



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 2002

Finito di stampare nel mese di Luglio 2003
presso il Centro Stampa della Giunta Regionale

INDICE

Rapporto sullo stato di eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia-Romagna nel 2002.

2	
PARTECIPANTI ALL'INDAGINE	3
PRESENTAZIONE	4
SOMMARIO	6
1. INTRODUZIONE E FINALITA'	7
2. MATERIALI E METODI	8
3. CONDIZIONI METEO-MARINE	12
4. RISULTATI	12
4.1 Temperatura.....	14
4.2 Salinità.....	14
4.3 Ossigeno disciolto	15
4.4 pH.....	16
4.5 Trasparenza (disco Secchi).....	16
4.6 Clorofilla "a"	17
4.7 Fitoplancton.....	17
4.8 Azoto nitrico.....	19
4.9 Azoto nitroso	19
4.10 Azoto ammoniacale.....	20
4.11 Azoto totale	20
4.12 Fosforo ortofosfato	21
4.13 Fosforo totale	22
4.14 Silice reattiva	22
4.15 Rapporto N/P (frazione solubile).....	23
4.16 Rapporto Ntot/Ptot.....	25
4.17 Rapporto Ntot sol/Ptot sol.....	25
4.18 Indice Trofico (TRIX)	26
4.19 Indice di Torbidità (TRBIX)	35
5. EVOLUZIONE DEI PROCESSI TROFICI NEL 2002.	
SINTESI RIASSUNTIVA	38
5.1 Eutrofizzazione.....	38
5.2 Aggregati mucilluginosi.....	42
5.3 Macroalghe.....	46
5.4 Meduse.....	46
6. CONCLUSIONI	47
ALLEGATO Programma annuale delle attività 2003.....	179

PARTECIPANTI ALL'INDAGINE

Parametri chimico-fisici delle acque:

Giuseppe Montanari
Anna Ghetti
Cristina Mazziotti
Stefano Serra

Determinazione della biomassa fitoplanctonica:

Anna Ghetti
Cristina Mazziotti
Margherita Benzi

Analisi dei nutrienti:

Carla Rita Ferrari
Paola Martini
Sandro Tarlazzi

Elaborazione grafica e statistica e 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

Nel riproporre la tradizionale stesura del rapporto sullo stato di qualità delle acque marino-costiere dell'Emilia-Romagna, evidenzio con piacere che la collana dei rapporti annuali predisposti dai tecnici facenti capo alla Struttura Oceanografica Daphne dell'ARPA ha raggiunto la ventiduesima annualità. Di fatto, rappresenta una interessante rassegna storica di natura tecnica-scientifica che da un lato ben rappresenta il forte impegno dedicato allo studio dell'ambiente marino - costiero, dall'altro una straordinaria quantità di dati, elaborazioni ed informazioni sull'evoluzione dei processi in atto.

Il citato nucleo di ricercatori e tecnici è tra l'altro inserito da sempre nel Centro Ricerche Marine di Cesenatico. Una articolata e funzionale struttura sorta a metà degli anni '70 che si è distinta nello studio e nel monitoraggio delle biotossine di origine algale e delle sue dirette ricadute sulla mitilocoltura al punto tale da divenire, su decisione della CE, il centro di riferimento nazionale su tale materia. Posizione che crea indubbiamente valore aggiunto per la simbiosi e le sinergie che si vengono a creare. A prescindere dalla prevalente attività finalizzata al controllo dei fenomeni eutrofici, la Struttura Daphne dedica tempo ed impegno anche ai fini del monitoraggio e dello studio dei processi di formazione degli aggregati mucilluginosi e degli adempimenti conseguenti ad importanti normative nazionali quali la L. 979/82 ed il D. Lgs 152/99 che, in estrema sintesi, consentono di estendere i controlli ai sedimenti ed al biota.

Il 2002, come si potrà evincere leggendo questo rapporto, è stato un anno difficile. Nella stagione estiva si sono avuti sia il fenomeno delle mucillagini che casi di eutrofizzazione. Questi ultimi sono stati generati da intense precipitazioni atmosferiche con conseguenti riversamenti di carichi di sostanze eutrofizzanti. Il processo che ne è conseguito ha portato alla anossia dei fondali con morie di organismi marini. Tali eventi ci ricordano che al di là delle azioni realizzate occorre ancora affrontare la questione dei carichi generati sul territorio per ridurre ulteriormente i guasti che tali processi possono generare. A tal riguardo la Regione Emilia Romagna, con la collaborazione della Fondazione Cervia Ambiente e l'ARPA, sta realizzando un impegnativo progetto di Gestione Integrata della Zona Costiera. Il principale obiettivo è quello di agire attraverso l'integrazione delle azioni per un più efficace e funzionale governo del territorio costiero.

Dr. Guido Tampieri

Assessore all'Agricoltura,
Ambiente e Sviluppo Sostenibile

della Regione Emilia-Romagna

SOMMARIO

Anche nel periodo invernale (febbraio-marzo) del 2002 tutta la zona costiera è stata interessata da un intenso ed esteso processo di eutrofizzazione, sostenuto da elevate biomasse della diatomea *Skeletonema costatum*. Questo fenomeno non ha generato, a differenza dello scorso anno, condizioni di ipossia/anossia delle acque di fondo.

Sia agli inizi di febbraio che soprattutto nel mese di aprile, 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.

In estate, ad eccezione del mese di agosto, si è evidenziata una diminuzione degli eventi eutrofici come conseguenza sia del decremento del carico di elementi eutrofizzanti provenienti dai bacini interni sia della modificazione della circolazione costiera.

Verso la fine di giugno fino ad agosto si è sviluppata la mucillagine in stati di aggregazione, dimensione, estensione di gran lunga superiori a quelle riscontrate nel 1999, 2000 e 2001.

Mentre anche nel 2002 sulla base del rapporto azoto/fosforo il fosforo è risultato essere il fattore limitante della crescita microalgale, a differenza di quanto rilevato nel 2001 durante il periodo estivo sono diminuiti i casi di azoto limitazione.

In 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 2001 è emerso un peggioramento statisticamente significativo che si allontana ulteriormente dalla condizione di stato "Buono" (obiettivo da perseguire entro il 2008).

SUMMARY

Also during the winter period (February-March) of 2002 in the whole coastal area we observed an intense and wide eutrophication process, caused by recurring blooms of the Diatom *Skeletonema costatum*. This phenomenon didn't determine hypoxic/anoxic conditions in bottom waters.

Both during early February and, mostly, April 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 10m long strings.

During the summer, except for August, we put in evidence a decrease in eutrophication events, as a consequence of a reduced nutrients charge, drifted from the coastal basin, and of a coastal circulation change.

From late June till August we pointed out mucilaginous material at different stages of agglomeration, size, extension, which were much bigger than those of 1999, 2000 and 2001.

Both in 2001 and 2002, on the basis of the N/P ratio, phosphorus was the limiting factor in microalgal growth. In 2002 the cases of nitrogen limitation decreased during the summer.

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, 2002 shows a statistically significant worsening and is even more far 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, vanno ricordati: il monitoraggio finalizzato al controllo degli ecosistemi marini regolato da una convenzione triennale con il Ministero

Ambiente (D.M. 979/82), il programma di ricerca MAT 1999-2003 (Programma di Monitoraggio e Studio sui processi di formazione delle Mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno) coordinato da ICRAM (Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica Applicata al Mare).

Complessivamente le uscite giornaliere della "Daphne II" nel 2002 sono state 143.

2. MATERIALI E METODI

Il programma di monitoraggio condotto nel 2002 è stato in gran parte finalizzato alla caratterizzazione delle acque costiere fino ai 10.000 m dalla costa, in un reticolo formato da 32 stazioni distribuite nel tratto di costa compreso fra Bagni di Volano e Cattolica (figura 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 20.000 m 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, 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 ad

ogni metro di profondità, sono trasmessi via cavo al computer di bordo, visualizzati su terminale e registrati su disco.

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 Teck" abbinato alla sonda della "Idronaut".

La torbidità viene misurata lungo la colonna d'acqua mediante un trasmissometro della "Sea Teck" abbinato alla sonda "Idronaut".

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

Vengono inoltre utilizzate nel programma di monitoraggio telecamere filoguidate (Fulgur 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 gentilmente fornite dall'Ufficio Idrografico e Mareografico per il bacino del Po di Parma.

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 μ m 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 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

A differenza dell'ultimo decennio (1991-2001) in cui le portate del Po sono state abbondanti soprattutto nel periodo autunnale, nell'anno in esame (fig. 2) si evidenziano picchi rilevanti anche nella stagione primaverile; i primi incrementi significativi interessano prevalentemente il mese di maggio con una successione più scarsa in giugno. Nei successivi periodi, i valori di portata, pur evidenziando in tutto il periodo estivo isolati incrementi, tendono a decrescere assestandosi su valori bassi per poi raggiungere il massimo di portata in autunno. Il più alto picco di portata è stato registrato il 7 novembre con 7960 mc/sec.

Il valore medio annuale di 1871,4 mc/sec, è più alto di quello rilevato nel 2001 ed anche superiore rispetto alla media calcolata nel lungo periodo (1917-2002) equivalente a 1510,8 mc/sec (fig. 3).

Le precipitazioni atmosferiche rilevate a Cesenatico (fig. 4) rispecchiano una situazione rapportabile a gran parte del bacino padano, con i valori più elevati in corrispondenza agli aumenti di portata fluviale, con un valore medio annuale di 944.8 mm, valore superiore alla media ottenuta nel 2001.

I dati dell'altezza dell'onda (fig. 5) hanno mostrato i picchi più elevati negli ultimi mesi dell'anno.

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. 46-47 la distribuzione delle zone ipossiche/anossiche manifestatesi nel corso del 2002, in fig. 48 la mappa delle subaree costiere (georeferenziata in fig. 143), in fig. 49 le distribuzioni dei valori medi di clorofilla delle subaree, da fig. 54 a fig. 57 i profili verticali di temperatura, salinità, ossigeno disciolto e clorofilla, in figg. 58-63 le isolinee di concentrazione di alcuni parametri nelle stt. 1004-1014-2004-2014, in figg. 60-67 le isolinee di concentrazione di alcuni parametri nei transetti di Cesenatico e P.Garibaldi, elaborazioni del TRIX in figg. 67-90. 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 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 2 le relative coordinate geografiche e batimetriche. Nelle tabelle 3-6 vengono riportati 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 sintonia con il decorso climatico stagionale, la temperatura delle acque superficiali presenta un andamento tipico sinusoidale (figure 6, 14, 29) raggiungendo i minimi nei mesi invernali, in gennaio, ed i massimi nei mesi estivi. Nei mesi di gennaio-febbraio, in accordo con le condizioni climatiche del periodo caratterizzate da basse temperature e da venti persistenti dai quadranti settentrionali, si registrano temperature delle acque particolarmente rigide con condizioni di spiccata omeotermia sulla colonna d'acqua. Nelle stazioni al largo (10 e 20 Km dalla costa) rispetto al 2001 i valori della temperatura sono più bassi in gennaio e febbraio di circa 4 °C, con maggior evidenza negli strati di fondo. Il valore più basso di superficie nelle acque costiere è stato rilevato il 17 gennaio nella stazione 14 con 3,04 C°.

Il riscaldamento delle acque superficiali comincia a evidenziarsi nell'ultima decade di maggio, valori al di sopra del range si riscontrano nel mese di giugno. 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.).

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 24 giugno a ridosso del delta Po con 30,18 °C nella stazione di Bagni di Volano a 0,5 km da costa.

Il precoce riscaldamento delle acque superficiali ha contribuito alla formazione di termoclini all'inizio del mese di maggio (figure 50, 51); nelle acque di fondo le variazioni del parametro risultano in progressiva attenuazione con l'aumentare della colonna d'acqua.

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

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 (vedi anche valori di deviazione standard più elevati) 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. Marcata in tutta l'area i picchi occorsi in maggio e quelli tra fine novembre-dicembre. Il valore minimo di 7,89 psu è stato registrato a Bagni di Volano, a 3 km, il 13 maggio.

In generale, tranne le cadute di valore sopra citate, nelle stazioni dell'area meridionale la salinità si è attestata su valori elevati, lo spirare di venti dai quadranti meridionali (Libeccio) ha nel corso dell'anno più volte facilitato l'ingresso di acque ad elevata salinità dal bacino meridionale.

Nei periodi di immissione fluviale sulla verticale si evidenziano marcate stratificazioni aline (figg 50, 51).

L'andamento medio annuale riconferma in generale un marcato gradiente con tendenza all'aumento Nord-Sud e da costa verso largo, ad eccezione del transetto 2 (fig. 100). I valori medi stagionali evidenziano in generale valori maggiori in inverno e primavera, i valori più bassi si hanno nel periodo autunnale, in coincidenza con le maggiori portate del Po (fig. 116).

4.3 Ossigeno disciolto

Il parametro, indicatore dello stato trofico, varia nelle acque superficiali 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, mentre abbassamenti del valore negli strati superficiali dipendono da movimenti di avvezione con risalite o spostamenti di acque di fondo meno ossigenate. Valori in sovrasaturazione si evidenziano in concomitanza ad incrementi microalgali. Evidente è infatti la risonanza tra i picchi di clorofilla "a" e gli incrementi di questo parametro nel periodo invernale 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 da fenomeni di upwelling, con richiamo in costa di acque profonde meno ricche di ossigeno. Nelle acque di fondo i valori tendenti alla sottosaturazione sono

determinati prevalentemente dalla domanda di ossigeno nei processi ossidativi e respiratori; casi di ipossia iniziano a manifestarsi in giugno a ridosso del delta padano a seguito di stratificazioni termo-aline. Stati ipossici-anossici si manifestano nel mese di luglio, agosto e (seppur con frequenti ma parziali risoluzioni operate dallo spirare dei venti di libeccio) si protraggono nei mesi di settembre ed ottobre. Il perdurare di questi stati e di marcate stratificazioni termo-aline porta ad una generale carenza di ossigeno sui fondali della fascia costiera con un'estensione stimata di 200 Km² (figg. 46-47). Anche il picco di caduta, rilevato nelle acque superficiali nella stazione di Cattolica nel mese di settembre, è da attribuirsi a questa situazione.

Le medie annuali (fig. 101) confermano in generale nelle acque superficiali il trend negativo nord-sud. Le medie stagionali evidenziano in tutte le stazioni i valori più elevati in inverno ed in primavera (tranne per le stazioni 4 e 14), i minimi sono generalmente in estate (fig. 117).

4.4 pH

La variabilità del parametro tende ad essere più accentuata nelle stazioni più settentrionali, che presentano in generale 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 alle prime due condizioni sopra esposte. 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 delle sole stazioni costiere mostrano dalla stazione 14 alla 19 i valori più elevati in primavera e i più bassi in inverno (fig. 119), nelle stazioni 2-4-9 i più elevati sono in autunno.

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 (figure 8, 34).

In generale e soprattutto per le stazioni collocate a Nord vi è una buona risonanza con le portate del fiume Po (fig. 49), picchi si evidenziano in tutte le subaree nel periodo invernale, nel mese di maggio, in agosto e nel mese di novembre. Gli stessi andamenti confermano anche il diverso grado di trofia delle tre subaree, con un trend in diminuzione nord-sud: dalla subarea "A" caratterizzata da una maggior insistenza di incrementi di biomassa microalgale alla subarea "C" che evidenzia per la maggior parte dell'anno bassi valori di biomassa, tranne il picco invernale e primaverile.

I profili verticali (figg. 52-53) evidenziano incrementi del parametro anche lungo la colonna d'acqua.

I valori più elevati si sono registrati il 5 febbraio nella stazione di Cesenatico in costa con 81 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; i più bassi valori in autunno nelle stazioni 2-4-6 ed in estate nelle rimanenti (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

Anche nel 2002 gli andamenti delle Diatomee riconfermano l'esistenza di un gradiente geografico negativo di densità microalgale passando dalle stazioni più settentrionali a quelle più meridionali, con la stazione di Porto Garibaldi (st. 4) maggiormente influenzata dagli apporti padani e conseguentemente con presenza di alti valori di fitoplancton (fig. 139).

A livello di successioni stagionali nella classe delle Diatomee si evidenzia come la specie *Skeletonema costatum* (fig. 142a) abbia caratterizzato in maniera dominante la composizione della comunità fitoplanctonica nell'inverno 2002 dell'intera zona costiera emiliano-romagnola (figg. 140, 141). Questa diatomea ha raggiunto i più alti valori anche quest'anno nella st. 4 il 12 marzo con un valore di 66.552.186 cellule per litro di acqua; valori ugualmente alti sempre di *Skeletonema costatum* si sono avuti anche a sud (st. 19) con 65.854.459 Cell/l. Nella figura 141 sono riportati i contributi di alcune specie di Diatomee sul loro totale (*Pseudonitzschia* spp., *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp.). Il genere *Chaetoceros* spp (fig. 142c) per quanto sempre presente, caratterizza il periodo autunnale con un gradiente decrescente nord-sud di abbondanza (fig. 141). La st. 2 pur essendo quella geograficamente più settentrionale non riesce a livello di produzione primaria a raggiungere rispetto alle altre stazioni i livelli maggiori di biomassa probabilmente per la forte corrente di densità generata dal delta Padano che sostenendo la circolazione antioraria dell'Adriatico, sospinge subito più a sud i carichi di nutrienti.

Nel periodo di dicembre il valore totale di Diatomee in tutta l'area ha subito un lieve decremento (fig. 139).

Dinoflagellate

Gli andamenti delle Dinoflagellate mostrano in generale, seppur con fluttuazioni, densità superiori rispetto al 2001 in particolare nelle stazioni più meridionali (fig 138). In primavera si sono ripetute le maggiori concentrazioni di Dinoflagellate totali con la specie *Prorocentrum minimum* (figg. 141, 142d) che ha dominato l'intera area raggiungendo e superando in diversi punti concentrazioni pari e superiori il milione nel periodo maggio-giugno (val. max. 1.257.654 Cell/l st.17). Nella figura 141 sono riportati i contributi di alcune specie di Dinoflagellate sul loro totale (*Prorocentrum minimum*, *Prorocentrum micans*, *Protoperdinium* spp.). Il genere *Protoperdinium* si è manifestato soprattutto in inverno lungo tutta la fascia costiera (fig. 141). Dall'esame al microscopio del materiale mucillaginoso aggregatosi nell'estate 2002 lungo la costa emiliano-romagnola, si rinveniva la costante presenza della Dinoflagellata *Gonyaulax*

fragilis sia come cellula vivente che come cellula disaggregata. Le sue alte concentrazioni, la sua produzione di polisaccaridi nonché la sua disaggregazione contribuivano in maniera determinante alla produzione di mucillagine.

Altre fitoflagellate

Le altre fitoflagellate rappresentano una frazione elevata all'interno del fitoplancton totale. Gli andamenti (figg. 137,138) riconfermano una flessione negativa nord-sud, ed una minor variabilità nelle densità. La loro presenza ed i loro eventuali incrementi sono correlati alle immissioni di acque dolci provenienti localmente dai fiumi costieri e nella parte settentrionale della costa dal bacino padano.

4.8 Azoto nitrico

L'evoluzione temporale dell'azoto nitrico presenta picchi di concentrazioni in diretta correlazione con i picchi di portata del Po (figg. 9, 20, 35). In particolare nei mesi di febbraio– marzo, aprile, fine luglio, novembre e dicembre, si sono registrati i valori più elevati. In genere nella stagione estiva il calo di portata fluviale determina un conseguente calo delle concentrazioni di questo elemento. 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 nitrato. Bassi i valori di concentrazione nelle acque di fondo. Le medie stagionali delle sole stazioni costiere (fig. 121) mostrano i valori massimi e le maggiori deviazioni standard in inverno e in autunno, i minimi in estate (vedi anche distribuzioni spaziali in fig. 93).

La più alta concentrazione di azoto nitrico è stata rilevata a Porto Garibaldi il 13 maggio con 1763 $\mu\text{g/l}$.

Negli istogrammi delle classi di frequenza (fig. 131) il numero degli eventi in cui si sono rilevate concentrazioni superiori a 500 $\mu\text{g/l}$ è attorno al 5%; il 33 % è compreso tra 0 e 89 $\mu\text{g/l}$. Nei diagrammi multipli di Box e Whiskers (fig. 134) viene evidenziata l'ampia variabilità dei valori nelle stazioni settentrionali.

4.9 Azoto nitroso

Gli andamenti temporali dell'azoto nitroso sono simili alle fluttuazioni dell'azoto nitrico con picchi di concentrazione ben correlati alle portate fluviali (figg. 9, 21, 36). Elevata

la variabilità del parametro nelle acque superficiali. In quelle di fondo si hanno in genere basse concentrazioni ad eccezione di alcuni casi in cui i valori superano quelli rilevati negli strati superficiali. 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 evidenziabile nella figura 134 dei Box e Whiskers.

Il valore massimo è stato registrato a Porto Garibaldi il 13 maggio con 142 $\mu\text{g/l}$.

I valori medi annuali (fig. 106) mostrano i dati più elevati nelle stazioni costiere, con un trend in diminuzione 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 e in autunno, i più bassi in estate. Ampie le deviazioni standard in tutte le stagioni. Negli istogrammi delle classi di frequenza (fig. 132) si osserva come più del 31% dei casi presentano concentrazioni inferiori a 7 $\mu\text{g/l}$.

4.10 Azoto ammoniacale

Nelle acque superficiali l'azoto ammoniacale è di norma originato dagli apporti fluviali e dai reflui provenienti dagli insediamenti costieri. Dagli andamenti temporali e spaziali (figg. 10, 22, 37) si può osservare come le concentrazioni maggiori si rilevano nelle stazioni costiere con un decremento verso le stazioni al largo. Nelle acque profonde l'azoto ammoniacale tende a superare le concentrazioni superficiali nei periodi coincidenti con casi di ipossia/anossia. Le più alte concentrazioni di questo parametro nelle acque di fondo corrispondono ai minimi valori di ossigeno disciolto. Nelle acque superficiali la concentrazione più elevata è stata rilevata a Lido Adriano il 13 maggio con 476 $\mu\text{g/l}$.

Le medie annuali e le deviazioni standard (fig. 107) presentano i valori più elevati nelle stazioni costiere, con marcate diminuzioni passando da costa verso il largo. I valori medi stagionali delle acque superficiali delle stazioni costiere (fig. 123) mostrano picchi elevati in autunno nelle stazioni 2 e 6; in primavera nelle stazioni 9 e 14.

Nel grafico relativo agli istogrammi di frequenza (fig. 132) si evidenzia come quasi il 50 % delle determinazioni presenta concentrazioni inferiori a 24 $\mu\text{g/l}$. Nei diagrammi multipli di Box e Whiskers (fig. 134) si evidenzia la maggiore variabilità del parametro nelle stazioni centrali della costa.

4.11 Azoto totale

In analogia con le altre forme azotate presenta una elevata variabilità ed una spiccata correlazione con le portate fluviali (figg. 12, 23, 38). I valori più elevati si rilevano nei periodi invernali ed autunnali 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 si mantiene in genere su valori più bassi e con minore variabilità.

Il valore più elevato di 2908 $\mu\text{g/l}$ è stato rilevato il 13 maggio 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, in genere in tutte le stagioni è presente una tendenza alla diminuzione da Nord a Sud. Analogamente a quanto riscontrato negli ultimi anni si sono misurate medie primaverili basse nelle stazioni di Rimini e Cattolica.

Dagli istogrammi di frequenza (fig. 132) si può osservare come nel 60% dei casi le concentrazioni sono comprese tra 164 e 576 $\mu\text{g/l}$.

Nei diagrammi multipli di Box e Whiskers (fig. 135) è evidente la maggiore variabilità del parametro nelle stazioni settentrionali, tende a diminuire nelle centrali e meridionali.

4.12 Fosforo ortofosfato

Parametro molto variabile nelle stazioni costiere a seguito dei contributi locali. Nelle stesse si rilevano in genere i valori più elevati (figg. 11, 24, 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 diversi casi di superamento. Tale condizione è particolarmente evidente in occasione di stati di sottosaturazione dell'ossigeno disciolto con conseguente solubilizzazione dell'ortofosfato.

La concentrazione più elevata nelle stazioni costiere è stata rilevata a Casalborsetti il 16 dicembre con 38 $\mu\text{g/l}$.

La concentrazione di questo parametro sta mostrando nel tempo una progressiva e significativa diminuzione. Ne è prova il fatto che su circa il 70% dei casi le concentrazioni misurate sono inferiori a 4 $\mu\text{g/l}$ (fig. 132). Queste basse concentrazioni sono state rilevate prevalentemente nel periodo invernale ed estivo come si evince dal grafico in figura 125 in cui sono riportati i valori medi stagionali delle stazioni costiere. I valori medi annuali (fig. 109) mostrano le maggiori concentrazioni nelle stazioni costiere ad eccezione del transetto di Bagni di Volano. I valori medi annuali evidenziano un modesto trend tendente alla diminuzione passando da Nord a Sud e da

costa verso il largo, fa eccezione per la sua vicinanza al Po, il transetto di Bagni di Volano.

Nei diagrammi di Box e Whiskers (fig. 135) si osserva come il parametro si mantiene a concentrazioni contenute e con una ridotta variabilità, condizione particolarmente evidente nelle stazioni meridionali.

4.13 Fosforo totale

Presenta accentuate fluttuazioni nelle stazioni settentrionali in quanto direttamente influenzate dagli apporti del Po (figg. 11, 25, 40). Nelle acque di fondo le concentrazioni del fosforo totale sono in genere prossime a quelle rilevate in superficie. Il valore più elevato di concentrazione nelle stazioni costiere è stato di 91 $\mu\text{g/l}$ rilevato a Casalborsetti il 18 giugno.

Le medie annuali (fig. 110) presentano un trend tendente alla diminuzione passando da costa al largo e da Nord verso Sud. Fanno eccezione le stazioni 2, 6 e 17, quest'ultima presenta anche un'ampia deviazione standard.

I valori medi stagionali e le deviazioni standard delle stazioni costiere (fig. 126) mostrano i più elevati valori in primavera e in autunno con un evidente trend in diminuzione passando da Nord a Sud.

Negli istogrammi di frequenza (fig. 132) si può notare come nel 50% dei casi la concentrazione del parametro è compresa tra 9 e 29 $\mu\text{g/l}$. Situazione evidenziata anche dai diagrammi di Box e Whiskers (fig. 135) in cui emerge la maggiore variabilità nelle stazioni 2, 4 e 6, più contenuta nelle stazioni centro - meridionali.

4.14 Silice reattiva

Parametro in stretta risonanza con le portate fluviali, del Po in particolare (figg. 10, 28, 45). 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 meridionali e centrali si possono avere concentrazioni superiori a quelle rilevate in superficie. Nella figura 96 si osservano le distribuzioni della plume del Po in particolare tracciate dalle concentrazioni della silice: concentrazioni maggiori nella parte settentrionale e centrale della costa in quasi tutti i mesi dell'anno, e nell'intera area costiera nel mese di dicembre. I valori medi annuali (fig.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 autunno (figura 129) e in primavera.

Il più elevato valore in concentrazione è stato rilevato nella stazione di Bagni di Volano il 28 novembre con 2504 µg/l.

Le classi di frequenza riportate il figura 132 evidenziano come il 40 % dei valori è compreso tra 0 e 125 µg/l.

Il diagramma multiplo di Box e Whiskers relativo a questo parametro (fig. 135) mette in luce la rilevante variabilità delle stazioni settentrionali, mentre quelle centro - meridionali presentano valori più omogenei.

4.15 Rapporto N/P (frazione solubile)

Sono riportati nei grafici i valori risultanti dalla seguente equazione:

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

La distribuzione del rapporto N/P (figg. 13, 26, 41) evidenzia una notevole variabilità (considerare la scala logaritmica riportata nella grafica) ed una lieve tendenza sinusoidale con i valori minimi nel periodo estivo. La variabilità si riduce nelle stazioni meridionali al largo e nelle acque di fondo. La condizione di fosforo-limitazione rappresenta la quasi totalità dei casi; rari casi riconducibili ad azoto-limitazione si presentano nel solo periodo estivo.

I dati riportati nei diagrammi Box e Whiskers (fig. 136) mostrano una ampia variabilità nelle stazioni settentrionali e una significativa diminuzione dei valori a partire dalla stazione 14.

I valori medi annuali del rapporto N/P e le relative deviazioni standard nelle acque superficiali (fig. 111) presentano i massimi nelle stazioni più settentrionali e tendono a diminuire progressivamente passando da Nord a Sud; non vi sono tendenze uniformi e ben definite sui transetti costa-largo.

Le medie stagionali (fig. 127) presentano i valori più elevati in inverno, le medie più basse in primavera - estate. Negli istogrammi di frequenza (fig. 132) la percentuale maggiore di osservazione, circa il 70 % dei casi, è compresa nella classe tra 0 e 140.

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.

In generale, con un ciclo annuale completo di dati, le distribuzioni bivariate di $\text{Log}(ChA/PO_4)$ e $\text{Log}(ChA/DIN)$ risulteranno molto prossime alla normalità. Se la pendenza della retta di regressione ortogonale:

$$\text{Log}(ChA/PO_4) = \text{Log } b + k \text{Log}(ChA/DIN),$$

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

$$(ChA/PO_4) = b (ChA/DIN)^k.$$

Ma se $k=1$, allora sarà:

$$ChA/PO_4 \times DIN/ChA = DIN/PO_4 = N/P = b.$$

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

$$(ChA)^2 = b (DIN \times PO_4), \text{ da cui: } ChA/(DIN \times PO_4)^{1/2} = \text{costante}.$$

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 $ChA/(DIN \times PO_4)^{1/2}$ 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.

Le due aree costiere considerate sono caratterizzate da notevole variabilità stagionale, con rese molto elevate nei mesi di febbraio e marzo. È interessante notare che nel periodo estivo, pur con scarsa disponibilità di nutrienti, l'efficienza dei due sistemi costieri in considerazione raggiunge valori massimi, anche se in termini di produzione primaria complessiva, i valori della clorofilla rimangono molto bassi. Viceversa, il mese di dicembre fa registrare una scarsissima efficienza, pur con buona disponibilità di azoto e fosforo.

Nel complesso, dal confronto tra le due aree costiere, non emergono forti differenze di comportamento, anche se nel periodo delle grandi fioriture di febbraio-marzo, la zona sud mostra livelli di efficienza visibilmente più elevati rispetto alla zona nord.

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.

4.16 Rapporto Ntot/Ptot

I valori del rapporto azoto totale su fosforo totale (figg. 13, 27, 42) tendono ad avere una variabilità meno accentuata rispetto al rapporto dei solubili e una distribuzione sinusoidale meno marcata. La minore variabilità è imputabile 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 ponderatamente tende a riequilibrare il rapporto.

Le medie annuali calcolate sulle stazioni dei transetti (fig. 112), presentano i più bassi valori nelle stazioni costiere e tendono in generale all'aumento passando verso quelle al largo.

Stagionalmente (fig. 128) le medie presentano i più alti valori in inverno e in autunno.

4.17 Rapporto Ntot sol/Ptot sol

Tale rapporto è stato calcolato utilizzando le concentrazioni di azoto totale solubile e fosforo totale solubile analizzate nei campioni prelevati mensilmente nelle due direttrici di Porto Garibaldi e Cesenatico.

Gli andamenti del rapporto di queste due componenti (fig. 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. Salvi limitati casi in cui sono presenti fenomeni anossici nelle acque di fondo, i valori corrispondenti alle acque di fondo sono 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 attente 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 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. il valore ottenuto scaturisce dall'integrazione di più fattori indicatori del livello di trofia ed elimina 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, whith 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 analoga a quanto riscontrato negli anni precedenti 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, aprile) l'Indice Trofico si presenta abbastanza omogeneo su tutta l'area non evidenziando delimitazioni significative da nord verso sud e da costa verso il largo.

Più in dettaglio, durante il periodo invernale ed agli inizi di primavera, si riscontrano alti valori di TRIX che superano anche di molto il limite di 6 unità definendo una condizione in gran parte “Scadente” in tutta l’area monitorata (1200 Km²), configurando quindi una situazione di forte produttività ed un elevato grado di trofia. Nel mese di marzo si sono raggiunti i massimi di indice Trofico con valori che in diverse stazioni superavano le 7 unità di TRIX con il massimo nella stazione a 0.5 Km antistante Casalborgon con 8.37 di TRIX (fig 71). Il periodo considerato è stato caratterizzato da consistenti apporti di acque dolci associate ad elementi eutrofizzanti generati soprattutto nel bacino padano. 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 (maggio-giugno) invece si instaura un gradiente nord-sud poiché si modifica la circolazione e gli apporti veicolati dal Po tendono a diminuire.

Verso la prima metà di giugno si osserva una evidente differenziazione territoriale in senso longitudinale della distribuzione del TRIX, che presenta uno stato “Scadente” tra il delta del Po e Ravenna, “Mediocre” da Ravenna a circa Cesenatico e “Buono/Mediocre” nella zona che si estende da Cesenatico a Cattolica. Questa situazione si mostra molto simile a quella riscontrata lo scorso anno però con un periodo più prolungato delle condizioni di stato “Mediocre/Scadente” che si sono protratte fino a giugno per gran parte della costa.

Nel periodo estivo le condizioni di stato trofico tendono ulteriormente a migliorare e, sebbene agli inizi di giugno a sud del delta Po e lungo la fascia costiera il TRIX si assesta nella classe tra 5 e 6 (stato “Mediocre”), in luglio ed agosto si riduce in aree più confinate a ridosso del delta Po e la maggior parte dell’area mostra una situazione “Buona/Elevata”.

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/Scadente”.

In novembre in particolare, tutta la fascia costiera monitorata (1200 Km²) risulta in gran parte in uno stato “Scadente” in quanto nel suddetto periodo nel sistema costiero si era determinata una stratificazione salina, a seguito dei cospicui apporti di acqua dolce generati nel bacino padano ed una condizione di eutrofizzazione diffusa.

Gli elevati valori di tutti i fattori che concorrono alla formulazione del TRIX hanno determinato una condizione di acque fortemente produttive, elevate torbidità, anomale colorazioni ecc. che, in base al calcolo dell'Indice Trofico, compreso tra 5.54 e 7.39, attestano uno stato qualitativo “Mediocre/Scadente”.

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 autunnale, nelle stazioni costiere della parte settentrionale, ove si riscontrano alti valori di TRIX (superiori a 6.5 unità) in corrispondenza di bassi valori di clorofilla "a" rilevando quindi una alta concentrazione dei nutrienti disciolti, in particolare del DIN che concorrono a mantenere elevato l'Indice TRIX.

L'analisi dell'andamento temporale del TRIX durante il 2002, analogamente a quanto riscontrato negli anni precedenti mostra, nelle stazioni di Goro, P. Garibaldi e Casalborgsetti, alti valori di Indice Trofico che si mantengono più o meno elevati nel tempo senza evidenziare una stagionalità. Queste tre 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 spesso maggiori di 6 unità (75 % dei casi), stato trofico "Scadente", per la stazione 2 (0.5 Km Goro) e maggiore di 5, stato trofico "Mediocre", (99 % dei casi) per la stazione 4 (0.5 Km P. Garibaldi), valori superiori rispetto la frequenza dei casi riscontrati nel 2000 e 2001, confermando per la suddetta area, una condizione di alta e forte produttività con livelli di trofia elevati, associati quindi a scarsa trasparenza, con alte 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. Soltanto in rare 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 estivo, sono caratterizzate da bassi Indici Trofici (attorno a 5 unità di TRIX) che testimoniano uno stato qualitativo "Buono" ed un quadro generale di condizioni ambientali con acque moderatamente produttive, livello di trofia medio-basso, assenza od occasionale presenza di colorazione. Si riconferma che in quest'ultima parte della costa, l'andamento del TRIX mostra una evidente stagionalità con incrementi del TRIX durante il periodo autunnale ed invernale.

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 portano 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, determinano 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 0.51 e 0.74. 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 0.66 (Staz. 14 Cesenatico) e 0.92 (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 4.75 nella stazione 19 ad un massimo di 6.53 nella stazione 4 (0.5 Km da P. Garibaldi) con un range di variazione di 1.41 unità di TRIX.

Scomponendo i parametri che entrano nella formulazione dell'Indice Trofico in due classi di indicatori quali: 1) indicatori di produttività diretta o reale (Log(Cla_x|OD%|)); 2) indicatori di produttività potenziale, (Log(DIN_xPt)), 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 2002 con quelli rilevati dal '96 al 2001 (fig 81), si evidenzia una diminuzione dell'Indice Trofico da nord verso sud ed in tutte le stazioni si riscontra un incremento significativo del TRIX, in confronto al 2001. Se rispetto al 1996 lo stato qualitativo ambientale risulta stabile, occorre rilevare che a partire dal 1998 al 2002 il TRIX mostra un trend in crescita statisticamente significativo sia nelle tre stazioni prese come rappresentative dell'area settentrionale, centrale e meridionale, sia nella stazione al largo 10 Km da Cattolica.

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 più prossime alla costa presentano condizioni qualitative assimilabili alla classe "Scadente" e la rimanente parte dell'area verso il largo si colloca nella posizione "Mediocre" della scala trofica.

In primavera la costa risulta divisa in 2 parti: "Scadente" in una zona localizzata tra il delta Po e Ravenna; "Mediocre" nella zona compresa tra Ravenna e Cattolica.

Nel periodo estivo con la riduzione delle portate, del carico dei nutrienti e conseguentemente della biomassa microalgale, si osserva un'ulteriore diminuzione dei valori del TRIX; la zona "Scadente" si riduce nell'area settentrionale tra Casalborsetti ed il Delta Po, la zona "Mediocre" si colloca tra Casalborsetti e Cesenatico mentre la condizione di stato "Buono" che sottende acque scarsamente produttive, buona trasparenza e livello di trofia basso si espande a circa il 50% della costa verso sud.

Nei mesi autunnali, a seguito delle elevate portate del fiume Po e del relativo carico eutrofico, si osserva che la condizione di stato "Scadente" interessa la zona settentrionale e costiera e la condizione di stato "Mediocre" (TRIX tra 5 e 6) riguarda oltre i 2/3 della costa.

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, 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

$$E_{32}\% = \frac{(S_{mareaperto} - S_i)}{S_{mareaperto}} * 100$$

padano (fig 89) e quindi è possibile assegnare a questo trasporto un valore quantitativo espresso come :

dove $S_{\text{-mare aperto}}$ (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 89-1), quantificato mediante una espressione di regressione con coefficiente di correlazione $r=0.61$.

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 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 dovrà 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 10.

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 derivante dall'applicazione dell'Indice Trofico non superiore a 5.0 unità di TRIX.

E' stato sviluppato tentativo di classificazione delle acque costiere marine in base a detto Indice. Non vengono utilizzati i dati, come numero di stazioni e frequenza di campionamento, previsti dal D. Lgs 152/99, ma 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 5 e 7 unità; però mentre nella subarea settentrionale si è molto vicini allo stato "Scadente" (TRIX medio=6.46), nella parte sud ci si approssima allo stato "Mediocre" (5.54).

Tutta la fascia costiera mostra un trend in aumento 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 "Scadente" avvicinandosi a quella dell'area corrispondente costiera, nella zona centrale della costa il TRIX diminuisce passando da 5.95 nell'area di 0.5 Km, a 5.72 nella zona a 3 Km, mentre nella subarea meridionale le condizioni tendono a migliorare e pur attestandosi nella classe "Mediocre" nelle zone verso il largo si avvicinano allo stato trofico "Buono".

Sulla base degli obiettivi intermedi da perseguire entro il 2008 (Indice Trofico < 5.0 unità di TRIX), il 2002 che si mantiene mediamente al centro dello stato ambientale "Mediocre".

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.

Si riconferma, per le stazioni più in costa, che il valore medio annuale si riduce progressivamente da nord a sud e, pur collocandosi all'interno della classe di stato ambientale "Scadente" (TRIX compreso tra 6-8) a nord di Ravenna, tale Indice passa ad una condizione "Mediocre" nella zona centro-meridionale. Il valore medio varia da 6.07 nella stazione di Goro a 5.12 nella stazione di Cattolica.

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 40 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 "Scadente", la parte centrale si assesta in una posizione Mediocre (TRIX = 5.5), la parte meridionale pur riducendosi rispetto la zona sovrastante, rimane ancora in una condizione "Mediocre".

L'ulteriore disaggregazione dei dati per territorio provinciale mette in evidenza che la provincia di Ferrara presenta un TRIX medio di 6.49 che equivale ad uno stato ambientale "Scadente", quella di Rimini ha un valore medio di 5.43 (stato "Mediocre"), mentre le acque costiere antistanti le provincie di Ravenna e Forlì mostrano il medesimo stato ambientale molto vicino alla condizione "Scadente" (rispettivamente con 5.96 e 5.93 unità di TRIX).

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 e trasparenza.

$$\text{TRSP}_{(p)} = 30/(1+\text{Ch}^{(0.7)})$$

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

Trasparenza da 48 a 0.3 m

La relazione Torbidità/Clorofilla viene definita come il rapporto tra la trasparenza potenziale (p) e quella misurata (a) $\text{TRBR} = \text{TRSP}_{(p)} / \text{TRSP}_{(a)}$

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

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

Una semplice interpretazione di questo indice è che le acque sono otticamente biosaturate 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 ridotta variabilità stagionale rispetto lo scorso anno con valori di Indice Trofico che tendono a diminuire durante il periodo estivo mentre il TRBIX mostra una tendenza all'aumento con valori attorno 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 nei quattro anni precedenti. Il confronto tra le subaree della costa mostra che nella zona settentrionale buona parte dei valori, in numero superiore a quelli rilevati nel 2001, 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.

A differenza però di quanto rilevato sia nel 2000 che nel 2001, circa il 40 % dei vettori si posizionano sul quadrante “A” del grafico di fig 84 identificando 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 2001 i valori si attestano prevalentemente nel quadrante “A e B” 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, sebbene nel periodo invernale si siano verificati eventi eutrofici significativi, 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 2002. SINTESI RIASSUNTIVA

Si riporta in sintesi l'evoluzione dei processi di eutrofizzazione che hanno caratterizzato il 2002.

5.1 Eutrofizzazione

Gennaio-Febbraio

Ad inizio gennaio si rilevano a livello locale nell'area costiera circoscritti incrementi microalgali sostenuti prevalentemente da diatomee, a fine mese sia la parte centrale che meridionale della costa è interessata da fioriture di diatomee. L'assenza di apporti di acque dolci fluviali unitamente alla stabilità meteo-marina del periodo contribuiscono a mantenere elevati i valori di salinità ed omogenei i parametri idrologici su tutta la colonna d'acqua. In febbraio l'ingressione di acque dolci dal bacino padano e dai bacini minori determina una caduta dei valori di salinità in tutto il sistema costiero. La presenza di queste masse d'acqua dolce favorisce l'innescò di intense fioriture microalgali sostenute dalla diatomea *Skeletonema costatum*, con anomale colorazioni delle acque (verde-marrone).

La trasparenza è ridotta sia per la presenza microalgale sia per il detrito di origine fluviale. Da rilevare come i mesi di gennaio-febbraio si caratterizzino per temperature molto rigide (con i minimi in gennaio) con condizioni di spiccata omeotermia sulla colonna d'acqua. In tale contesto si sono osservate diffuse morie di organismi marini, appartenenti a diverse classi zoologiche. Tra le specie più colpite l'Alaccia (*Sardinella aurita*).

Marzo-Aprile

Quasi tutto il mese di marzo si caratterizza per uno stato qualitativo "mediocre-scadente" per il permanere del processo eutrofico, in particolare nella zona centro-settentrionale, con elevati indici di biomassa microalgale, bassa salinità e trasparenza. La formazione di stratificazioni aline provoca localmente a livello del fondale stati di carenza dell'ossigeno.

Tale condizione tende inizialmente a migliorare a fine mese nella parte meridionale della costa con confinamento degli stati eutrofici nella parte settentrionale, successivamente nuovi focolai eutrofici si sviluppano lungo la fascia costiera. Nella seconda decade di aprile condizioni di instabilità meteo-

marina prolungate, caratterizzate da mare molto mosso, mantengono alti i valori di salinità limitando lo sviluppo di biomassa microalgale. Verso la fine del mese si evidenzia una progressiva diminuzione dei valori di salinità e trasparenza, per nuovi apporti fluviali, con stratificazioni aline e termiche .

Maggio-Giugno

Ad inizio maggio gli incrementi microalgali sono confinati nell'area settentrionale della costa dove si rilevano anche bassi valori di salinità per sversamenti provenienti dal bacino padano e dai fiumi minori. Significativo è l'incremento della temperatura delle acque superficiali. Tale condizione tende progressivamente a migliorare grazie a favorevoli condizioni meteo-marine, caratterizzate da venti dai quadranti meridionali (sud-ovest) che determinano un benefico rimescolamento e ricambio delle acque costiere con acque profonde oligotrofiche. Anche la temperatura delle acque superficiali subisce un calo (2-3 °C).

Successivamente nuovi e cospicui sversamenti fluviali, in particolare dal bacino padano, determinano sia un abbassamento dei valori di salinità nell'intero sistema costiero sia un'intensa condizione di eutrofizzazione, con fioriture microalgali, sostenute prevalentemente da Diatomee, che si manifestano con una colorazione rosso-mattone delle acque. La trasparenza delle acque è molto bassa. La formazione di marcate stratificazioni termo-aline favorisce l'instaurarsi di condizioni di scarsa ossigenazione nelle acque di fondo. Dalla fine del mese fino alla seconda decina di giugno lo stato qualitativo migliora grazie al perdurare di venti spiranti dai quadranti meridionali che determinano un significativo ricambio delle acque costiere. A seguito di nuovi e significativi apporti dal bacino padano, si ha un calo della salinità in tutto il sistema costiero e l'instaurarsi di una nuova condizione di eutrofizzazione nell'area settentrionale, dal delta del Po a Ravenna. Le marcate stratificazioni saline unitamente al gradiente termico tra la superficie ed il fondo favoriscono uno stato di ipossia in particolare a ridosso del delta padano. Come negli anni passati ad inizio giugno si ha la comparsa della microalga eterotrofa *Noctiluca scintillans*.

Luglio-Agosto

Ad inizio luglio solo a ridosso del delta padano si riscontrano per immissioni fluviali lievi incrementi di biomassa microalgale e circoscritti stati ipossici. In generale gli indicatori di biomassa microalgale, pur con variazioni in aumento, si mantengono al di sotto della condizione di eutrofizzazione fino alla terza decade del mese. Successivamente nell'area settentrionale si sviluppano fioriture microalgali (dovute a Diatomee), la stratificazione alina indotta dagli apporti di acque dolci padane e le elevate temperature delle acque favoriscono l'insorgere di condizioni ipossiche e localmente anossiche. Lo stato qualitativo migliora fino alla metà di agosto grazie anche al ricambio operato dai venti di libeccio, permane comunque una situazione di ipossia generalizzata con stati anossici circoscritti. Nell'ultima decade del mese nuove immissioni fluviali rideterminano un'estesa condizione di eutrofizzazione con marcate stratificazioni termo-aline della colonna d'acqua e recrudescenza della condizione di ipossia.

Settembre-Ottobre

A seguito di nuovi e cospicui sversamenti fluviali, un più esteso processo di eutrofizzazione interessa le acque costiere dell'area centro-settentrionale fino alla seconda decade di settembre. Il protrarsi di queste condizioni e le marcate stratificazioni termo-aline indotte portano ad una generale carenza di ossigeno sui fondali della fascia costiera con stati anossici che si diffondono fino ai 3 km di distanza da costa (estensione stimata di 200 Km²), causando sofferenze e morie negli organismi di fondo. A fine mese l'instaurarsi di forte moto ondoso determina, con il ricambio e rimescolamento delle acque costiere, un significativo miglioramento della situazione risolvendo la diffusa condizione di sottosaturazione dell'ossigeno disciolto. Nel mese di ottobre lo stato di scarsa ossigenazione del fondale, inizialmente localizzato nell'area prossima al delta padano, influenzata dagli apporti del fiume Po, si diffonde in aree circoscritte anche nelle restanti parti della costa.

Lo stato qualitativo "buono" viene ripristinato a fine mese per l'azione determinata da venti provenienti dai quadranti meridionali (Libeccio in prevalenza).

Novembre-Dicembre

Lo stato qualitativo buono si mantiene fino alla prima decade di novembre, successivamente nuovi e consistenti apporti di acque dolci dal bacino padano e

dai bacini costieri rideterminano la caduta del valore di salinità prima nell'area centro-settentrionale della costa poi in tutto il sistema costiero nel mese di dicembre.

Significativa è la riduzione della temperatura delle acque superficiali nella terza decade di dicembre.

5.2 Aggregati mucilluginosi

Frequenti segnalazioni di materiale di natura gelatinosa in superficie presente a strisce parallele la costa da circa 2-3 Km fino a 20 Km dalla costa, sono pervenute da diportisti e pescatori. (vedi fig 142).

Non si è trattato però di mucillagine bensì di ammassi degradati della microalga *Noctiluca scintillans*, che provoca bioluminescenza (mare in amore) e che assume una conformazione simile alla mucillagine, anche come colore. Tale fenomeno non ha comunque destato alcuna preoccupazione essendo un evento limitato nel tempo e destinato, come gli altri anni, ad esaurirsi alla fine della primavera.

La prima individuazione della presenza di mucillagine in fase aggregata è stata effettuata dalla Struttura Daphne nella zona distante 40 e 50 Km dalla costa il 19 giugno. In questa zona off-shore, sono 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 -1 e -10 metri.

Il materiale, analogo a quello riscontrato in maggio 2000 e verso la metà di giugno del 2001, si presentava ad una conformazione e stato di aggregazione a forma di reticolo/ragnatele, costituito da materiale fine e sfilacciato che saltuariamente si addensava in una forma globosa di dimensioni variabili da 1 a 2 metri.

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 presente in superficie di neoformazione evidenziava la presenza, come per l'evento del giugno 2001, della microalga *Gonyaulax fragilis* che disaggregandosi contribuiva alla produzione della mucillagine.

Tutto il materiale mucilluginoso si trovava sopra il termoclino e, in aree circoscritte, tendeva anche ad affiorare.

Il fenomeno era ancora nella fase iniziale e quindi la compattezza del materiale e la sua distribuzione non erano omogenei.

Fino verso la fine di luglio mentre nell'Istria e nel nord Adriatico la mucillagine affiorava e si avvicinava alla fascia costiera, nella zona dell'Emilia-Romagna invece il materiale gelatinoso pur tendendo progressivamente ad incrementare e ad avvicinarsi verso costa, rimaneva per gran parte distribuito nella colonna d'acqua e verso il fondo con sporadici ed insignificanti affioramenti.

Dalle indagini effettuate nella zona centro-meridionale della costa fino a 20 km al largo (Cesenatico Rimini vedi figura), risultava una situazione stabile rispetto i giorni precedenti ma diversificata in rapporto alla distanza da costa ed alla quota batimetrica di addensamento delle masse gelatinose; la mucillagine, si era ulteriormente abbassata fino al fondale. Da 6 Km fino a 20 Km al largo lo strato mucillaginoso in conformazione di reticoli compatti e addensati di materiale molto fine, si trovava alla quota batimetrica compresa tra -6 e -12 metri di profondità.

Nel transetto di Rimini nelle stazioni costiere (1-3 Km) la mucillagine era depositata sul fondale formando chiazze a macchia di leopardo a forma globosa. Detto materiale tendeva ad impregnarsi della componente argillosa presente nel sedimento, si appesantiva non arrivava in superficie. In queste stazioni permaneva però uno strato di mucillagine presente nella colonna d'acqua di materiale filamentoso fine tale da mostrare una densità di tipo "lattiginoso".

A livello di superficie si osservavano striature non compatte di mucillagine allo stato iniziale di aggregazione. Tali strisce di dimensioni variabili da qualche decina di metri a qualche centinaia di metri, risultavano più frequenti nella fascia costiera (1-3 Km) e tendevano a diradarsi verso il largo. Inoltre nella zona più vicino alla costa a causa dell'effetto spugna del materiale mucoso, la mucillagine assumeva una colorazione giallognola per l'inglobamento del fitoplancton presente negli strati superficiali.

Dopo un periodo di regressione generale del fenomeno a seguito del mare mosso che aveva determinato soltanto una disgregazione del materiale mucoso, pur mantenendosi allo stadio di reticolo, lungo la fascia costiera (1-2 Km), i venti dominanti di Scirocco nel pomeriggio tendevano progressivamente a compattare in superficie le masse gelatinose che risultavano visibili in forma di strisce.

Verso i primi di agosto nella colonna d'acqua da costa fino ad oltre 20 Km, l'aggregazione della mucillagine si manifestava a partire da 2-3 metri, sempre in forma di reticoli addensati, fino a 10-12 metri di profondità.

Mentre durante la mattina gli affioramenti, pur presenti, erano però radi, nel pomeriggio i venti, ancora da Scirocco, tendevano da un lato a far affiorare la mucillagine e dall'altro ad aggregarla ulteriormente fino a macchie di dimensioni di qualche centinaio di metri.

Il vento sospingeva dette masse verso costa ed anche in zona di balneazione .

In questa fase si alzava il livello di attenzione per la quantità del materiale mucillaginoso neoformato, per l'aggregazione della mucillagine e la risalita dei reticoli/filamenti verso lo strato superficiale, per lo spostamento della mucillagine nel pomeriggio verso la riva e per la vasta zona interessata dal fenomeno

Discrete quantità di mucillagine, superiore alle precedenti osservazioni, veniva evidenziata sul fondale con ammassi globosi irregolari. La mucillagine depositata sul sedimento rimaneva in situ e contribuiva, purtroppo, ad incrementare lo stato di ipossia/anossia che si stava sviluppando a seguito dei processi di eutrofizzazione, da giorni in atto, che interessavano la fascia costiera.

Le condizioni meteo-marine abbastanza stabili, le alte temperature e la presenza di nuovo materiale mucillaginoso in formazione, rappresentavano situazioni che favorivano lo sviluppo del fenomeno in atto.

Nella parte centro settentrionale della costa nella prima settimana di agosto la situazione si presentava stazionaria con incremento dello stato di aggregazione e di sviluppo del materiale mucillaginoso, nella zona centrale.

In particolare la mucillagine si manifestava addensata in fase di reticoli/ragnatele a partire da -4 fino a -7/8 metri.

Verso gli strati profondi della colonna d'acqua si osservavano aggregazioni a nuvola, compatte, che tendevano a depositarsi sul fondale. In tutte le stazioni monitorate, il fondale pareva rivestito di mucillagine che, unitamente alla sostanza organica già presente favoriva lo sviluppo di stati di anossia, particolarmente accentuati nella zona a sud del delta Po tra P. Garibaldi e Goro.

Nella prima decade di agosto, dal 6 al 10, si registrava una ulteriore riduzione della fase di aggregazione della mucillagine lungo la colonna d'acqua con una diminuzione dello strato interessato e soprattutto una minore compattezza dei reticoli e ragnatele.

Nella zona centrale della costa questo miglioramento risultava più accentuato in quanto i reticoli si manifestano solo nelle stazioni verso il largo (15-20 Km).

Buona parte del materiale mucillaginoso si era depositato sul fondale che, dalle immagini con telecamera subacquea, si mostrava ricoperto per circa il 50-60 %.

La mucillagine presente a livello del sedimento e negli strati profondi, di fatto impediva l'attività di pesca con reti da posta, attiva nel periodo, per intasamento delle reti stesse.

Gli affioramenti erano limitati, sporadici e costituiti da materiale gelatinoso molto fine che si addensavano prevalentemente nel pomeriggio e nella parte meridionale della costa ove le mucillagini erano presenti anche nelle stazioni costiere.

Era evidente che l'evoluzione della situazione generale risultava estremamente variabile in questo periodo e si modificava a scale temporali molto ravvicinate (addirittura nell'arco di ore), in funzione delle condizioni meteo-marine, della direzione dei venti, della temperatura e della circolazione costiera.

Dopo il passaggio di una perturbazione i controlli dello stato evolutivo delle mucillagini mostravano la seguente situazione

1. la mucillagine, formata nella colonna d'acqua si rilevava in fase aggregata a partire da circa 3-6 Km dalla costa verso il largo;
2. la quota batimetrica ove si riscontrava la mucillagine si era ulteriormente abbassata attestandosi attorno ai 8-12 metri di profondità;
3. lo stato di aggregazione era passato da reticoli/ragnatele a nuvole e questo stadio comporta una maggiore compattezza della massa gelatinosa ed un suo progressivo spostamento verso il fondo;
4. molta mucillagine si trovava depositata sul fondale in ammassi di dimensioni diverse, con copertura del fondale estremamente variabile. Nelle stazioni al largo, in genere, il fondale risultava maggiormente ricoperto. Cospicui depositi si evidenziavano anche nelle stazioni costiere (1-3 Km) nella zona centrale della costa. Di frequente si osservavano situazioni di degradazione delle masse mucose;
5. i controlli dell'ossigeno disciolto sul fondo non mostravano condizioni di anossia spinta ma spesso si evidenziavano stati di carenza di ossigeno che interessavano circa i 2/3 della zona controllata;

I venti di Libeccio avevano innescato una particolare circolazione delle masse d'acqua ; le acque di superficie erano state sospinte verso il largo con conseguente richiamo in costa delle acque di fondo (più fredde, più salate, con minore concentrazione di ossigeno).

Inoltre a seguito di questo movimento di "upwelling" anche la mucillagine che si trovava sul fondo o prossima al fondale in forma di nuvole tendeva ad avvicinarsi verso riva ed in alcuni punti della zona centrale della costa, si osservavano affioramenti compatti di mucillagine in superficie a poca distanza della zona di balneazione.

Se da un lato il fenomeno che si era sviluppato le scorse settimane era in via di riduzione, lungo la fascia costiera permanevano ancora ed erano attivi, i fattori biologici che concorrono alla neoformazione di mucillagine (microalga *Gonyaulax fragilis*); infatti, nelle ore pomeridiane si osservavano affioramenti di materiale fine e filamentoso che si aggregava in piccole strisce.

Lungo la fascia costiera che si estende da circa 1 Km fino a circa 4-5 Km dalla riva si osservavano invece aggregazioni di materiale fine, filamentoso, molto distribuito durante la mattinata, che in alcuni punti e soprattutto nel pomeriggio si ammassava a formare strisce lunghe centinaia di metri, colorate di arancione per la presenza di fitoplancton. Detto materiale gelatinoso affiorato, arrivava nella zona

di balneazione sospinto dai venti di Scirocco. Nella zona costiera, inoltre era in atto un intenso processo di eutrofizzazione sostenuto da Diatomee che determinavano una colorazione verde-marrone delle acque superficiali, con livelli trofici 3-4 volte superiori al limite di eutrofizzazione.

La concomitanza dei due fenomeni (mucillagine-eutrofizzazione) aggravava ed incrementava la compattezza degli aggregati. Il massimo dello sviluppo della mucillagine, con affioramenti cospicui in tutta la fascia costiera e spostamenti verso la zona di balneazione, è stato osservato il 17 e 18 agosto con evidenti riflessi negativi sul comparto turistico.

Nei giorni successivi, l'attivazione della circolazione costiera, il passaggio di perturbazioni e la modificazione dei regimi dei venti portavano progressivamente a spostare verso il largo gli ammassi mucilluginosi e soprattutto a disgregarli e diluirli verso l'Adriatico centrale. Il fenomeno delle mucillagini pur sporadicamente presente anche nei primi di settembre si poteva ritenere concluso.

5.3 Macroalghe

Casi di proliferazione di macroalghe si sono verificati per lo più nel periodo estivo: localmente nella fascia di balneazione si ha la presenza invasiva di diverse specie di macroalghe appartenenti per lo più alla famiglia delle Ulvacee. Sono comunque presenti anche generi appartenenti alla classe delle Rodoficee come *Polysiphonia sp.*, *Ceramium sp.* A fine luglio si segnalano spiaggiamenti di *Cladophora sp.*

5.4 Meduse

Da diversi anni la cubomedusa *Carybdea marsupialis* si presentava regolarmente in forma invasiva nella stagione estiva. Nel 2002 non si sono notate presenze di questa cubomedusa. In giugno, sono stati segnalati sporadici avvistamenti di *Chrysaora hysoscella*.

6. CONCLUSIONI

Nel mese di gennaio si è registrato un anomalo abbassamento della temperatura che ha causato la moria di varie specie di organismi marini, soprattutto tra quelli che hanno dato origine alla “meridionalizzazione” dell’Alto Adriatico, quali ad es. l’Alaccia, un Clupeiforme termofilo tipico dell’area centro-meridionale del Mediterraneo. La temperatura superficiale aveva raggiunto valori minimi verso la terza settimana di gennaio attestandosi attorno a 3.8 °C, 2-3 °C in meno rispetto a quella registrata lo scorso anno nel medesimo periodo.

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 2002, analogamente a quanto riscontrato negli anni precedenti, nel periodo invernale (febbraio-marzo), tutta la zona costiera è stata interessata da un intenso ed esteso processo di eutrofizzazione, sostenuto dalla Diatomea *Skeletonema costatum*, con livelli di biomassa microalgali molto alti (4-5 volte il limite di eutrofia). Questo fenomeno eutrofico che ha determinato una colorazione verde-marrone delle acque ed una trasparenza inferiore al metro, non ha generato, a differenza dello scorso anno, condizioni di ipossia/anossia delle acque di fondo.

La bassa salinità in tutta la zona fino ad oltre 10 Km verso il largo, l’elevata concentrazione dei nutrienti, attestavano il ruolo fondamentale del carico di nutrienti generati nel bacino padano e veicolati dal fiume Po, quali fattori causali fondamentali nello sviluppo e sostentamento della fioritura protrattasi per un periodo prolungato.

Durante il periodo primaverile, ad una iniziale riduzione dei processi eutrofici, soprattutto nella parte centro-meridionale della costa, verso la metà di maggio, a seguito di forti precipitazioni nell’area padana, si è sviluppato un intenso ed esteso evento eutrofico che presentava le stesse caratteristiche di quello che si era manifestato agli inizi dell’anno.

In estate gli eventi eutrofici si riducono ulteriormente risultando confinati solo nella zona a ridosso del delta Po; nella rimanente zona costiera gli indicatori di produttività scendono mediamente al di sotto del limite di eutrofia, configurando una condizione di stato qualitativo ambientale “Buono”.

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. Nel periodo estivo 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.

Rispetto l'anno 2001, considerando il dato medio annuale degli indicatori di produttività nelle stazioni costiere (0.5 km) suddivise per le tre subaree (Goro-Ravenna, Ravenna-Cesenatico, Cesenatico-Cattolica), si riscontra un aumento degli indicatori espressione di biomassa microalgale. A peggiorare la situazione hanno contribuito sicuramente le condizioni meteo-marine al contorno, e l'incremento del carico trofico sversato dal Po la cui portata media annuale è passata da 1711 mc/sec, come media del 2001 a 1871 mc/sec, come valore medio del 2002.

Dagli inizi di luglio fino alla fine di ottobre sono state rilevate condizioni di ipossia/anossia delle acque di fondo che si sono estese ed intensificate tra agosto e settembre. In particolare, sempre a seguito di processi eutrofici in superficie ed in concomitanza con elevate temperature, condizioni meteo-marine stabili e stratificazioni della colonna d'acqua, verso la fine di settembre si è sviluppato uno stato diffuso e persistente di totale assenza di ossigeno nelle acque di fondo, che ha interessato la fascia costiera compresa tra il delta del Po e Rimini e da costa fino a circa 3 Km al largo per una estensione di oltre 200 Km². Lo stato asfittico del fondale ha provocato una estesa moria di organismi bentonici (pesci, molluschi, crostacei) con impatti negativi sull'ecosistema, sul comparto turistico (colorazioni anomale delle acque, torbidità, odori sgradevoli, spiaggiamento di pesci) e sul comparto della pesca con morie dei banchi di molluschi bivalvi (vongole in particolare). Era dal 1986 che non si verificava un evento simile considerate l'estensione, la durata, il periodo in cui si è manifestato e l'impatto sugli equilibri dell'ecosistema bentonico con evidente riduzione della biodiversità.

Verso la fine di giugno fino ad agosto si è sviluppata la mucillagine in stati di aggregazione, dimensione, estensione di gran lunga superiori a quelle riscontrate nel 1999, 2000 e 2001.

Nel mese di luglio il fenomeno era confinato nella colonna d'acqua, soprattutto nelle zone off-shore, mentre gli affioramenti risultavano sporadici, non compatti e limitati. Nel mese di agosto invece, dopo una prima fase di regressione del

fenomeno, il materiale gelatinoso si presentava compatto in superficie, verso la zona di balneazione, particolarmente nella parte centro-meridionale della costa e durante le ore pomeridiane, quando i venti dominanti di Scirocco tendevano da un lato a portare in superficie ed ad aggregare ulteriormente le masse gelatinose, dall'altro a sospingerle verso la battigia determinando un impatto negativo sul comparto turistico.

La concomitante presenza nelle acque costiere di un processo eutrofico e degli aggregati mucilluginosi, incrementavano la compattezza di quest'ultima, modificandone anche il colore, e di fatto apportavano un evidente peggioramento dello stato qualitativo delle acque costiere.

Sia agli inizi di Febbraio, che soprattutto nel mese di aprile, nella zona centro meridionale della costa, si è registrata la fioritura della microalga eterotrofa *Noctiluca scintillans*, la cui presenza 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 in quanto l'intero processo vitale (crescita sviluppo degradazione) si verifica generalmente in superficie.

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

Sulla base del rapporto azoto/fosforo si riconferma anche per il 2002 il ruolo del fosforo come fattore limitante la crescita delle microalghe per tutte le stazioni monitorate sia in costa sia al largo.

A differenza di quanto rilevato nel 2001, durante il periodo estivo il N/P, che generalmente tende ad abbassarsi, risulta allineato con gli andamenti riscontrati negli altri periodi dell'anno configurando una diminuzione dei casi di azoto-limitazione.

A modulare il predetto rapporto 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 periodo invernale ed autunnale riducendosi di circa un ordine 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/Scadente", 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”.

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 condizione “Scadente” quella meridionale si posiziona al centro dello stato qualitativo “Mediocre”.

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 2001, lungo la fascia costiera si evidenzia un peggioramento statisticamente significativo dello stato qualitativo dell’ecosistema marino, che si allontana ulteriormente dalla condizione di stato “Buono” che rappresenta l’obiettivo da perseguire entro il 2008.

Alla luce di quanto esposto permane forte 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.