natura continentale e marina, che prolungano la morfologia acclive del substrato verso il largo del Golfo di Trieste e della Baia di Muggia.

Testimonianze storiche confermano che fino alla fine del '700 la Valle di Zaule aveva un aspetto ben diverso dall'attuale; risultava infatti meno protesa nel mare e occupata quasi per intero da ampie saline, presenti nella piana fin dall'epoca romana.

La presenza delle saline fin da tempi così antichi ha certamente condizionato anche il reticolo idrografico minore in quanto le vie d'acqua dolce dovevano essere controllate per evitare che interferissero con le vasche di evaporazione dove si depositava il sale e pertanto è evidente che in queste zone gli interventi antropici, modificatori del paesaggio, hanno avuto inizio da tempi antichissimi.

Sempre in quel periodo e fino ai primi anni dell'800 le pendici meridionali del Monte S.Pantaleone risultavano quasi rettilinee con orientamento est-ovest ed acclivi verso il mare, ma circa due secoli fa furono realizzati, in quest'area, estesi movimenti di terra collegati all'ampliamento del porto triestino che portarono ad evidenti modificazioni del paesaggio naturale.

Attorno agli impianti portuali della costa di Trieste la fascia costiera è stata profondamente rimaneggiata e così pure nel Vallone di Muggia, attorno alla piana di Zaule, ove la linea di costa deriva in parte da interramenti e da bonifiche. Sulla costa meridionale del Vallone di Muggia (e proseguendo verso l'Istria) la costa presenta generalmente, come fra Sistiana e Trieste, una breve spiaggia di detriti, con fondali rapidamente decrescenti verso il largo.

Sempre in quest'area il fondale non presenta particolarità strutturali degne di nota; esso segue inizialmente la morfologia costiera, e degrada liscio verso le maggiori profondità. Qualche possibile anomalia del fondo, qualora rilevabile, potrebbe essere di origine artificiale legata a detriti derivati da lavori di scavo e di costruzione delle opere portuali e dei terminal petroliferi.

Zona di mare al largo

Il mare Adriatico è un modesto bacino epicontinentale avente forma allungata in direzione NO-SE e mostra un gradiente batimetrico della piattaforma continentale molto modesto, pari a circa a 3,5-4 m per 10 km, in particolare nel Golfo di Trieste che ne costituisce la parte più settentrionale.

Nella sezione più orientale la baia giuliana è caratterizzata da coste alte e da valori di pendenza del fondo abbastanza elevati; vicino a Trieste questi variano tra il 4% e il 10%, mentre nella zona più occidentale, tra Grado e la Baia di Panzano, la costa si presenta bassa e in gran parte sabbiosa a causa del forte deposito sedimentario operato dai corsi d'acqua e le pendenze del fondo, molto modeste, sono comprese tra 0,2% e 0,4%.

Questa zona è divisibile in due fasce più o meno parallele tra loro, la prima si estende, generalmente, dalla linea di riva fino all'isobata di 4,5 – 5 metri ed è caratterizzata da sedimenti sabbiosi, anche grossolani e da sistemi allungati di barre costiere ed avallamenti con pendenze variabili ma sempre inferiori all'1%. La seconda fascia è invece costituita da depositi di transizione e si sviluppa, con fondali lisci e pendenza più o meno costante, pari allo 0,2%-0,3%, fino alla profondità di circa 12,5 m - 13 m.

Con fondali così bassi è logico che le glaciazioni abbiano svolto un ruolo fondamentale nell'ambito dei processi deposizionali continentali e marini legati ai cicli di emersione e sommersione relazionabili ai cambiamenti del livello marino, a sua volta influenzato dalle variazioni climatiche del Würm.

Nei momenti in cui il livello del mare nel bacino adriatico raggiungeva la sua posizione più bassa, si aveva lo sviluppo di una grande piana alluvionale caratterizzata da un gradiente minimo e deposizione di sedimenti a granulometria media ed elevata, in particolare sabbie, mentre nei periodi di trasgressione, in cui il livello marino risaliva più o meno lentamente, avveniva la deposizione di un ciclo pelitico costituito da torbiditi che scendevano dalle nuove scarpate continentali depositando argille sovrastate da sottili strati di sabbia alla chiusura delle sequenze.

Dal periodo terminale dell'Olocene fino al presente si ha la chiusura del ciclo trasgressivo precedente, con il livello marino che va lentamente abbassandosi e fondali caratterizzati da deposizione di argille siltose e limi.

La morfologia del fondo e del sottofondo marino del Golfo di Trieste è stata indagata tramite una serie di campagne mareografiche e rilievi ecometrici che hanno fornito un quadro significativo riguardo la natura e la composizione di questo estremo settore dell'Adriatico settentrionale.

In particolare si fa riferimento ai dati raccolti dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste che, nel periodo 1966 – 1968, ha realizzato diversi profili ecometrici e prelievi di materiale dal fondale. Da questi studi emerge che il fondo del Golfo di Trieste mostra una struttura complessa ed articolata in una molteplicità di ambienti sedimentari, ciascuno dei quali caratterizzato da motivi morfologici distinti ed originali. Un'idea delle diverse morfologie di fondale presenti è facilmente ricavabile dalla Fig. 1.45, ricavata da una pubblicazione sulla morfologia dell'Adriatico settentrionale compresa tra la foce del Tagliamento e Punta Salvore (Rossi S. Mosetti F. e Cescon B. -1968).

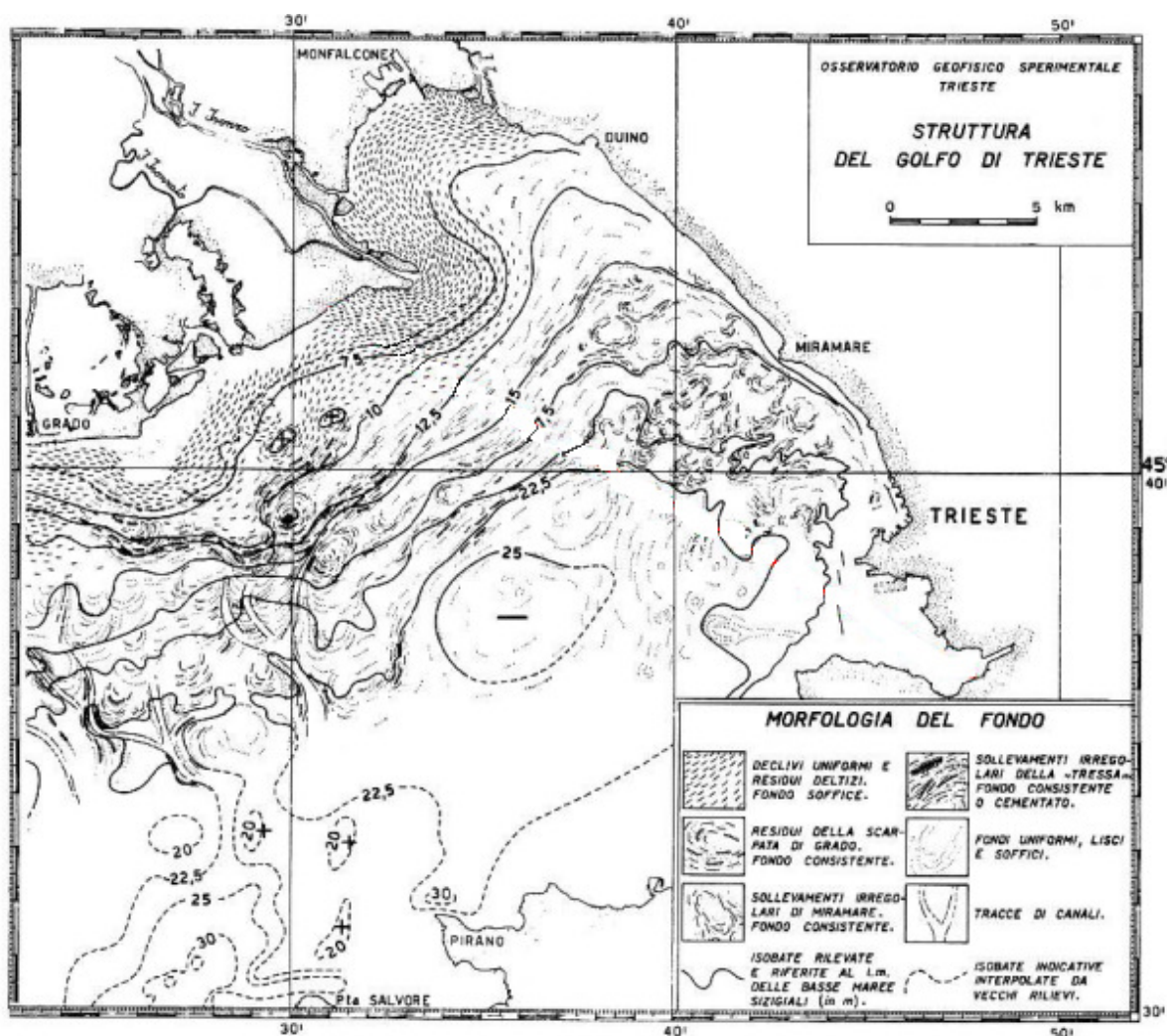


Fig. 1.45 - Struttura del Golfo di Trieste – Morfologia del fondo

Analizzando la Fig. 1.45, risulta evidente che le coste dell'Istria e le falesie rocciose che si estendono da Trieste a Duino mostrano un fondale che degrada molto rapidamente, mentre lungo i litorali occidentali della pianura friulana lo stesso decresce, dapprima con piccole pendenze e solo verso il largo accenna ad un più ripido declivio; si individuano anche i già menzionati gradonamenti e truogoli associati alle barre costiere che si rinvencono fino all'isobata di 12.5 metri.

Parimenti, nella parte più occidentale del bacino, la fascia costiera nei primi 12 metri di profondità è caratterizzata da un fondo liscio, degradante regolarmente dalla costa verso il largo, costituito da sedimenti più grossolani, in particolare sabbie e sabbie limose derivanti dalla deposizione attuale dell'Isonzo, che si sovrappongono sui depositi più antichi.

Questi ultimi sono invece ben identificabili al disotto dell'isobata di 12,5 m e recano ancora la traccia delle azioni erosive derivate dalle periodiche emersioni che questa

zona ha subito nel corso del Quaternario più recente. Pertanto proprio l'isobata di 12,5 m sembra costituire il limite tra la parte di fondo costiero ed il fondale marino vero e proprio dove, muovendosi all'incirca da Ovest verso Sud-Est, si possono distinguere sei zone morfologicamente diverse:

- B1. L'area della «Tressa», a fondale irregolarissimo, al largo della laguna di Grado
- B2. La zona di fondo debolmente irregolare antistante Grado
- B3. La zona degradante a scarpata irregolare davanti a Primero
- B4. La zona di fondo debolmente irregolare davanti a Miramare
- B5. La zona sud orientale più depressa, a fondo molto regolare e liscio, che si estende fino alla baia di Muggia.
- B6. Il bordo sud occidentale davanti a Pirano e Punta Salvore, con bruschi e ampi sollevamenti e forti incisioni.

Le aree di maggiore interesse, ad esclusione delle fasce costiere, corrispondono ai fondali marini più profondi ricadenti nelle Zone B2/B3/B5 per le quali si procede ad una dettagliata descrizione.

Zona B2 - Zona di fondo debolmente irregolare antistante Grado

La fascia di mare antistante Grado rappresenta in un certo qual senso il passaggio tra la zona B1, nota ai pescatori col nome di «Tressa», che è un'area dove il fondo marino è estremamente irregolare, cosperso di sollevamenti, anche dell'ordine del metro, e rugosità alternate ad incisioni, qua e là delimitate da piccole scarpate, e la zona B3 di fondo irregolare antistante Primero.

La «Tressa», per la sua struttura, per la vegetazione e gli animali che vi risiedono, costituisce un ambiente del tutto particolare che si viene comunque a trovare molto prossimo alle aree di interesse di questo studio. Già in passato sulle vecchie carte nautiche per i depositi della «Tressa» venivano fornite generiche indicazioni di «roccia» ma il dato era parzialmente impreciso in quanto sono stati effettivamente estratti, durante i dragaggi effettuati in questa parte di mare, pezzi di sabbia cementata a consistenza lapidea simili al cosiddetto «Maltone», che affiora in terraferma alle spalle di Grado e in molti isolotti della sua laguna, ma in realtà la maggior parte delle rugosità sono invece determinate da sollevamenti sabbiosi legati a radici di

fanerogame marine, costipati con gusci di molluschi e solo in minor misura da sabbie cementate tanto da costituire dei veri crostoni di arenaria.

C'è da dire che nella zona B2, nel mare di fronte a Grado, le forme del fondale, rispetto all'area più occidentale, antistante la laguna di Marano, dove il deposito della Tressa è predominante, risultano molto più addolcite e mancano quasi del tutto le rugosità che qui acquistano forma di sollevamenti attenuati, per lo più mammellonati, che si alternano a incisioni anche molto prolungate.

Alcune di queste incisioni hanno forma e dimensione che testimoniano di una remota idrografia emersa, legata ad antiche linee costiere, qui ancora conservata perché le correnti hanno protetto questi fondali da una eccessiva sedimentazione, mentre più a N e NE, nei pressi della foce isontina, l'antica pianura oggi sommersa è stata occultata dai sedimenti recentissimi di origine fluviale. Qui i fondali sabbiosi presentano una pendenza di circa 0,4% mentre tra Grado e Primero affiora, in corrispondenza dei più bassi livelli di marea, il banco sabbioso della "Mula di Muggia" che degrada verso SE con una serie di gradini ed ondulazioni secondarie che ricordano in parte, anche se attenuate, le forme della "Tressa".

Zona B3 - Zona degradante a scarpata irregolare davanti a Primero

Appena più a Nord della zona B2, sulla costa fra Primero e la Baia di Panzano, dove è previsto l'approdo del pipeline, all'incirca nei pressi di Punta Sdobba, attuale foce dell'Isonzo, l'affondamento costiero è inizialmente lievissimo ma scende poi bruscamente verso il largo.

Tale discesa è abbastanza uniforme in diretta corrispondenza di Punta Sdobba mentre più al largo si notano tre distinti gradini, in corrispondenza delle profondità di 15 m, 20 m e 22,5 m.

I sedimenti più immediatamente costieri mostrano arcate caratteristiche che dipendono verosimilmente dai fiumi che le alimentano.

Un primo arco più occidentale corrisponde a Primero, e con buona probabilità costituisce la traccia di un antico sbocco dell'Isonzo, un secondo arco, evidentissimo, corrisponde all'Isonzo attuale mentre un terzo, appena accennato, si riferisce all'apporto sedimentario del fiume Timavo che sfocia un po' più a nord, tra Monfalcone e Duino.

Il sedimento deltizio è generalmente disposto con una certa regolarità e appare per lo più omogeneo come se si trattasse, almeno per i primi metri superficiali attraverso i

quali riesce a penetrare l'ultrasuono, di una coltre omogenea e abbastanza compatta di sabbia.

Nella zona di relativa scarpata, al largo della traccia deltizia di Primero, si può invece trovare, qua e là, qualche crostone di sabbia cementata, residuo di spiagge fortemente diagenizzate, di aspetto simile all'arenaria, che molto probabilmente corrisponde al «Maltone» descritto dal Comel sulle dune emerse attorno alla laguna di Grado.

All'altezza della foce dell'Isonzo sono presenti due banchi sabbiosi denominati rispettivamente "Banco del Becco" a sud, e il "Banco Spigolo" a NE, in sinistra idrografica, entrambi costituiti da sabbie di medie dimensioni. Secondo i dati bibliografici disponibili in quest'area il fondale risulta essere costituito da declivi uniformi a fondo soffice che saranno interessati dall'infrastruttura subacquea in progetto e dalle relative attività di scavo per la posa in opera.

Zona B5 - Zona sud orientale più depressa, a fondo molto regolare e liscio, che si estende fino alla baia di Muggia

Questa è la zona più depressa del golfo ed ha una forma vagamente allungata in direzione SO-NE e si trova abbastanza a ridosso delle coste alte che vanno da Miramare a Trieste.

Si tratta in pratica di una debole conca in cui la profondità supera appena i 25 metri.

Il fondale è molto regolare, con qualche insignificante sollevamento forse artificiale (scarichi, relitti) in corrispondenza dei maggiori approdi.

Il deposito del fondo è rappresentato da una fanghiglia finissima, assai scarsa di popolamenti animali e priva praticamente di vegetali.

Questo dato litologico è confermato anche dai sondaggi effettuati per la costruzione del terminal petrolifero dai quali risulta che nella zona di mare antistante la raffineria di Trieste è presente uno strato superficiale di 6-12 m di argille limose ad alta plasticità.

Nella parte più a SE del Golfo, il fondo non presenta particolarità strutturali degne di nota; esso segue inizialmente la morfologia costiera, e degrada liscio verso le maggiori profondità.

Attorno agli impianti portuali della costa di Trieste la fascia costiera è stata profondamente rimaneggiata e così pure nel Vallone di Muggia, attorno alla piana di Zaule, ove la linea di costa deriva anche da interramenti e bonifiche; pertanto le anomalie qua e là rilevabili sono spesso di natura antropica, come il canale scavato

per l'accesso delle petroliere al Terminal dell'Oleodotto e le massicciate rocciose che sostengono i più antichi impianti portuali.

In base ai campionamenti di sedimento marino effettuati nel 2004 da Lega Ambiente al largo di Punta Sottile, nelle vicinanze di Muggia, su questi sedimenti argillosi si sono evidenziate elevatissime concentrazioni di mercurio, cromo e metalli pesanti ma anche inquinamento da IPA, Benzene, PCB e pesticidi. Questo inquinamento è molto probabilmente correlato all'attività petrolifera e portuale della città di Trieste e la scadente qualità chimica di questi sedimenti è da tenere in considerazione per le attività che dovessero svolgersi in quell'area.

Nelle aree più vicine a Punta Sdobba, nell'area della Tressa e di fronte a Grado la superficie è rappresentata dai potenti depositi sabbiosi attuali che hanno notevole spessore costituiscono un sottofondo omogeneo e compatto.

Invece nel settore costiero compreso tra la foce del Tagliamento e Grado e nei pressi di Punta Salvore, il sottofondo è costituito invece da stratificazioni multiple che probabilmente indicano cicli deposizionali che hanno risentito molto delle variazioni del livello marino.

Infine nelle aree più orientali e centrali del bacino i rilievi sonar hanno evidenziato la presenza di una stratificazione di sottofondo caratterizzata da andamento irregolare che probabilmente indica una antica superficie emersa rimaneggiata ed alterata dagli agenti atmosferici.

Zona del compartimento di Monfalcone

La costa dell'Adriatico settentrionale risulta essere rocciosa nella sua parte orientale, mentre al contrario, tra Monfalcone a Venezia, prevalgono le deposizioni sabbiose ma la continuità areale delle spiagge è spesso rinterrotta da foci fluviali, paludi e canali lagunari.

Come è noto le linee di costa sabbiosa possono variare di posizione anche di centinaia di metri per cause sia naturali che artificiali; normalmente sono i fiumi che trasportando una grande quantità di sedimento, che viene poi distribuito lungo la costa dalle correnti marine, che provvedono al ripascimento naturale delle spiagge. Questo movimento non è però costante e varia con le condizioni meteorologiche stagionali; i cambiamenti maggiori però coprono un periodo di molti anni e non sembrano legati ai maggiori o minori apporti stagionali ma dipendono da una molteplicità di cause, non tutte ancora ben note.

In particolare, per quel che riguarda Zona del compartimento di Monfalcone, il paesaggio è quello tipico delle lagune bonificate, compreso tra terra ed acqua, dove ad estese superfici coltivate si contrappone una fitta rete di canali, molto spesso ortogonali tra loro, che sottraggono l'acqua ai terreni saturi, morbidi e fangosi, delle antiche superfici palustri per convogliarle nelle aste fluviali principali che non mostrano quasi più il loro aspetto naturale.

Le quote altimetriche sono minime e in alcuni casi risultano addirittura sotto il livello medio del mare. Come le terre emerse anche l'area litorale ha subito nel corso degli anni interventi radicali che hanno mutato il suo naturale evolversi.

Per quel che riguarda il solo settore costiero, dalla foce dell'Isonzo, si ha una dispersione di sedimenti in forma quasi radiale, che si distribuiscono, classati per granulometria, in fasce omogenee all'incirca parallelamente alla linea di battigia.

Le sabbie più grossolane occupano una zona immediatamente prossima alla costa, mentre le sabbie più fini si dispongono parallelamente alle prime ma più al largo; infine le peliti si disperdono più al centro del bacino e verso nord nel Golfo di Panzano a causa di particolari condizioni meteomarine presenti in questa baia.

1.4.2 Sedimentologia

Un inquadramento generale della situazione sedimentologica della parte superficiale del fondale del golfo di Trieste si può evincere dalla Fig. 1.46.

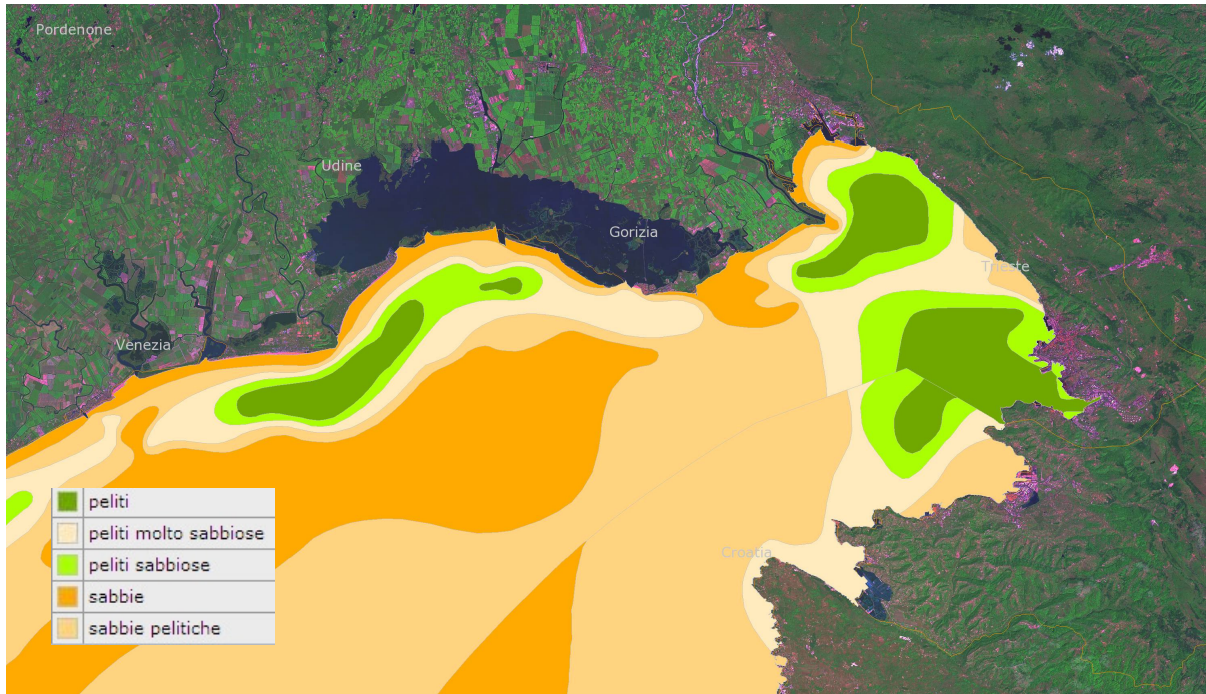


Fig. 1.46 - Principale distribuzione sedimentologica del Golfo di Trieste
(Fonte ARPA FVG – Adriblu)

I sedimenti nel Golfo sono prevalentemente fini con classica distribuzione a granulometrie decrescente dalla costa verso il largo. Sabbie costiere o ghiaie sono seguite, dopo una breve zona di transizione, dai sedimenti sempre più pelitici che rappresentano l'accumulo di materiali fini portati in mare dai fiumi e distribuiti in funzione delle condizioni fluviali e meteomarine. Lo spessore dei sedimenti superficiali, depositati nelle condizioni attuali del livello marino, è variabile in relazione principalmente agli apporti fluviali. Questi sedimenti possono sovrastare sia uno strato più grossolano, sabbioso o ghiaioso, sia sedimenti pelitici entrambi di origine continentale o di transizione. Lo spessore massimo risulta essere nei pressi di Punta Sbobba e nella zona del Porto di Trieste ove si trovano valori di 7 m a 200 m da riva, mentre a Marina di Aurisina si ha uno spessore variabile tra 0,5 e 4,5 m (Brambati e Catalani, 1988).

Descrizione dei sedimenti e delle dinamiche deposizionali

Dalla carta di distribuzione tessiturale (Fig. 1.47) risulta che i fondali sono caratterizzati da sedimenti superficiali costituiti da materiali generalmente fini, quasi sempre granulometricamente inferiori o uguali alle sabbie. In particolare si distingue una zona fangosa dove prevale la sedimentazione di carbonato di magnesio ($MgCO_3$) dovuta all'apporto solido del Tagliamento e in misura minore del Piave, ed una dove prevale una componente mineralogica a carbonato di calcio ($CaCO_3$) imputabile alle acque dell'Isonzo.

Solo in una ristretta zona a poche centinaia di metri dalla costa della Baia di Panzano sono presenti sul fondo anche ghiaie alluvionali ben arrotondate, in matrice sabbiosa-limosa.

Nella parte settentrionale del Golfo di Trieste la distribuzione dei vari tipi tessiturali via via più fini verso il largo, ha un andamento simmetrico verso la foce del fiume Isonzo, dalle sabbie, per lo più limitate alla spiaggia emersa e lungo la riva, alle peliti.

Solo nelle immediate vicinanze della costa alta della Costiera Triestina sono presenti sedimenti a granulometria maggiore, di dimensioni anche superiori alle ghiaie, quasi sempre in abbondante matrice limosa. Questi materiali costituiscono il prodotto dell'azione erosiva da parte del moto ondoso e degli agenti atmosferici sulle rocce costituenti la falesia e sui depositi immediatamente al piede. Tali sedimenti possono essere anche spigolosi per la moderata energia di fondo, generata dal moto ondoso.

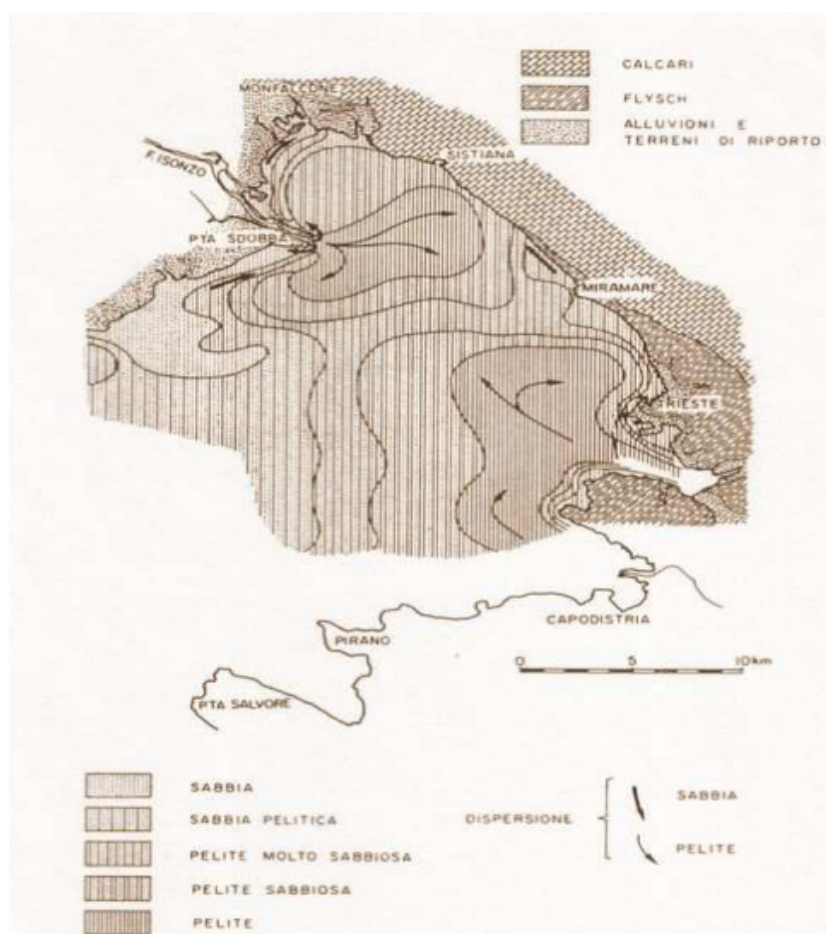


Fig. 1.47 - Distribuzione tessiturale dei sedimenti superficiali del fondale e loro dispersione

La distribuzione dei sedimenti, per lo più in zone concentriche rispetto alle foci dei fiumi principali, evidenzia che la sedimentazione è controllata essenzialmente dagli apporti fluviali e dalla morfologia dei fondali.

Le correnti marine, presenti con velocità variabili mediamente tra 2 e 10 cm/s, hanno un ruolo subordinato nella dispersione dei sedimenti. Gli effetti del moto ondoso sui processi di sedimentazione sono locali e limitati, in quanto la geometria del bacino e le caratteristiche del vento sono tali che, in generale, tutto il Golfo presenta condizioni di energia molto basse.

Infatti i venti regnanti e dominanti del primo quadrante (Bora), pur molto forti, hanno "fetch"

(zona di mare su cui il vento, soffiando, innesca le onde) molto ristretto e, nella zona di Trieste, addirittura nullo. Il conseguente moto ondoso generato è caratterizzato da onde ripide, ma di altezza limitata.

I venti del secondo quadrante (Scirocco) hanno un "fetch" notevole (pari anche allo sviluppo di tutto il Mare Adriatico), ma le onde generate investono il Golfo quasi

esclusivamente come onde rifratte e ciò a causa della Penisola Istriana, che chiude e ripara il Golfo da Sud-Est.

I venti del terzo quadrante (Libeccio) sono quelli che determinano le mareggiate più forti, in quanto presentano un “fetch” ampio (in pratica dal Litorale di Chioggia a Trieste), e le onde, quasi per nulla attenuate da fenomeni di rifrazione, raggiungono la costa orientale del Golfo attraverso l’imboccatura Grado-Punta Salvare, aperta proprio verso Sud-Ovest.

Gli apporti fluviali, essendo condizionati dalla natura e dall’estensione del bacino, oltre che ben inteso dal clima, sono continui, ma presentano visibili variazioni stagionali, con rilevanti aumenti nei periodi di maggior piovosità.

1.4.5 Determinazione del livello di qualità ambientale del fondale marino

Per la caratterizzazione della situazione della qualità dei sedimenti sono disponibili i dati di due campagne di ricerca che si sono svolte nel Golfo, rispettivamente eseguite dall’ARPA FVG nel 2005 (Fig. 1.48) e nel 2007 (Fig. 1.49). In questo ultimo caso sono presenti anche dati risalenti al 2006, che sono riportati a seconda delle opportune necessità di confronto con gli altri dati del 2007.

Le zone di campionamento per le due campagne di ricerca sono state individuate all’interno del Golfo di Trieste e hanno interessato i sedimenti superficiali del fondo (circa 0-5 cm).

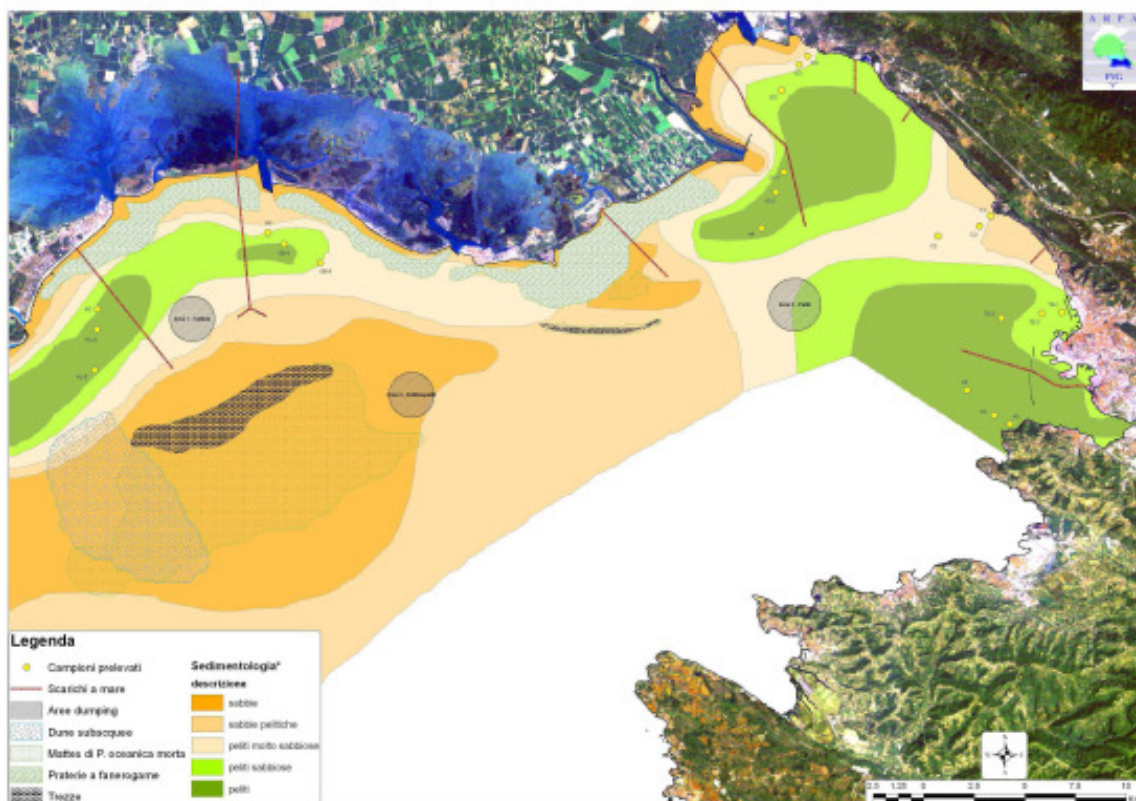


Fig. 1.48 - Zonazione dei campionamenti (indagine ARPA 2005)

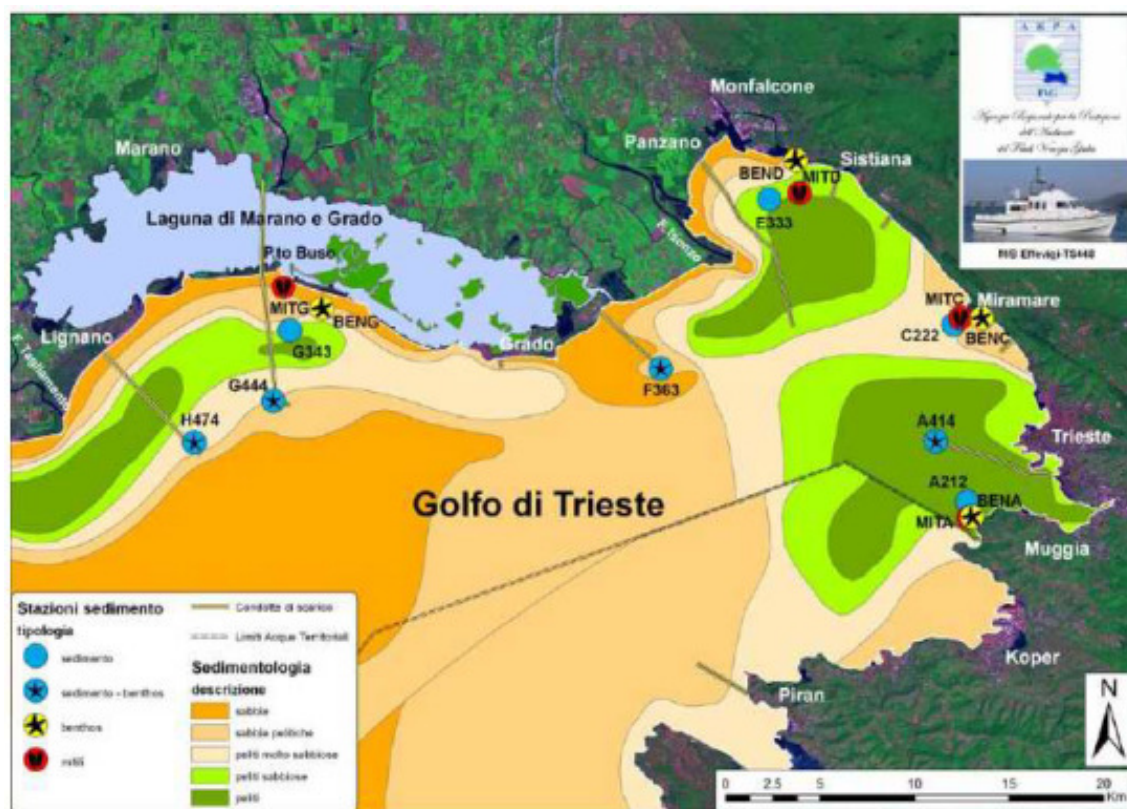


Fig. 1.49 - Zonazione dei campionamenti (indagine ARPA 2007)

TBT e PCB

- TBT: in generale la concentrazione di questo organometallo è molto bassa. Il valore medio calcolato per le otto stazioni è di 0,063 $\mu\text{g g}^{-1}$ ad ottobre e di 0,037 $\mu\text{g g}^{-1}$ a marzo 2007.
- PCB: I policlorobifenili (PCB) sono miscele complesse costituite dai derivati della clorurazione del bifenile. I valori più elevati di PCB si concentrano nella parte orientale del golfo con valori abbastanza preoccupanti oltre i limiti del DM 367/2003. Le zone di campionamento sono riportate nella Fig. 1.50.

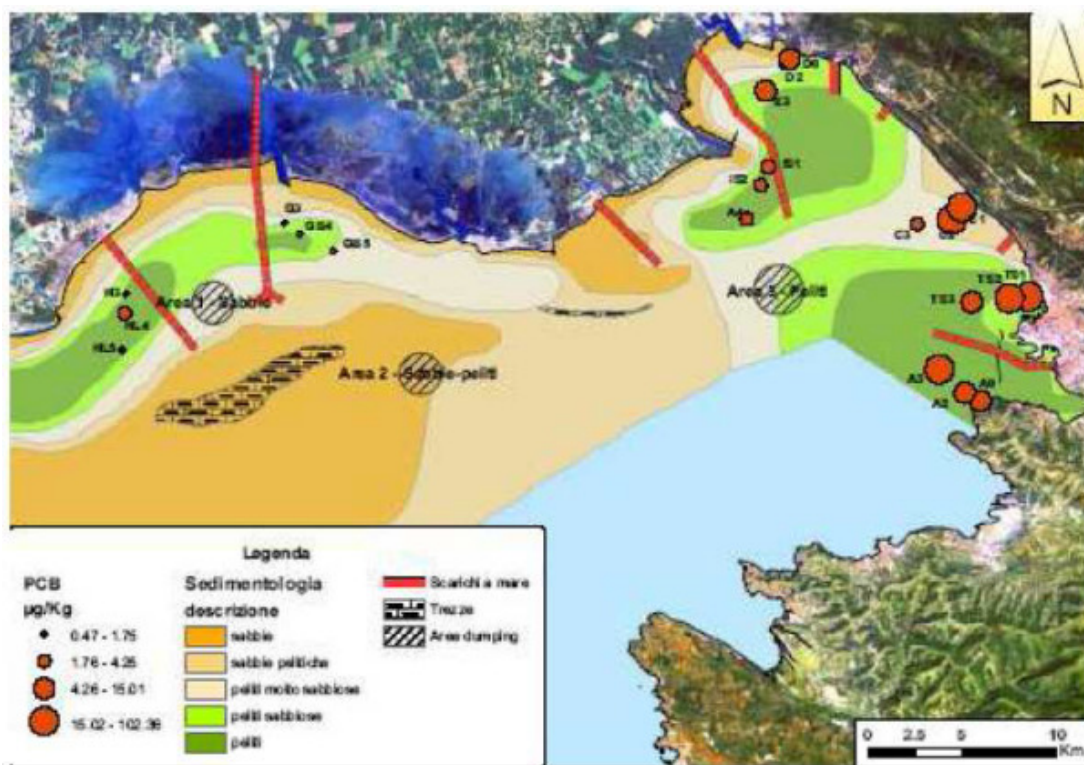


Fig. 1.50 - Punti di campionamento e relative concentrazioni di PCB nella zona costiera del golfo (dati ARPA 2005)

IPA

Tra le sostanze organiche inquinanti, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) rappresentano una classe di composti ad elevato rischio ambientale. Gli IPA derivano soprattutto da attività antropiche, quali i processi di combustione (IPA "pirolitici") e gli sversamenti di petrolio o di prodotti petroliferi secondari (IPA "petrogenici"). Tali composti comunque hanno anche un'origine naturale. I punti di campionamento e la rappresentazione degli intervalli di concentrazione sono riportati nella Fig. 1.51.

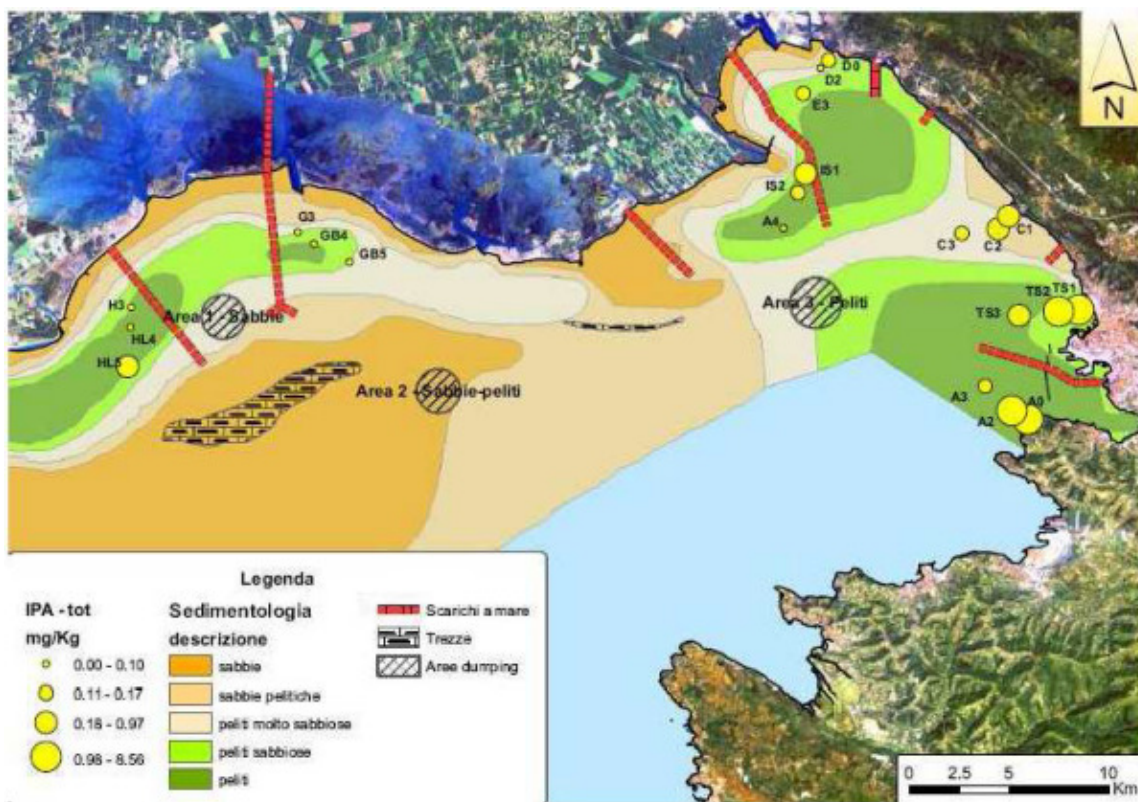


Fig 1.51 - Punti di campionamento e relative concentrazioni di IPA nella zona costiera del golfo (dati ARPA 2005)

Metalli e metalli pesanti

Dati pregressi indicano come l'alluminio è presente a concentrazioni elevate nell'area regionale più orientale, con valori pari all'8%, mentre nell'area occidentale le concentrazioni diminuiscono fino all'1% e raggiungono i valori minimi (0,22%) nei campioni a più elevato tenore sabbioso prelevati alla foce del fiume Isonzo.

I dati ottenuti dallo studio ARPA 2005 hanno inoltre evidenziato come sia possibile suddividere l'area costiera regionale in due distinte province geochemiche. In particolare, l'area geografica che si estende da Punta Sottile (prospiciente al confine con la Slovenia) fino a Punta Sdobba (foce dell'Isonzo) è caratterizzata da valori di percentuale sempre superiori al 4,5%. L'altro areale, che si estende sino alla foce del fiume Tagliamento presenta, al contrario, valori sempre inferiori. Nello stesso studio la suddivisione veniva confermata anche dai dati relativi ad altri metalli come Ni, Pb, Cu e V con l'eccezione del Hg a causa degli apporti derivanti da attività antropiche. Per quanto riguarda i valori rilevati dalla campagna ARPA 2007, questi vengono commentati anche attraverso un confronto con i dati ottenuti da una precedente campagna nel 2006 sempre da parte dell'ARPA.

In Ottobre 2006 i dati relativi agli elementi maggiori (**alluminio e ferro**) mettono in evidenza l'esistenza di una marcata differenza mineralogica nei sedimenti litorali della regione, come d'altronde già riportato in studi precedenti (Faganeli et al., 1991; Covelli e Fontolan, 1997; ARPA-FVG, 2006). In particolare viene confermata la distinzione in due aree geografiche che corrispondono, rispettivamente, la prima al tratto orientale del Golfo di Trieste compreso tra Punta Sottile e Punta Sdobba, la seconda al tratto compreso tra Punta Sdobba e la foce del fiume Tagliamento.

In Fig. 1-52 viene riportata la carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente al ferro.

I tenori di **arsenico** caratteristici di sedimenti incontaminati sono compresi in un intervallo tra 5000 -15000 $\mu\text{g Kg}^{-1}$, sebbene valori superiori (fino a 40000 $\mu\text{g Kg}^{-1}$) possano essere rilevati in sedimenti oceanici (Moore e Ramamoorthy, 1984; Francesconi e Edmonds, 1997). Il ciclo biogeochimico dell'arsenico nell'ambiente marino è molto complesso e questa caratteristica ha importanti implicazioni sulla sua biodisponibilità e tossicità per gli organismi anche se, generalmente, a causa delle particolari condizioni ossido-riduttive, la sua biodisponibilità nell'ambiente marino è scarsa.

Relativamente ai sedimenti costieri i dati pregressi di arsenico evidenziano un valore medio pari a 7,4 mg Kg⁻¹ con la presenza di un leggero gradiente negativo tra la zona orientale e quella occidentale dell'area marina costiera regionale (Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio, 2005); il valore massimo storico, pari a 17,7 mg Kg⁻¹, è stato rilevato nella zona centrale (Kosta et al., 1978). Dall'indagine ARPA 2005 solo alcuni valori concentrati nella costa orientale del Golfo assumono valori prossimi ai valori limite dati dal DM 367/2003. In ottobre 2006 il valore più elevato è stato di 14013 $\mu\text{g Kg}^{-1}$. Il valore mediato per tutte le stazioni esaminate è di 8881 $\mu\text{g Kg}^{-1}$.

Nel campionamento effettuato in marzo 2007 il valore più elevato è stato di 15571 $\mu\text{g Kg}^{-1}$. Mediamente i valori sono più elevati rispetto alla campagna di Ottobre 2006 (11607 $\mu\text{g Kg}^{-1}$) anche se rientrano comunque nel range di concentrazione di sedimenti incontaminati.

Per il **cadmio** i valori tipici di sedimenti incontaminati sono compresi tra 100-600 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ (Warren , 1981). La sua distribuzione spaziale è solitamente correlata al contenuto di Al. In sedimenti di tipo tossico è associato prevalentemente ai carbonati

e agli ossidi di ferro e manganese, al contrario in condizioni anossiche si trova presente come solfuro insolubile (Guo et al., 1997).

Per il cadmio la concentrazione media rilevata nel 2005 è risultata pari a 0,21 mg Kg⁻¹, con il 90% dei valori ottenuti inferiore a 0,3 mg Kg⁻¹ (valore limite consentito dalla legge).

Il contenuto rilevato durante il monitoraggio di ottobre 2006 è compreso tra un valore minimo di 129 µg Kg⁻¹ (A212) ed un valore massimo di 334 µg Kg⁻¹ (C222), mentre in Marzo 2007 i valori sono compresi tra un minimo di 40 ed un massimo di 202 µg Kg⁻¹ in C222 e G343, rispettivamente. Sebbene in entrambe le campagne di monitoraggio i valori ottenuti siano tipici di sedimenti incontaminati, tuttavia, analizzando anche i dati pregressi in letteratura è chiaro che, escludendo le aree portuali, il cadmio non rappresenta un contaminante prioritario nelle aree costiere regionali.

In Fig. 1.53 viene riportata la carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente al cadmio, in Fig. 1.54 quella relativa al manganese.

La concentrazione media nella crosta terrestre di **nickel** è di 56000 µg Kg⁻¹ (Wedepohl, 1995).

La concentrazione media di nichel, pari a 83 mg Kg⁻¹, presenta lo stesso comportamento associato alle caratteristiche tessiturali dei sedimenti (Covelli e Fontolan, 1997). Da rimarcare i valori più alti concentrati nella parte sud orientale del Golfo con valori oltre i limiti di legge (30 mg Kg⁻¹).

I dati ottenuti in Ottobre 2006 confermano un valore medio di 36100 µg Kg⁻¹, mentre quelli in marzo 2007 si attestano attorno ai 47726 µg Kg⁻¹. Si può quindi affermare che i sedimenti del Golfo non siano sottoposti ad una pressione antropica (valore massimo 81670 µg kg⁻¹ in C222). In Fig. 1.55 viene riportata la carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente a questo contaminante.

Per i dati relativi al **piombo**, da quelli pregressi si evince che il valore massimo di concentrazione, rilevato nell'area regionale, è di 144 mg Kg⁻¹ (Covelli e Fontolan, 1997), quello medio, di 55 mg Kg⁻¹. I valori di piombo sono molto elevati nella zona sud orientale del golfo, raggiungendo cifre ben al di là dei limiti consentiti per legge (30 mg Kg⁻¹).

I dati del monitoraggio 2006 relativi al piombo sono compresi tra un valore minimo di 919 µg Kg⁻¹ (F363, Ottobre 2006) ed un massimo di 63023 µg Kg⁻¹ (C222), con una

media nelle otto stazioni oggetto di studio di 29385 e 24702 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ in ottobre 2006 e marzo 2007, rispettivamente. In generale i dati sono mediamente superiori rispetto a quelli riportati come indice di massima per sedimenti marini e di estuario non contaminati (5000-30000 $\mu\text{g Kg}^{-1}$, Salomons e Forstner, 1984), ma sono inferiori rispetto alla concentrazione media (53000 $\mu\text{g Kg}^{-1}$) riportata in precedenti studi condotti nel litorale regionale. È interessante ricordare che in molte aree a livello mondiale si possono riscontrare valori anomali che talvolta superano anche i 200000 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ (Larsen e Gaudette, 1995). In base ai dati ottenuti è emersa una significativa correlazione di questo elemento con la frazione pelitica ($r=0,905$, $p<0,01$) in entrambe le campagne.

In Fig. 1.56 viene riportata la carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente a questo contaminante.

Anche i dati relativi al **rame** evidenziano un gradiente simile a quello riportato per il piombo.

Il rame è presente con una concentrazione media di 40,6 mg Kg^{-1} . I maggiori valori si concentrano nella parte orientale del golfo.

Il valore massimo è associato alla stazione A414 mentre quello più basso alla F363 (31300 e 2566 $\mu\text{g Kg}^{-1}$, rispettivamente). Entrambi i dati sono stati ottenuti in marzo 2007. In sedimenti incontaminati sia marini che di estuario, la concentrazione di questo elemento varia tra i 10 e i 50 mg Kg^{-1} (Salomon & Forstner, 1984).

La concentrazione di **zinco** in sedimenti marini e di estuario presenta un'ampia variabilità (Neff, 2002). Generalmente tenori elevati di questo elemento sono associati alle frazioni più fini del sedimento (Bothner et al., 1998). Inoltre valori elevati possono essere identificati anche in sedimenti presenti in aree senza influenza antropica, suggerendo così l'importanza della mineralogia del sedimento nel contenuto di questo elemento (Giordano et al., 1999). Una frazione importante di zinco, sia in sedimenti incontaminati che contaminati, fa parte della matrice di alluminio-silicati, rendendo così scarsa la sua biodisponibilità (Loring, 1982). Nella crosta terrestre è presente a livello di tracce con un valore medio di 75000 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ (Salomons e Forstner, 1984).

Per il Golfo di Trieste alcuni dati storici individuano per lo zinco un intervallo dei valori di concentrazione estremamente ampio (dagli 8 ai 213 mg Kg^{-1} , Stefanini 1971; Ministero Ambiente-Servizio Difesa Mare, 2001-2005) e il valore medio è pari a 100

mg Kg⁻¹. Dall'indagine ARPA 2005 appaiono valori molto elevati nella zona sud orientale del golfo.

Il valore più elevato in ottobre 2006 è stato rilevato in A212 con 128067 µg Kg⁻¹, mentre quello minimo in F363 con 10000 µg Kg⁻¹.

In Fig. 1.57 viene riportata la carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente a questo minerale.

Il **vanadio** è un elemento presente a livello di tracce nella crosta terrestre con un valore medio di 160000 µg Kg⁻¹ (Salomons e Forstner, 1984).

Nei sedimenti del Golfo il suo contenuto è significativamente correlato con la composizione mineralogica ($r=0,906$ ed $r=0,976$ con Al e Fe, rispettivamente). Il vanadio è presente nei sedimenti regionali con una concentrazione media di 103 mg Kg⁻¹ (valore minimo 12 e massimo 175 mg Kg⁻¹ rispettivamente a Porto Buso e Punta Sottile). I valori massimi si hanno in C222 e minimi in F363 (129935 e 11668 µg Kg⁻¹, rispettivamente in ottobre 2006 e marzo 2007).

Il **mercurio** all'interno dell'area mediterranea è caratterizzato da valori di fondo più elevati rispetto a quelli naturali riportati su scala mondiale (100 µg Kg⁻¹) quale conseguenza della presenza di estesi depositi di cinabro (Almaden, Monte Amiata, Idrija; Baldi et al., 1983; Hans Nelson et al., 1975). In particolare all'interno del bacino adriatico risulta evidente un gradiente di tipo positivo sud-nord (Donazzolo et al., 1981; Ferrara e Maserti, 1992). Nel Golfo di Trieste la fonte principale di mercurio è rappresentata dal particellato sospeso trasportato dal fiume Isonzo. In territorio sloveno il suo principale affluente (Idrica) drena i terreni mercuriferi presso l'abitato di Idrija, dove più di 5 milioni di tonnellate di roccia, essenzialmente cinabro (HgS) sono state escavate nel corso di 500 anni di attività con conseguente contaminazione dei suoli circostanti e dei sedimenti fluviali (Gosar et al., 1997). Attualmente sebbene l'attività estrattiva sia cessata da una decina di anni il mercurio continua ad essere disperso in quantità considerevoli soprattutto durante gli eventi di piena fluviale (Covelli et al., 2007). Di conseguenza i sedimenti del Golfo di Trieste, quali accettori finali del particellato sospeso, sono caratterizzati da elevate concentrazioni di mercurio sia negli strati superficiali che in quelli profondi. In particolare nei sedimenti superficiali i valori presenti in letteratura sono compresi in un intervallo tra 64 e 30400 µg Kg⁻¹ (Kosta et al., 1978; Bussani e Princi, 1979; Faganeli et al., 1991; Ferrara e Maserti, 1992; Horvat et al., 1999; Covelli et al., 2001).

I dati relativi al campionamento di ottobre 2006 evidenziano come i sedimenti presi in esame siano arricchiti in mercurio secondo un gradiente netto est-ovest, con i valori più elevati associati alle stazioni vicine alla foce dell'Isonzo (E333, 6879 $\mu\text{g Kg}^{-1}$) ed in prossimità della località di Porto Buso (G343, 4996 $\mu\text{g Kg}^{-1}$). Il valore più basso è relativo alla stazione F363 (738 $\mu\text{g Kg}^{-1}$) la quale è caratterizzata da un sedimento prevalentemente sabbioso (97,74%). Questo dato è in accordo con studi precedenti che dimostrano come il mercurio sia associato prevalentemente alla frazione granulometrica compresa tra i 16 e gli 8 μm . Nella seconda campagna l'andamento è stato confermato, con il valore più elevato (10468 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ in G343) significativamente più alto rispetto ad Ottobre 2006.

In Fig. 1.58 viene riportata la carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente a questo contaminante.

Carica batterica solfito riduttori

I clostridi sono bacilli anaerobi obbligati, Gram-positivi e per lo più mobili poiché dotati di flagelli. Sono normalmente saprofiti e vivono nell'intestino di alcuni mammiferi compreso l'uomo. Colonizzano gli strati superficiali del suolo e dei sedimenti marini, ove la concentrazione di spore può oscillare ampiamente tra valori di 101 e 10⁴ UFC/g. Sono in grado di ridurre il solfito con produzione di solfuri.

La loro capacità di produrre forme di resistenza (spore), grazie alle quali sopravvivono a lungo nell'ambiente, anche in condizioni sfavorevoli, li rende validi indicatori di inquinamento fecale, anche pregresso e supporto per la valutazione della qualità di matrici ambientali; dal punto di vista numerico, nelle feci, sono comunque inferiori ai coliformi e agli streptococchi, in rapporto rispettivamente di circa 1/100 e 1/10.

La presenza delle spore di clostridi solfito riduttori, rilevata nelle stazioni A212, C222, E333 e G343 è, in generale, piuttosto variabile in entrambi i campionamenti stagionali. In ottobre 2006 la stazione più occidentale (G343) evidenzia una contaminazione fecale più consistente di quella dell'area più orientale del Golfo di Trieste, seguita dalla stazione C222, in località Miramare. A marzo 2007 i valori più elevati si registrano nella stazione E333, situata nella Baia di Panzano, e nella stazione di Miramare.

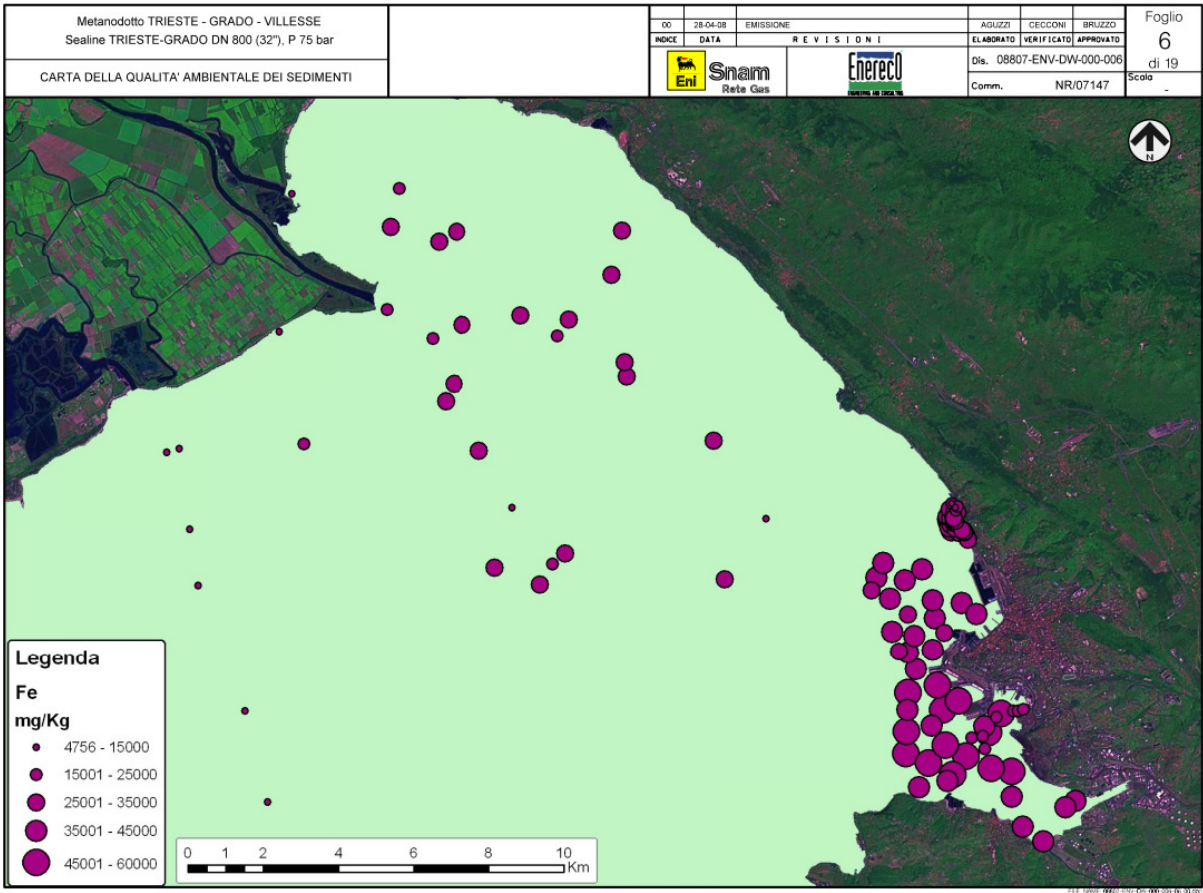


Fig. 1-52 - Carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente al ferro
Fonte: SNAM - Enereco

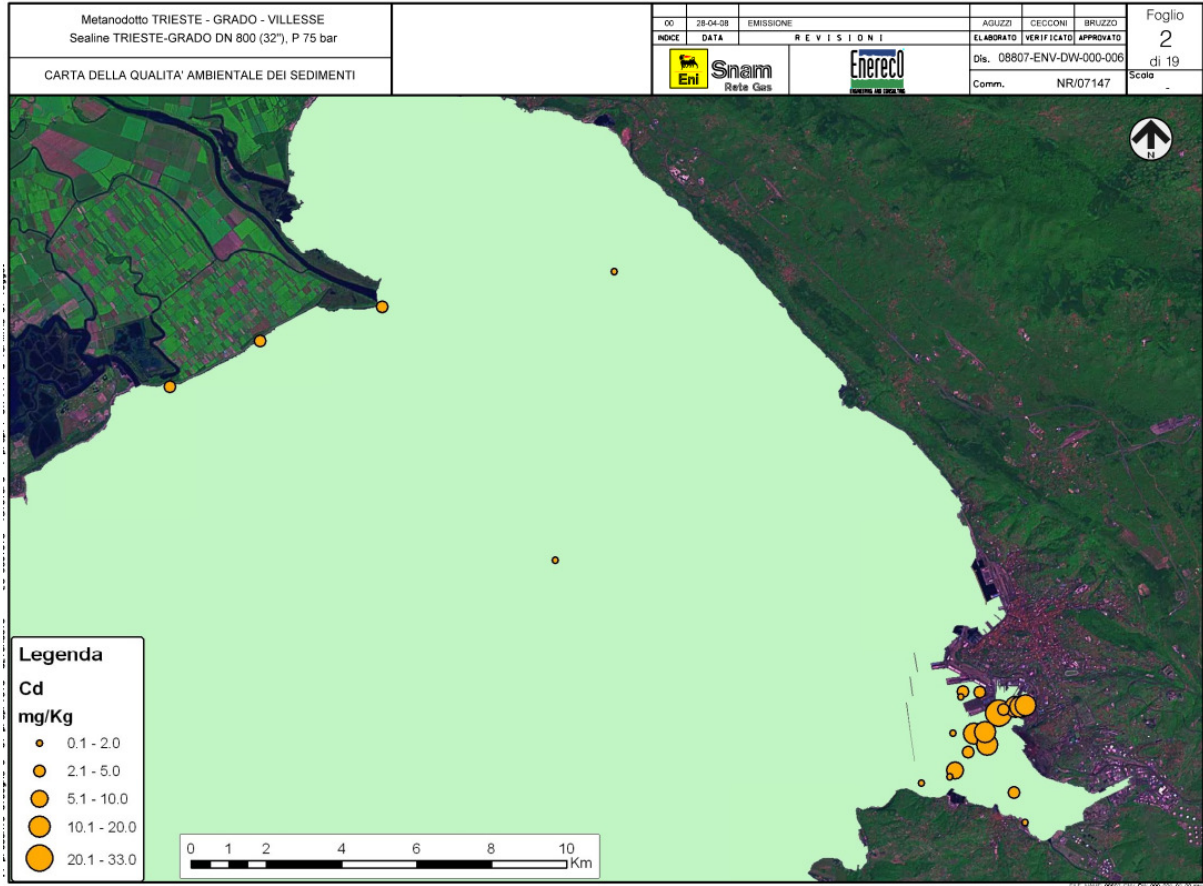


Fig. 1.53 - Carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente al cadmio
Fonte: SNAM - Enereco

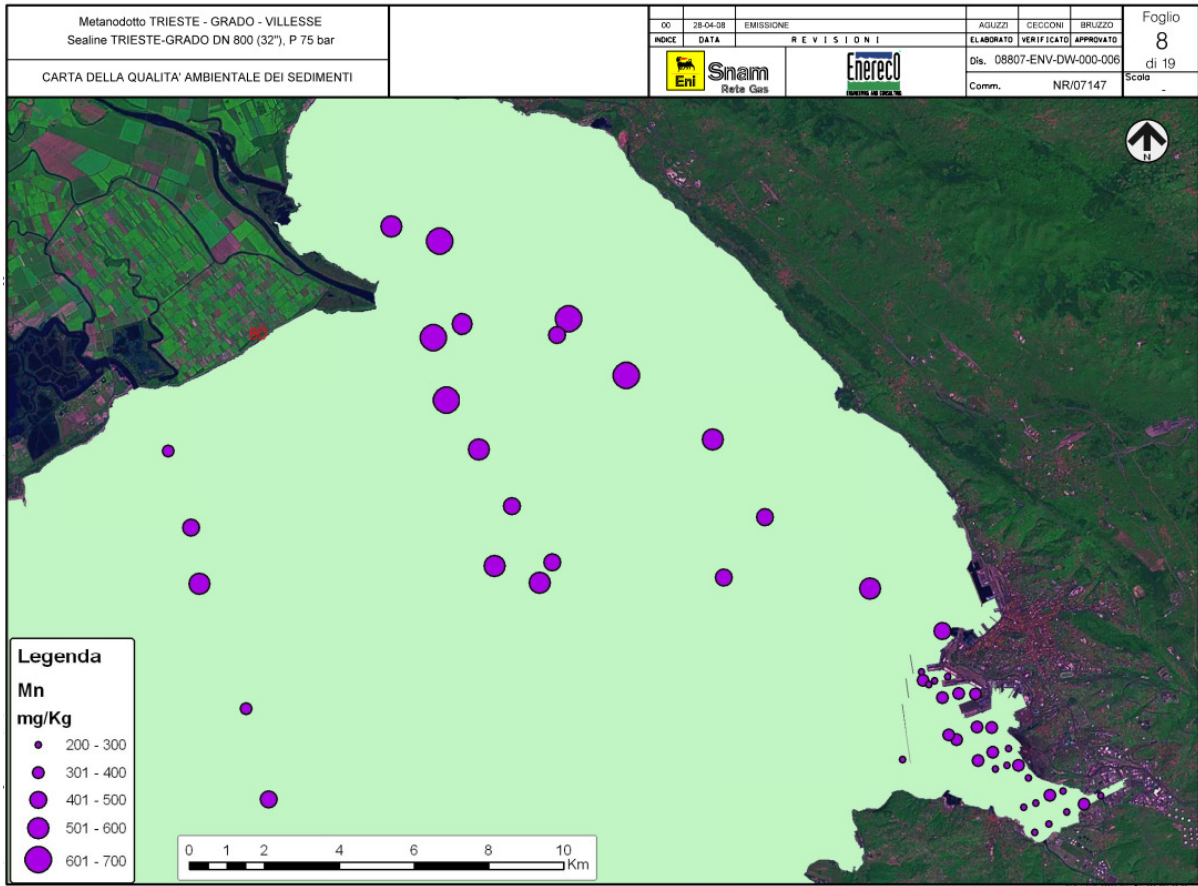


Fig. 1.54 - Carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente al manganese
Fonte: SNAM – Enereco

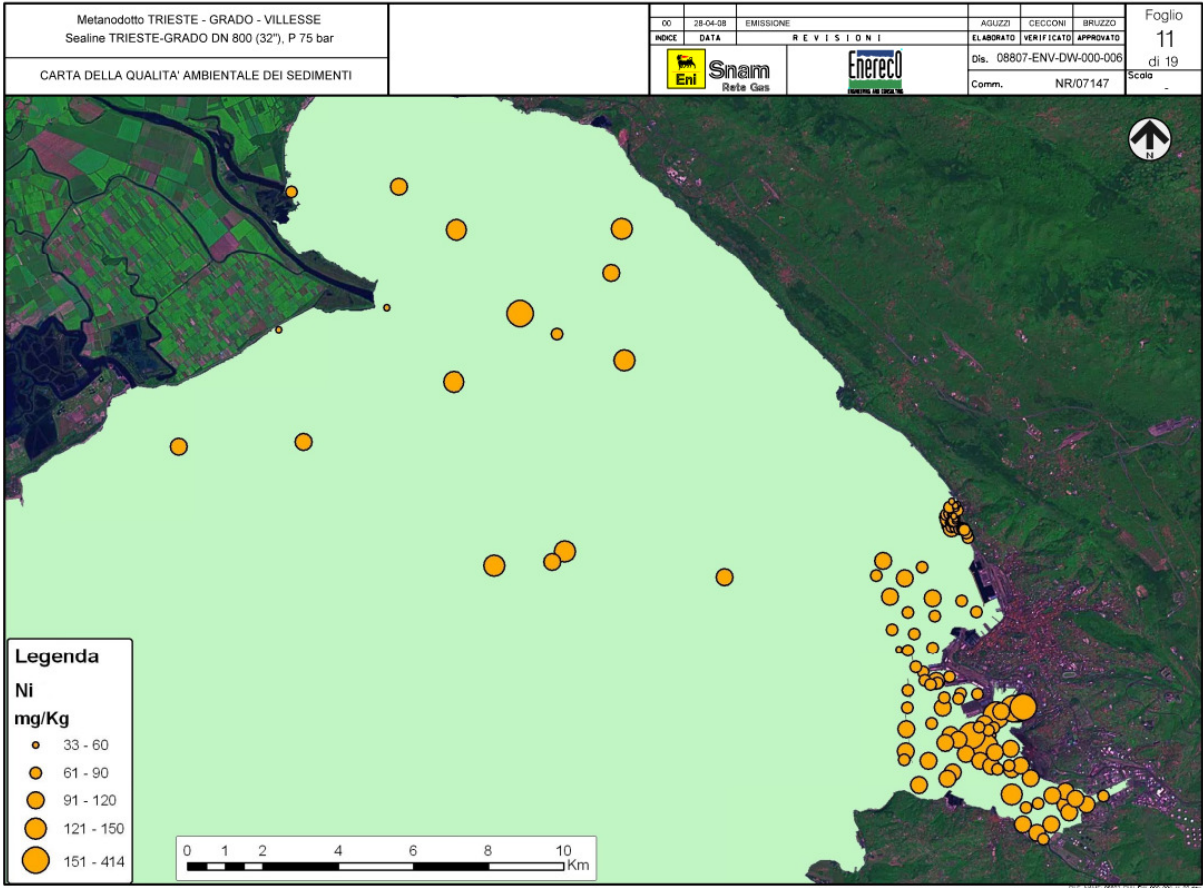
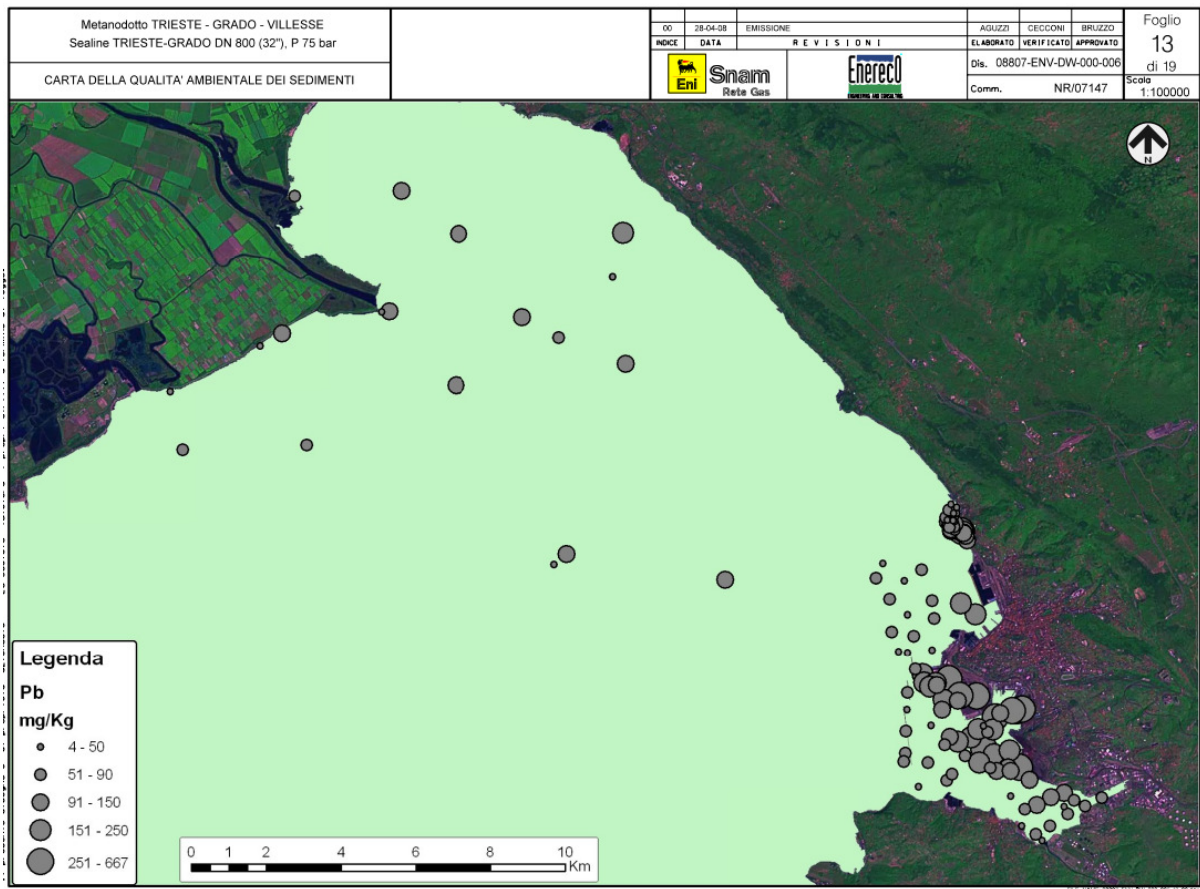


Fig. 1.55 - Carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente al nickel
Fonte: SNAM – Enereco



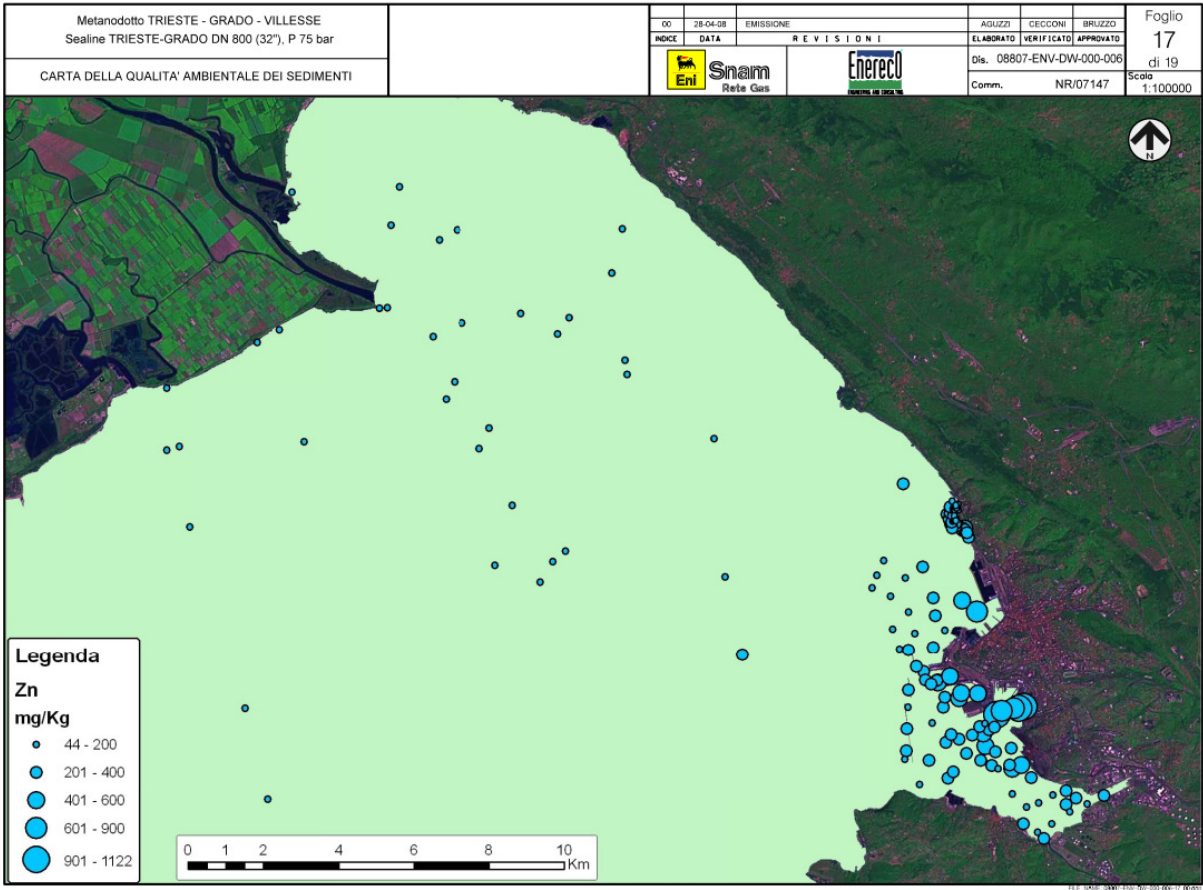


Fig. 1.57 - Carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente allo zinco
Fonte: SNAM - Enereco

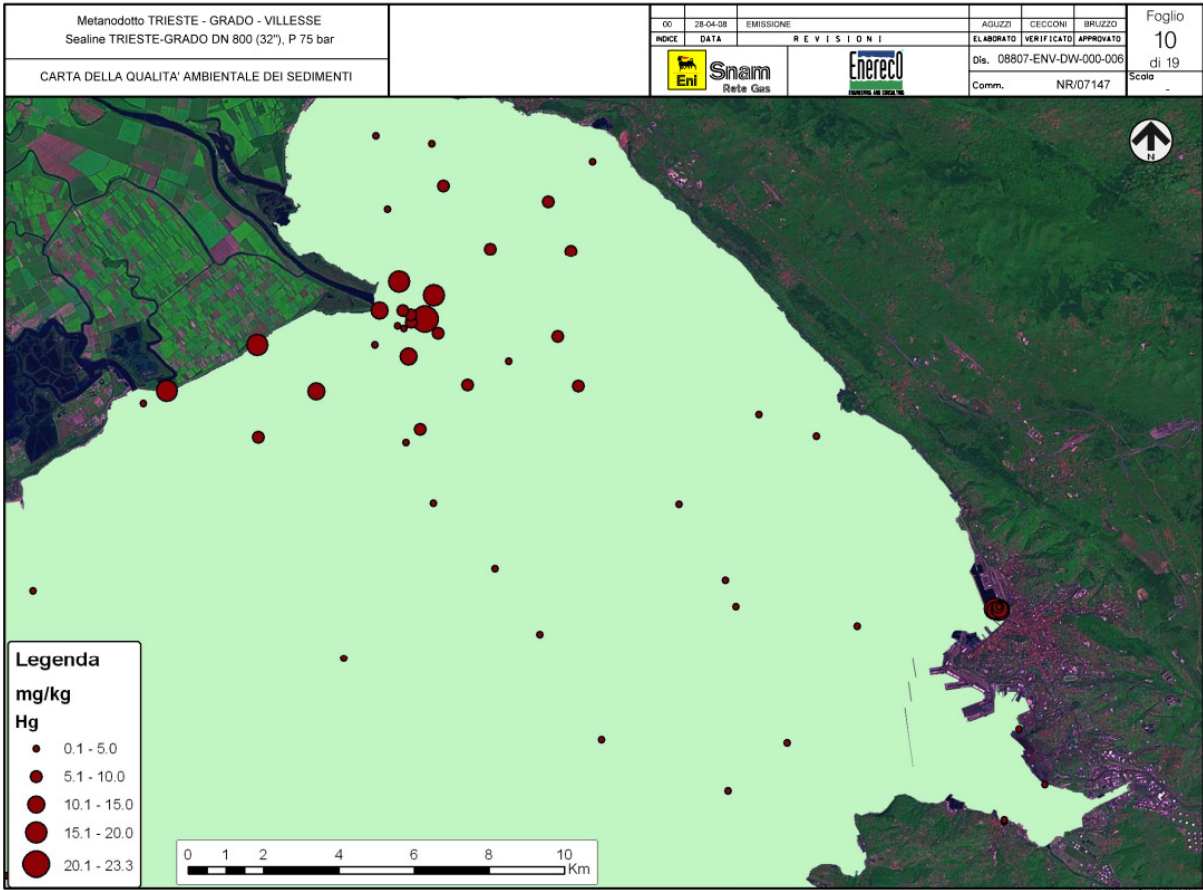


Fig. 1.58 - Carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente al mercurio
Fonte: SNAM - Enereco

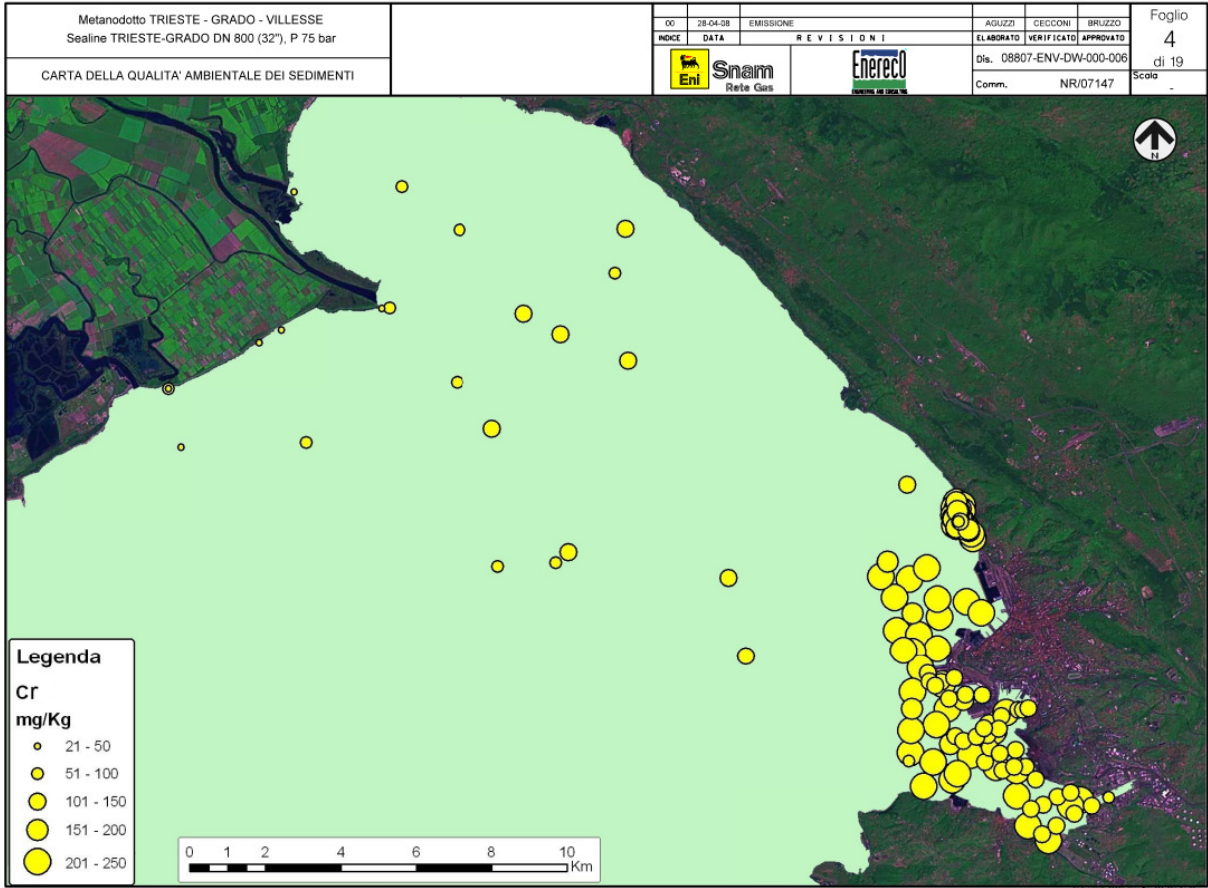


Fig. 1.59 - Carta della qualità ambientale dei sedimenti marini relativamente al cromo
Fonte: SNAM - Enereco