

REGIONE EMILIA-ROMAGNA
Assessorato Agricoltura. Ambiente e Sviluppo Sostenibile



ARPA
Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente
dell'Emilia-Romagna
Struttura Oceanografica Daphne



EUTROFIZZAZIONE DELLE ACQUE COSTIERE DELL'EMILIA-ROMAGNA

Rapporto 2003

INDICE

Rapporto sullo stato di eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia-Romagna nel 2003.

PARTECIPANTI ALL'INDAGINE	3
PRESENTAZIONE	4
SOMMARIO	5
1. INTRODUZIONE E FINALITA'	71
2. MATERIALI E METODI	7
3. CONDIZIONI METEO-MARINE	11
4. RISULTATI	11
4.1 Temperatura	13
4.2 Salinità	14
4.3 Ossigeno disciolto	14
4.4 pH	15
4.5 Trasparenza (disco Secchi)	15
4.6 Clorofilla "a"	16
4.7 Fitoplancton	16
4.8 Azoto nitrico	18
4.9 Azoto nitroso	19
4.10 Azoto ammoniacale	19
4.11 Azoto totale	20
4.12 Fosforo ortofosfato	20
4.13 Fosforo totale	21
4.14 Silice reattiva	21
4.15 Rapporto N/P (frazione solubile)	22
4.16 Rapporto Ntot/Ptot	23
4.17 Rapporto Ntot sol/Ptot sol	24
4.18 Indice Trofico (TRIX)	25
4.19 Indice di Torbidità (TRBIX)	34
5. EVOLUZIONE DEI PROCESSI TROFICI NEL 2003. SINTESI RIASSUNTIVA	38
5.1 Eutrofizzazione	38
5.3 Macroalghe	43
5.4 Meduse	44
6. CONCLUSIONI	45
ALLEGATO Programma annuale delle attività 2003	179

PARTECIPANTI ALL'INDAGINE

Parametri chimico-fisici delle acque:

Giuseppe Montanari
Anna Ghetti
Cristina Mazziotti
Stefano Serra
Margherita Benzi

Determinazione della biomassa fitoplanctonica:

Anna Ghetti
Cristina Mazziotti
Margherita Benzi

Analisi dei nutrienti:

Carla Rita Ferrari
Paola Martini
Sandro Tarlazzi

Elaborazione grafica e statistica:

Giuseppe Montanari
Stefano Serra

Stesura del testo

Giuseppe Montanari
Attilio Rinaldi
Anna Ghetti
Carla Rita Ferrari
Cristina Mazziotti
Stefano Serra

Coordinamento organizzativo a cura di:

Struttura Oceanografica Daphne
ARPA - Emilia-Romagna
V.le Vespucci, 2 - 47042 Cesenatico FC

Si ringraziano per la collaborazione Pagan Dino e Papperini Marco, rispettivamente Comandante e Motorista del Battello Oceanografico "Daphne II".

PRESENTAZIONE

Il rapporto annuale sull'eutrofizzazione in Emilia Romagna rappresenta da un lato il risultato di uno straordinario lavoro applicato al mare, dall'altro il forte impegno che questa Regione da anni dedica alle attività di studio e di monitoraggio dello stato ambientale del proprio sistema marino - costiero. Tutto ciò si basa sulla convinzione che per risolvere, mitigare particolari eventi si debbano conoscere le condizioni che li generano. Un valido patrimonio di conoscenze su fenomenologie complesse quali l'eutrofizzazione rappresenta la condizione necessaria per mettere in atto razionali strategie di intervento e di difesa in una logica di ottimale rapporto tra costi e benefici. Un valore al quale le Amministrazioni che governano il Territorio non possono rinunciare.

La Struttura Oceanografica Daphne, confluita dal 1996 nell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente, opera in questo settore dal 1977. Da quel tempo sono stati realizzati decine di programmi finalizzati allo studio delle questioni oggetto del presente rapporto, con collaborazioni che hanno visto il coinvolgimento di Ricercatori ed Istituti di ricerca sia nazionali che internazionali. In particolar modo mi preme sottolineare le opportunità che nel tempo sono scaturite dalla collaborazione tra ARPA -Daphne, l'Università di Bologna ed il Centro Ricerche Marine di Cesenatico. Una sorta di simbiosi che nel tempo è riuscita a realizzare valori tecnico - scientifici ed una efficace struttura dedicata al presidio del mare e delle sue risorse.

Il 2003, come si potrà evincere dalla lettura di questo rapporto, è stato un anno molto particolare. La straordinaria aridità che ha caratterizzato la quasi totalità delle stagioni si è riflessa sulle portate del Po che hanno raggiunto valori minimi di portata mai raggiunti. E' mancato completamente il picco di portata primaverile e quello autunnale è stato di modesta entità. L'assenza di apporti fertilizzanti ha conseguentemente avuto effetti positivi sulla trasparenza delle acque ma, nel contempo, risvolti negativi sulla produttività del mare e sugli usi antropici dedicati alla pesca ed all'acquacoltura. Preoccupante al contrario la presenza delle "mucillagini" che solo per un fortunoso evento meteorico dovuto alla libeccata del 2-5 luglio non ha provocato invasivi affioramenti e spiaggiamenti. L'insieme dei fenomeni qui tracciati mostra evidenti correlazioni con le condizioni meteorologiche e con quelle inerenti i carichi eccessivi di sostanze eutrofizzanti generati dall'uomo, solo una saggia disamina delle strategie di intervento sui fattori "governabili" può portarci al raggiungimento di risultati positivi ed equilibrati.

Dr. Guido Tampieri

Assessore all'Agricoltura,
Ambiente e Sviluppo Sostenibile.
Regione Emilia – Romagna

SOMMARIO

Il 2003 è stato caratterizzato da straordinarie condizioni meteorologiche che hanno determinato scarsità di precipitazioni atmosferiche nei primi 10 mesi dell'anno ed una straordinaria anomalia termica con valori di temperatura superficiali molto al di sopra della media da maggio fino alla metà di ottobre. Di conseguenza non si sono verificate, nel periodo invernale, le classiche fioriture microalgali di Diatomee a carattere estensivo.

Dalla fine di giugno fino ad agosto, sono state rilevate limitate condizioni di anossia/ipossia delle acque di fondo in aree al largo nella zona settentrionale della costa. Questi eventi sono stati di breve durata.

Verso la fine di giugno è comparso del materiale mucillaginoso in misura inferiore rispetto all'evento riscontrato nel 2002.

Agli inizi di maggio, nella zona centro-meridionale della costa, si è registrata la fioritura della microalga eterotrofa *Noctiluca scintillans* che ha riguardato la zona superficiale del mare, presentandosi con strisce e chiazze lunghe decine di metri di colore arancione intenso.

Anche nel 2003 (come nei due anni precedenti), sulla base del rapporto azoto/fosforo si riconferma il ruolo del fosforo come fattore limitante principale della crescita microalgale. Durante il periodo estivo il rapporto N/P tende ad abbassarsi portando in condizioni di azoto limitazione anche le stazioni settentrionali.

Con riferimento al D. Lgs. 152/99 è stata effettuata la classificazione dello stato qualitativo ambientale delle acque costiere applicando l'indice trofico TRIX: rispetto al 2002 è emerso un miglioramento statisticamente significativo dello stato qualitativo che si avvicina di molto alla condizione di stato "Buono" che rappresenta l'obiettivo da perseguire entro il 2008.

SUMMARY

In 2003, all year round, we had particular meteo-climatic conditions with poor precipitation from January to October. and with values of surface temperature higher than the seasonal means. Under such conditions we didn't have observed the recurring blooms of Diatom, during the winter.

From late June till August, hypoxic/anoxic conditions affected limited areas offshore of bottom waters along northern coast. These events were temporarily limited.

Since late June we have pointed out mucilaginous material but its production has been lower in comparison with 2002.

During early May, we recorded the bloom of the heterotrophic Dinoflagellate *Noctiluca scintillans* in the middle Southern part of the coast; this orange bloom concerned primarily the surface level of seawater with spots and 10 m long strings.

Both in 2001, 2002 and 2003, on the basis of the N/P ratio, phosphorus was the limiting factor in microalgal growth. During the Summer the N/P ratio decreases bringing to conditions of nitrogen limitation in northern stations too.

Taking into account the D.Lgs.152/99, we classified the qualitative environmental state of coastal waters by the application of Trophic index (TRIX): if compared to the previous year, 2003 shows a statistically significant improvement and is even more near from the "Good" qualitative state (target to obtain within the 2008).

1. INTRODUZIONE E FINALITA'

La Struttura Oceanografica Daphne, operativa fin dal 1978 sulla base delle direttive indicate nella L.R. 39/78, si è affermata come Struttura specialistica nel campo del monitoraggio marino, configurandosi in Arpa con la mission specifica di produrre servizi e studi al fine di presidiare, controllare le risorse marine e sviluppare conoscenze sull'ecosistema marino - costiero. In tale contesto si colloca la produzione del rapporto annuale, che nel tempo si è rivelato un valido strumento tecnico-scientifico per la divulgazione delle informazioni inerenti i fenomeni trofici e dei conseguenti effetti a livello di ecosistema marino.

I dati riportati in questo rapporto si riferiscono principalmente al programma di monitoraggio sull'eutrofizzazione delle acque marine costiere dell'Emilia-Romagna, integrati dalle osservazioni derivanti dal programma di sorveglianza sugli aggregati mucilluginosi.

Tali piani di monitoraggio, oltre ad una mirata azione di controllo sull'ecosistema marino, rivestono un importante ruolo nella ricerca e nello studio dei fattori causali.

Tra i principali obiettivi si evidenziano:

- definizione dell'intensità e dell'estensione delle fioriture microalgali nell'area compresa fra il delta del Po e Cattolica su un territorio di 1200 Km²;
- determinazione e conteggio delle specie fitoplanctoniche che sostengono le fioriture;
- controllo degli effetti derivanti dalle diverse fasi dell'evoluzione del fenomeno (ipossie ed anossie nei fondali, morie di organismi bentonici, caratteristiche organolettiche delle acque);
- determinazione della concentrazione dei nutrienti (fosforo e azoto) e loro andamenti temporali e spaziali;
- determinazione dei principali parametri fisico-chimici delle acque (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH, clorofilla "a" e trasparenza), loro andamenti temporali e spaziali in relazione agli eventi meteorologici ed ai fenomeni eutrofici (anche ai fini della classificazione dello stato qualitativo delle acque costiere previsto dal D.Lgs 152/99 integrato con D.Lgs 258/00);
- presenza di aggregati mucilluginosi, loro distribuzione spaziale e dinamica di formazione.

Oltre che i citati programmi istituzionali, la Struttura realizza progetti collaterali ad integrazione dei precedenti, tra cui si anovera il monitoraggio finalizzato al controllo

degli ecosistemi marini regolato da una convenzione triennale con il Ministero Ambiente (L. 979/82).

Complessivamente le uscite giornaliere della "Daphne II" nel 2003 sono state 142.

2. MATERIALI E METODI

Il programma di monitoraggio condotto nel 2003 è stato in gran parte finalizzato alla caratterizzazione delle acque costiere fino ai 10 Km dalla costa, in un reticolo formato da 32 stazioni distribuite nel tratto di costa compreso fra Bagni di Volano e Cattolica (fig. 1).

La frequenza di campionamento è stata settimanale ed ha coperto l'intero anno.

Oltre alle stazioni citate sono state monitorate mensilmente due stazioni poste a 20 Km dalla costa sul prolungamento delle direttrici di Porto Garibaldi e di Cesenatico (fig. 1). Nelle stazioni di questi transetti, oltre ai normali profili verticali dei parametri fisico-chimici, vengono raccolti campioni per la determinazione dei nutrienti in superficie e sul fondo.

Sempre e solo in questi transetti vengono analizzate sul filtrato, oltre alla frazione solubile dell'azoto e del fosforo e della silice, anche quella organica solubile.

In ogni stazione vengono inoltre prelevati, a -0,5 m dalla superficie, campioni di acqua per le analisi dei nutrienti e per le determinazioni quali-quantitative del fitoplancton.

Inoltre, poiché i D.Lgs 152/99 e 258/00 affidano alla Regione la caratterizzazione qualitativa delle acque marino costiere, il programma di monitoraggio è stato predisposto tenendo conto anche di questa esigenza e pertanto l'ubicazione delle stazioni, la frequenza dei prelievi ed i parametri controllati sono conformi a quanto prescritto dalle direttive. I dati raccolti vengono tra l'altro comunicati al Ministero della Sanità in accordo alle disposizioni di legge in tema di balneazione (DPR 470/82 e successive integrazioni).

Le determinazioni dei parametri idrologici vengono effettuate mediante la strumentazione installata a bordo del battello oceanografico "Daphne II".

Per l'esecuzione dei profili verticali di temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH, torbidità e clorofilla "a" si utilizza la sonda multiparametrica Idronaut mod. Ocean Seven 316 che, azionata da un verricello, viene calata sulla verticale. I dati acquisiti sono trasmessi con telemetria al computer di bordo, mediati per ogni metro di profondità, visualizzati su terminale e registrati su supporto magnetico.

La concentrazione di clorofilla "a" è determinata col metodo fluorimetrico, mediante l'impiego di un fluorimetro TURNER 10 AU installato a bordo del battello. Per i profili

verticali di questo parametro si utilizza un fluorimetro della "Sea Point" abbinato alla sonda multiparametrica della "Idronaut".

La torbidità viene misurata lungo la colonna d'acqua mediante un trasmissometro della "Sea Teck, cammino ottico di 25 cm" abbinato alla sonda "Idronaut".

La trasparenza dell'acqua è misurata mediante il disco di Secchi.

Vengono inoltre utilizzate nel programma di monitoraggio telecamere filoguidate (Fulgore Mare e Telesub Lanterna) con lo scopo di seguire la eventuale formazione degli aggregati mucillaginosi nel tempo ed i loro spostamenti sulla colonna d'acqua.

Parametri meteo-marini

Per quanto concerne i dati sulle precipitazioni atmosferiche (fig. 4), questi vengono registrati da un pluviografo della SIAP in una stazione meteorologica installata a Cesenatico. Oltre al dato pluviometrico vengono determinati la direzione e la velocità del vento.

L'altezza dell'onda (fig. 5) viene rilevata nelle piattaforme AGIP "Garibaldi C/Cervia A" collocata a 12 miglia ad Est di Ravenna (dati gentilmente concessi dall'AGIP-Mineraria di Ravenna).

Le portate del fiume Po (figg. 2 e 3) sono state fornite dal Servizio IdroMeteorologico dell'Arpa.

Sali nutritivi

Per la determinazione dei sali nutritivi sono state impiegate metodiche in uso applicate ad autoanalizzatori della "Bran Luebbe" mod. Traacs 800 e AA3. Dopo apposita filtrazione (esclusi i campioni da destinare alle analisi del fosforo totale e dell'azoto totale), attraverso un filtro Millipore, Ha di 47 mm di diametro e 0,45 µm di porosità, vengono analizzati i seguenti parametri:

Fosforo reattivo

Gli ortofosfati presenti nell'acqua di mare reagiscono in ambiente acido con ammonio molibdato e tartrato di antimonio potassio per formare un complesso antimoniofosfomolibdico che, per riduzione con acido ascorbico, dà una colorazione blu la cui estinzione è misurata a 880 nm.

Fosforo totale

Viene determinato sull'acqua di mare tal quale con procedura analoga a quella del fosforo reattivo, previa digestione del campione con miscela ossidante di persolfato di potassio, acido bórico e sodio idrossido.

Fosforo totale solubile

Viene determinato sull'acqua di mare filtrata con procedura analoga a quella del fosforo reattivo, previa digestione del campione con miscela ossidante di persolfato di potassio, acido bórico e sodio idrossido. Per fosforo totale solubile si intende l'ortofosfato più la frazione organica solubile.

Silice reattiva

I silicati reagiscono con lo ione ammonio per formare, in presenza di acido ascorbico, il blu di molibdeno che viene successivamente determinato, analogamente ai parametri precedenti, per via colorimetrica. Per minimizzare le interferenze dovute ai fosfati viene introdotto acido ossalico.

Azoto ammoniacale

Fenolo alcalino e dicloroisocianurato reagiscono con l'ammoniaca per formare indofenolo (blu) che è proporzionale alla concentrazione dell'ammoniaca. Il colore blu formato è intensificato con sodio nitroprussiato e determinato con lettura spettrofotometrica a 630 nm.

Azoto nitrico e nitroso

Il nitrato è ridotto a nitrito, attraverso una colonna contenente granuli di cadmio ricoperti con rame metallico.

Il nitrito così prodotto è determinato secondo la reazione di diazotazione con sulfanilamide e la successiva copulazione con N - (1 naftil) - etilendiammina. Il composto colorato che si forma viene determinato a 520 nm.

Azoto totale

Viene determinato sull'acqua di mare tal quale con procedura simile a quella dell'azoto nitrico previa digestione del campione con la miscela ossidante analoga a quella impiegata per il fosforo totale.

Azoto totale solubile

Viene determinato sull'acqua di mare filtrata con procedura analoga a quella dell'azoto nitrico, previa digestione del campione con la miscela ossidante.

Per azoto totale solubile si intende la sommatoria della frazione inorganica solubile (azoto nitrico, nitroso e ammoniacale) più quella organica solubile.

Fitoplancton

Per le determinazioni quali-quantitative del fitoplancton viene utilizzato un microscopio rovesciato a contrasto di fase, a 400x, applicando il metodo Uthermöhl H. 1956.

Analisi statistica e grafica

L'analisi statistica è stata effettuata con l'impiego del software applicativo *STATISTICA* Ver 5.0 della StatSoft, mentre per la rappresentazione grafica dei dati sono stati impiegati il software applicativo Microsoft Excel e Surfer di Golden Software.

3. CONDIZIONI METEO-MARINE

Il 2003 è stato caratterizzato da basse portate del fiume Po (fig. 2), in modo particolare in primavera ed estate, con prolungati periodi di magra (250-400 mc/sec) conseguente alle scarse precipitazioni che si sono riversate nel bacino padano.

Nonostante che in gennaio si siano rilevati apporti oltre la media storica, l'effetto delle acque dolci e del relativo carico trofico sulla fascia costiera è stato limitato, poiché coincidente con frequenti mareggiate. In autunno si osserva un incremento della portata del Po fino ad un massimo di 5055 mc/sec registrato il 6 dicembre.

Il valore medio annuale pari a 964 mc/sec, si è dimezzato rispetto a quello rilevato nel 2002 ed è risultato notevolmente inferiore rispetto alla media calcolata nel lungo periodo (1917-2003) equivalente a 1498,7 mc/sec (fig. 3), approssimandosi ai valori minimi riscontrati negli ultimi 80 anni.

Le precipitazioni atmosferiche rilevate a Cesenatico (fig. 4) rispecchiano una situazione rapportabile a gran parte del bacino padano che, come si evince dal grafico sono state estremamente scarse in particolare nel periodo estivo caratterizzato da siccità e da prolungati periodi con assenza di precipitazioni.

Il valore medio annuale pari a 453.1 mm indica una quantità di precipitazioni dimezzata rispetto a quella riscontrata nel 2002.

I dati dell'altezza dell'onda (fig. 5) che forniscono una stima delle mareggiate, mostrano una maggiore frequenza di mare mosso tra gennaio e marzo e in novembre-dicembre con onde di 3.3 metri.

4. RISULTATI

I riferimenti grafici di seguito riportati riguardano i parametri settimanalmente rilevati in 19 stazioni (su 32 monitorate). Di queste 7 sono collocate a 500 m dalla costa, 5 a 3.000 m, 5 a 10.000 m e 2, monitorate mensilmente, a 20.000 m.

Queste ultime due stazioni sono poste sui transetti di Cesenatico e di Porto Garibaldi (codificate rispettivamente 2014 e 2004).

I grafici temporali relativi ai transetti 4 e 14 per le stazioni a 3.000, 10.000 e 20.000 m riportano i valori di superficie e fondo.

Complessivamente sono state prese in esame tre stazioni sul transetto di Bagni di Volano (stt. 2-302-1002), quattro sul transetto di Porto Garibaldi (stt. 4-304-1004-2004), una antistante la zona portuale di Casal Borsetti (st. 6), tre sul transetto di Lido Adriano (stt. 9-309-1009), quattro su quello di Cesenatico (stt. 14-314-1014-2014), una

davanti a Rimini (st. 17) e tre sul transetto di Cattolica (stt. 19-319-1019). Gli andamenti del fitoplancton riguardano le stazioni campione 4, 9, 14, 19. Ognuna delle stazioni predette può essere considerata rappresentativa di una zona ben più vasta, con caratteristiche chimico-fisiche e biologiche abbastanza omogenee, mentre nel loro insieme rappresentano sufficientemente l'intera zona costiera regionale.

Da fig. 6 a fig. 44 vengono riportati gli andamenti temporali di tutti i parametri misurati per tutte le stazioni, in fig. 45 la mappa delle subaree costiere (georeferenziata in fig. 143), in fig. 46 le distribuzioni dei valori medi di clorofilla "a" delle subaree, in fig. 47 la distribuzione delle zone ipossiche/anossiche manifestatesi nel corso del 2003.

In fig. 48 sono rappresentati i diagrammi T-S riportati per 3 periodi dell'anno (marzo, maggio, settembre 2003) in 5 stazioni nella zona off-shore, in fig 49 vengono riportate le medie climatologiche dei parametri chimico-fisici rilevati calcolati per il periodo 1993-2002 su due stazioni collocate a 3 Km dalla costa antistanti P. Garibaldi (304) e Cattolica (319). Da fig. 51 a fig. 53 sono visualizzati i profili verticali di temperatura, salinità, ossigeno disciolto e clorofilla, in figg. 54-57 le isolinee di concentrazione di alcuni parametri nelle stt. 1004-1014-2004-2014, in figg. 58-63 le isolinee di concentrazione di alcuni parametri idrologici nei transetti di Cesenatico e P. Garibaldi.

Da fig. 64 a 66 è riportata l'evoluzione degli stati di aggregazione della mucillagine e da fig 67-90 e 97-98 le elaborazioni del TRIX e TRBIX. Altre informazioni di statistica descrittiva sono illustrate con istogrammi di frequenza per parametro (figg. 131-132) e nei "Multiple Box and Whisker plot" (da figura 133 a 136). Da fig. 137 a 141 sono rappresentati gli andamenti temporali del fitoplancton con relativi diagrammi "Multiple Box and Whisker plot".

Nella tabella 1 sono riportate le località ed i codici delle stazioni e nella tabella 2 le relative coordinate geografiche e batimetriche. Nelle tabelle 3-6 vengono calcolati gli elementi di statistica descrittiva, in tabella 7 la suddivisione della scala trofica riferita all'indice trofico TRIX e in tabella 8 la classificazione trofica basata sulla media del TRIX ed il coefficiente di efficienza.

In tabella 9 sono indicati i valori medi di TRIX per aree omogenee con la valutazione del rischio eutrofico.

4.1 Temperatura

In accordo con il decorso climatico stagionale, la temperatura delle acque superficiali presenta un andamento tipico sinusoidale (figure 6, 14, 29) raggiungendo i minimi alla fine di gennaio-inizio febbraio, ed i massimi nei mesi estivi.

Valori del parametro al di sotto della media stagionale si evidenziano fino al mese di aprile, mentre nella prima decade del mese di maggio, analogamente a quanto riscontrato negli anni precedenti, si ha un significativo riscaldamento delle acque superficiali con valori al di sopra del range di qualche grado. Ad eccezioni di brusche diminuzioni del parametro dovute principalmente ad eventi di natura idrodinamica, valori al di sopra del range si riscontrano nel mese di giugno, a fine luglio e nel mese di agosto. Le variazioni su piccola scala temporale nelle acque superficiali sono per lo più dovute ad apporti fluviali, incrementi di biomassa microalgale in sospensione, moto ondoso e particolari situazioni idrodinamiche (upwelling, spostamenti laminari di masse d'acqua, ecc.).

I valori più alti riscontrati nelle stazioni settentrionali sono in relazione alla concomitanza dei fattori prima esposti. In particolare la maggior influenza di acque dolci fluviali, più calde nei periodi estivi del corpo idrico ricevente, l'insistenza di focolai eutrofici che incrementano la torbidità dell'acqua determinano un maggior assorbimento della radiazione solare all'interno del corpo idrico con un conseguente aumento dei valori di temperatura.

Il valore di temperatura più elevato è stato registrato il 18 agosto a ridosso del delta Po con 29,98 °C nella stazione di Bagni di Volano, a 1 km da costa, il minimo è stato riscontrato nella stazione di Rimini, a 1 km da costa, il 20 febbraio con 4.97 °C.

Il precoce riscaldamento delle acque superficiali ha contribuito alla formazione di termoclini nelle stazioni off-shore (a 20 km da costa) già dal mese di maggio, nel mese di agosto la colonna d'acqua presenta valori termici elevati per uno spessore di 15 metri di profondità (figure 50, 51, 56,57).

I valori medi annuali (fig. 99) di temperatura delle acque superficiali presentano un decremento costa-largo nel transetto 2 e nelle stazioni posizionate a 20 Km. Andamento inverso si rileva nei transetti 9-14 e 19. I valori medi stagionali (fig. 115), seppur con flessioni nord-sud estive ed opposti incrementi in autunno, non evidenziano trend marcati.

4.2 Salinità

La variabilità del parametro nelle acque costiere è correlata ai regimi di portata fluviale, all'azione di mescolamento operata dal moto ondoso, nonché a situazioni idrodinamiche particolari come i processi di upwelling che richiamano in costa acque di fondo a più elevata salinità. Gli andamenti riconfermano un accentuato trend positivo nord-sud. Le stazioni più settentrionali investite maggiormente dagli apporti del bacino padano, presentano marcate variazioni e valori di salinità più bassi rispetto alle altre stazioni (vedi figg 6, 15, 30).

Buona è la risonanza tra i volumi di portata del fiume Po ed i valori di salinità, in più occasioni si osservano picchi di caduta del valore come diretta conseguenza degli sversamenti fluviali. Evidenti in quasi tutta l'area sono i picchi di gennaio, marzo, e di novembre-dicembre, quest'ultimi più marcati nell'area centro-settentrionale. Il valore minimo di 14.09 psu è stato registrato a Porto Garibaldi, a 0.5 km, lo 01/12/03.

In generale, eccetto che nelle stazioni dell'area settentrionale, la salinità si è attestata su valori elevati, in particolare nel periodo estivo in concomitanza alle scarse portate fluviali.

Anche dai profili verticali (figg 50, 51) e dalle distribuzioni del parametro (figg.56, 57) si evidenziano scarse stratificazioni nel periodo estivo.

L'andamento medio annuale riconferma il marcato gradiente con tendenza all'aumento Nord-Sud e da costa verso largo (fig. 100). I valori medi stagionali evidenziano in generale, tranne che nel transetto 2 e 6, i valori più bassi nel periodo invernale in coincidenza con gli aumenti di portata in particolare del fiume Po (fig. 116).

4.3 Ossigeno disciolto

La variabilità del parametro, indicatore dello stato trofico, nelle acque superficiali è prevalentemente in funzione degli incrementi della biomassa autotrofa in sospensione. Le fluttuazioni attorno al valore fisico di saturazione sono per lo più conseguenti all'apporto di ossigeno proveniente dai processi fotosintetici. Valori in sovrasaturazione si presentano in concomitanza ad incrementi microalgali. Evidente è la risonanza tra i picchi di clorofilla "a" e gli incrementi del parametro nel mese di marzo in tutte le stazioni costiere.

Le stazioni più settentrionali, soggette più frequentemente ad incrementi microalgali, presentano più accentuate variazioni del parametro e valori più elevati (vedi figure 7, 16, 31). Le variazioni a breve scala temporale sono indotte prevalentemente da forte turbolenza e/o da movimenti di avvezione, gli abbassamenti del valore negli strati

superficiali sono conseguenti a risalite o spostamenti di acque di fondo meno ossigenate. Nelle acque di fondo i valori tendenti alla sottosaturazione sono determinati prevalentemente dalla domanda di ossigeno nei processi ossidativi e respiratori.

In generale rispetto al 2002 i casi di ipossia-anossia sono stati più circoscritti e limitati nel tempo. Casi di ipossia-anossia si sono manifestati localmente nell'area settentrionale nel mese di giugno e nel mese di luglio. Nella terza decade di agosto gli stati ipossici si sono estesi anche all'area centrale interessando solo le stazioni al largo, mentre gli stati anossici si sono ulteriormente diffusi nell'area settentrionale a partire da circa 1 km di distanza da riva, dalla fine di agosto si assiste ad una regressione di tali stati (vedi anche figure 45, 52, 53).

Le medie annuali (fig. 101) confermano in generale nelle acque superficiali il trend negativo nord-sud. Le medie stagionali riconfermano in tutte le stazioni i valori più elevati in inverno, i minimi sono generalmente in estate (fig. 117).

4.4 pH

Gli andamenti temporali riconfermano una più accentuata variabilità del parametro nelle stazioni più settentrionali, che presentano in generale anche i valori più elevati (figure 7, 17, 32). Poiché il parametro è indirettamente influenzato da incrementi di biomassa microalgale, buona è la correlazione con l'ossigeno disciolto e la clorofilla "a". Sulla verticale si ha un discreto gradiente tendente alla diminuzione passando dalle acque superficiali verso quelle di fondo, tale differenza tende ad aumentare nei momenti caratterizzati da ipossia/anossia delle acque di fondo.

I valori medi annuali (fig. 102) riconfermano la tendenza all'aumento da costa a 3 Km.

Le medie stagionali mostrano i massimi in inverno (fig. 118).

4.5 Trasparenza (disco Secchi)

Le variazioni del parametro nelle acque costiere sono indotte da molteplici fattori, riduzioni si hanno sia in caso di apporti fluviali veicolanti a mare detrito organico ed inorganico, sia nel caso di incrementi di biomassa fitoplanctonica, sia a seguito di moto ondoso che genera processi di risospensione del particolato fine del sedimento. Gli andamenti temporali (vedi figure 8, 18, 33) riconfermano una maggiore torbidità delle acque nelle stazioni settentrionali più soggette ad apporti fluviali e ad aumenti di fitoplancton, come si evidenzia anche dalla correlazione indiretta tra clorofilla ed il parametro.

Le medie annuali riconfermano una marcata tendenza all'aumento del parametro da Nord verso Sud e da costa verso il largo (fig. 103).

Le medie stagionali mostrano in quasi tutte le stazioni dell'area settentrionale i valori più elevati in primavera, tranne che nei transetti 4 e 6, i più bassi in inverno (fig. 119).

4.6 Clorofilla "a"

Il parametro, indicatore di biomassa microalgale, è indice dello stato trofico di un corpo idrico. Gli andamenti riconfermano il trend negativo nord-sud, con una maggiore variabilità e valori più elevati nell'area settentrionale, ma in generale si evidenziano valori di clorofilla non significativi (figure 8, 34).

Anche dal confronto dei valori medi di clorofilla nelle tre subaree (fig. 46) rispetto a quelli dell'anno 2002 emerge una diminuzione di circa tre volte il valore.

Buona è la corrispondenza con le portate del fiume Po soprattutto per le stazioni collocate a Nord (fig. 46), dove si registra una maggior insistenza di incrementi di biomassa microalgale, nelle stazioni dell'area centro-meridionale si hanno per la maggior parte dell'anno, valori al di sotto della condizione di eutrofizzazione, ad eccezione del picco del mese di gennaio.

I profili verticali (figg. 52-53) evidenziano incrementi del parametro lungo la colonna d'acqua, aumenti significativi di clorofilla si osservano nel periodo estivo anche dai grafici della distribuzione (figg. 57) nella stazione 2014, a 20 km fuori Cesenatico, sotto la quota batimetrica dei 15 metri.

I valori più elevati si sono registrati l'8 gennaio nella stazione di Cesenatico in costa con 28.3 µg/l.

I valori medi annuali (fig. 104) confermano in generale il trend negativo Nord-Sud e da costa verso largo.

Stagionalmente i valori più elevati si hanno in inverno tranne che nei transetti 2 e 6; si riconfermano i più bassi valori in autunno nelle stazioni 2-4, in primavera nelle stazioni dalla 9 alla 19 (fig. 120).

4.7 Fitoplancton

L'analisi quali-quantitativa del fitoplancton ha contemplato i principali gruppi tassonomici che sono responsabili di "fioriture" nelle acque costiere regionali, quali Diatomee e Dinoflagellate. Sono state inoltre prese in considerazione sotto la voce "Altre" le fitoflagellate minori appartenenti alle classi delle Cloroficee, Euglenoficee, Criptoficee, Crisoficee, Rafidoficee Prasinoficee, Primnesioficee, Dictiocoficee che

rappresentano una frazione elevata della popolazione microalgale totale e che in determinate occasioni possono generare blooms soprattutto nelle aree all'interno di barriere frangiflutti e a ridosso dei porti canale.

Diatomee

Nei primi mesi dell'anno il modello di circolazione e le condizioni trofiche sono state tali da non creare i presupposti per l'innescò di importanti fioriture microalgali (fig. 139), gli incrementi si sono presentati non uniformemente nel sistema costiero e con modalità temporali differenti, solo in seguito ai cospicui sversamenti fluviali provenienti dal bacino padano verificatisi dalla fine di febbraio e nei mesi di marzo-aprile le concentrazioni di Diatomee hanno raggiunto valori tali da colorare le acque. Gli andamenti hanno riconfermato l'esistenza di un gradiente geografico negativo nord-sud, anche se in generale le concentrazioni sono state basse, in particolare nel periodo estivo e nelle stazioni dell'area meridionale.

Come si può notare dalla figura 141 in cui si riportano i contributi di alcune specie di Diatomee sul loro totale, *Pseudonitzschia spp.*, *Skeletonema costatum* (fig. 142a), *Chaetoceros spp.* (fig. 142c), la specie *Skeletonema costatum* è quella che nel periodo invernale domina la composizione della comunità nell'intera area costiera; le minori concentrazioni si sono verificate come negli ultimi due anni nella stazione 14. Nel periodo estivo si afferma nella zona settentrionale una comunità caratterizzata da *Skeletonema costatum* e da *Chaetoceros spp.* quasi nelle stesse proporzioni, nella stazione 2 la comunità di tipo misto è dominante rispetto le altre.

Dinoflagellate

Anche gli andamenti delle Dinoflagellate mostrano densità inferiori rispetto al 2003 (fig. 138).

Le Dinoflagellate, come negli anni passati, si sono sviluppate soprattutto nel periodo primaverile-estivo con i minimi in inverno ed in autunno (fig. 137): sempre da questa figura si può notare come in primavera ed in estate il gradiente geografico di densità microalgale sia negativo passando dalle stazioni più settentrionali a quelle più meridionali. La dominanza di una specie sulle altre si è verificata in particolare nella

parte settentrionale della costa nel periodo primaverile (fig. 141, 142e) con il *Prorocentrum minimum* che ha raggiunto nella st. 2 in maggio valori di 330000 Cell/l. Per il resto dell'anno le comunità fitoplanctoniche sono state caratterizzate da generi diversi senza mostrare dominanza di un genere in particolare.

Altre fitoflagellate

Gli andamenti delle altre fitoflagellate (fig. 138) non mostrano gradienti geografici di densità, e, se si escludono gli evidenti cali di luglio e dicembre, in generale presentano omogeneità di valori.

Una fioritura della microalga *Fibrocapsa spp.* ha interessato, nel mese di agosto, le acque costiere a ridosso del litorale di Riccione.

4.8 Azoto nitrico

L'andamento di questo parametro è in stretta correlazione con le portate fluviali, del Po in particolare (figure 9, 20, 35 e 2). Nei periodi corrispondenti ai mesi di gennaio - maggio e novembre - dicembre sono stati rilevati i valori più alti. In genere nella stagione estiva il calo di portata fluviale determina un conseguente calo delle concentrazioni di questo elemento. Tale condizione è stata particolarmente evidente e marcata per la prolungata siccità che ha caratterizzato il 2003. Si assiste in genere ad un marcato gradiente tendente alla diminuzione passando da Nord a Sud e da costa verso il largo (vedi valori medi annuali in figura 105 e figura 134). Nella quasi totalità dei casi vi è una correlazione inversa tra valori di salinità e concentrazioni di azoto nitrico. Bassi i valori di concentrazioni nelle acque di fondo. Le medie stagionali delle sole stazioni costiere (figura 121) mostrano i valori massimi e le maggiori deviazioni standard in inverno e in autunno, i minimi in estate (vedi anche distribuzioni spaziali in figura 93). La più alta concentrazione di azoto nitrico è stata rilevata a Porto Garibaldi il 10 gennaio con 7169.2 µg/l. Negli istogrammi delle classi di frequenza (figura 131) il più elevato numero di valori, circa il 65% dei casi, è compreso tra 0 e 350 µg/l. Nei diagrammi multipli di Box e Whiskers (figura 134) viene evidenziata l'ampia variabilità del parametro nelle stazioni settentrionali.

4.9 Azoto nitroso

L'azoto nitroso presenta fluttuazioni temporali simili a quelle dell'azoto nitrico con picchi ben correlati alle portate fluviali (figure 9, 21, 36 e 2). Elevata la variabilità del parametro nelle acque superficiali. In quelle di fondo si hanno in genere concentrazioni più basse ad eccezione di alcuni casi in cui i valori superano quelli rilevati in superficie. In queste circostanze si risente dei processi di rilascio conseguenti a stati di ipossia/anossia. Accentuata la variabilità del parametro nelle acque superficiali costiere, condizione evidenziata nella figura 134 dei diagrammi multipli di Box e Whiskers. Il valore massimo è stato registrato a Porto Garibaldi il 22 aprile con 84.6 $\mu\text{g/l}$. I valori medi annuali (figura 106) mostrano i dati più elevati nelle stazioni costiere, con un trend in diminuzione passando da Nord a Sud e da costa al largo. Stagionalmente i valori medi delle stazioni costiere (fig. 122) presentano le concentrazioni più elevate in inverno/primavera e in autunno, i più bassi in estate. Le deviazioni standard sono ampie in tutte le stagioni. Negli istogrammi delle classi di frequenza (figura 132) si osserva come il 44% dei valori sono compresi tra 0 e 9 $\mu\text{g/l}$.

4.10 Azoto ammoniacale

L'azoto ammoniacale nelle acque marine superficiali è di norma veicolato dagli apporti fluviali e dai reflui provenienti dagli insediamenti costieri. Dagli andamenti temporali (figure 10, 22 e 37) si può osservare come le concentrazioni maggiori si rilevano nel periodo invernale - primaverile ed in quello autunnale. Nelle acque profonde l'azoto ammoniacale tende a superare le concentrazioni superficiali nei periodi coincidenti con casi di forte sottosaturazione di ossigeno disciolto (ipossia/anossia). Nelle acque superficiali la concentrazione più elevata è stata rilevata a Porto Garibaldi il 10 gennaio con 345.4 $\mu\text{g/l}$. Le medie annuali e le deviazioni standard (figura 107) presentano i valori più elevati nelle stazioni costiere, con una evidente diminuzione passando da costa verso il largo. I valori medi stagionali delle acque superficiali delle stazioni costiere (fig. 123) mostrano picchi elevati in inverno ed in autunno. Nel grafico relativo agli istogrammi di frequenza (figura 132) si evidenzia come quasi il 65 % delle determinazioni presenta concentrazioni comprese tra 0 e 35 $\mu\text{g/l}$. Nei diagrammi multipli di Box e Whiskers (figura 134) si nota una maggiore variabilità del parametro nelle stazioni settentrionali.

4.11 Azoto totale

L'azoto totale mostra una elevata variabilità ed una spiccata correlazione con le portate fluviali (figure 12, 23, 38 e 2). I valori più elevati si rilevano nel periodo invernale - primaverile ed autunnale in coincidenza ai picchi di portata fluviali. Le concentrazioni più elevate di azoto totale si rilevano nelle stazioni collocate sui transetti più settentrionali in quanto maggiormente influenzati dagli apporti padani. Nelle acque di fondo il parametro evidenzia in genere valori più bassi ed uniformi. Il valore più elevato di 7900 $\mu\text{g/l}$ è stato rilevato il 10 gennaio a Porto Garibaldi. I valori medi annuali (fig. 108) presentano un trend tendente alla diminuzione passando da Nord a Sud e da costa al largo. Le medie stagionali (fig. 124) presentano i valori più elevati e le più ampie variazioni standard in inverno e in autunno, è presente una tendenza alla diminuzione da Nord a Sud su tutte le stagioni. Analogamente a quanto riscontrato negli ultimi anni si sono misurate medie primaverili basse nelle stazioni di Rimini e Cattolica. Dagli istogrammi di frequenza (figura 132) si può osservare come nel 53% dei casi le concentrazioni sono comprese tra 156 e 500 $\mu\text{g/l}$. Nei diagrammi multipli di Box e Whiskers (figura 135) viene mostrata la maggiore variabilità del parametro nelle stazioni settentrionali, tende a diminuire ed uniformarsi al centro e al Sud.

4.12 Fosforo ortofosfato

Gli andamenti temporali di questo parametro (figure 11, 24 e 39) mostrano una elevata variabilità nelle stazioni costiere a seguito dei contributi locali. Nelle stesse stazioni si rilevano in genere i valori più elevati (figura 39). Nelle stazioni più al largo l'ortofosfato tende ad uniformarsi su valori più bassi. Nelle acque di fondo le concentrazioni sono sugli stessi valori delle acque superficiali con casi di superamento. Tale condizione si manifesta in genere in occasione di stati di sottosaturazione spinta dell'ossigeno disciolto con conseguente solubilizzazione dell'ortofosfato. La concentrazione più elevata nelle stazioni costiere è stata rilevata a Cesenatico il 6 marzo con 70.3 $\mu\text{g/l}$. La concentrazione di questo parametro ha mostrando nel tempo una significativa diminuzione. Ne è prova il fatto che su circa il 60% dei casi la concentrazione è compresa tra 0 e 4 $\mu\text{g/l}$ (figura 132). I valori medi annuali (figura 109) mostrano le maggiori concentrazioni nelle stazioni costiere, tendono a diminuire in quelle al largo. Procedendo da Nord a Sud si evidenzia come i valori medi annuali mostrino due classi areali distinte ed omogenee all'interno della stessa classe: la prima, corrispondente alle stazioni 2, 4 e 6 (l'area compresa tra il delta del Po e le dighe foranee del Porto di Ravenna), ha concentrazioni medie più alte di quelle dell'area centro - meridionale. Le

concentrazioni medie stagionali nelle stazioni costiere mostrano i valori più elevati nel periodo invernale ed autunnale (figura 125). Nei diagrammi di Box e Whiskers (figura 135) si ripresentano le differenze areali già richiamate, il parametro si mantiene a concentrazioni più contenute e con una ridotta variabilità nelle stazioni meridionali.

4.13 Fosforo totale

Il fosforo totale presenta andamenti temporali con forte variabilità. Questa condizione è particolarmente accentuata nelle stazioni settentrionali (figure 11, 25 e 40). Nelle acque di fondo le concentrazioni del fosforo totale sono in genere prossime a quelle rilevate in superficie con casi di superamento. La concentrazione più elevata misurata nelle stazioni costiere è stata di 183.3 µg/l rilevata a Cesenatico l'8 gennaio. Le medie annuali (figura 110) presentano un andamento tendente alla diminuzione passando da costa al largo e da Nord verso Sud; fa eccezione la stazione 2. I valori medi stagionali e le deviazioni standard delle stazioni costiere (figura 126) mostrano i più elevati valori in inverno e in autunno con un evidente trend in diminuzione passando da Nord a Sud. Negli istogrammi di frequenza (figura 132) si può notare come in circa il 50% dei casi le concentrazioni del parametro sono comprese tra 5 e 23 µg/l. Nei diagrammi multipli di Box e Whiskers (figura 135) vengono ben evidenziate le due distinte classi areali di concentrazione e variabilità, la prima, con valori più elevati, comprende le stazioni 2, 4 e 6, la seconda, con valori più bassi, quelle corrispondenti all'area centro - meridionale (stt. 9, 14, 17 e 19).

4.14 Silice reattiva

La silice reattiva è in stretta correlazione con le portate fluviali, del Po in particolare (figure 10, 28, 44 e 2). Tale condizione è particolarmente evidente nelle stazioni settentrionali ove si riscontra, tra l'altro, una più spiccata variabilità. Nelle acque di fondo pare esservi un maggiore uniformità anche se, soprattutto nelle stazioni al largo, si possono avere concentrazioni superiori a quelle rilevate in superficie. Spazialmente si nota come alte concentrazioni di silicati possono interessare l'intera fascia di mare costiera o la parte centro settentrionale (vedi in figura 96 i casi di novembre e dicembre), tale distribuzione è dipendente dai flussi di portata del Po. Il valore più elevato del 2003 è stato rilevato a Porto Garibaldi l'1 dicembre con una concentrazione di 2458 µg/l. I valori medi annuali (figura 113) mostrano una evidente tendenza alla diminuzione passando da Nord a Sud e da costa verso il largo. Si distingue il transetto 2 in quanto direttamente investito degli apporti del Po (vedi sua collocazione in figura 1).

Stagionalmente si rilevano le maggiori concentrazioni in inverno ed in autunno (figura 129). Le classi di frequenza riportate in figura 132 evidenziano come il 35 % dei valori è compreso tra 0 e 120 µg/l. Il diagramma multiplo di Box e Whiskers relativo alla silice reattiva (figura 135) mette in luce la rilevante variabilità delle stazioni settentrionali, le centro - meridionali presentano valori più bassi ed omogenei.

4.15 Rapporto N/P (frazione solubile)

Sono riportati nei grafici i valori risultanti dalla seguente equazione:

$$\frac{N-(NO_3+NO_2+NH_3)}{P-(PO_4)} = \frac{\Sigma N}{P}$$

La distribuzione del rapporto N/P (figure 13, 26 e 41) evidenzia una notevole variabilità (considerare la scala logaritmica riportata nella grafica) ed una lieve tendenza sinusoidale con i minimi nel periodo estivo. La variabilità si riduce nelle stazioni meridionali al largo e nelle acque di fondo. Lo stato di fosforo-limitazione rappresenta la quasi totalità dei casi; i rari eventi riconducibili ad azoto-limitazione si presentano nel solo periodo estivo. I valori medi annuali del rapporto N/P e le relative deviazioni standard nelle acque superficiali (figura 111) presentano i massimi nelle stazioni più settentrionali, i valori tendono a diminuire progressivamente passando da Nord a Sud; non vi sono tendenze ben definite sui transetti costa-largo. Le medie stagionali (figura 127) presentano i valori più elevati in inverno, le medie più basse in estate. Negli istogrammi di frequenza (figura 132) viene evidenziato che nell'80 % dei casi il valore N/P è compreso tra 0 e 150. I dati riportati nei diagrammi Box e Whiskers (figura 136) non mostrano tendenze significative.

Dall'analisi delle distribuzioni normali bi-variate dei rapporti Clorofilla/Nutrienti ⁽ⁱ⁾, è possibile rappresentare le fluttuazioni stagionali dei principali parametri di sistema in diagrammi come quelli riportati nelle figure 85 e 86. Differenti aree costiere possono essere collocate in questi diagrammi, in funzione dei rapporti molari medi N/P e dei corrispondenti rapporti $ChA/(DIN \times PO_4)^{1/2}$, essendo questi ultimi una stima del grado di utilizzazione dei nutrienti.

ⁱ Innamorati, M. e F. Giovanardi, 1992. *Interrelationships between phytoplankton biomass and nutrients in the eutrophied areas of the Northwestern Adriatic Sea*. Proc. Int. Conf. Marine Coastal Eutrophication. Sci. Total Environ. Suppl. 1992: p. 235-250.

In generale, con un ciclo annuale completo di dati, le distribuzioni bivariate di $\text{Log}(\text{ChA}/\text{PO}_4)$ e $\text{Log}(\text{ChA}/\text{DIN})$ risulteranno molto prossime alla normalità. Se la pendenza della retta di regressione ortogonale:

$$\text{Log}(\text{ChA}/\text{PO}_4) = \text{Log } b + k \text{Log}(\text{ChA}/\text{DIN}),$$

tende a $k=1$, il sistema raggiunge condizioni di isometria lungo le rette a 45° . Possiamo quindi sostituire i logaritmi con i numeri, ottenendo:

$$(\text{ChA}/\text{PO}_4) = b (\text{ChA}/\text{DIN})^k.$$

Ma se $k=1$, allora sarà:

$$\text{ChA}/\text{PO}_4 \times \text{DIN}/\text{ChA} = \text{DIN}/\text{PO}_4 = \text{N}/\text{P} = b.$$

In maniera analoga, lungo le rette a -45° (con $k=-1$), avremo:

$$(\text{ChA})^2 = b (\text{DIN} \times \text{PO}_4), \text{ da cui: } \text{ChA}/(\text{DIN} \times \text{PO}_4)^{1/2} = \text{costante}.$$

L'importanza di questi diagrammi risiede nel fatto che l'efficienza di un sistema costiero a produrre nuova biomassa (i.e. le variazioni del rapporto $\text{ChA}/(\text{DIN} \times \text{PO}_4)^{1/2}$ rispetto al rapporto N/P) può essere seguita mese dopo mese, osservando le sue oscillazioni intorno ad un centro di gravità rappresentato dalla media annuale dei due rapporti.

La peculiarità dell'anno 2003 rispetto agli anni precedenti è ben rappresentata dagli andamenti di queste "variabili di stato". In entrambe le aree considerate, le medie annuali del parametro $\text{ChA}/(\text{DIN} \times \text{PO}_4)^{1/2}$, relativo al grado di utilizzo dei nutrienti, risultano nettamente inferiori ai valori dell'anno precedente: ca. 2.2 nel 2003 contro ca. 7.5 registrato nel 2002. Nell'area Goro-Casalborsetti (Fig. 85) questa diminuzione è accompagnata anche da un altrettanta forte riduzione del rapporto N/P (ca. 90 nel 2003, contro 210 nel 2002), mentre nella zona più a sud (area Rimini Cattolica – Fig. 86) il rapporto N/P è rimasto pressoché invariato, intorno a valori di 120. Da questi diagrammi appare evidente che la diminuita efficienza dei sistemi ha seguito di pari passo la riduzione del livello trofico come testimoniato dai valori dell'indice TRIX e dagli andamenti della Clorofilla a, che non hanno mai presentato picchi di rilievo, specialmente se confrontati con quelli degli anni precedenti. Anche la variabilità complessiva (i.e. l'ampiezza delle oscillazioni mensili delle medie dei parametri) è risultata più contenuta rispetto agli anni precedenti, ma il dato interessante che emerge, relativamente alla dinamica del sistema, riguarda la stagionalità degli eventi e il ritardo con cui il sistema costiero ha ripreso la sua efficienza, con prevalenza dei mesi estivo-autunnali rispetto a quelli primaverili, in particolare nell'area di Goro Casalborsetti, considerata la più produttiva per la vicinanza del delta padano.

4.16 Rapporto Ntot/Ptot

Gli andamenti del rapporto azoto totale su fosforo totale (figura 13, 27 e 42) tendono ad avere una variabilità meno accentuata rispetto al rapporto dei solubili e una distribuzione sinusoidale meno marcata. La minore variabilità è dovuta al fatto che, mentre nel rapporto dei solubili inorganici si hanno di norma alti valori per l'esubero della frazione azotata (quella fosfatica agendo da fattore limitante viene in molti casi completamente assimilata dalla biomassa autotrofa), in quella dei totali vi è, a seguito della mineralizzazione prevista dalle procedure analitiche, il recupero del fosforo organico (particolato e organico solubile) che ponderalmente tende a riequilibrare il rapporto. Le medie annuali calcolate sulle stazioni dei transetti (fig. 112) presentano i più bassi valori nelle stazioni costiere, tendono ad aumentare in quelle al largo. Stagionalmente (fig. 128) le medie presentano i più alti valori in inverno e in autunno.

4.17 Rapporto $N_{tot\ sol}/P_{tot\ sol}$

Tale rapporto è stato calcolato utilizzando le concentrazioni di azoto totale solubile e fosforo totale solubile determinate nei campioni prelevati mensilmente nelle due direttrici di Porto Garibaldi e Cesenatico. Gli andamenti del rapporto di queste due componenti (figura 43) sono simili a quelli riferiti al rapporto azoto totale su fosforo totale. Ciò è dovuto, come si è già accennato, all'importanza ponderale delle frazioni solubili sui rispettivi totali. I valori di questo parametro nelle acque di fondo sono prossimi o leggermente inferiori a quelli rilevati nelle acque superficiali.

4.18 Indice Trofico (TRIX)

Approccio metodologico di sviluppo dell'Indice Trofico (TRIX)

Fin da quando i processi di eutrofizzazione si sono manifestati alla fine degli anni settanta con intensi ed estesi bloom algali nelle acque costiere marine dell'Emilia-Romagna, i termini come oligotrofia, mesotrofia ed eutrofia (terminologia largamente sviluppata dai limnologi per caratterizzare e gestire lo stato trofico delle acque interne), sono sempre più ricorrenti nella letteratura cosiddetta "marina".

Per le acque costiere, fermo restando che oligotrofia è sinonimo di bassa produttività primaria ed eutrofia significa elevata produttività (acque ricche di nutrienti), rimarrebbe pur sempre il problema di quantificare in maniera oggettiva i livelli trofici e le sue manifestazioni e di scegliere opportuni limiti di categoria rimodulati per le acque marine per adottare alle acque costiere gli stessi criteri previsti per le acque interne.

Sebbene diversi autori abbiano cercato di definire un sistema di riferimento trofico appositamente calibrato sull'ambiente marino delle acque costiere, l'applicazione arbitraria e spesso errata dei criteri e della terminologia limnologica alle acque costiere si è verificata sempre più frequentemente negli anni recenti, determinando incertezza tra i ricercatori e creando difficoltà nel trasferire agli amministratori e pianificatori termini oggettivi e precisi per intraprendere adeguate politiche di risanamento e di abbattimento dei carichi.

Le informazioni relative alla definizione ed al significato di produttività sono molto scarse ma soprattutto non sono determinati i limiti tra le varie categorie trofiche.

Nelle acque costiere infatti, non è in discussione il processo di eutrofizzazione, ma il metodo di come quantificare le sue manifestazioni. Inoltre se risultano chiare, per chi opera in campo oceanografico, la dinamica e le distribuzioni spazio-temporali dei vari processi, spesso si riscontrano difficoltà nel convertire in maniera semplice le informazioni per un vasto pubblico.

L'introduzione dell'Indice Trofico TRIX della relativa scala trofica e dell'Indice di Torbidità TRBIX consente l'abbandono della categorizzazione trofica tradizionale e rende possibile la misura di livelli trofici in termini rigorosamente oggettivi.

L'Indice Trofico permette infatti di ottenere un sistema di sintesi dei parametri trofici fondamentali in un insieme di semplici valori numerici che renda le informazioni comparabili su un largo range di condizioni trofiche come queste si presentano lungo tutto il Mediterraneo e nello stesso tempo evitino l'uso soggettivo di denominatori trofici.

Si è inteso quindi sviluppare una scala puramente numerica di Indice Trofico che possa validamente e correttamente caratterizzare un fenomeno da un punto di vista sia qualitativo che quantitativo.

I parametri fondamentali che concorrono alla definizione di un indice di trofia devono:

- essere pertinenti ad un disegno di Indice Trofico per le acque marine costiere e quindi devono essere rappresentativi in termini sia di produzione di biomassa fitoplanctonica che di dinamica della produzione stessa, identificando i fenomeni in maniera significativa e inequivocabile;
- prendere in considerazione i principali fattori causali ed esprimere la massima variabilità complessiva del sistema;
- essere basati su misure e parametri di routine solitamente rilevati nella maggior parte delle indagini marine e nell'ambito di campagne di monitoraggio costiero.

Tralasciando di descrivere tutta la statistica complessa dei dati (analisi multivariata) dopo approfondite considerazioni sui dati elaborati si è optato sul seguente set di parametri che devono essere usati per il calcolo dell'Indice Trofico (TRIX). Tali variabili si dividono in tre categorie:

a) Fattori che sono espressione diretta di produttività:

- clorofilla "a" mg/m^3
- ossigeno disciolto come deviazione in valore assoluto in percentuale dalla saturazione:

$$\text{Ass}[100 - \text{O.D. \%}] = |\text{O.D. \%}|$$

b) Fattori nutrizionali:

Totali:

- Fosforo totale espresso in $\mu\text{g/l}$
- Azoto totale espresso in $\mu\text{g/l}$

Disponibili:

- DIN azoto minerale disciolto ($\text{N-NO}_3 + \text{N-NO}_2 + \text{N- NH}_3$) in $\mu\text{g/l}$
- DIP fosforo minerale disciolto (P-PO_4) in $\mu\text{g/l}$

c) fattori supplementari di qualità dell'acqua:

- Trasparenza disco Secchi in metri

L'analisi dei dati mostra che nessuno dei parametri selezionati per il TRIX si distribuisce in maniera normale. L'esperienza insegna che per i parametri di interesse, la semplice trasformazione Log-decimale è più che indicata per approssimare alla distribuzione normale le distribuzioni dei dati grezzi.

Ricorrendo dunque ai logaritmi (Log_{10}), la struttura base dell'Indice TRIX diventa:

$$\text{Indice Trofico TRIX} = (\text{Log}[\text{Cha} \times |\text{OD}\%| \times \text{N} \times \text{P}] - [-1.5])/1.2$$

Numericamente tale indice è differenziato in classi da 0 a 10 che coprono l'intero spettro di condizioni trofiche che vanno dalla oligotrofia (acque scarsamente produttive tipiche di mare aperto) alla eutrofia (acque fortemente produttive tipiche di aree costiere eutrofizzate, acque lagunari, ecc.).

Va comunque precisato che nella quasi totalità dei casi i valori di TRIX ricavati dai dati rilevati nelle diverse aree costiere sono, in generale, compresi tra 2 e 8 unità.

L'utilizzo del TRIX risponde a tre esigenze fondamentali:

1. integrare più fattori indicatori del livello di trofia ed eliminare valutazioni soggettive basate su singoli parametri;
2. ridurre la complessità dei sistemi costieri consentendo di assumere un valore quantitativo anche su un unico campione prelevato;
3. discriminare tra diverse situazioni spazio-temporali, rendendo possibile un confronto di tipo quantitativo;

Una più dettagliata definizione dei criteri che hanno ispirato tale approccio potrà essere acquisita nella pubblicazione :

R.A. Vollenweider, F.Giovanardi, G.Montanari, A.Rinaldi. pubblicato sulla rivista *Envirometrics* Vol 9, 1998.

"Characterization of the trofic condition of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index".

In tab. 7 viene riportata la suddivisione della scala trofica in 4 gradi di trofia che definiscono lo stato delle acque costiere e le condizioni trofiche e di produttività dell'ecosistema, così come indicato dall'All. N 1 del D. Lgs 258/00 (tab 17).

Analisi dell'andamento dello stato trofico e della classificazione dello stato ambientale delle acque marino costiere

Nelle elaborazioni riportate relative alla distribuzione temporale e spaziale dei valori medi mensili (vedi figure a partire dalla n 67), dell'Indice Trofico (TRIX) in superficie si evidenzia, dalle mappe tematiche, una condizione che in linea di massima si mostra alquanto diversa rispetto all'andamento medio mensile riscontrato negli anni precedenti. Infatti, dall'analisi dei grafici si osservano situazioni molto diversificate se si prende in considerazione sia la scala spaziale che temporale. Ad esempio durante il periodo invernale e primaverile (gennaio, febbraio, marzo) l'Indice Trofico si presenta in uno

stato “Mediocre/Scadente” su tutta l’area evidenziando però delimitazioni significative da nord verso sud e da costa verso il largo.

Più in dettaglio, durante il periodo invernale (gennaio-marzo), si riscontrano alti valori di TRIX che superano il limite di 6 unità definendo una condizione in gran parte “Scadente” lungo la fascia costiera in gennaio e nella zona settentrionale in marzo, configurando quindi una situazione di alta produttività. Nel mese di gennaio si sono raggiunti i massimi di Indice Trofico con valori che in alcune stazioni superavano le 7 unità di TRIX con il massimo nella stazione a 0.5 Km antistante P. Garibaldi con 7.4 di TRIX (fig 70). Il periodo considerato è stato caratterizzato da consistenti apporti di acque dolci associate ad elementi eutrofizzanti generati soprattutto nel bacino padano concomitanti con un periodo di stabilità meteo-marina. Sebbene in questo periodo gli indicatori di biomassa microalgale risultino medio/bassi, ad elevare i valori di TRIX contribuiscono prevalentemente i fattori di produttività potenziale. Inoltre durante i mesi invernali le correnti prevalenti discendenti si dispongono parallelamente alla costa con direzione nord-sud ed i regimi dei venti tendono a distribuire e ad uniformare, su un vasto territorio, gli elementi che concorrono alla definizione dell'Indice Trofico.

Nel periodo primaverile (aprile-giugno) invece si instaura un evidente gradiente nord-sud poiché si modifica da un lato la circolazione delle acque costiere e dall’altro gli apporti veicolati dal Po tendono a diminuire.

Già nel mese di aprile si osserva una differenziazione territoriale in senso longitudinale della distribuzione del TRIX, che presenta uno stato “Mediocre” tra il delta del Po e Rimini; però mentre nella parte settentrionale della costa gli alti valori di TRIX interessano anche le zone al largo (10 Km), nell'area centrale la condizione di stato “Mediocre” riguarda soltanto la fascia prettamente costiera (1-2 Km).

La zona che si estende da Rimini a Cattolica e verso il largo presenta una condizione di stato “Buono” con Indice Trofico inferiore a 5, con un miglioramento dello stato ambientale.

In maggio e giugno, infatti, si osserva una progressiva riduzione della condizione “Mediocre” che si localizza nell’area a ridosso del delta Po, mentre lo stato ambientale “Buono/Elevato” interessa oltre il 95 % della costa. Questa condizione estremamente favorevole è stata determinata dalla forte riduzione degli apporti a mare di fattori eutrofizzanti generati sia nei bacini costieri che in quello padano.

Nel periodo estivo le condizioni di stato trofico tendono ulteriormente a migliorare e, sebbene in agosto a sud del delta Po e nella parte meridionale della fascia costiera il TRIX si assesta nella classe tra 5 e 6 (stato “Mediocre”), in giugno la maggior parte dell’area mostra una situazione “Buona/Elevata” che sottende condizioni di acque scarsamente produttive livello di trofia basso, elevata trasparenza delle acque ed

assenza di anomale colorazioni. Sulla base dell'Indice Trofico e delle relative condizioni di stato qualitativo si può affermare che il periodo estivo 2003 è stato il migliore degli ultimi 25 anni.

Nel periodo autunnale i dati dell'Indice Trofico tendono da un lato ad aumentare uniformandosi verso valori medio/alti e dall'altro ad interessare areali sempre più vasti che classificano la fascia costiera in una condizione di stato "Mediocre".

In particolare in novembre e dicembre, tutta la fascia costiera monitorata (1200 Km²) risulta in gran parte in uno stato "Mediocre" in quanto nel suddetto periodo nel sistema costiero si era determinata una stratificazione salina a seguito dell'aumento degli apporti di acqua dolce generati nel bacino padano ed una condizione di incremento di biomassa microalgale nella zona centro-settentrionale.

Gli alti valori di tutti i fattori che concorrono alla formulazione del TRIX definiscono una condizione di acque produttive, scarsa trasparenza, anomale colorazioni ecc. che, in base al calcolo dell'Indice Trofico, compreso tra 4.6 e 6.4, attestano uno stato qualitativo "Mediocre".

In linea generale l'andamento del TRIX è ben correlato con quello della Clorofilla "a"; a bassi valori di Indice Trofico corrispondono basse concentrazioni di biomassa microalgale (fig 69-76). Fanno eccezione a questo andamento alcuni casi limitati temporalmente nel periodo inverno/autunnale, nelle stazioni costiere della parte settentrionale, ove si riscontrano medio/alti valori di TRIX (superiori a 6.5 unità) in corrispondenza di basse concentrazioni di clorofilla "a" rilevando quindi un'alta quantità di nutrienti disciolti, in particolare del DIN, che concorrono a mantenere elevato l'Indice TRIX.

Rispetto lo scorso anno si evince una sensibile e significativa riduzione del TRIX fino ad una condizione di stato "Elevato" nel periodo estivo che ha interessato anche la zona settentrionale della costa.

A differenza di quanto riscontrato negli anni precedenti l'analisi dell'andamento temporale del TRIX durante il 2003 mostra, nelle stazioni da Goro a Casalborgorsetti una generale riduzione del TRIX con una marcata stagionalità.

Le stazioni, ubicate nella parte più settentrionale della costa ed interessate quindi dagli apporti derivati dal bacino padano e da quelli costieri, presentano valori di TRIX maggiori di 6 unità (36.5 % dei casi), stato trofico "Scadente", per la stazione 2 (0.5 Km Goro) e maggiore di 5, stato trofico "Mediocre", (73 % dei casi) per la stazione 4 (0.5 Km P. Garibaldi), valori molto inferiori rispetto la frequenza dei casi riscontrati nel 2000 e 2001 e soprattutto nel 2002. Permane comunque per la suddetta area ancora una condizione di alta e forte produttività con livelli di trofia elevati, associati quindi a

scarsa trasparenza, con probabilità di stati di sofferenza, ipossia e anossia delle acque bentiche durante il periodo estivo/autunnale.

In queste stazioni le oscillazioni di TRIX sono abbastanza accentuate ed in stretta correlazione con l'indicatore della biomassa microalgale. In diverse occasioni nei mesi di luglio e agosto nella zona costiera settentrionale si è riscontrata una significativa diminuzione del TRIX con valori di detto Indice che si posizionano nella classe di stato "Buono".

A differenza delle stazioni situate nella parte settentrionale, quelle meridionali (17 Rimini, 19 Cattolica) per gran parte del periodo primaverile e estivo, sono caratterizzate da bassi Indici Trofici (4 unità di TRIX) che testimoniano uno stato qualitativo "Buono/Elevato" ed un quadro generale di condizioni ambientali con acque scarsamente produttive, livello di trofia basso, assenza od occasionale presenza di colorazione. Si riconferma che in quest'ultima parte della costa, l'andamento del TRIX mostra una più marcata stagionalità con incrementi del TRIX in autunno ed inverno.

Durante il periodo estivo oltre ad una riduzione degli apporti del bacino padano, si modifica la circolazione in quanto i venti provenienti da Sud-Est diventano dominanti con l'effetto di bloccare, nella parte settentrionale della costa, l'input del fiume Po e nello stesso tempo quello di trasportare acque "pulite" dal largo verso costa nella parte centro-meridionale.

Questo modello di circolazione e soprattutto la dinamica che influisce sul ricambio delle acque e su fattori di diluizione, determina ampie variazioni, anche a scale temporali ravvicinate, dell'Indice Trofico.

Nelle figure 79 e 80 sono rappresentate le rette di regressione e i coefficienti di correlazione tra il TRIX ed i parametri che concorrono a determinarlo, disaggregati per subarea costiera (settentrionale: Goro-Ravenna, centrale: Ravenna-Cesenatico e meridionale: Cesenatico-Cattolica). Si può osservare a conferma di quanto rilevato gli anni precedenti, in tutte le tre zone considerate, una significativa correlazione tra il TRIX ed il LogN, LogP, LogCla, Log|OD%|, con coefficienti di correlazione che variano tra 0.42 e 0.80. Non si evincono invece correlazioni significative tra le singole variabili che partecipano alla formulazione dell'Indice Trofico; pertanto i singoli fattori portano un contributo informativo autonomo, cumulativo e non ridondante, in linea con il quadro concettuale e l'approccio metodologico di formulazione di detto Indice.

Mediante la rappresentazione grafica in un diagramma di probabilità è possibile caratterizzare le condizioni di trofia di una determinata area di mare e le relative variazioni annuali.

Dall'esame dei diagrammi di fig. 78 si evince l'approssimazione alla distribuzione normale dei dati di TRIX; ogni stazione considerata risulta quindi caratterizzata da un

valore medio e da una deviazione standard. Il valore medio determina la posizione della retta lungo la scala trofica, mentre la deviazione standard ne definisce l'inclinazione.

Il tipo di rappresentazione adottato nei diagrammi suddetti consente di evidenziare i valori minimi e massimi raggiunti dal TRIX nell'arco dell'anno.

In generale la deviazione standard per la distribuzione di TRIX nelle stazioni prese in esame come campione per la disamina, risulta compresa tra 0.69 (Staz. 14 Cesenatico) e 1.04 (Staz 19 Cattolica), valori ancora una volta corrispondenti a quelli riscontrati negli anni precedenti.

Le quattro stazioni costiere prese in esame sono rappresentative di quattro zone di mare omogenee e caratterizzate da situazioni trofiche ben definite secondo un gradiente Nord-Sud (Porto Garibaldi, Cesenatico, Cattolica a 0.5 Km dalla battigia) e da costa verso il largo (a 10 Km al largo di Cattolica).

La figura 78 indica la posizione rispetto alla scala trofica delle quattro stazioni considerate. I valori medi di TRIX vanno da un minimo di 1.98 nella stazione 1019 ad un massimo di 7.40 nella stazione 4 (0.5 Km da P. Garibaldi) con un range di variazione di 5.42 unità di TRIX.

Confrontando la posizione del valore medio del TRIX nelle quattro stazioni ottenuta nel 2003 con la stessa situazione riferita al 2002 si osserva che mentre l'area a sud della costa rappresentata dalle stazioni 19 e 1019 antistanti Cattolica, si mantiene invariata collocandosi rispettivamente nello stato "Mediocre" e "Buono", le stazioni che rappresentano la zona centrale e settentrionale della costa subiscono una riduzione dello stato trofico passando da "Scadente" nel 2002 a "Mediocre" nel 2003. Per la stazione di P. Garibaldi il valore di TRIX regredisce da 6.53 a 5.65 mentre a Cesenatico passa da 6.53 a 5.44.

Scomponendo i parametri che entrano nella formulazione dell'Indice Trofico in due classi di indicatori quali: 1) indicatori di produttività diretta o reale ($\text{Log}(\text{Cl}^a \times |\text{OD}\%|)$); 2) indicatori di produttività potenziale, ($\text{Log}(\text{DIN} \times \text{Pt})$), per le stazioni costiere, si può evidenziare il ruolo ed il peso delle due componenti nella determinazione del valore del TRIX (fig 87 a-d). Osservando l'andamento temporale dei tre fattori, si evince che la dinamica del TRIX è simile a quella della produttività diretta in modo particolare nel periodo primaverile-estivo e quindi si conferma che l'Indice Trofico nelle acque costiere dell'Emilia-Romagna viene determinato prevalentemente dalla componente espressione di produttività reale (Clorofilla "a").

Comparando i valori medi di TRIX riscontrati nel 2003 con quelli rilevati dal '99 al 2002 (fig 81), si evidenzia innanzitutto un gradiente in diminuzione dell'Indice Trofico da nord verso sud ed in tutte le stazioni si riscontra una riduzione statisticamente significativa del TRIX, in confronto al 2002.

Se dal 1999 al 2002 il TRIX mostrava un trend in crescita sia nelle tre stazioni prese come rappresentative dell'area settentrionale, centrale e meridionale, sia nella stazione al largo 10 Km da Cattolica, nel 2003 si inverte la tendenza e l'Indice Trofico subisce una apprezzabile riduzione.

In un quadro di sintesi spazio-temporale, si è voluto rappresentare la distribuzione dell'Indice Trofico nel territorio monitorato (1200 Km²) e mediato per stagione nelle singole stazioni della rete di controllo sull'eutrofizzazione (fig 90).

In inverno circa la metà delle acque marine nella parte centrale della costa presentano condizioni qualitative assimilabili alla classe "Scadente" e la rimanente parte dell'area si colloca nella posizione "Mediocre" della scala trofica.

In primavera la costa, che nel 2002 risultava divisa in 2 parti: "Scadente" in una zona localizzata tra il delta Po e Ravenna e "Mediocre" nella zona compresa tra Ravenna e Cattolica, nel 2003 in tutta l'area si mostra in uno stato trofico "Mediocre".

Nel periodo estivo con la forte riduzione delle portate dei fiumi, del carico dei nutrienti e conseguentemente della biomassa microalgale, si osserva una tangibile diminuzione dei valori del TRIX; la zona "Scadente" si riduce nell'area settentrionale tra Casalborsetti ed il Delta Po, la fascia costiera dal delta Po a Cesenatico si posiziona all'interno della classe di stato "Buono", mentre la parte meridionale e le altre zone verso il largo assumono uno stato ambientale "Elevato" con acque scarsamente produttive, livello di trofia basso, elevata trasparenza, e assenza di anomale colorazioni.

Nei mesi autunnali, a seguito dell'aumento delle portate del fiume Po e del relativo carico eutrofico, si osserva che il 95 % della costa si trova in una condizione di stato "Mediocre" (TRIX tra 5 e 6)

Nella figura 89 sono rappresentate le variazioni temporali nelle stazioni campione costiere (0.5 Km) ed in quelle a 3 Km, del rapporto tra l'Indice Trofico TRIX ed il fattore di diluizione (F%), al fine di verificare i legami funzionali esistenti tra i livelli trofici delle acque costiere e gli apporti provenienti da terra.

I nutrienti disciolti, come del resto le altre sostanze inquinanti che raggiungono le acque costiere sono associati e correlati agli apporti provenienti dai bacini costieri e da quello padano (fig 89) e quindi è possibile assegnare a questo trasporto un valore quantitativo espresso come :

$$F\% = \frac{(S_{mareaperto} - S_i)}{S_{mareaperto}} * 100$$

dove S_{-mare aperto} (37.5 psu) rappresenta la salinità delle acque al largo, mentre S_i è la salinità rilevata nelle stazioni di misura.

Anche se la variabilità è molto forte, particolarmente per la zona settentrionale, si evidenzia una buona corrispondenza tra il valore di Indice Trofico ed il fattore di diluizione F%, soprattutto per le aree situate a 3 Km dalla costa; andamento

confermato anche dallo stretto rapporto di dipendenza tra gli apporti di nutrienti da terra ed il TRIX (fig 89), quantificato mediante una espressione di regressione con coefficiente di correlazione $r=0.70$ per la zona "A".

Per una prima classificazione dello stato ambientale delle acque costiere marine previsto dall'All. N 1 del D. Lgs. 152/99 e successive integrazioni D. Lgs 258/2000 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento...", l'Indice Trofico TRIX, unitamente alla relativa scala trofica sono considerati gli elementi basilari per definire e classificare lo stato qualitativo dell'ecosistema costiero. La scala trofica consente di impostare il sistema di classificazione di riferimento e di esprimere un giudizio di qualità, che scaturisce da condizioni riferite ai livelli di produttività ed agli effetti ambientali, tenendo conto del giudizio emergente dalle indagini sul biota e sui sedimenti, valutando inoltre ogni elemento utile a definire il grado di allontanamento dalla naturalità delle acque costiere.

Ai fini della classificazione deve essere considerato il valore medio annuale dell'Indice Trofico ed i risultati derivanti dall'applicazione del TRIX determineranno l'attribuzione di stato ambientale secondo la tabella N 7.

Come obiettivo intermedio da raggiungere entro il 2008 per la costa emiliano-romagnola, considerata area sensibile ai sensi dell'Art. 5 del predetto Decreto, si prende come riferimento un punteggio medio derivante dall'applicazione dell'Indice Trofico non superiore a 5.0 unità di TRIX.

Per la classificazione delle acque costiere marine in base al predetto Indice non vengono utilizzati i dati, come numero di stazioni e frequenza di campionamento, previsti dal D. Lgs 152/99, ma quelli rilevati in tutte le stazioni della rete di monitoraggio della costa emiliano-romagnola (da costa fino a 10 Km a frequenza settimanale, vedi fig 143).

La metodologia seguita è stata quella di suddividere la fascia costiera in 9 subaree: a 0.5, 1 e 3 Km dalla costa, mediare quindi nell'arco dell'anno i valori di TRIX ricavati per le stazioni collocate all'interno delle rispettive subaree che sono rappresentative sia di numero sia di frequenza di rilevazione della subarea cui appartengono (fig 97).

Come già rilevato dall'andamento del TRIX nelle singole stazioni, si evidenzia per tutta l'area costiera che l'Indice Trofico si colloca all'interno della classe compresa tra 4 e 6 unità; però mentre nella subarea settentrionale ci si trova all'interno dello stato "Mediocre" (TRIX medio=5.55), nella parte meridionale (Cesenatico-Cattolica) ci si approssima allo stato "Buono" (5.09).

Tutta la fascia costiera mostra un trend in diminuzione di questo Indice di stato Trofico rispetto l'anno precedente, però mentre nella zona settentrionale a 3 Km il TRIX si mantiene in una posizione intermedia dello stato "Mediocre" avvicinandosi a

quella dell'area corrispondente costiera, nella zona centrale della costa il TRIX diminuisce passando da 5.83 nell'area di 0.5 Km, a 5.08 nella zona a 3 Km.

Nella subarea meridionale le condizioni tendono ulteriormente a migliorare attestandosi nella classe "Buono" nelle zone di 1 e 3 Km con TRIX rispettivamente di 4.85 e 4.66.

La fascia costiera dell'Emilia-Romagna appartiene alla tipologia del basso fondale.

In base alla suddetta tipologia l'Allegato N. 1 del D. Lgs 152/99 prevede stazioni di misura e campionamento situate a 0.5, 1, e 3 Km dalla battigia ed ai fini della classificazione dovrà essere considerato il valore medio dell'Indice Trofico derivato dai valori delle singole misure a frequenza quindicinale in estate e stagionale nell'altro periodo dell'anno.

Per una disamina ulteriore sull'andamento del TRIX, con l'obiettivo di pervenire ad una più puntuale definizione dello stato ambientale, si sono presi in considerazione i valori medi annuali calcolati con 44 rilevamenti in un anno in ciascuna delle stazioni nella fascia di 0.5 Km, 1 Km e 3 Km da Goro a Cattolica (fig 98).

Gli andamenti dei valori medi annuali (sono stati utilizzati tutti i dati delle stazioni collocate nelle singole subaree), mostrano che a 0.5 Km la subarea "A", investita direttamente dagli apporti padani, si colloca nella scala alta dello stato ambientale "Mediocre", la parte centrale si assesta in una posizione "Buono/Mediocre" (TRIX = 4-6), la parte meridionale si posiziona in una condizione "Buono".

L'ulteriore disaggregazione dei dati per territorio provinciale mette in evidenza che le provincie di Ferrara Ravenna e Forlì/Cesena presentano un TRIX medio rispettivamente di 5.57, 5.16, 5.21 che equivale ad una stato ambientale "Mediocre", quella di Rimini con 4.85 raggiunge lo stato trofico "Buono".

4.19 Indice di Torbidità (TRBIX)

L'articolo pubblicato sulla rivista *Envirometrics* Vol 9, 1998, citato nel paragrafo precedente oltre a definire l'Indice Trofico, propone una metodologia per qualificare le condizioni dell'ecosistema sviluppando un Indice di Torbidità (TRBIX).

Facendo riferimento agli algoritmi impiegati si è cercato di applicare tale indice alle stazioni costiere confrontando contestualmente il suo andamento con quello del TRIX.

La trasparenza dell'acqua misurata con disco di Secchi costituisce un importante parametro nella definizione delle caratteristiche di qualità delle acque costiere che non può essere ignorato; nello stesso tempo questa misura non può essere incorporata in un Indice Trofico usando gli stessi algoritmi utilizzati per gli altri fattori. Questo perché la trasparenza è la risultante di almeno tre componenti che determinano l'assorbimento

della luce e processi di “scattering”: a) le sostanze organiche disciolte come ad esempio gli acidi umici, b) la biomassa, c) la torbidità dovuta al particolato minerale.

Si può assumere che, eccetto particolari situazioni, le sostanze organiche disciolte non contribuiscono, a breve scala temporale, alla variabilità della trasparenza nelle acque marine; questa è determinata essenzialmente dalla biomassa fitoplanctonica e dal particolato inorganico minerale in sospensione.

Se l'assorbimento della luce è dovuto principalmente alla biomassa allora le acque, a qualsiasi grado di trasparenza, sono “biomasse saturate” quindi esiste una relazione quantificabile tra la trasparenza espressa come profondità di disco di Secchi ed il massimo possibile di biomassa. Se è presente una torbidità di carattere minerale, allora le acque non possono essere “biomasse saturate” e le concentrazioni di queste biomasse sono al di sotto del loro potenziale.

Dalla elaborazione dei dati derivati dall'EOCD Program è stata ricavata una semplice relazione tra clorofilla “a” e trasparenza.

$$\mathbf{TRSP_{(p)} = 30/(1+Ch^{(0.7)})}$$

Range di variabilità: Clorofilla “a” da 0.2 a 300 mg/m³

Trasparenza da 48 a 0.3 m

La relazione Torbidità/Clorofilla “a” viene definita come il rapporto tra la trasparenza potenziale (p) e quella misurata (a) $\mathbf{TRBR = TRSP_{(p)} / TRSP_{(a)}}$

e l'indice di torbidità (TRBIX) è calcolato come logaritmo a base 2 del **TRBR**

$$\mathbf{TRBIX = \text{Log}_2 (TRBR)}$$

Una semplice interpretazione di questo indice è che le acque sono otticamente biosature riguardo la clorofilla se il TRBIX = 0; se il TRBIX = 1, il contributo della clorofilla e del particolato inorganico risulta equivalente; se TRBIX = 2 la Clorofilla dovrebbe contribuire per 1/4 ecc.

L'analisi degli andamenti del TRIX in rapporto al TRBIX mostra una situazione di variabilità in funzione delle stazioni costiere considerate e dalla stagionalità integrate con eventi eutrofici, apporti fluviali e risospensione del sedimento a seguito di mareggiate.

Nelle stazioni costiere (vedi figg 82 e 83), collocate nella parte settentrionale (Ravenna-Delta Po), gli alti valori di Indice Trofico sono correlati a bassi Indici di Torbidità a conferma che la zona predetta è interessata da fioriture microalgali e quindi da alti livelli di Clorofilla “a” e di conseguenza la torbidità è in gran parte sostenuta dalla componente fitoplanctonica.

Le stazioni centrali e meridionali della costa ubicate a 0.5 Km evidenziano sia per il TRIX che per il TRBIX una variabilità stagionale con valori di Indice Trofico che tendono a diminuire durante il periodo estivo mentre il TRBIX mostra una tendenza all'aumento con valori spesso superiori a 2. Questo significa, com'è risultato anche gli scorsi anni, che per tali stazioni aumenta e diventa predominante la componente inorganica particellata rispetto alla biomassa microalgale nella determinazione della torbidità.

I dati dell'andamento annuale vengono ripresi in modo sintetico nella fig. 84 che rappresenta gli scatter plot del TRIX verso il TRBIX calcolati utilizzando i risultati rilevati nelle stazioni costiere della subarea A, B e C a 0.5 Km.

Il grafico viene diviso in quattro quadranti definiti dal valore medio di TRIX e TRBIX rispettivamente.

La localizzazione della combinazione dei valori all'interno di ciascun quadrante viene interpretata in base alla tabella allegata in figura.

Il quadro che ne scaturisce si presenta molto simile alle caratteristiche riscontrate negli anni precedenti. Il confronto tra le subaree della costa mostra che nella zona settentrionale buona parte dei valori, si distribuiscono sul quadrante B che identifica, in termini di TRBIX, una zona prevalentemente colorata da sviluppo di fitoplancton ed una bassa trasparenza con presenza di torbidità dovuta anche alla componente minerale. Come si evince dal posizionamento del 35 % dei vettori nel quadrante "A" del grafico di fig 84 si conferma per questa zona, investita direttamente dalle acque dolci del Po e quindi di materiale fine in sospensione, anche una torbidità di tipo minerale.

Nella zona più meridionale "Zona C", a differenza di quanto verificatosi nel 2002 i valori si attestano prevalentemente nel quadrante "A e C" che identificano sia acque scarsamente colorate, in generale buona trasparenza o con torbidità, quando presente, determinata essenzialmente dalla componente minerale risospesa, sia acque colorate dalla presenza di fitoplancton. In quest'ultima subarea che corrisponde alla parte meridionale della costa infatti, i processi eutrofici sono limitati sia come intensità sia come estensione, quindi la torbidità presente è dovuta in gran parte alla risospensione del sedimento e/o agli apporti di materiale inorganico fine dai bacini costieri.

Sebbene esista un rapporto di tipo inverso tra i due indici, come del resto ci si deve aspettare almeno in teoria, il diagramma di dispersione dei valori puntuali mostra che singoli dati variano in maniera largamente indipendente. Di conseguenza la combinazione dell'indice Trofico TRIX e dell'Indice di Torbidità TRBIX come componenti di un vettore, dovrebbe caratterizzare la qualità delle acque marine in maniera più generale e fornire mediante la sua applicazione un Indice Generale di Qualità.

5. EVOLUZIONE DEI PROCESSI TROFICI NEL 2003. SINTESI RIASSUNTIVA

Si riporta in sintesi l'evoluzione dei processi di eutrofizzazione che hanno caratterizzato il 2003.

5.1 Eutrofizzazione

Gennaio-Febbraio

Le condizioni meteo-marine del periodo, caratterizzate da venti da Nord-Est e da forte moto ondoso, contribuiscono a rendere variabili le condizioni ambientali della fascia costiera. A seguito di consistenti apporti di acque fluviali dal bacino padano e dai bacini costieri nella fascia costiera centro-settentrionale si ha una caduta del valore di salinità. In questa parte della costa i livelli di biomassa microalgale rimangono comunque medio-bassi, mentre nella parte più meridionale si ha un significativo incremento dovuto alla fioritura della diatomea *Skeletonema costatum*.

La trasparenza è bassa, soprattutto in corrispondenza delle foci fluviali, sia per il materiale fine veicolato dai fiumi sia ad opera del moto ondoso. La temperatura è leggermente superiore al valore medio del periodo. Dopo la prima decade del mese la qualità delle acque costiere tende a migliorare; gli indici trofici permangono bassi per tutto il mese di febbraio grazie alle instabili condizioni meteo-marine del periodo (mare mosso e venti dai quadranti settentrionali) che operano un continuo miscelamento della colonna d'acqua. A causa del materiale fine risospeso dal moto ondoso la trasparenza si mantiene scarsa.

Marzo-Aprile

A seguito di nuovi e cospicui sversamenti fluviali dal bacino padano in particolare, in tutta l'area costiera si ha una marcata diminuzione della salinità ed incrementi della biomassa microalgale (dovuti a *Skeletonema costatum*) che interessano soprattutto la parte centro-settentrionale della costa. Il miglioramento dello stato qualitativo avviene sempre ad opera di condizioni meteo-marine instabili, nella terza decade del mese, con significativi ricambi delle acque costiere. Per quasi tutto il mese di aprile si ha uno stato qualitativo "Buono", tranne che nella seconda decade del mese dove localmente nell'area settentrionale si hanno incrementi microalgali, dovuti alla diatomea *Chaetoceros spp*, conseguenti ad apporti padani e costieri. La riduzione degli apporti

fluviali ed il contemporaneo spirare dei venti di Scirocco del periodo riducono i fenomeni. Nella prima decade di aprile si ha la comparsa di *Noctiluca scintillans*.

Maggio-Giugno

Fino alla prima decade di maggio lo stato qualitativo ambientale si presenta in miglioramento nella parte meridionale della costa, dove si riscontrano bassi livelli di clorofilla "a", elevata trasparenza e salinità. La zona centro-settentrionale, dove è significativa l'influenza degli apporti del bacino padano, si caratterizza invece da bassi valori di salinità e di trasparenza, e livelli di biomassa microalgale tendenti all'eutrofia. In questo periodo si ha un aumento significativo delle temperature delle acque. Grazie a condizioni meteo-marine instabili (mare mosso) e a scarsi apporti fluviali nella restante parte del mese gli indicatori trofici attestano uno stato qualitativo dell'ecosistema marino "Buono/Elevato". La trasparenza in questo periodo risulta elevata.

Anche per tutto il mese di giugno lo stato qualitativo della fascia costiera presenta bassi indici di biomassa microalgale, attestando il perdurare dello stato qualitativo "Buono/Elevato". Solamente nella zona a ridosso del delta del Po si riscontra un incremento dello stato trofico con circoscritti casi di ipossia/anossia.

Luglio-Agosto

Per quasi tutto il mese di luglio permane uno stato qualitativo "Buono-Elevato". Lo spirare di venti da Sud-Ovest contribuisce al ricambio delle acque costiere con acque profonde oligotrofiche ad elevata salinità e a bassi indici di biomassa microalgale. La colonna d'acqua non presenta stratificazioni anche grazie agli scarsi apporti di acque dolci dai bacini costieri e da quello padano. La trasparenza risulta in genere elevata. Solamente in prossimità del delta padano si rilevano circoscritti focolai eutrofici e casi di ipossia/anossia. Questo stato ambientale "Buono/Elevato", caratterizzato da assenza di fenomeni eutrofici, eccetto che incrementi di biomassa microalgale in prossimità del delta padano, permane fino alla metà di agosto. In questo mese la temperatura delle acque è al di sopra della norma, raggiungendo valori elevati (29 °C) anche nelle acque al largo e lungo la colonna d'acqua fino ad una profondità di circa 10 metri.

La stasi meteo-marina del periodo e le elevate temperature favoriscono il diffondersi degli stati di carenza di ossigeno anche nella parte centro-meridionale della costa fino ad interessare dopo la metà di agosto un'area di 250 km² (condizione ipossica).

Nella fascia prettamente costiera dell'area meridionale localmente si hanno fioriture della microalga *Fibrocapsa japonica* che determinano anomale colorazioni delle acque.

Settembre-Ottobre

Nel mese di settembre condizioni meteo-marine instabili caratterizzate da forti mareggiate con significativo rimescolamento della colonna d'acqua risolvono la condizione distrofica instauratasi in agosto, con risoluzione degli stati ipossici/anossici e riduzione dei valori di temperatura.

Il perdurare del forte moto ondoso favorisce anche per tutto il mese di ottobre uno stato qualitativo "Buono-Elevato" con bassi indici di biomassa microalgale e assenza di stratificazioni.

Novembre-Dicembre

Nonostante un incremento di apporti fluviali sia dai bacini costieri che da quello padano, per tutto il mese di novembre la condizione qualitativa dell'ecosistema costiero risulta "Buona".

A dicembre a seguito di cospicui apporti dal bacino padano si ha un peggioramento dello stato qualitativo con incremento della biomassa microalgale nella zona centrale, marcate stratificazioni e riduzione della trasparenza. Nella terza decade del mese una forte mareggiata ripristina l'omogeneità delle variabili idrologiche nella colonna d'acqua.

5.2 Aggregati mucilluginosi

Verso la metà di giugno, lungo la costa emiliano-romagnola, è stato rilevato un processo di sviluppo e di aggregazione della mucillagine che si manifestava più accentuato nella zona a sud della costa.

Il materiale mucilluginoso si riscontrava particolarmente addensato a forma di reticoli filamenti e piccole nuvole, nella zona che andava da -5 metri a -10 metri di profondità, in corrispondenza del termoclino.

La mucillagine, in forma aggregata, era visibile alle profondità predette, da circa 1 Km fino a 20 Km ed oltre dalla costa e risultava più compatta lungo il transetto di Cattolica rispetto a quello di Cesenatico.

In generale in superficie si osservavano sporadici affioramenti di materiale fine quasi impercettibile, mentre nella zona che si estendeva da circa Riccione-Cattolica e da 1 Km fino a 3 Km dalla costa si evidenziavano aggregazioni a forma di strisce parallele alla costa variabili da qualche decina di metri a qualche centinaia di metri.

Nel pomeriggio i venti di Scirocco tendevano ad aggravare la situazione, determinando una ulteriore aggregazione della mucillagine (piccole strisce si evidenziavano anche nel tratto Rimini-Cesenatico) ed il relativo spostamento verso la linea di riva.

Da segnalare l'elevata temperatura in superficie (27.5°C), anche al largo, ed il fortissimo termoclino a circa 6 metri di profondità, dove la temperatura scendeva, in pochi metri, a 13 °C determinando una variazione mai riscontrata in 25 anni di indagini. Il materiale gelatinoso osservato si configurava come "mucillagine classica", della stessa tipologia, conformazione e struttura reticolare di quello riscontrato in estate del 1997, 2000, 2001 e 2002.

Inoltre l'esame al microscopio della mucillagine e della componente acquosa associata, mostrava la presenza della microalga dinoflagellata *Gonyaulax fragilis*, che rappresenta un fattore fondamentale nel processo di sviluppo della mucillagine stessa. affioramenti in superficie nella zona di Cattolica/Riccione.

Nella settimana successiva nell'ambito del programma di monitoraggio nell'area al largo di Ravenna (55 Km dalla costa), ove sono state dragate le sabbie per il ripascimento delle spiagge, è stato effettuato, lungo il transetto, un controllo per la rilevazione dell'eventuale presenza di materiale mucilluginoso nelle zone off-shore. Le indagini sono state effettuate nelle stazioni a 1, 3, 6, 10, 20, 30, 40 e 50 Km verso il largo con l'utilizzo della telecamera subacquea filoguidata.

In tutte le stazioni si confermava la presenza di mucillagine nel medesimo stato di

aggregazione di quello rilevato il 16 giugno scorso.

Nelle stazioni più prossime alla costa (1-10 Km), il materiale mucillaginoso da un lato tendeva ad abbassarsi verso il fondale, dall'altro piccole quantità di filamenti si spostavano verso la superficie formando chiazze di gelatina finissima che si disponeva a strisce parallele alla costa.

Nella zona off-shore, nelle stazioni site a 30-50 Km dalla costa, erano stati rilevati addensamenti di mucillagine lungo la colonna d'acqua, visibili anche dalla superficie considerato la elevata trasparenza, che tendevano a concentrarsi in uno strato più superficiale compreso tra -5 e -8 metri.

Il materiale, di sicura natura mucillaginosa, analogo a quello riscontrato verso la metà di giugno del 2002, si presentava ad una conformazione e stato di aggregazione a forma di reticolo/ragnatele, costituito da materiale fine e sfilacciato, comunque compatto, simile ad un "falso fondo".

La colorazione biancastra della mucillagine, la fluidità del materiale e gli elementi che l'avevano generata facevano presupporre che si trattasse di sostanza organica gelatinosa di recente formazione.

L'esame al microscopio del materiale gelatinoso di neoformazione prelevato in superficie evidenziava la presenza, come per l'evento del giugno 2002, della microalga *Gonyaulax fragilis* (vedi figura) che essudando e/o disaggregandosi contribuiva alla produzione della mucillagine.

Tutto il materiale mucillaginoso si trovava sopra il termoclino o in corrispondenza della variazione di temperatura e, in aree circoscritte sia al largo che in costa, tendeva anche ad affiorare.

Il fenomeno aveva già superato la fase iniziale in quanto si presentava in forma di reticolo (stadio 5) distribuito su uno strato di colonna limitato ma compatto.

Dalle rilevazioni effettuate il 21 giugno si osservava una riduzione del fenomeno nell'area centro-settentrionale della costa, mentre nella zona più meridionale, antistante Rimini/Cattolica, il processo di sviluppo e di aggregazione della mucillagine tendeva ad incrementare ed a compattarsi ulteriormente nello strato tra -4 e -8 metri di profondità.

In dettaglio, mentre lungo il transetto di Goro non si evidenziava la presenza di materiale mucillaginoso, da P. Garibaldi a oltre Ravenna la mucillagine si presentava in forma di filamenti radi e distribuiti nella colonna d'acqua.

Nella direttrice di Cesenatico la mucillagine, visibile da 3 a 20 Km dalla costa, pur in forma di reticoli, mostrava una riduzione della fase aggregata.

Sul fondo, tra 3 e 10 Km dalla costa si osservavano ancora ammassi gelatinosi non omogenei depositati sul sedimento. Questo materiale, appesantito dalla componente

argillosa permaneva sul sedimento senza possibilità di affioramento e subiva una lenta degradazione.

Per tutto il transetto di Cattolica (oltre 20 Km dalla costa) la mucillagine si presentava addensata a nuvole e reticoli quasi compatti con tendenza ad avvicinarsi verso la superficie.

Nello strato superficiale della zona centro-meridionale si osservavano sporadici filamenti che però, durante le ore pomeridiane si aggregavano formando macchie di limitate dimensioni che sospinte dai venti provenienti da sud-est raggiungevano le barriere frangiflutti e la zona di balneazione.

A seguito del passaggio di una perturbazione che ha determinato un lieve incremento del moto ondoso da Nord-Est, il materiale mucillaginoso, riscontrato nei precedenti monitoraggi aveva subito una ulteriore regressione sia in riferimento allo stato di aggregazione che alla quota batimetrica di posizionamento.

In particolare la mucillagine, sempre presente a partire da 2-3 Km dalla costa, si era spostata verso il fondale ove si osservavano depositi sul sedimento in quantità superiore ai precedenti controlli.

In superficie le acque erano molto trasparenti e non si rilevava alcun tipo di affioramento e/o aggregazione.

Nella prima settimana di luglio a seguito di persistenti ed intensi venti di Libeccio (Sud-Ovest) si è determinata una particolare circolazione delle masse d'acqua che ha provocato un rapido ricambio delle acque costiere con la dispersione e diluizione verso il largo e verso sud delle fasi di aggregazione della mucillagine provocandone la completa dissoluzione.

5.3 Macroalghe

Casi di proliferazione di macroalghe si sono verificati localmente in maggio con la presenza di *Bryopsis plumosa* e nel periodo estivo con l'invasione di diverse specie appartenenti per lo più alla famiglia delle Ulvacee (*Ulva lactuca*, *Ulva fasciata*) e alla classe delle Rodoficee come *Polysiphonia sp.*, *Ceramium sp.* Nella prima settimana di agosto si sono verificati spiaggiamenti di *Cladophora sp.*, *Codium fragile*, *Ulva lactuca*.

5.4 Meduse

Da diversi anni la cubomedusa *Carybdea marsupialis* si presenta regolarmente in forma invasiva nella stagione estiva particolarmente nella zona centro-meridionale della costa. In genere la loro presenza interessava il periodo luglio - ottobre. Le alte temperature delle acque superficiali, che hanno caratterizzato il periodo estivo, hanno anticipato di un mese le sciamature massive di questa cubomedusa. Con potere urticante, anche se non di rilevante entità, la loro comparsa è stata da più fonti segnalata in diverse aree della costa regionale.

6. CONCLUSIONI

Il 2003 è stato caratterizzato da straordinarie condizioni meteo-climatiche che hanno determinato altrettanto straordinari effetti e ricadute sull'idrologia e sulla biologia dell'alto e medio Adriatico. La scarsità cronica di precipitazioni atmosferiche nei primi 10 mesi del 2003 ha, di fatto, determinato portate del fiume Po particolarmente basse e con andamenti del tutto atipici; l'anomalia è particolarmente evidente se si considera che è del tutto mancato il picco di portata fluviale primaverile (la portata media del fiume Po si è dimezzata rispetto al 2002 passando da 1871 a 964 m³/sec). Conseguentemente si sono avuti, soprattutto nella stagione estiva, valori insolitamente alti di salinità e ridotti apporti di sostanze ad effetto eutrofizzante (azoto e fosforo in particolare). Il mancato trasferimento verso il mare di azoto e fosforo ha determinato basse concentrazioni di clorofilla "a" (indicatore di biomassa microalgale in sospensione), indici di trofia che si approssima ai valori minimi stagionali registrati negli anni precedenti ed in genere una buona trasparenza delle acque. L'unico evento eutrofico di "red tide" registrato nel 2003 si è verificato nella seconda decade di agosto nel tratto a Nord di Riccione con un successivo interessamento del Riminese causato dalla fioritura microalgale provocata dalla flagellata *Fibrocapsa japonica* che, con una anomala colorazione bruno scura, ha interessato fino alla fine del mese la fascia di mare strettamente costiera (primi 50 - 100 m dalla battigia).

Un'altra importante variabile che ha caratterizzato le acque superficiali nel 2003 è da attribuire alla straordinaria anomalia termica. Da maggio fino alla metà di ottobre sono stati registrati valori di temperatura negli strati superficiali (fino a 6-7 m di profondità) molto al di sopra delle medie del periodo e con valori massimi che hanno raggiunto in più occasioni i 29-30 °C. Le cause sono da associare allo stato meteo-climatico ed a prolungati periodi con condizioni di mare calmo o poco mosso. Le elevate temperature del periodo hanno accentuato i fenomeni di "meridionalizzazione" di alcune specie ittiche termofile ed hanno altresì anticipato di un mese le sciamature massive della Cubomedusa (*Carybdea marsupialis*). In genere la loro presenza interessava il periodo luglio - ottobre. Con potere urticante, anche se non di rilevante entità, la loro comparsa è stata da più fonti segnalata in diverse aree della costa regionale.

La fascia costiera dell'Emilia-Romagna è caratterizzata da frequenti processi di eutrofizzazione che si manifestano su scale temporali e spaziali con estrema variabilità e che generalmente, seguono un modello di distribuzione che decresce da nord verso sud, da costa verso il largo, dalla superficie al fondo e dall'inverno all'estate.

Nel corso del 2003 non si sono verificate, nel periodo invernale, le classiche e ricorrenti fioriture microalgali di Diatomee a carattere estensivo. Gli indicatori di stato trofico,

pur mostrando una diminuzione da nord verso sud, si mantengono più o meno costanti nell'arco dell'anno con una riduzione rispetto al 2002 di circa il 65 % del valore medio costiero. Inoltre i livelli di biomassa microalgale non hanno raggiunto, mediamente, la condizione di eutrofizzazione neanche nella zona a ridosso del delta del Po, configurando quindi una situazione di stato ambientale Buono/Elevato. La riduzione dei processi eutrofici nel periodo estivo è conseguente, da un lato alla diminuzione del carico di elementi eutrofizzanti sversato sia dai bacini costieri che da bacino padano, dall'altro alla modificazione della circolazione costiera. In estate infatti, la corrente discendente generata dalle acque dolci veicolate dal Po tende a spostarsi verso il largo ed i venti di Scirocco, dominanti nel periodo estivo, portano acque oligotrofiche dalle zone offshore verso la costa.

Agli inizi di maggio nella zona centro meridionale della costa si è sviluppata una fioritura della microalga eterotrofa *Noctiluca scintillans* che si manifestava con strisce e chiazze lunghe decine di metri di colore arancione intenso. Questo tipo di fioritura, capace di emettere bioluminescenza (mare in amore), non ha determinato alterazioni sull'ecosistema poiché l'intero processo vitale (crescita sviluppo degradazione) avviene generalmente in superficie.

In fase di degradazione questi organismi assumono una conformazione e consistenza gelatinosa simile agli stati di aggregazione della mucillagine.

Dalla fine di giugno fino ad agosto sono state rilevate condizioni di anossia/ipossia delle acque di fondo che hanno interessato la zona settentrionale della costa. Gli eventi anossici sono stati di limitata estensione, breve durata ed anche nella massima estensione raggiunta il 18 agosto, non avendo interessato la fascia costiera di balneazione, non hanno determinato quindi un riflesso negativo sul comparto turistico. Lo sviluppo di aree prive di ossigeno sul fondo è stato causato dalla concomitanza con elevate temperature, condizioni meteo-marine stabili, stratificazioni della colonna d'acqua e presenza di abbondante biomassa microalgale situata negli strati intermedi della colonna d'acqua.

Le mucillagini sono apparse sin dalla metà di giugno in forma aggregata nello strato compreso tra -5 e -10 m dalla superficie. Anche se con fasi alterne l'area interessata dal fenomeno era molto estesa e riguardava sia la parte occidentale del bacino Adriatico che quella orientale (Croazia), in misura inferiore rispetto all'evento riscontrato nel 2002. Il processo di formazione, come già rilevato in altre occasioni, è stato alimentato dalla flagellata *Gonyalux fragilis*. Verso la fine di giugno sono state osservate discrete quantità di aggregati mucosi sedimentati e sono comparsi i primi affioramenti con locali spiaggiamenti nella zona centro - meridionale della costa emiliano - romagnola, lo stesso dicasi delle spiagge marchigiane. Un repentino cambiamento delle condizioni

meteorologiche con l'insacco di una forte libeccata nel periodo 2-5 luglio, ha determinato cambiamenti idrologici (forte moto ondoso, richiamo di acque profonde verso costa, accentuazione della velocità delle correnti marine) tali da disaggregare e disperdere definitivamente il processo di formazione della mucillagine.

Sulla base del rapporto azoto/fosforo si riconferma anche per il 2003 il ruolo del fosforo come fattore limitante principale la crescita delle microalghe per la maggior parte delle stazioni monitorate sia in costa sia al largo.

A differenza di quanto rilevato nel 2002, durante il periodo estivo il N/P tende ad abbassarsi configurando condizioni di azoto-limitazione anche nelle stazioni settentrionali.

A modulare il predetto rapporto nel 2003 contribuisce in maniera determinante la componente azotata che derivando in gran parte da fonti diffuse, veicolata quindi dalle precipitazioni e dagli apporti fluviali, si mantiene elevata in inverno ed autunno riducendosi di circa due ordini di grandezza nel periodo estivo.

Con riferimento infine al D.Lgs.152/99 e successive integrazioni D. Lgs 258/00 è stato effettuato, sulla base dell'andamento dell'indice trofico TRIX, la classificazione dello stato qualitativo ambientale delle acque costiere. Dai risultati emerge che nella scala temporale il TRIX presenta una forte variabilità stagionale, attestandosi in inverno, primavera ed autunno nello stato ambientale "Mediocre", mentre nel periodo estivo la situazione migliora nettamente e gran parte delle acque antistanti la costa emiliano-romagnola (da Ravenna a Cattolica) si trovano in uno stato qualitativo ambientale "Buono/Elevato".

Aggregando i dati per subaree e considerandoli come media annuale nelle stazioni a 0.5, 1 e 3 Km, si riscontra come tutta la fascia costiera si attesti su una situazione "Mediocre" ma, mentre la zona settentrionale si colloca nella zona intermedia della scala con TRIX=5.5, quella meridionale si posiziona al limite superiore dello stato qualitativo "Buono".

Lo stato ambientale migliora leggermente nelle aree collocate a 3 km dalla costa, particolarmente nella zona verso sud della costa, individuando pertanto per questa zona, un ruolo predominante degli apporti dai bacini costieri rispetto a quelli padani, nella determinazione dell'Indice TRIX.

Ai fini della classificazione dello stato qualitativo ambientale determinato dal predetto indice trofico, in confronto al 2002, lungo la fascia costiera si evidenzia un sensibile miglioramento, statisticamente significativo, dello stato qualitativo dell'ecosistema marino, che si avvicina di molto alla condizione di stato "Buono" che rappresenta l'obiettivo da perseguire entro il 2008.

Per una completa valutazione dello stato qualitativo ambientale delle acque marine occorre considerare comunque l'anomalia del 2003 che è stato caratterizzato da scarse precipitazioni sia nel bacino padano che in quelli costieri, da limitati apporti di nutrienti generati e sversati dai fiumi dei predetti bacini e le peculiari condizioni meteo-marine che si sono verificate nel periodo estivo che hanno mantenuto bassi i livelli di nutrienti (fosforo e azoto) e di biomassa microalgale, che si sono approssimati ai valori minimi stagionali.

Alla luce di quanto esposto, nonostante il miglioramento della condizione di stato trofico delle acque costiere, permane la necessità di mantenere ancora elevato il livello di attenzione e di perseverare nelle strategie di risanamento; pertanto l'obiettivo da perseguire deve portare ad una riduzione in frequenza ed estensione dei processi eutrofici limitando conseguentemente gli effetti sull'ecosistema marino che, ovviamente si riflettono negativamente su due settori importanti per l'economia regionale e nazionale quali turismo e pesca.