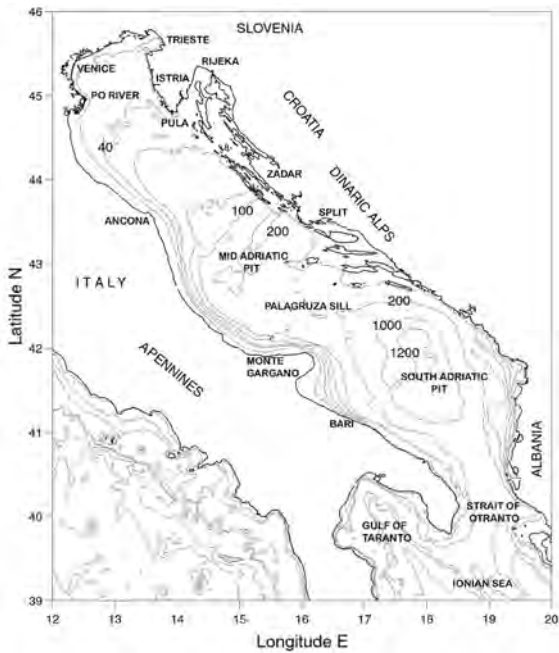




La nave *Urania*, utilizzata dal CNR per la ricerca oceanografica nel Mar Mediterraneo

Caratteristiche morfologiche e oceanografiche

Il Mare Adriatico è un bacino di forma rettangolare orientato secondo l'asse NW-SE; è lungo circa 800 km e largo mediamente 180 km per una superficie complessiva di circa 138000 km².



Geografia e batimetria dell'Adriatico, misure delle profondità espresse in metri

Si distinguono tre aree: il Nord Adriatico, che è profondo mediamente 30 m, il centro che supera la batimetria dei 100 m fino a raggiungere la massima profondità di 274 m nelle fosse situate sulla direttrice Pescara-Split e il Sud dove troviamo la maggiore profondità di 1252 m nella fossa meridionale, di fronte a Bari.

Il bacino idrografico è delimitato a occidente dalla catena montuosa degli Appennini, a Nord dalla catena montuosa delle Alpi e a oriente dalla catena montuosa dei Balcani; pertanto è particolarmente ricco di apporti di acque continentali, «dolci», che ne determinano la sua peculiare caratteristica di mare chiuso e di mare a più alto apporto di acqua a bassa salinità di tutto il Mediterraneo; in particolare l'Adriatico settentrionale contribuisce con apporti del 20% di tutte le acque dolci del Mediterraneo. Tali acque continentali in-

fluenzano le dinamiche fisiche e chimiche e i processi biologici, condizionando la circolazione e l'apporto di nutrienti (Degobbis e Gilmartin, 1990; Zoppini *et al.*, 1995; Marini *et al.*, 2000). In estate queste acque formano un esteso strato superficiale sopra il termocline (doppio strato termico con netto salto di temperatura) e in inverno

si distribuiscono in uno strato più costiero a causa della forte corrente costiera occidentale e dei venti di Bora.



Bacino idrografico dell'Adriatico con i principali fiumi (adattato da Sekulić-Vertačnik, 1996)

Raichic, in uno studio pubblicato nel 1994, riporta, per ciascun mese dell'anno, le portate medie dei fiumi dell'Adriatico calcolate distinguendo le principali aree geografiche del bacino e mettendo in risalto l'importanza del fiume Po.

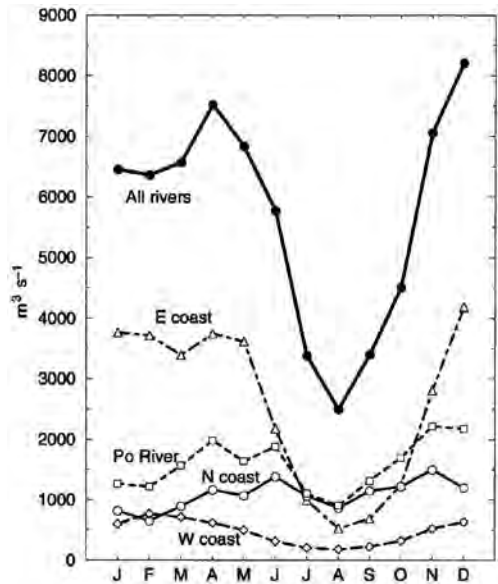
Come si vede nel grafico, il fiume Po da solo determina una portata media di 1500 m³/s, pari a circa il 50% degli apporti di tutti i fiumi del nord (Poulain e Raichic, 2001). Gli altri fiumi che meritano una considerazione particolare sono i fiumi della costa orientale e in particolare quelli dell'Albania che da soli apportano mediamente 1300 m³/s (Pano, 1973).

Il mare Adriatico è un bacino continentale dove la circolazione delle acque e le principali caratteristiche idrologiche sono fortemente influenzate dalle condizioni atmosferiche, principalmente dal vento (Orlic *et al.*, 1992, 1994; Artegiani *et al.*, 1993; Russo e Artegiani, 1996).

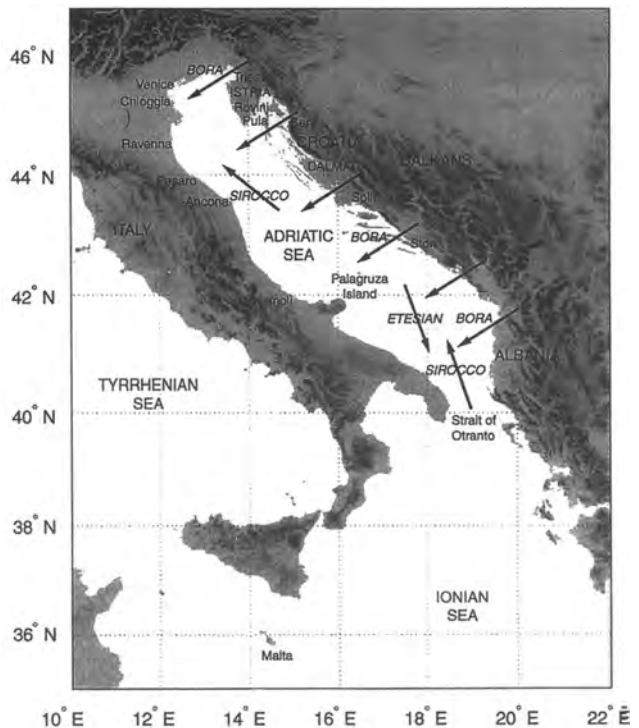
I principali venti presenti nell'Adriatico sono la Bora e lo Scirocco. Il vento di Bora proviene da Nord-NordEst ed è associato a un sistema di alta pressione collocato nell'Europa centrale, è un vento secco e freddo e si incanala attraverso specifici punti delle Alpi Dinariche, quindi raggiunge l'Adriatico dal versante orientale con forte intensità. È un vento di forte intensità, pertanto causa forti burrasche e attenua l'effetto delle maree. In inverno determina forti e rapidi raffreddamenti dell'acqua di mare con conseguente formazione di acque dense che si adagiano sul fondo e dal Nord Adriatico defluiscono verso Sud, fino allo Stretto di Otranto, dove raggiungono il mare Ionio.

Il vento di Scirocco proviene da Sud-SudEst ed è associato a un sistema di bassa pressione situato sopra il Mar Tirreno. È un vento caldo e umido ed è causa di alte maree nel Nord Adriatico, come si registrano spesso nella Laguna di Venezia (Poulain e Raichic, 2001).

È un vento caldo e umido ed è causa di alte maree nel Nord Adriatico, come si registrano spesso nella Laguna di Venezia (Poulain e Raichic, 2001).

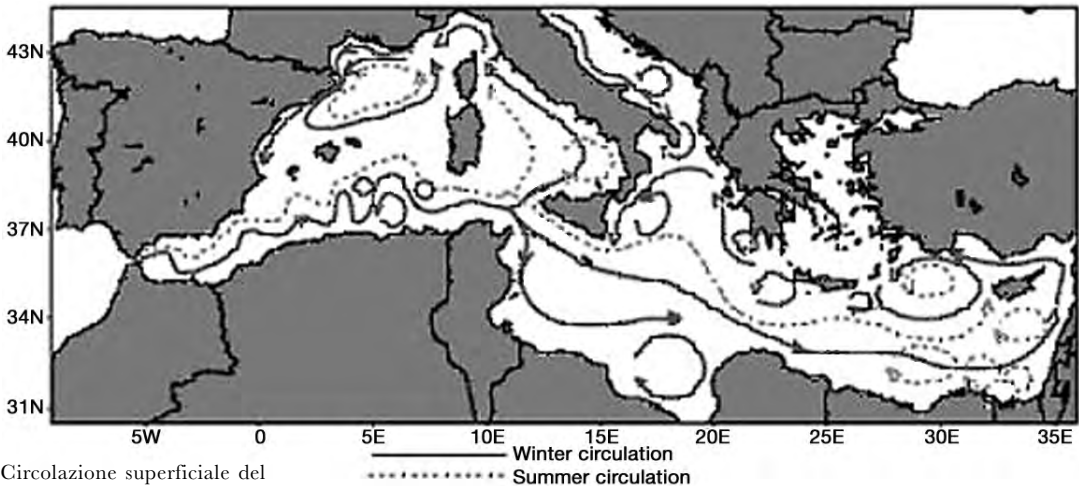


Portate medie mensili dei fiumi dell'Adriatico



Direzione e nomi dei principali venti che condizionano le caratteristiche idrologiche dell'Adriatico

La circolazione superficiale delle acque del Mar Mediterraneo è rappresentata nell'immagine seguente.



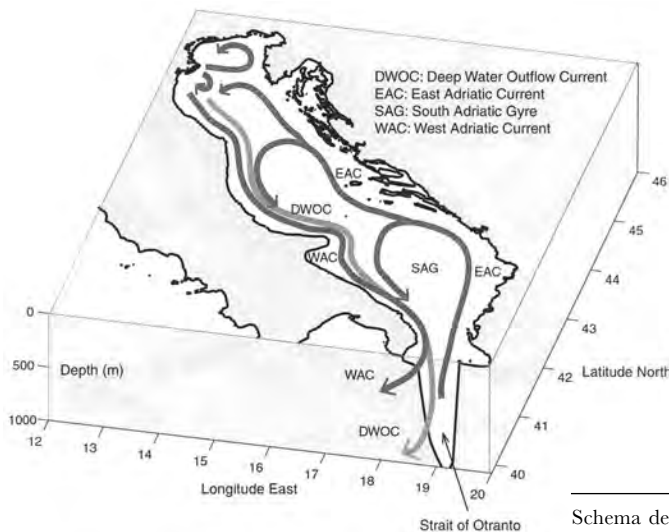
Circolazione superficiale del Mediterraneo (Pinardi e Moissetti, 2000)

In essa si trovano distinti i due principali periodi: l'estate e l'inverno; si può notare come dallo stretto di Gibilterra avvenga l'ingresso d'acqua dall'Oceano Atlantico nel Mar Mediterraneo, mentre la fuoriuscita, dal Mediterraneo all'Atlantico, avviene a quote inferiori.

In Adriatico si possono distinguere due correnti superficiali principali: una da Sud verso Nord lungo la costa croata e l'altra in direzione opposta lungo la costa italiana.

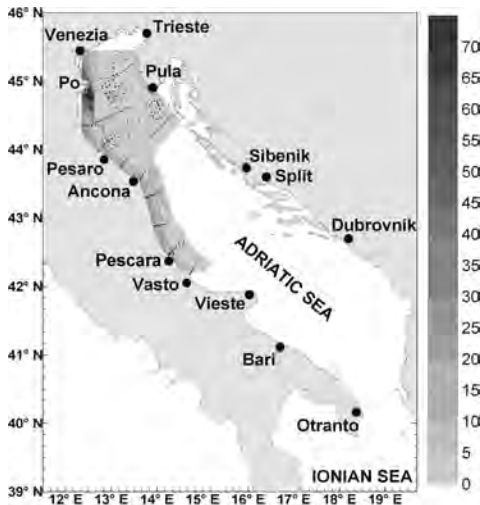
Questa circolazione contribuisce, in inverno, a confinare sotto la costa occidentale gli apporti fluviali, ricchi di nutrienti, provenienti dai fiumi del Nord Italia; in estate disperde le acque dolci verso il largo a causa della stratificazione termica e salina (strato superficiale caldo e poco salato; strato profondo freddo e salato).

In generale, da Nord a Sud, le acque del versante occidentale sono caratterizzate da un progressivo calo delle concentrazioni di nutrienti nello strato superficiale, incrementato, solo in parte, dagli apporti fluviali costieri dei fiumi provenienti dagli Appennini.



Schema della circolazione termoalina del Mar Adriatico (Artegiani 1997, modificato da Cushman-Roisin *et al.* eds 2001)

Conseguenza della circolazione e dell'interazione dovuta ai venti è

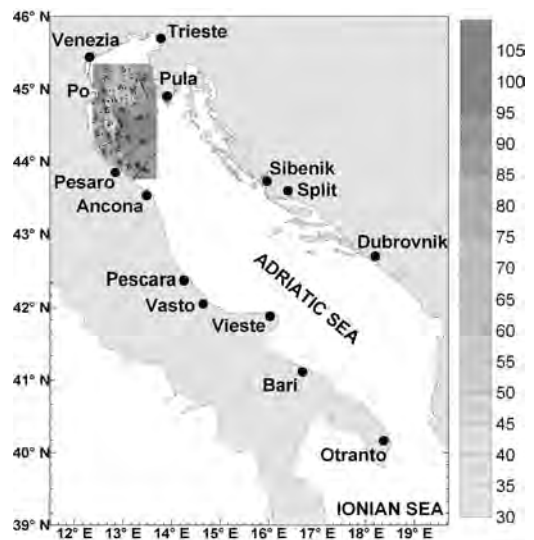


la distribuzione dei nutrienti apportati dai fiumi che si distribuiscono lungo la costa occidentale. Un esempio è mostrato nell'immagine dove è riportata la distribuzione della concentrazione dell'azoto nitrico in superficie durante il mese di febbraio del 2003 (i punti neri rappresentano le stazioni di misura effettuate durante due crociere con le navi G. Dallaporta e Knorr.

Il fenomeno dell'ipossia nel Nord Adriatico

Durante il periodo primaverile estivo, in presenza di un doppio strato termico caratterizzato da masse d'acqua differenti (superficiali e di fondo), si osserva un naturale decremento della saturazione d'ossigeno, nello strato di fondo, rispetto alla superficie, dovuto al progressivo consumo di ossigeno a opera dei microrganismi che mineralizzano (reazioni chimiche di ossidazione) l'abbondante sostanza organica apportata dalle acque fluviali. Questa sostanza organica portata dai fiumi permane sul bacino Nord adriatico grazie anche ai venti di Bora che ne facilitano la deposizione sul fondo che, in conseguenza del raffreddamento, fa aumentare la densità delle acque superficiali portandole sullo strato di fondo. Nell'immagine è riportata la situazione dell'ottobre 2002, dove si osservano concentrazioni particolarmente basse di ossigeno disciolto. Questo fenomeno è più marcato nelle stazioni costiere di fronte a Cesenatico ed in quelle al largo di Po di Goro e Punta della Maestra. Come riportato Franco *et al.*, 1982 e da Marini *et al.*, 2004, la diminuzione d'ossigeno lungo la colonna d'acqua è interpretata come un effetto di una circolazione semi-chiusa e di un'alta stabilità verticale della colonna d'acqua che si stratifica durante l'estate.

Concentrazione di ossigeno disciolto (espresso in % della saturazione) sul fondo marino nell'ottobre 2002 i punti neri rappresentano le stazioni di misura campionate con la nave G. Dallaporta

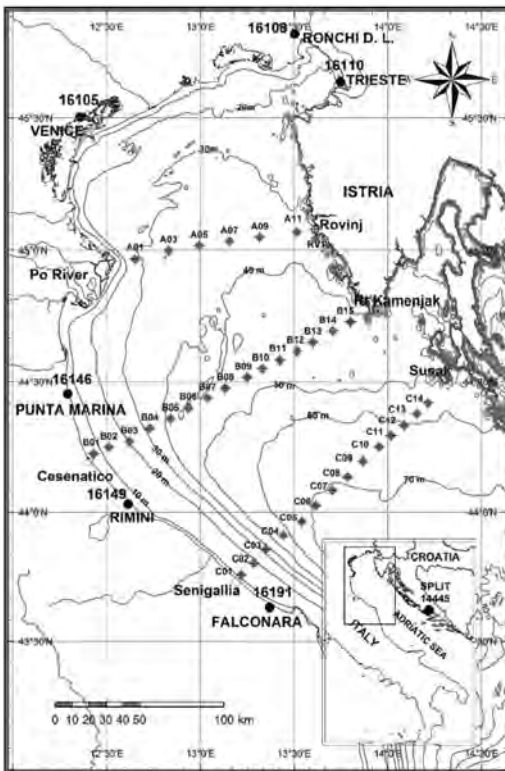


Durante l'autunno (settembre-ottobre) con il manifestarsi dei primi eventi di Bora, che si protraggono per più giorni, si ha il rimescolamento dell'intera colonna d'acqua, fino al fondo, con la conseguente interruzione del doppio strato termico e l'apporto d'ossigeno sul fondo. Questo fa sì che l'ossigeno disciolto in acqua aumenti e così si evita la possibile moria di specie ittiche, che vivono sul fondo o organismi che vivono nel sedimento, dovuto al basso contenuto di ossigeno disciolto in acqua (ipossia).

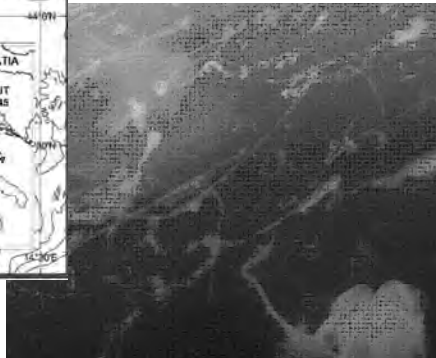
Le mucillagini in Adriatico

Si vuole illustrare brevemente il ruolo dei fattori oceanografici che intervengono nella formazione delle mucillagini in Adriatico, tenendo presen-

ti i risultati di quattro anni di studi, dal 1999 al 2003. Infatti, durante il programma di ricerca finanziato dal Ministero dell'Ambiente Italiano (MAT) si sono svolte 40 crociere oceanografiche campionando parametri oceanografici (meteorologici, idrologici, fisici, chimici, biologici e immagini subacquee) su tre transetti che attraversano l'Adriatico dalla costa italiana alla costa croata. L'elaborazione di questi dati ha permesso di avere una descrizione ad alta risoluzione della variabilità delle condizioni oceanografiche dell'Adriatico centro settentrionale che sono risultate indispensabili per lo studio delle variazioni idrologiche e per la correlazione delle variazioni di tutti i parametri «biologici» con le condizioni oceanografiche e climatiche.



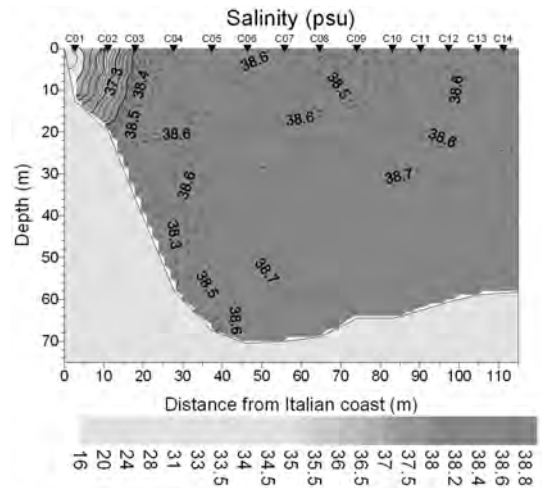
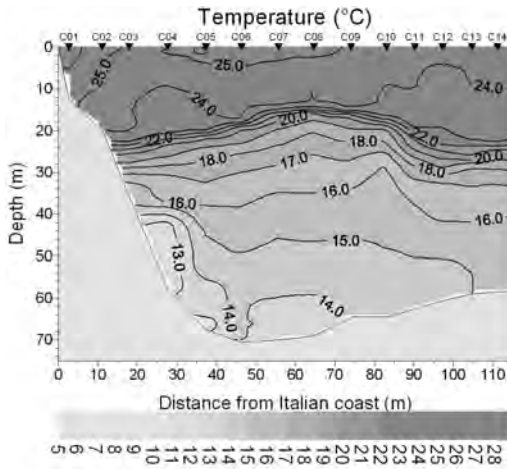
Descrizione dei punti di campionamento usato durante le crociere della *G. Dallaporta*



Filamenti e nastri di dimensioni superiori a 20 cm fino a 1-2 m, di colore bianco o giallastro, a 20 m di profondità, ripresi con telecamera subacquea.

Di seguito sono riportati alcuni esempi di temperatura (T , °C) e salinità (S , ‰) lungo la sezione di Senigallia-Susak dalla superficie al fondo; per lo stesso transetto sono mostrate le variazioni temporali superficia-

li di temperatura e salinità per il periodo aprile 1998-settembre 2004.

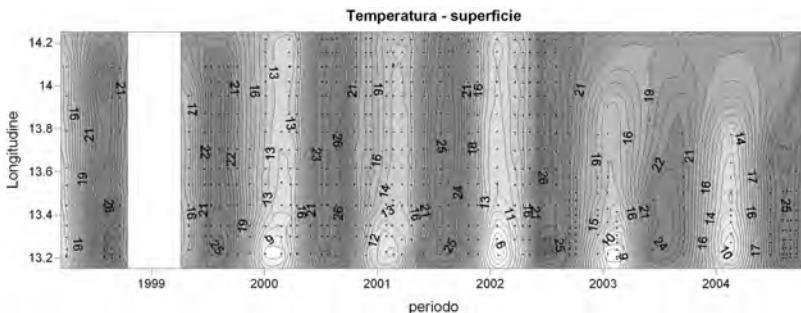


Dall'analisi dei profili T e S si evidenzia la stratificazione della colonna d'acqua (presenza di un netto termoclino) con temperature superficiali di 24-26 °C per i primi 20 m e con valori che decrescono verso il fondo fino a 12,5 °C, alla batimetria di 50 m. Dalle sezioni di salinità si nota, nelle prime tre stazioni, la presenza di una massa d'acqua a bassa salinità, inferiore a 37,8‰, che si estende da costa fino alla batimetria di 18 m; oltre la terza stazione e fino alla costa croata troviamo salinità superiori a 38,0‰, fino a un massimo di 38,8 ‰, da superficie fino al fondo. Questo gradiente di salinità è tipico dell'Adriatico centro-settentrionale e si riscontra tutto l'anno con estensione variabile tra l'estate e l'inverno. La presenza di acqua più fredda e meno salata, alla batimetria di 50 m sul versante occidentale dell'Adriatico, descrive la corrente di fondo proveniente dal Nord Adriatico come è stata descritta in precedenza.

Profilo di temperatura (°C) e salinità (psu \equiv ‰) della sezione di Senigallia-Susak, 30 luglio 2002

Dall'evoluzione temporale della temperatura superficiale si nota che valori minimi (intorno a 5-6 °C) sono stati raggiunti nell'inverno 2002 e inverno 2003. Al contrario sono da evidenziare le alte temperature dell'autunno 2000-inverno 2001, accompagnate da alte

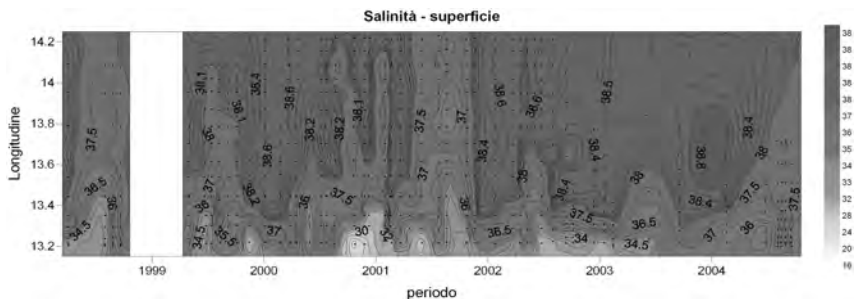
Variazioni temporali superficiali di temperatura per il periodo aprile 1998-settembre 2004 nel transetto di Senigallia-Susak, (per l'inverno 1999 non ci sono dati disponibili); i punti neri indicano le stazioni di misura, in basso il versante italiano in alto il versante croato, l'orientamento è quello mostrato nell'immagine a pagina 12, dove sono riportati i punti di campionamento del programma MAT



Variazioni temporali superficiali di salinità per il periodo aprile 1998-settembre 2004 nel transetto di Senigallia-Susak (per l'inverno 1999 non ci sono dati disponibili); i punti neri indicano le stazioni di misura, in basso il versante italiano in alto il versante croato, l'orientamento è quello mostrato nell'immagine a pagina 12, dove sono riportati i punti di campionamento del programma MAT

portate del fiume Po e da salinità molto basse che si riscontrano anche al largo e permangono per un lungo periodo (come si può notare dall'evoluzione temporale della salinità in superficie). Nell'estate 2001 tutto il bacino settentrionale è interessato da acque a bassa salinità. Particolarmente elevate sono state anche le temperature dell'estate 1998 e 2002, specie dalla parte occidentale, che sono state accompagnate da un'ampia estensione verso il largo delle acque diluite occidentali che, come per il 2001, anche nel 1998 hanno occupato l'intero bacino.

Per quanto riguarda l'andamento temporale della salinità alla superficie, si può osservare che tutto il periodo tra 2002, 2003 e inizio



2004 è stato interessato da alte salinità nella zona centro-orientale, sino a oltre 38,7 ‰ nel maggio 2002 e 38,8 ‰ nel febbraio 2004. Le salinità minime su tutto il bacino sono state registrate tra maggio e ottobre 2001. Piccoli abbassamenti della salinità sulla maggior parte del transetto si sono riscontrati nell'estate 1998 e 1999, in primavera e autunno 2000, e durante l'estate 2004. I minimi assoluti sono stati registrati lungo la zona occidentale a seguito delle abbondanti portate del Po nel ottobre 2000 dovuti alle abbondanti precipitazioni di quel periodo.

Negli anni 2000, 2001 e 2002 è stato possibile descrivere con precisione l'estensione del fenomeno delle mucillagini grazie a un attento e capillare coordinamento (svolto dall'Istituto Centrale per le Ricerche Applicate al Mare) di tutti gli operatori che a vario titolo conducono misure oceanografiche sia per conto di enti di ricerca che per conto di agenzie di monitoraggio regionali sia italiane che croate. Nel 2001 si è osservata una limitata estensione del fenomeno; infatti si sono registrati affioramenti di lieve entità e soprattutto per un limitato periodo e questo a causa di un prolungato periodo di Bora a partire dal 10 luglio, che, a più riprese, ha prima disperso i grossi aggregati e poi ne ha impedito la nuova formazione. Il 2002 è l'anno in cui il fenomeno si è protratto più a lungo dalla metà di giugno ai primi di agosto.

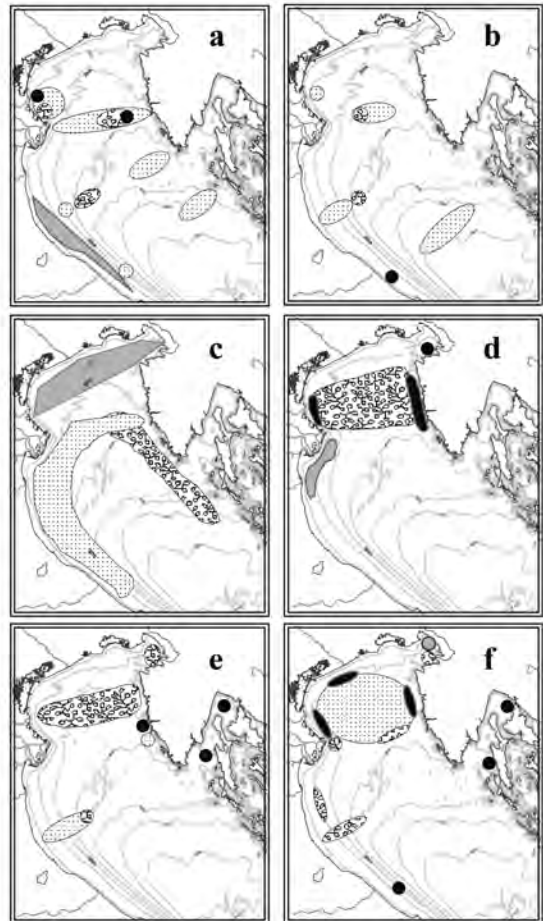
Dal programma di ricerca MAT sono emerse alcune importanti considerazioni che possono essere sinteticamente così riassunte.

L'aggregato mucillaginoso ha un substrato polisaccaridico di origine fitoplanctonica; a questo proposito sono state individuate alcune importanti specie che producono tali essudati in quantità elevata. Gli essudati sono prodotti in maggiore quantità con condizioni particolari di calma del mare e in presenza di determinate condizioni idrologiche (contenuto di sostanze chimiche disciolte, come sali nutritivi e caratteristiche fisiche della colonna d'acqua, come salinità). Questi essudati, inizialmente sotto forma di «neve marina» si aggregano dando origine a strutture compatte e consistenti all'interno delle quali si riproducono molto rapidamente altri microrganismi comunemente presenti in mare quali fitoplancton, batteri e virus. Questi microrganismi contribuiscono, con i loro processi biochimici, alla trasformazione del substrato mucillaginoso e al suo progressivo invecchiamento fino a portarlo alla completa «putrefazione» con la conseguente deposizione sul fondo del mare;

Le variazioni climatiche generali che anche nel Mediterraneo sono state osservate e descritte da molti autori (Marini, 2006; Manca *et al.*, 2003; Klein *et al.*, 2000; Russo, 2002; Pinardi e Mosetti, 2000; Klein *et al.*, 1999; Lascaratos *et al.*, 1999; Pinardi *et al.*, 1997; Roether *et al.*, 1996), hanno condizionato la formazione di mucillagini aumentando la frequenza del fenomeno, come è stato osservato negli ultimi venticinque anni. In particolare questi cambiamenti hanno portato delle variazioni sulla circolazione delle masse d'acqua profonde del mediterraneo orientale e alla diminuzione delle portate di acqua continentale nel Nord Adriatico. La concomitanza di questi cambiamenti ha portato variazioni nella circolazione delle correnti marine in Adriatico.

Il regime dei venti, in particolare la Bora, condizionano la formazione e la disgregazione di mucillagine compatta, infatti periodi tardo primaverili con debole vento di Bora ne facilitano la formazione, mentre, una volta manifestatosi, gli aggregati compatti di mucillagine vengono dispersi da giornate con vento di Bora: intenso e duraturo per 3-5 giorni.

Per gli approfondimenti scientifici dei singoli aspetti, biologici, idrologici, fisici, chimici, botanici e meteorologici, si rimanda il lettore più



Distribuzione delle mucillagini durante gli eventi di:
 a) 9-30 giugno 2000;
 b) 25 giugno-9 luglio 2001;
 c) 20-27 giugno 2002;
 d) 4-11 luglio 2002;
 e) 12-18 luglio 2002;
 f) 18-31 luglio 2002
 (Precali *et al.*, 2005)

esigente alla letteratura scientifica comparsa sul numero speciale della rivista *The Science of the Total Environment*, numero 353 (dicembre 2005) dove sono riportate in dettaglio per ciascuna disciplina scientifica tutti i risultati degli ultimi anni di ricerche nei mari italiani.

In conclusione, posso dire che il mare Adriatico è un ecosistema particolarmente affascinante sia per gli studiosi come per chi ne sfrutta le numerose opportunità produttive, ricreative o culturali.

Ritornando alle parole di Giovanni Bianchi scritte nel 1746, riscopro che sono di grande saggezza e umanità e richiamano a una continua ricerca nell'interpretazione degli eventi naturali e che il solo fatto di osservarli, per comprenderli, ci dà un senso di inebriante stupore che ci richiama a un Altro. ❖

INDICAZIONI BIBLIOGRAFICHE

- Artegiani A., M. Gacic, A. Michelato, V. Kovacevic, A. Russo, E. Paschini, P. Scarazzato, A. Smircic, *The Adriatic Sea hydrology and circulation in spring and autumn* (1985-1987), *Deep Sea Research II*, 40, (6), 1993, pp. 1143-1180.
- Artegiani A, D. Bregant, E. Paschini, N. Pinardi, F. Raicich, A. Russo, *The Adriatic Sea general circulation. Part I. Air-sea interactions and water mass structure*, *J. Phys. Oceanogr.* 27, 1997, pp. 1492-1514.
- Degobbi D., M. Gilmartin, *Nitrogen, phosphorus and biogenic silicon budgets for the Northern Adriatic Sea*. *Oceanologica Acta*, 13, 1990, pp. 31-45.
- Franco P., Lj. Jefic, P. Malanotte-Rizzoli, A. Michelato, M. Orlic, *Descriptive model of the northern Adriatic*. *Oceanologica Acta* 5, 1982, pp. 379-389.
- Klein B, W. Roether, G. Civitarese, M. Gacic, B.B. Manca, M. Ribera d'Alcalà, *Is the Adriatic returning to dominate the production of Eastern Mediterranean Deep Water?*, *Geophys. Res. Letters*, Vol. 27, (20), 2000, pp. 3377-3380.
- Klein B, W. Roether, B.B. Manca, D. Bregant, V. Beitzel, V. Kovacevic, A. Luchetta, *The large deep water transient in the Eastern Mediterranean*, *Deep-Sea Res. I* 46 (3), 1999, pp. 371-414.
- Lascaratos A., W. Roether, K. Nittis, B. Klein, *Recent changes in deep water formation and spreading in the eastern Mediterranean Sea*, *Prog. Oceanogr.* 44, 1999, pp. 5-36.
- Manca B.B., G. Budillon, P. Scarazzato, L. Ursella, *Evolution of dynamics in the eastern Mediterranean affecting water mass structures and properties in the Ionian and Adriatic Seas*, *J. Geophys. Res.* 108 (C9), 2003, 8102, doi: 10.1029/2002JC001664.
- Marini M., A. Russo, R. Signell, F. Grilli, A. Campanelli, A. Artegiani, D. Bigazzi, *Nitrogen and AOU: useful tools for short-term prediction of end summer hypoxic event in the north Adriatic Sea bottom layer*, *Rapp. Comm. int Mer. Medit.* 37, 2004, p. 220.
- Marini M, A. Russo, E. Paschini, F. Grilli, A. Campanelli, *Short-term physical and chemical variations in the bottom water Middle Adriatic depressions*, *Climate Research*, 31, 2006, pp. 227-237.
- Marini M., C. Totti, A. Artegiani, *Variazioni interannuali del livello di eutrofizzazione lungo un transetto posto all'altezza di Senigallia (Adriatico settentrionale)*: 1988-1994, *Atti Associazione Italiana Oceanografia e Limnologia*, 13(2), 2000, pp. 333-341.
- Orlic M., M. Gacic, P.E. La Violette, *The Currents and Circulation of the Adriatic Sea*, *Oceanol. Acta*, 15(2), 1992, pp. 109-124.
- Orlic M., M. Kuzmic, Z. Pasarić, *Response of the Adriatic Sea to Bora and Scirocco forcings*, *Cont. Shelf Res.*, 14(1), 1994, pp. 91-116.
- Pano N., *Sur Les Lois de Penetration des Eaux Ioniennes dans l'Adriatique*, Ed. Accademie des Sciences-Institute Hydrometeorologique: 1973, Tirana, pp 1-56.
- Pinardi N., G. Korres, A. Lascaratos, V. Roussenov, E. Stanev, *Numerical simulation of the interannual variability of the Mediterranean Sea upper ocean circulation*, *Geophys. Res. Lett.*, 24: 1997, pp. 425- 428.
- Pinardi N, E. Masetti, *Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review*, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 158, (3-4): 2000, pp. 153-174.
- Poulain P.M., F. Raicich, *Forcing*, Pp 45-65. In: Cushman-Rosin B. et al. (eds.), *Physical Oceanography of the Adriatic Sea*. Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 2001.
- Roether, W., B.B. Manca, B. Klein, D. Bregant, D. Georgopoulos, V. Beitzel, V. Kovacevic, A. Luchetta, *Recent changes in eastern Mediterranean deep waters*, *Science*, 271, 1996, pp. 333-335.
- Russo A., A. Artegiani, *Adriatic Sea hydrography*, *Scientia Marina*, 60 (2): 1996 pp. 33-43.
- Russo A, S. Rabitti, M. Bastianini, *Decadal climatic anomalies in the Northern Adriatic Sea inferred from a new oceanographic data set*, *PSZN Mar Ecol* 23 (Suppl 1): 2002, pp. 340-351.
- Sekulic B., Vertačnik A., *Balance of average annual fresh water inflow into the Adriatic Sea*, *Water Resources Development*, 12: 1996, pp 89-97.
- Zoppini A., M. Pettine, C. Totti, A. Puddu, A. Artegiani, R. Pagnotta, *Nutrients, Standing Crop and Primary Production in Western Coastal Waters of the Adriatic Sea*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 41, 1995, pp. 493-513.