

REGIONE  
TOSCANA

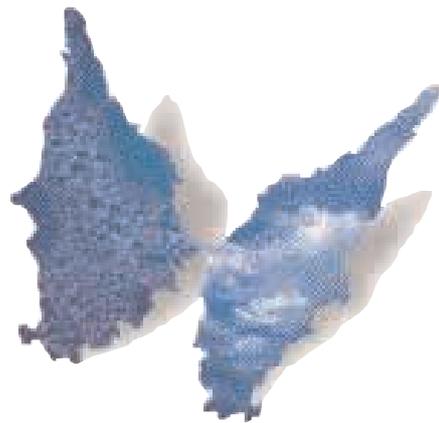


ARPAT



LA QUALITÀ DELLE ACQUE MARINE COSTIERE  
IN TOSCANA

**LA QUALITÀ  
DELLE ACQUE MARINE COSTIERE  
IN TOSCANA**



*A cura di:*

Regione Toscana e ARPAT

# LA QUALITÀ DELLE ACQUE MARINE COSTIERE IN TOSCANA

## *A cura di*

Regione Toscana – Settore Tutela delle Acque Interne e Costiere - Servizi Idrici  
GILDA RUBERTI E MARISA IOZZELLI  
Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT)  
FABRIZIO SERENA E ANTONIO MELLEY

## *Autori*

Alvaro Juan ABELLA, Davide AUTERI, Romano BAINO, Paolo BENCI, Riccardo BIANCALANA, Mario BUCCI, Marco CRUSCANTI, Lucio DE MAIO, Claudio DI PAOLO, Fabio GAMBASSI, Luisa GORI, Francesco LAVISTA, Glauco MAGNELLI, Michele MAGRI, Antonio MELLEY, Fabrizio SERENA, Andrea VALENTINI, Daniela VERNIANI, Alessandro VOLIANI (ARPAT), Corrado BARGHIGIANI, Paolo SARTOR (CIBM)

## *Realizzazione editoriale*

EDIFIR-EDIZIONI FIRENZE  
via Fiume, 8 - 50123 Firenze - Tel. 055/289639 - Fax 055/289478

## *Responsabile editoriale*

Massimo Piccione

## *Stampa*

Pacini Editore Industrie Grafiche - Ospedaletto (Pisa)

## *In copertina:*

Rossella Faleni, *Cavalluccio Marino* su Posidonia oceanica, dal volume di Marco Lambertini, *Capraia*, Pacini, Pisa, 2000. Per gentile concessione dell'autrice dell'editore

# INDICE

Introduzione	pag.	5
1. Caratterizzazione delle coste toscane	«	7
1.1. Morfologia costiera e batimetria	«	7
1.2. Caratteristiche idrologiche	«	7
1.3. Condizioni climatiche	«	8
1.4. Gli apporti fluviali”	«	9
2. I fattori socio-economici	«	13
2.1. La popolazione	«	13
2.2. Il turismo	«	13
2.3. Le aree industriali	«	15
2.3.1. Zona di Livorno	«	15
2.3.2. Zona di Rosignano	«	16
2.3.3. Zona di Piombino	«	16
2.4. Porti e traffico marittimo	«	17
2.5. L’impatto della pesca	«	19
2.6. I rifiuti sul fondo marino	«	20
2.7. Contaminazione ambientale da metalli pesanti	«	23
2.7.1. Il Mercurio	«	23
2.7.2. Cromo e Nichel	«	26
3. Il monitoraggio delle acque costiere	«	27
3.1. Normativa	«	27
3.2. Il sistema di monitoraggio	«	29
3.2.1. Il triennio 1997-2000	«	29
3.2.2. Il secondo periodo 2001-04	«	31
3.2.3. I prossimi obiettivi per il monitoraggio	«	32
3.3. Un applicativo GIS per il monitoraggio marino costiero	«	33
3.4. L’impegno nelle attività subacquee di monitoraggio	«	38
4. I principali elementi di conoscenza sugli ecosistemi costieri toscani	«	41
4.1. Analisi preliminare di alcuni parametri fisico-chimici	«	41
4.1.1. Temperatura	«	42
4.1.2. Salinità	«	47
4.1.3. Ossigeno disciolto	«	50
4.2. Valutazione del carico di azoto inorganico nel periodo 1997-2004	«	51
4.3. La biomassa fitoplanctonica	«	56
4.3.1. La variazione stagionale nella composizione del fitoplancton	«	56

4.3.2.	Densità fitoplanctonica e livelli trofici lungo la costa toscana dal 1997 al 2004	«	62
4.4.	La biomassa zooplanctonica	«	65
4.4.1.	Distribuzione dei principali generi di copepodi planctonici	«	65
4.4.2.	Composizione e distribuzione del genere <i>Acartia</i> (Copepoda, Calanoida)	«	70
4.5.	Dinamica del limite inferiore della prateria a <i>Posidonia oceanica</i>	«	74
4.5.1.	Antignano	«	74
4.5.2.	Elba nord	«	76
4.5.3.	Carbonifera	«	77
4.6.	Le biocenosi delle sabbie fini ben calibrate	«	80
4.6.1.	Fiume Morto (FM)	«	82
4.6.2.	Marina di Castagneto Carducci (MC)	«	83
4.6.3.	Foce Ombrone (FO)	«	83
4.6.4.	Considerazioni conclusive	«	84
5.	L'approccio ecosistemico	«	87
6.	Bibliografia essenziale	«	95

## 1. INTRODUZIONE

La Toscana dispone di un ambiente marino certamente fra i più vari e interessanti, non solo in Italia, ma anche nell'intero bacino del Mediterraneo: per proteggerlo occorre, innanzitutto, conoscerlo da un punto di vista delle caratteristiche qualitative delle sue acque e degli ecosistemi marini che accoglie.

La Legge n. 979/82 e il D.Lgs. n. 152/99 prevedono, tra i compiti dello Stato e delle Regioni, la realizzazione di una rete di monitoraggio mirata all'accertamento della qualità dell'ambiente marino costiero.

Pertanto, già dal 1997, le Regioni marittime, in quanto soggetti istituzionalmente coinvolti negli usi antropici ed economici della fascia costiera, hanno iniziato uno stretto e fattivo rapporto di collaborazione con il Ministero dell'Ambiente, titolato, peraltro, alla tutela del mare dalla Legge n. 979/82, sottoscrivendo specifiche convenzioni che hanno permesso sino ad ora di lavorare congiuntamente con gli stessi obiettivi e con le stesse modalità esecutive lungo tutta la fascia costiera continentale e insulare italiana.

La Regione Toscana ha sviluppato lo studio e la ricerca sullo stato e le dinamiche del suo ambiente marino grazie all'impegno, alla collaborazione ed alla competenza di quanti in ARPAT hanno contribuito al raggiungimento degli obiettivi sottoscritti in

convenzione con la Regione Toscana già dal 1997, anche a seguito dell'istituzione di una struttura operativa e specialistica dedicata, l'Area per la "Tutela dell'ambiente marino, lagunare, lacustre, costiero e dell'ittiofauna" (o Area "Mare"), e dell'acquisto di un battello oceanografico, il Poseidon.

La valutazione critica dei risultati di anni di intenso lavoro, che, oltre a sviluppare un rapporto di collaborazione fra Ministero dell'Ambiente, Regioni, ICRAM, APAT, ARPA, Università hanno avviato uno scambio di esperienze tecnico-conoscitive di estremo valore, rappresenta lo scopo di questa pubblicazione.

Certamente, pur disponendo di una notevole mole di dati, questo importante strumento conoscitivo ha la necessità di essere costantemente migliorato alla luce dei risultati acquisiti, delle lacune emerse nel corso delle campagne analitiche finora condotte, ma anche, e soprattutto, in ottemperanza delle nuove frontiere scientifiche e degli spunti operativi offerti dalle normative europee.

Conoscere lo "stato di qualità" e "lo stato di salute" del mare rappresenta il presupposto indispensabile per la gestione sostenibile della fascia costiera e l'approccio migliore per avviare le dovute misure di risanamento, di protezione e di valorizzazione del patrimonio marittimo.







## 1. CARATTERIZZAZIONE DELLE COSTE TOSCANE

### 1.1. MORFOLOGIA COSTIERA E BATIMETRIA

La costa toscana si estende per circa 400 km nella sola parte continentale, da Marina di Carrara alla foce del torrente Chiarone, e per oltre 600 km, se comprendiamo tutte le isole dell'Arcipelago Toscano, rappresentando quasi un terzo delle coste tirreniche della penisola. Sui litorali e sull'Arcipelago insiste un considerevole volume di attività sociali che dipendono dal mare come via di comunicazione, come risorsa turistica, come sistema produttore di risorse alimentari, come sistema ricettore dispersivo e purificatore di materia ed energia residue della produzione sociale.

Dal punto di vista morfologico il litorale toscano si presenta differenziato abbastanza nettamente in tre tipologie fondamentali:

- 1) *litorali caratterizzati da coste basse e sabbiose, con fondali a debole pendenza e scarsa profondità anche a notevole distanza dalla costa.* Queste condizioni sono caratteristiche del litorale apuo-versiliese-pisano, di quello livornese tra Rosignano e San Vincenzo, del Golfo di Follonica, della costa grossetana tra Castiglione della Pescaia e Marina di Alberese (all'interno del Parco Regionale della Maremma), dei tomboli della Laguna di Orbetello e del litorale di Capalbio. Trattasi di coste a bassa energia, con modeste possibilità di mescolamento delle acque e di dispersione degli inquinanti;
- 2) *litorali a costa alta, con batimetriche ravvicinate e profondità notevoli già in vicinanza della riva.* Tali caratteristiche si riscontrano nel tratto compreso tra Li-

vorno e Castiglioncello, nel Promontorio di Piombino, nella zona di Punta Ala, in quella di Talamone e dell'Argentario. Si tratta di coste a elevata energia, con notevoli capacità di mescolamento e dispersione degli inquinanti;

- 3) *litorali dell'Arcipelago, con assoluta prevalenza di costa alta e rocciosa, a elevata energia.* Questa particolare conformazione, insieme alla presenza dell'Arcipelago – che si frappone tra la parte meridionale e quella settentrionale della costa – ed alla particolare distribuzione delle foci dei principali corsi d'acqua regionali, permette di suddividere la costa medesima abbastanza nettamente in una zona settentrionale (a nord dell'arcipelago), con le caratteristiche dei litorali a bassa energia e con discreto apporto di nutrienti, nella zona dell'arcipelago ed in quella continentale che lo fronteggia, con le caratteristiche opposte di alta energia e scarso apporto di nutrienti, in una zona meridionale, con caratteristiche assai simili alla seconda.

### 1.2. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

La circolazione delle acque tra il Mare Tirreno Settentrionale e il Mar Ligure è fortemente influenzata dalla diminuzione batimetrica che si riscontra in corrispondenza dell'Arcipelago Toscano, con conseguente riduzione di un efficace mescolamento delle acque a nord e a sud dell'Arcipelago medesimo.

La presenza dell'Arcipelago, nella zona di transizione tra Mar Ligure e Mar Tirreno,

insieme ai canali di Corsica (tra Corsica e Capraia) e dell'Elba (tra Capraia e Elba), gioca pertanto un ruolo fondamentale nel determinare i flussi di corrente.

Il flusso di corrente è quasi sempre diretto dal Mar Tirreno verso il Mar Ligure, con un'intensità variabile con le stagioni e con la profondità. La direzione del flusso è determinata dalla differenza di temperatura tra il bacino ligure (più freddo) e quello tirrenico; tale gradiente tende ad accentuarsi in inverno e perdura per tutta la primavera, stagioni durante le quali sono concentrati per la massima parte gli scambi.

Al contrario, durante l'estate ed i primi mesi autunnali, il minor gradiente termico, le difficoltà di comunicazione tra i due bacini, rappresentate dalle soglie poco profonde e anguste del Canale di Corsica, e il minor apporto dei venti, indeboliscono fortemente il flusso, che talora cessa del tutto e, in rari casi, può anche invertirsi.

La temperatura del mare toscano durante il periodo inverno-primaverile oscilla intorno ai 13-14°C in tutta la colonna d'acqua, mentre la salinità aumenta, anche se in modo lieve, dalla superficie verso il fondo, con un massimo localizzato nello strato intermedio delle Acque Levantine<sup>1</sup>. In alcuni punti, corrispondenti alla zona costiera compresa tra la foce del Magra e quella dell'Arno, si riscontrano acque superficiali fredde e poco salate.

Con il procedere della primavera, per l'irraggiamento solare, comincia a formarsi un certo gradiente termico nello strato superficiale, fino all'instaurarsi, durante la stagione

estiva, di un netto termocline tra 10 e 50 m, che fa passare la temperatura da 26°C in superficie fino a 13-14°C a 100 m, con una netta stratificazione della colonna d'acqua. Verso la fine dell'estate la stratificazione inizia a regredire, finché a fine autunno il raffreddamento superficiale riattiva i processi di mescolamento verticale.

### 1.3. CONDIZIONI CLIMATICHE

Il territorio della regione presenta una grande variabilità climatica legata alle sue caratteristiche orografiche e alla sua particolare disposizione geografica in relazione alla catena Appenninica ed al Mar Tirreno. Le possibilità climatiche sono quindi molteplici, anche se genericamente in letteratura vengono classificate come climi mediterranei. Le mappe di piovosità climatologiche della Toscana (periodo 1951-1994) evidenziano regimi pluviometrici con stagionalità molto marcata: due massimi in primavera e in autunno e un minimo in estate, tipico della classe dei climi mediterranei. Valutazioni in termini percentuali riferite al quinquennio 1995-2000 rispetto al valore medio climatologico, indicano un decremento delle precipitazioni estive, più marcato lungo la zona costiera. A questo fa fronte un rilevante incremento della pioggia autunnale, più sensibile nelle aree dove è più forte il contributo pluviometrico legato alle caratteristiche orografiche e topografiche, come nel bacino dell'Arno.

<sup>1</sup> Nei bacini del Mediterraneo occidentale si individuano tipicamente 3 grandi masse d'acqua che circolano in modo autonomo: uno strato superficiale (0-200 m) di acque provenienti dall'Atlantico, più o meno modificate; uno intermedio (200-

1000 m) di provenienza dal bacino orientale (Acque Levantine); uno profondo (1000-5000 m), di acque di formazione indipendente e variabile. A queste si aggiungono nel Tirreno, soprattutto nella stagione estiva, acque molto superficiali di origine locale.

Per quanto concerne gli eventi pluviometrici intensi (sopra i 40 mm in primavera e 60 mm in autunno) l'evoluzione su base secolare è in aumento in due aree chiave, Versilia e bacino fiorentino.

Per quanto concerne la temperatura regionale, è evidente l'effetto mitigante del mare, che tende a ridurre i valori in estate e a incrementarli in inverno. Nell'ultimo quinquennio (1995-2000) si evidenzia una riduzione abbastanza accentuata nelle aree costiere meridionali, riconducibile a un aumento generale della copertura nuvolosa estiva o comunque a un maggior grado di estinzione della radiazione solare diretta. È confermato il riscaldamento generale invernale, anche se occorre ricordare la presenza dell'effetto isola di calore nelle rilevazioni termometriche a terra, all'interno o nelle immediate vicinanze del tessuto urbano di talune città.

#### 1.4. GLI APPORTI FLUVIALI

I bacini idrografici che interessano la fascia costiera toscana, anche se di diverso livello (quelli considerati sono tutti di I° ordine ai sensi del D.Lgs. 152/99, ma con rilevanza nazionale, interregionale o regionale) sono tutti compresi all'interno del territorio regionale, con l'eccezione del Magra a Nord, che scorre in parte in Toscana e sfocia in Liguria, e del Fiora a Sud, che sfocia nel Lazio. Di seguito, vengono presentate schematicamente le principali caratteristiche idrologiche e geologiche:

MAGRA. Asta fluviale: 62 km. Superficie totale del bacino, per la parte toscana: 990

km<sup>2</sup>. Regime idrico dipendente dalle piogge, abbondanti e distribuite specialmente in autunno e in primavera, periodi nei quali si registrano le massime piene (generalmente 3-5 in un anno). La minor portata si registra in estate;

SERCHIO. Asta fluviale: 102 km. Superficie totale del bacino 1.614 km<sup>2</sup>; bacino imbrifero 1.408 km<sup>2</sup>. La portata media in prossimità della chiusura di bacino è pari a 46 m<sup>3</sup>/s. Nel bacino sono presenti numerosi invasi ENEL e gole rocciose strette e profonde, con ripide pareti calcaree;

ARNO. Asta fluviale: 241 km. Superficie totale del bacino: 9.047 km<sup>2</sup>; bacino imbrifero: 8.228 km<sup>2</sup>. Tipo pluviometrico da sub-litoraneo appenninico nelle parti più elevate a marittimo nella fascia più prossima alla costa tirrenica. I deflussi seguono le caratteristiche delle precipitazioni nella irregolarità di distribuzione e sono caratterizzati da due massimi (dicembre-marzo) e da un minimo assoluto (agosto). Il deflusso totale medio annuo dell'intero bacino è pari a circa 3 miliardi di m<sup>3</sup> con una portata media di 100 m<sup>3</sup>/s in chiusura di bacino;

CECINA. Asta fluviale: 78 km. Superficie totale del bacino: 765 km<sup>2</sup>. Il fiume presenta lunghe magre durante l'estate e forti piene da novembre a primavera;

CORNIA. Asta fluviale: 50 km. Superficie totale del bacino: 435 km<sup>2</sup>. La sua valle costituisce un serbatoio naturale di acqua dolce, localizzato in un acquifero costituito da depositi alluvionali, alimentato dall'infiltrazione delle acque meteoriche, dai

deflussi di subalveo del fiume e da alcuni torrenti minori;

BRUNA. Asta fluviale: 47 km. Superficie totale del bacino: 441 km<sup>2</sup>. Canalizzato per quasi tutto il suo corso;

OMBRONE GROSSETANO. Asta fluviale: 161 km. Superficie totale del bacino: 4.422 km<sup>2</sup>. Regime pluviometrico caratterizzato da marcata stagionalità. Presenta la maggior portata di sedimenti in sospensione dei fiumi toscani, dovuta all'alta erodibilità delle rocce. Questo bacino è interessato da acque provenienti dal Monte Amiata e risente della anomalia geochimica da mercurio di questa area;

ALBEGNA. Asta fluviale: 66 km. Superficie totale del bacino: 748 km<sup>2</sup>. L'alta valle presenta una geomorfologia varia e accidentata, con pareti rocciose di calcare massiccio. Il fiume nasce in prossimità del Monte Amiata, risentendo quindi della anomalia geochimica da mercurio di questa area;

FIORA. Asta fluviale in Toscana: 57 km. Superficie totale del bacino in Toscana: 420 km<sup>2</sup>. Scorre quasi interamente sul fondo di profonde forre calcaree e tufacee. Nasce sul Monte Amiata, risentendo della anomalia geochimica da mercurio di quest'area.

I quantitativi trasportati dai corsi d'acqua al mare, sia di sostanza organica sia di nutrienti sia di sostanze di altra natura, ivi compresi i contaminanti microbiologici,

sono un elemento fondamentale per poter comprendere i fenomeni e le criticità delle acque costiere e degli ecosistemi marini. Per condurre una corretta analisi, quindi, è condizione fondamentale possedere almeno una stima dei carichi dei principali fiumi, tralasciando quelli di limitata capacità, anche se talvolta importanti qualitativamente e se considerati complessivamente.

Però, la rete idrometrica di misurazione delle portate fluviali, parametro essenziale per la valutazione dei carichi, deve essere completata, così come prevede lo stesso D.Lgs 152/99, ma attualmente esistono dati affidabili e disponibili solo per il fiume Arno.

Il carico organico che l'Arno trasporta al mare si aggira intorno a 1,2-1,3 milioni di AbEq all'anno, che corrispondono a circa 60mila tonnellate di COD. Dal punto di vista trofico, apporta una quantità di azoto (circa 10mila tonnellate all'anno) pari quasi a tutto quello stimato proveniente dai comuni costieri toscani, poco oltre le 13mila t/anno. Le quantità di fosforo, invece, sono paragonabili a quanto viene prodotto dai comuni limitrofi alla foce: Pisa e San Giuliano Terme insieme superano le 540 t/anno, mentre l'Arno ne trasporta da 400 a 600 t/anno.

Per gli altri bacini toscani, come detto, non possediamo misure dirette, ma possiamo provare a stimarne i carichi sulla base di quello che ricevono dalle diverse fonti di pressione (popolazione, agricoltura, zootecnia, industria, ecc.) lungo il loro percorso verso la foce, utilizzando coefficienti ed indicatori ormai consolidati<sup>1</sup>. Sulla base dei dati statistici

<sup>1</sup> Per una spiegazione dettagliata del metodo di calcolo vedi: Melley A., Iozzelli M., 2001, *Rapporto sullo stato delle acque marine in*

possiamo, quindi, calcolare i carichi e fosforo), per ognuno dei bacini interessati (Tabella 1).  
Come già riferito in una precedente pubblicazione<sup>1</sup>, se proviamo a trasferire il risul-

Bacino	CARICO ORGANICO POTENZIALE		CARICO DI AZOTO		CARICO DI FOSFORO	
	AbEq	AbEq	t/anno		t/anno	
	1990-91	2000	1990-91	2000	1990-91	2000
Serchio	1.031.368	941.152	4.363	3.569	1.539	1.164
Arno	8.417.030	7.477.779	42.977	34.950	17.461	13.496
Cecina	160.294	114.169	2.393	1.874	1.200	959
Cornia	91.141	78.110	1.212	1.014	585	478
Bruna	138.252	86.791	1.505	1.168	707	547
Ombrone	1.578.029	1.157.308	19.245	14.909	9.462	7.382
Albegna	300.114	220.219	3.658	2.934	1.797	1.478

Tabella 1

Carichi organici potenziali e trofici dei principali fiumi toscani<sup>2</sup> che sfociano in mare.

tato ottenuto per l'Arno, in termini di carico organico fluviale corrispondente a 2/3 del potenziale depurato ed a non più del 20% del totale, possiamo stimare, in modo del tutto approssimativo nei valori assoluti, ma, probabilmente, abbastanza congruo nell'or-

dine di grandezza delle quantità in gioco, i carichi degli altri fiumi toscani.

Da questa estrapolazione, risulta (Tabella 2), relativamente all'anno 2000, che il peso dei carichi fluviali sul tratto di costa considerato varia in modo diverso rispetto

Bacino	Carico organico potenziale AbEq	Carico fluviale stimato <sup>3</sup> AbEq	Carico potenziale dei comuni costieri <sup>4</sup> AbEq	Carico comunale / Carico fluviale %
Serchio	941.152	188.230	77.234	41
Arno	7.477.779	1.495.556	251.911	17
Cecina	114.169	22.834	61.804	271
Cornia	78.110	15.622	67.127	430
Bruna	86.791	17.358	24.275	140
Ombrone	1.157.308	231.462	236.746	102
Albegna	220.219	44.044	147.030	334

Tabella 2

Stima dei carichi fluviali organici e della loro importanza rispetto ai carichi comunali (elaborazione su dati ISTAT e Regione Toscana).

<sup>1</sup> Melley A., Iozzelli M., 2002, *Controllo e tutela delle acque costiere in Toscana*. Regione Toscana-ARPAT, Firenze, 70 pp.

<sup>2</sup> Non sono stati considerati Magra e Fiora, perché interessano solo in minima parte la Toscana e la costa.

<sup>3</sup> La stima è stata riferita ai 2/3 del carico potenziale.

<sup>4</sup> I comuni costieri considerati sono quelli di pertinenza della sola area foceale e, al massimo, due comuni per ciascun bacino.

alle dimensioni del bacino e cambiano in maniera significativa le pressioni esaminate a livello comunale solo nel caso di Arno, Serchio ed Ombrone.

In pratica, si ha che i carichi di Serchio ed Arno, che rappresentano oltre l'80% degli apporti fluviali così stimati, insistono su un tratto di costa già fortemente interessato da pressioni: tra Livorno e Viareggio si concentrano carichi organici per oltre 1/3 del totale costiero e trofici per circa 1/5. L'Om-

brone, d'altra parte, incide, per la maggior parte, sul litorale di Grosseto che è secondo solo a Pisa e Livorno per abitanti equivalenti e di gran lunga il comune con il maggior apporto di nutrienti.

Quindi, per i tre maggiori fiumi si tratta di aggiungere pressione a zone già "sufficientemente stressate", mentre il resto del litorale toscano non sembra soffrire di ulteriori carichi significativi.

## 2. I FATTORI SOCIO-ECONOMICI



### 2.1. LA POPOLAZIONE

La popolazione residente nei comuni costieri toscani è rimasta sostanzialmente invariata negli ultimi 10 anni, con le sole variazioni di rilievo concentrate nei comuni più grandi e, soprattutto, a vocazione industriale, quali Pisa, Livorno e Piombino, fatto spiegabile con la crisi occupazionale che ha investito negli ultimi vent'anni i settori produttivi dell'industria pesante. Il calo demografico, seppur contenuto, non è stato sufficientemente compensato, a livello provinciale, dall'aumento registrato in tutte le altre "piccole" località della costa toscana, fenomeno diffuso a livello nazionale ed in tutto il bacino mediterraneo di incremento della popolazione della fascia costiera, soprattutto se interessata da fattori di crescita economica dovuti alla risorsa turistica.

Le maggiori concentrazioni di popolazione si trovano nel settore settentrionale della costa. Infatti, nel tratto compreso tra Carrara e Cecina, che rappresenta solo il 22% della lunghezza della costa toscana, si addensa oltre il 70% degli abitanti della fascia costiera, con densità medie di oltre 720 abitanti/km<sup>2</sup> e punte di oltre 1500 Ab/km<sup>2</sup> nei comuni di Viareggio e Livorno. Nella restante parte della costa, sia continentale che insulare, le densità sono mediamente poco superiori a 120 Ab/km<sup>2</sup>, cioè quasi 6 volte inferiori; il valore più elevato (Follonica) è, addirittura, circa la metà del valore medio riscontrato a Nord del Cecina. Per avere un termine di paragone su che cosa possano significare questi valori, si ricorda che la densità di popolazione media

dell'Italia è intorno a 190 Ab/km<sup>2</sup> (tra 1991 e 1999) e quella della Toscana è poco superiore a 150 Ab/km<sup>2</sup>.

La situazione a livello di singolo comune mostra come all'interno di ciascuno dei due gruppi ci siano situazioni diverse. Vi sono infatti comuni che non sembrerebbero eccessivamente popolati, ma che, invece, rispetto alla superficie occupata mostrano densità ragguardevoli, mentre vi sono comuni che dispongono di un territorio sufficiente a disperdere gran parte dei residenti, abbassando sensibilmente la loro densità di popolazione, come Pisa o Grosseto.

### 2.2. IL TURISMO

Analizzando i dati a livello comunale, appare evidente come vi siano alcune realtà dove il fenomeno turistico raggiunge valori di presenze nettamente emergenti rispetto alla restante costa, situazioni, peraltro, ben facilmente prevedibili, conoscendo la tradizione e la vocazione turistica che da lungo tempo queste località hanno: principalmente Massa, Viareggio, Pisa, Castiglione della Pescaia, Grosseto, Argentario, Isola d'Elba. Vi è poi un altro gruppo, molto numeroso, di comuni che hanno presenze turistiche importanti, ma non come le prime, con valori mediamente compresi tra 300 e 600mila: questo secondo gruppo comprende gli altri comuni della Versilia, tutta la costa tra Livorno e Follonica ed alcune zone dell'Elba.

Una caratteristica saliente è l'aumento che si osserva tra 1992 e 2000 per tutta la costa:



## 2.3. LE AREE INDUSTRIALI

Le concentrazioni industriali e portuali di Massa e Carrara, Livorno, Rosignano e Piombino costituiscono senza dubbio “aree critiche” per quanto concerne la qualità delle acque marine costiere. Per Livorno e Piombino, la necessità di approfondire le problematiche legate al rischio industriale in tali “aree ad elevata concentrazione industriale” è stata riconosciuta formalmente nel 1995, in occasione di uno dei tanti, reiterati decreti di modifica del DPR 175 del 1988, che ha recepito in Italia la direttiva “Seveso”.

Livorno e Piombino sono due poli produttivi di primaria importanza, caratterizzati da una elevata densità di industrie a rischio di incidente rilevante, in stretta relazione funzionale con un complesso sistema di trasporti terrestri, imperniato sul binomio porto–infrastrutture viarie terrestri.

La “criticità” derivante dalla presenza delle industrie a rischio e dalla ingente movimentazione di sostanze pericolose ha reso necessaria la predisposizione di piani di intervento, con l’indicazione di azioni di mitigazione dei rischi.

Con Legge 9 dicembre 1998, n. 426 “Nuovi interventi in campo ambientale”, è stata individuata una serie di siti di interesse nazionale nei quali sono necessari primi interventi di bonifica. Come riporta la legge essi sono “quelli compresi nelle seguenti aree industriali e siti ad alto rischio ambientale i cui ambiti sono perimetrati, sentiti i comuni interessati, dal Ministero dell’Ambiente...”. Tra gli interventi di bonifica di interesse nazionale, in Toscana sono presenti Piombino, Massa Carrara e l’area ex

Sitoco della Laguna di Orbetello. Più recentemente, è stata inserita anche l’area del canale industriale di Livorno.

### 2.3.1. ZONA DI LIVORNO

L’apporto a mare di acque reflue della città di Livorno e della zona circostante si può scomporre in due distinti settori, quello di natura civile e quello degli insediamenti produttivi (polo industriale, servizi e produzione energetica).

Il porto di Livorno è costituito da due grandi sistemi di bacini, il porto industriale, di recente fondazione, e quello commerciale; al suo interno è localizzato anche il cantiere navale Luigi Orlando. Gli accessi navigabili sono le due aperture foranee, dalle quali transita il traffico marittimo, e la piccola apertura del canale dei Navicelli.

A servizio del traffico portuale sono presenti sulle darsene alcuni impianti di trattamento delle acque di zavorra e di sentina delle navi e numerose aziende scaricano i loro reflui depurati nel bacino portuale.

Per quanto riguarda l’apporto inquinante da insediamenti civili, l’impatto più significativo è quello dell’impianto di depurazione della città di Livorno: anch’esso recapita nel bacino portuale e tratta anche un certo numero di scarichi provenienti da insediamenti produttivi.

L’acqua di raffreddamento della Centrale Termoelettrica ENEL viene attualmente immessa, in via provvisoria, nel sistema dei Fossi Medicei, al fine di garantire, aumentando la velocità di scorrimento delle acque, il ricambio delle stesse.

L’AGIP Petroli invia a spot le acque trattate in un canale secondario, che poi si

immette nel canale Scolmatore e da qui in mare.

L'ambiente portuale, quindi, riceve la quasi totalità degli scarichi trattati, civili e industriali, fungendo come una sorta di immenso sedimentatore per i solidi sospesi, ma le sue aperture foranee mettono in comunicazione le acque portuali con il mare aperto.

### 2.3.2. ZONA DI ROSIGNANO

L'area industriale di Rosignano comprende, all'interno dello stabilimento della Solvay, vari impianti produttivi appartenenti alle società Solvay Chimica Italia S.p.A. e Solvay Polyolefins Europe Italia S.p.A. È presente, inoltre, un impianto di Cogenerazione di energia elettrica-vapore della ROSEN S.p.A.

Le unità produttive sono le seguenti:

- *Sodiera*: produzione di carbonato di sodio, bicarbonato di sodio, cloruro di calcio;
- *Elettrolisi*: produzione di cloro, idrogeno, soda caustica;
- *Polietilene*: produzione di resine con differenti caratteristiche;
- *Perossidati*: produzione di acqua ossigenata, percarbonato di sodio, perborato di sodio tetraidrato;
- *Prodotti clorati*: produzione di clorometani e acido cloridrico.

Tra tutte queste linee produttive sono particolarmente rilevanti, ai fini dell'impatto sul mare costiero, la sodiera (processo Solvay) e l'impianto per la produzione di cloro, idrogeno e soda caustica per via elettrolitica (celle a catodo di mercurio).

Comune a entrambi i processi è la necessità di disporre di soluzioni concentrate di cloruro di sodio (salamoia), per la purificazione del quale si producono grandi quantità di carbonato di calcio in soluzione acquosa (solidi sospesi), che si aggiungono alla rilevante frazione di solidi sospesi prodotta dalla sodiera. La frazione solida è, poi, convogliata, attraverso lo scarico di stabilimento, direttamente in mare, dove produce una caratteristica "macchia bianca". La portata dello scarico, stimata in circa 200.000 tonnellate/anno, è soggetta ad una progressiva diminuzione, grazie all'attuazione dell'Accordo di programma del 2003<sup>1</sup>: il piano di monitoraggio per la verifica degli impatti sugli ecosistemi marini degli scarichi solidi (art. 11 dell'Accordo) è stato affidato all'ARPAT e, a partire dall'aprile 2004 per 4 anni, è iniziato il controllo sulle diverse matrici (acqua, plancton, sedimenti, biota e biocenosi) nell'area prospiciente lo scarico Solvay.

I processi sono, poi, caratterizzati da specifici stadi, con la produzione di ulteriori residui di lavorazione. L'immissione in mare di mercurio, assai rilevante nel passato, è drasticamente diminuita a partire dal 1976, residuando comunque una consistente contaminazione da parte di questo metallo negli strati più profondi del sedimento (vedi par. 2.7.1).

### 2.3.3. ZONA DI PIOMBINO

Il territorio di Piombino è caratterizzato dalla presenza di un polo industriale di notevoli dimensioni: la sola industria siderurgica occupa una superficie di 8 milioni di m<sup>2</sup>. Le

<sup>1</sup> Accordo di Programma tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Ministero delle Attività Produttive, Regione

Toscana, Provincia di Livorno, Comune di Rosignano Marittimo, ARPA Toscana e Azienda Solvay sottoscritto in data 31/07/03.

principali Aziende presenti sul territorio, che hanno forti interconnessioni con l'ambiente marino, sono:

- Lucchini S.p.A., azienda siderurgica a ciclo integrale, principale polo italiano per la produzione di laminati lunghi;
- I.S.E. S.p.A. (Ilva Servizi Energetici), controlla e gestisce le Centrali termoelettriche ubicate all'interno dello stabilimento Lucchini;
- La Magona d'Italia, azienda metalmeccanica, tra i principali produttori italiani di lamiere zincate e/o verniciate;
- SOL S.p.A., produce gas tecnici e medicinali: ossigeno, azoto, argon;
- Dalmine, produce tubazioni zincate e con rivestimento plastico;
- Centrale Termoelettrica ENEL di Torre del Sale, alimentata a olio combustibile (4 gruppi da 320 MW ciascuno);
- Porto di Piombino, le cui attività sono caratterizzate dal traffico di materie prime o di merci prelaborate destinate alle attività industriali, merci alla rinfusa, traffico di collegamento con le isole e sistema di approvvigionamento di olio combustibile per la CTE ENEL.

Anche per Piombino l'apporto di acque reflue si può scomporre in due distinti settori, considerando quello di natura civile e quello degli insediamenti produttivi. A differenza di Livorno, le acque di scarico civili non recapitano nelle acque portuali ed è in via di completamento un progetto, finanziato in ambito europeo, per il loro riuso nei processi produttivi dell'area industriale.

Gli effluenti industriali confluiscono nella quasi totalità (uno della Magona e quattro della Lucchini) nel bacino portuale e da qui indirettamente nel Golfo di Follonica; i rimanenti (ENEL, Dalmine, Lucchini) reca-

pitano direttamente nelle acque del Golfo di Follonica.

Anche qui, come per Livorno, il porto, anche se di dimensioni decisamente meno rilevanti, va a costituire il sedimentatore di una gran parte dei materiali solidi apportati dagli scarichi, nonché la via di uscita a mare di eventuali sostanze contaminanti in soluzione. Date le elevatissime diluizioni che si verificano nell'ambiente marino, è l'apporto solido, con le sostanze contaminanti che lo accompagnano, a costituire il principale veicolo degli inquinanti a mare. Si deve inoltre considerare l'apporto a mare di solidi provenienti non da scarichi, ma dalle emissioni in atmosfera provenienti in prevalenza dall'impianto siderurgico (polveri sedimentabili in uscita dai camini, spolveramento durante le operazioni di scarica delle navi carboniere, spolveramento dai carbonili e dai parchi materie prime).

Nel Golfo di Follonica, oltre all'intera area industriale e portuale di Piombino, insistono anche le industrie chimiche del Casone di Scarlino (Tioxide, produttrice di biossido di titanio, e Nuova Solmine, produttrice di acido solforico), con scarico congiunto diretto in mare, attraverso un canale emissario appositamente realizzato.

## 2.4. PORTI E TRAFFICO MARITTIMO

I maggiori porti toscani, dal punto di vista delle caratteristiche infrastrutturali (vedi tabella) sono, in ordine di grandezza, Livorno, Piombino, Marina di Carrara e Portoferraio. Questi stessi porti, tutti insieme, contribuiscono ad oltre il 95% del traffico marittimo regionale sia come tonnellaggio delle navi transitate che come tonnellate

di merci movimentate; da essi transita oltre l'80% dei passeggeri.

La differenza tra tipologie portuali risulta ben evidente anche esaminando i dati dei movimenti effettuati ogni anno nei principali porti che rappresentano tra il 70 ed il 100% del totale toscano, a seconda del parametro considerato. Infatti, se come numero di navi, a parte Marina di Carrara che è sensibilmente inferiore a tutti gli altri (e lo è per tutte le grandezze del traffico), i tre porti di Livorno, Piombino e Portoferraio sembrano abbastanza equivalenti, analizzando il tonnello, appare come Livorno sia nettamente superiore agli altri due.

Per quanto concerne, nello specifico, i porti di Livorno e Piombino, si è già detto nel paragrafo precedente. Tra questi porti si distacca nettamente, per tutti i parametri considerati, quello livornese e la cosa può risultare ancor più rilevante se consideriamo la vicinanza delle altre installazioni di Viareggio e Marina di Carrara e la difficoltà nel ricambio idrodinamico di queste acque. Quindi è presumibile che il forte impatto ambientale di Livorno debba essere assorbito quasi interamente da una ristretta fascia litorale, con tutte le conseguenze che ne possono derivare.

Tabella 3  
Infrastrutture portuali  
dei porti toscani (Fonte:  
Ministero Trasporti e  
Navigazione, 1995)

Porto	Prov.	Merci e passeggeri		Piazzali m <sup>2</sup>
		n°	Accosti metri	
Marina di Carrara	MS	4	1'600	145'470
Viareggio	LU	1	250	13'105
Livorno	LI	17	6'413	611'700
Piombino	LI	10	2'340	90'200
Portoferraio	LI	7	739	6'750
Capraia Isola	LI	1	12	0
Rio Marina	LI	1	123	0
Porto Azzurro	LI	1	83	0
Follonica	GR	1	700	0
Castiglione della Pescaia	GR	1	120	2'400
Talamone	GR	3	149	3'000
Porto S. Stefano	GR	6	685	3'700
Isola del Giglio	GR	1	40	0

Tabella 4  
Movimenti di navi,  
di merci e di passeggeri  
nei principali porti toscani,  
calcolati come media  
mensile nel periodo 1996-98  
(Fonte: ISTAT)

Porto	Prov.	Navi				Merci		Passeggeri	
		n°		TSN <sup>1</sup>		t		n°	
Marina di Carrara	MS	125	2%	346'955	4%	240'434	9%	26	0%
Livorno	LI	1'096	22%	5'253'929	63%	1'712'248	70%	110'857	23%
Piombino	LI	1'364	27%	1'497'028	18%	470'023	19%	155'506	32%
Portoferraio	LI	996	20%	1'027'793	12%	54'915	2%	136'431	28%
<b>TOSCANA</b>		<b>5'016</b>	<b>100%</b>	<b>8'336'793</b>	<b>100%</b>	<b>340'469</b>	<b>100%</b>	<b>484'052</b>	<b>100%</b>

Le navi movimentate nel porto livornese sono essenzialmente dedicate al trasporto merci, con un rapporto di 3-4 volte mag-

giore rispetto a Piombino (analogo a quello del TSN) ed ancora più elevato per Portoferraio.

<sup>1</sup> TSN = Tonnellate di stazza netta, è un parametro utilizzato

per quantificare dimensioni e capacità del naviglio.

Se, infine, osserviamo i dati del traffico passeggeri troviamo un'altra volta un sostanziale equilibrio tra i tre porti. Però, se consideriamo il fatto che i porti di Piombino e Portoferraio sono praticamente di fronte, divisi solo dal Canale di Piombino, e che scambiano tra loro la quasi totalità del traffico passeggeri, possiamo, in pratica, ritenere che si tratti di un unico fattore di pressione e che l'incidenza sull'ambiente sia quella del solo Piombino.

Per quanto concerne il traffico "di transito", non espressamente diretto nei porti toscani, non disponiamo dei dati. Possiamo comunque rilevare che il canale di Piombino costituisce un rilevante nodo per numerose rotte marittime.

Dal momento, poi, che il porto di Livorno (in parte anche di quello di Piombino) costituisce un importante scalo per prodotti petroliferi e sostanze chimiche, un elevato numero di navi petroliere e, in parte, chimichiere, sono costantemente in navigazione nelle vicinanze delle coste toscane. Questo fatto, insieme a quello più generale delle navi che solcano le acque mediterranee per trasportare i prodotti petroliferi dai paesi produttori (principalmente il Medio Oriente e l'Africa settentrionale) verso i paesi europei che si affacciano sulle sue rive, fa sì che il problema principale delle fonti di inquinamento da mare sia proprio costituito dal trasporto di tali prodotti e dal loro rilascio a mare, accidentale e non. Queste navi sono, in gran parte, di vecchia concezione (si stima che oltre il 60% abbia più di 15 anni di età) e, quindi, spesso non dotate di misure di sicurezza per prevenire sversamenti (sistemi di svuotamento di cisterne ed acque di sentina "top and load") ed inci-

denti (doppio scafo): ogni anno vengono immerse nelle acque mediterranee oltre 630 mila tonnellate di petrolio.

Da segnalare un episodio che, anche se non avvenuto nel Mediterraneo, interessava direttamente le coste toscane; si tratta del caso della Erika, che naufragata sulle coste della Bretagna nel 1999, era diretta a Livorno ed avrebbe dovuto rifornire le industrie di Piombino. Inoltre, le segnalazioni relative a spiaggiamenti di materiali di natura petrolifera od alla presenza di macchie oleose in mare sono sempre più numerosi in questi ultimi anni, soprattutto nelle isole dell'Arcipelago Toscano, come è accaduto anche quest'anno a Pianosa e Capraia.

## 2.5. L'IMPATTO DELLA PESCA

La pesca ha certamente effetti diretti sulle popolazioni ittiche, di cui riduce il numero di individui in mare e modifica la struttura di popolazione, ma questi effetti si ripercuotono anche su tutta la comunità e l'ecosistema, alterando gli equilibri tra le specie e, quindi, la stessa rete trofica. L'integrità ambientale è, quindi, fondamentale per garantire il mantenimento dei giusti bilanciamenti e permettere lo sfruttamento sostenibile delle risorse.

Tra i principali effetti della pesca, si possono annoverare la cattura delle specie di interesse commerciale (target catch), quella di specie accessorie (by-catch), di specie occasionali (incidental catch) e di quelle indesiderate (discarded catch). Oltre a questo, si hanno anche effetti dovuti all'azione di pesca, o comunque di disturbo, nelle cosiddette aree di nursery, zone ad elevatissima concentrazione di stadi giovanili, limi-

tando la possibilità di rinnovo delle popolazioni, spesso con vantaggi economici irrilevanti.

Ulteriori effetti diretti sono dovuti al cosiddetto ghost-fishing, ovvero la cattura realizzata dagli attrezzi da pesca (soprattutto reti derivanti, tremagli e nasse) persi o buttati via in mare consapevolmente, o, ancora, alla pesca a strascico sui fondi duri o su fondali di particolare pregio ambientale.

Per quanto riguarda l'acquacoltura, poi, uno dei maggiori problemi è l'effetto di eutrofizzazione sull'ambiente circostante: questo può essere particolarmente rilevante anche negli impianti in mare aperto in prossimità di praterie di Posidonia ed è necessaria un'attenta azione di monitoraggio.

Per mitigare e/o prevenire alcuni di questi effetti dell'attività di pesca, uno dei principali obiettivi potrebbe essere quello della riduzione dello sforzo di pesca (ovvero del naviglio e della sua capacità di cattura o dell'attività di pesca), in quanto, quasi ovunque, le risorse risultano essere in uno stato di sovrasfruttamento. Dal momento che, spesso, è problematico (es. per ragioni sociali) un aggiustamento dello sforzo sui valori ottimali, è possibile adottare altri strumenti, quali le quote di cattura (TAC), o adottare a priori livelli biologici accettabili per le popolazioni ittiche: i cosiddetti Reference Points, ovvero valori di riferimento per specifici indicatori relativi allo stato di sfruttamento della risorsa.

Possono sorgere anche problemi tra le varie componenti della pesca (es. pesca a strascico e pesca artigianale) che insistono sulle stesse risorse, o su taglie differenti della stessa specie, per cui non è prevedibile una soluzione gestionale che sia universalmente valida in tutte le situazioni.

Un'altra complicazione è che spesso la pesca non va ad insistere su un'unica specie, ma, in genere e specialmente in Mediterraneo, siamo di fronte ad una pesca di tipo multispecifico. Di conseguenza, le misure gestionali che sono attuate per la salvaguardia di una determinata specie, non è detto che possano essere efficaci anche per tutte le altre.

Le misure di controllo tendono a mitigare l'impatto della pesca tramite soluzioni tecniche che stabiliscono dei limiti nelle dimensioni delle flotte (numero, potenza complessiva), nei quantitativi catturabili, nelle caratteristiche degli attrezzi consentiti, nelle zone e tempi dell'attività di pesca.

Le aree marine protette, siano esse riserve, barriere artificiali, zone chiuse, ecc., vengono sempre più intese anche come validi strumenti nell'approccio precauzionale per la pesca. Le aree protette, più o meno estese, rappresentano comunque situazioni in cui si permette all'ecosistema di tendere verso la situazione ottimale e quindi di esportarne i vantaggi (in termini di specie, reclute, biodiversità, ecc.) anche nelle zone limitrofe. Le forme di protezione possono essere a vari livelli, dall'esclusione totale di ogni attività antropica (riserve integrali), al divieto delle attività di prelievo, eventualmente in particolari zone o periodi, o a forme più blande che precludono l'utilizzo solamente di specifici strumenti di pesca, come avviene ad esempio nel Santuario dei Cetacei nel Mar Ligure.

## 2.6. I RIFIUTI SUL FONDO MARINO

È stato stimato dalla FAO che, ogni anno, oltre 6 milioni di tonnellate di rifiuti sono scaricati in mare: la maggior parte sono di

origine industriale, ma una parte consistente di plastica e dei rifiuti persistenti provengono da imbarcazioni o da azioni individuali. Ciò nonostante, le informazioni sui rifiuti presenti sul fondo marino sono scarse, soprattutto per gli alti costi di valutazione, specie quando si tratta di fondali molto profondi.

Una via possibile per affrontare il problema di quantificazione dei rifiuti sui fondali marini, è quella di utilizzare campagne di studio realizzate per altri scopi. Ad esempio, nel Tirreno toscano dal 1985 al 2004 sono state condotte 30 campagne di pesca con la rete a strascico (maglia al sacco di 20 mm), finalizzate alla valutazione della fauna ittica. In ognuna delle oltre 800 pescate realizzate (tra 10 e 800 m di profondità) i rifiuti presenti nella rete sono stati classificati per tipologia e quantificati in peso. Essendo noto che una superficie strascicata in ogni pescata è di circa 0,1 km<sup>2</sup>, è stato, quindi, possibile estrapolare le abbondanze sull'in-

tera area: è stata stimata in 3,6 tonnellate la quantità totale di rifiuti, equivalente in pratica ad un quinto del pesce catturato, e l'abbondanza media di rifiuti è stata valutata in 57 kg/km<sup>2</sup>.

L'occorrenza occasionale di rifiuti molto pesanti (gomme di trattore, mine, materassi, ecc. con peso superiore a 50 kg) è stata esclusa dall'indagine, in quanto tali rifiuti sono localizzabili in particolari aree di discarica (es. di escavi portuali) o sono occasionali. Anche senza tali dati, comunque l'abbondanza media rimane di 41 kg/km<sup>2</sup>.

L'analisi della composizione è risultata simile a quella osservata da alcuni colleghi nel Canale di Sicilia: le frequenze maggiori (Figura 3) riguardano le buste di plastica per la spesa (73% dei punti campionati), bottiglie (57%), lattine per bibite (30%) o per cibo (25%) e vari prodotti sintetici (20%). Tra le curiosità si possono citare una bicicletta, un tubo antincendio, una macchina fotografica e un'anfora romana.

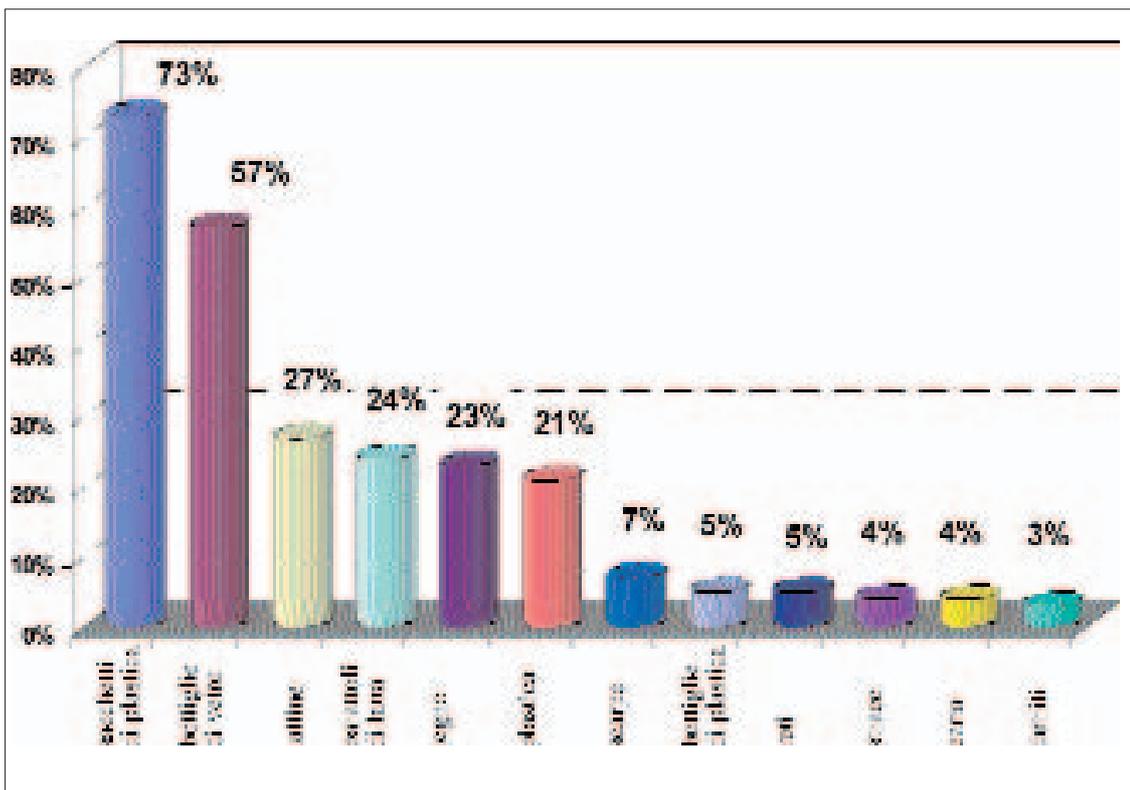
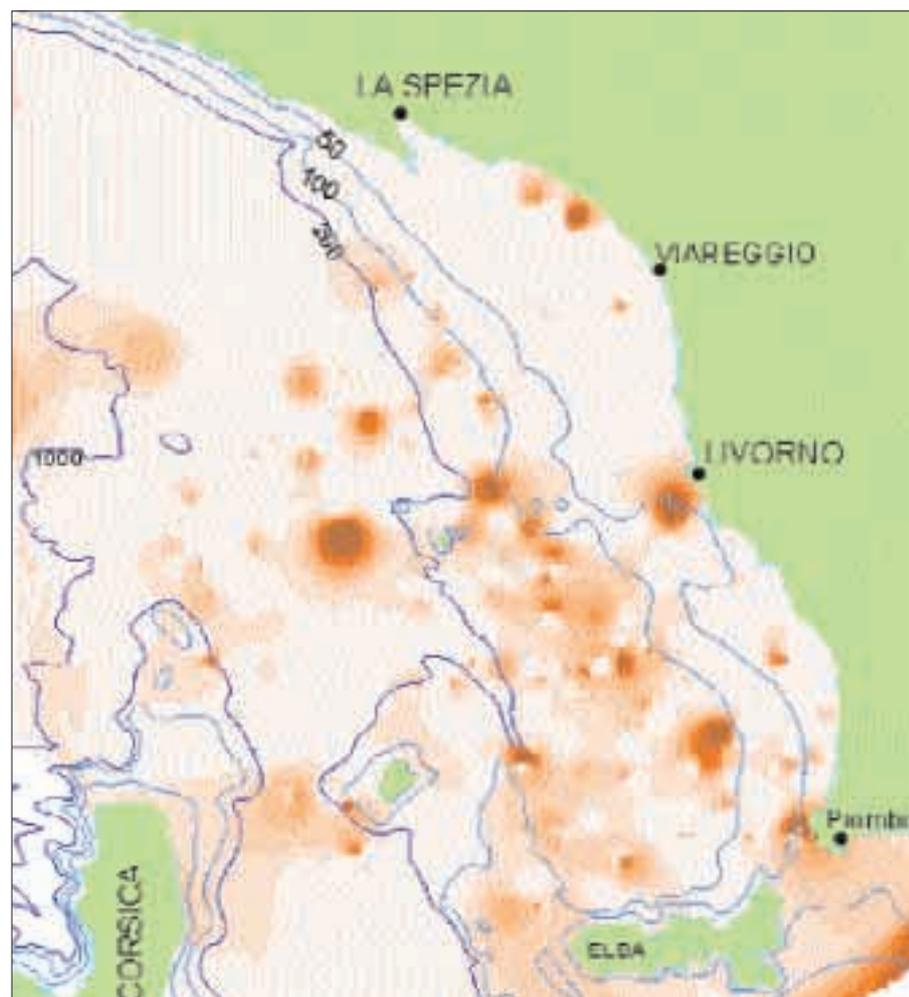


Figura 3  
Componenti principali  
dei rifiuti presenti  
sul fondo marino.

La mappa della densità di rifiuti (Figura 4) non mostra nessuna correlazione evidente né con la profondità, né con le foci dei fiumi, ma approfondendo l'analisi emerge una chiara influenza sia delle navi mercantili, sia dei traghetti. La maggior parte dei rifiuti è, infatti, localizzabile in una fascia di 3-5 miglia lungo le rotte delle navi e ciò è

anche supportato dalla tipologia dei rifiuti: mentre le buste di plastica vengono trascinate praticamente ovunque dalle correnti, le bottiglie o le lattine affondano praticamente nello stesso punto in cui sono buttate in mare e sono molto più frequenti lungo le rotte marittime o vicino alla costa dove è più frequente la navigazione da diporto.

Figura 4  
Interpolazione GIS  
dell'abbondanza di rifiuti  
sul fondo marino.



In conclusione sembra che la causa principale dei rifiuti presenti in mare sia ricollegabile alle migliaia di viaggi che ogni anno i mercantili e i traghetti effettuano tra Livorno, le isole maggiori (Corsica, Sardegna ed Elba) e gli altri porti del Mediterraneo orientale e meridionale. Sebbene il pericolo ambientale

di tali rifiuti sia ancora discusso, effetti certamente dannosi sono riportati nei confronti di tartarughe, uccelli e delfini. È quindi necessaria una maggiore attenzione, anche normativa e di sensibilizzazione pubblica, nonché l'adozione di accorgimenti tecnici quali ad esempio il miglioramento dei servizi nei porti.

## 2.7. CONTAMINAZIONE AMBIENTALE DA METALLI PESANTI

I metalli pesanti sono contaminanti di rilevante importanza sia dal punto di vista della tossicità che per la loro persistenza nell'ambiente. Nelle aree ad elevata pressione antropica possono avere effetti sugli organismi a livello genetico, fisiologico e metabolico, influenzando sulla diversità e sulla ricchezza delle specie viventi.

In Toscana la contaminazione ambientale da metalli pesanti non è solo legata allo sviluppo industriale ma anche alle caratteristiche geologiche della regione che presenta aree ricche di giacimenti minerali.

### 2.7.1. IL MERCURIO

Il mercurio (Hg) riveste grande importanza nel bacino del Mediterraneo, dove è presente il 65% circa dei giacimenti di cinabro (HgS) della terra, ed in particolare lungo le coste toscane a causa dei giacimenti minerali del Monte Amiata e delle industrie per la produzione di soda di Rosignano Solvay e di Saline di Volterra.

Il Monte Amiata è caratterizzato da un'anomalia geologica da cinabro i cui giacimenti sono stati sfruttati fin dal tempo degli Etruschi (VIII secolo a.C.). Lo sfruttamento minerario fu interrotto dai Romani, ripreso dopo l'Unità d'Italia nel 1864 e, quindi, abbandonato definitivamente con la chiusura dell'ultima e più importante miniera, quella di Abbadia San Salvatore, nel 1980. L'indiscriminata dispersione nell'ambiente dei rosticci di cinabro, il minerale da cui si estrae il mercurio per arrostitimento, ha deter-

minato la contaminazione di gran parte dell'area amiatina. Infatti, i rosticci contengono elevate concentrazioni di mercurio che nelle stagioni e nelle ore più calde evapora per poi ricadere al suolo e sulla vegetazione. Anche l'attività geotermica, con le centrali elettriche di Piancastagnaio e di Bagnore, sembra contribuire all'inquinamento atmosferico.

Dai risultati delle nostre indagini è emerso che, mentre la contaminazione da mercurio della catena alimentare terrestre non raggiunge livelli elevati (Barghigiani e Ristori, 1994), il trasporto del contaminante per opera dei fiumi Albegna e Fiora causa un'elevata contaminazione dei sedimenti (Barghigiani *et al.*, 1996) e della fauna ittica (Barghigiani e De Ranieri, 1992; Barghigiani *et al.*, 2000) lungo le coste della Toscana meridionale.

I primi risultati importanti sull'argomento sono stati conseguiti nell'ambito di un progetto di ricerca sulla contaminazione da mercurio delle specie ittiche più rappresentative (tra le quali il nasello, lo scampo e il polpo moscardino), finanziato dalla Regione Toscana nel 1992. Negli individui di taglia maggiore sono stati trovati contenuti di mercurio superiori al limite previsto dalla legge (0.5 mg/g di peso fresco) con una concentrazione media di  $1,5 \pm 0,68$ . Pertanto, sulla base di questi dati risulta che il consumo settimanale di 200 grammi di esemplari di grossa taglia comporta l'assunzione della quantità massima di mercurio tollerabile da un individuo del peso di 70 kg secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità. È stato anche stimato che il pescato della marineria di Porto Santo Stefano introduce annualmente sul mercato circa 1 kg di mercurio (Barghigiani e De Ranieri, 1992).

Nel 1994 è stato organizzato dall'Azienda USL n. 9 di Grosseto il convegno "La contaminazione Ittica da Mercurio", durante il quale sono stati presentati i dati delle indagini condotte negli ultimi anni sull'argomento. In seguito a questa iniziativa è stato avviato dal Ministero della Sanità il Piano di Monitoraggio Nazionale sulla Contaminazione da Mercurio del Pescato.

Poiché il metilmercurio rappresenta, come è noto, la forma più tossica di questo metallo, è stata successivamente messa a punto una metodologia per la determinazione del mercurio organico, che consente di effettuare analisi di elevata precisione e riproducibilità in tempi notevolmente più brevi ed a costi più bassi rispetto alle altre tecniche comunemente impiegate. Questa metodica, applicabile sia agli organismi che ai sedimenti, è risultata particolarmente adatta per il monitoraggio ambientale.

L'altra fonte rilevante di contaminazione da mercurio delle coste toscane è rappresentata, come si è detto, dalle industrie per la produzione della soda con celle elettrolitiche a mercurio.

La fabbrica della Solvay Chimica Italia S.p.A. si è insediata a Rosignano prima del

1920 ed i suoi scarichi industriali, contenenti mercurio e carbonati, hanno prodotto una consistente alterazione dell'ambiente marino antistante. Già negli anni Ottanta sono state trovate elevate concentrazioni di mercurio sia nelle acque che nei sedimenti. Nel 2004 l'indagine è stata approfondita estendendo il monitoraggio ai sedimenti del tratto di costa da Vada a Livorno (Scerbo *et al.*, 2004). I risultati, insieme a quelli ottenuti in precedenza da altri Istituti di ricerca ed Enti preposti al controllo del territorio, hanno evidenziato una contaminazione da mercurio nei sedimenti superficiali che da Rosignano Solvay si estende sulla piattaforma continentale per circa 13 miglia a largo e circa 10 miglia a nord a causa delle correnti marine caratteristiche dell'area.

È stato anche osservato che, sia davanti a Rosignano che più a nord, davanti a Caletta, la concentrazione dei sedimenti superficiali risulta più bassa di quella dello strato profondo 50 cm, probabilmente a causa del maggiore inquinamento industriale del passato, su cui si sono stratificati successivamente sedimenti meno contaminati. Alcuni dati significativi sono riportati in Tabella 5.

Tabella 5  
Concentrazioni medie di mercurio ( $\mu\text{g/g}$  peso secco) nei sedimenti raccolti tra 200 e 400 m dalla costa da Vada a Caletta.

Stazione	Sezione della carota (cm)	Hg ( $\mu\text{g/g}$ )	D.S.	C.V. %
Caletta	0	0,746	0,089	11,98
	50	4,401	0,174	3,95
	100	2,041	0,045	2,19
Effluente industriale	0	0,288	0,001	0,34
	50	0,094	0,005	5,83
	100	0,099	0,001	1,17
Pontile Solvay	0	1,141	0,212	18,54
	50	0,129	0,003	2,39
	100	0,025	0,001	4,05

Come è stato detto, a Saline di Volterra sul fiume Cecina è situata l'Altair Chimica S.p.A., la seconda industria per la produzione di soda della Toscana. Questo stabilimento produce idrato sodico insieme a idrogeno e cloro come sottoprodotti. Nel processo industriale vengono impiegate celle elettrolitiche a mercurio e come materia prima la

salamoia estratta da un vicino bacino minerario. La soluzione di salamoia impoverita e contaminata da mercurio è stata per anni reiniettata nel bacino minerario inquinandolo. Inoltre, le acque di lavaggio delle celle elettrolitiche, scaricate nel Botro Santa Marta, che confluisce nel fiume Cecina, ne hanno contaminato i sedimenti.

Stazioni	Hg ( $\mu\text{g/g}$ )	Deviazione Standard
Botro S. Marta	54,2588	0,8848
Fiume Cecina		
300 m dal S. Marta	7,2619	0,1662
26 Km dalla foce	0,6232	0,0236
17 Km dalla foce	0,5909	0,0067
Foce del Cecina	0,4300	0,0051

Tabella 6  
Concentrazioni di mercurio nei sedimenti (n=3) del bacino del Cecina.

Nel 2001 è stata fatto un monitoraggio dei sedimenti e di alcune specie ittiche sia nel Cecina che nei suoi principali affluenti: Sterza, Trossa, Possera, Pavone, e Santa Marta. I risultati hanno messo in evidenza un'altissima contaminazione da mercurio nel Santa Marta che si estende al Cecina. Nel fiume, la concentrazione di mercurio

nei sedimenti decresce verso la foce dove, comunque, è circa 10 volte maggiore di quella che può considerarsi normale (Tabella 2).

Anche nei pesci raccolti a Ponteginori, pochi chilometri a valle di Saline, sono state trovate elevate concentrazioni di mercurio.

Stazione	Pesci	Lunghezza (cm)	Hg ( $\mu\text{g/g}$ )
Foce del Cecina	Cavedani	8,5	0,168
		9,5	0,098
		17	0,279
Ponteginori	Cavedani	7,2	0,334
		11	0,441
		17	0,737
	Anguille	14	1,055
		23	1,024
		30,5	1,089

Tabella 7  
Concentrazione di mercurio nei pesci raccolti nel fiume Cecina.

Oltre al "Progetto Mercurio 2000", che ha visto una stretta collaborazione fra l'Istituto di Biofisica del CNR ed il Dipartimento Provinciale ARPAT di Pisa, a cura dello stesso Dipartimento, proseguono le indagini nell'ambito degli studi promossi dal

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, riguardanti il "Bacino pilota del fiume Cecina" e del "Progetto sulla mobilità e biodisponibilità del mercurio presente nei sedimenti del fiume Cecina", finanziato dalla Regione Toscana.

### 2.7.2. CROMO E NICHEL

Tra i metalli pesanti, il cromo ed il nichel, oltre al mercurio, sono oggetto di particolare attenzione sia da parte della comunità scientifica che degli organi preposti al controllo del territorio.

Il cromo è presente in molti minerali ed è ampiamente distribuito nella crosta terrestre. Le cause di contaminazione ambientale da cromo sono numerose e possono essere sia di origine naturale che antropica. Le cause naturali più rilevanti sono le emissioni vulcaniche e soprattutto l'erosione naturale di rocce, mentre le sorgenti di origine antropica più importanti sono l'estrazione mineraria, la produzione metallurgica di leghe, la lavorazione dei minerali di cromo, l'industria conciaria, l'uso e consumo di prodotti finiti contenenti cromo (vernici, coloranti, impregnanti, oggetti cromati o costituiti da leghe metalliche) e i processi di combustione del carbone e di altri combustibili.

Sebbene il cromo sia comunemente presente nell'ambiente, concentrazioni elevate ed esposizioni prolungate ai composti sia di cromo VI che di cromo III sono dannose per l'uomo e per gli altri organismi animali.

Le principali fonti di contaminazione antropica di nichel sono rappresentate dall'estrazione mineraria, dalla produzione metallurgica di leghe, dalla lavorazione dei minerali di nichel e dall'uso e consumo dei prodotti finiti che lo contengono, come ad esempio alcune monete.

Il nichel è un allergene importante e la sua presenza sulle spiagge può essere dannosa per la salute dell'uomo.

Il monitoraggio di cromo e nichel nei sedimenti marini e sulle spiagge riveste particolare

importanza, ma presenta notevoli problemi derivanti dalle difficoltà di individuare le forme chimico-fisiche dannose, essendo questi metalli presenti in concentrazioni talvolta notevoli nella matrice minerale dei sedimenti stessi, specialmente sulle coste liguri e toscane.

Per questi motivi è stata sviluppata una metodologia di estrazione sequenziale dei metalli che consente di distinguere la frazione legata alla matrice minerale e le altre potenzialmente biodisponibili.

Nel 2004 la metodologia è stata applicata a sedimenti marini e campioni di spiaggia emersa raccolti vicino alla foce del Cecina. Sono state trovate elevate concentrazioni dei due metalli di origine geologica e, quindi, non disponibile biologicamente. Per quanto riguarda il cromo sono state separate le frazioni che potrebbero rilasciare il metallo in forma esavalente (particolarmente tossica). Questo potrebbe avvenire in seguito alla movimentazione dei sedimenti e alla loro esposizione ad agenti atmosferici che ne abbassano il pH e ne modificano le condizioni di ossidazione, come il dilavamento dei cloruri operato dalle piogge e l'esposizione prolungata ad elevate temperature e concentrazioni di ozono. Anche parte del nichel presente nei sedimenti potrebbe essere rilasciato in forme disponibili biologicamente in seguito a movimentazione ed esposizione agli agenti atmosferici.

Dalle ricerche sinora condotte risulta evidente che il monitoraggio dei metalli e lo studio delle diverse forme chimiche rivestono particolare importanza sia dal punto di vista ambientale che sanitario e dovrebbero costituire un impegno prioritario rivolto allo sviluppo di metodiche innovative ed al trasferimento di conoscenze focalizzate sulle problematiche relative al controllo ed alla tutela delle nostre coste.



### 3. IL MONITORAGGIO DELLE ACQUE COSTIERE

#### 3.1. NORMATIVA

I controlli delle acque marine costiere sono regolamentati dai seguenti atti legislativi:

- Direttiva 91/271/CEE, concernente il trattamento delle acque reflue urbane;
- Direttiva 91/676/CEE, concernente la protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole;
- Direttiva 2000/60/CE, concernente l'istituzione di un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque;
- Decisione CE n. 2455 del 20 novembre 2001 concernente l'istituzione di un elenco di sostanze prioritarie in materia di acque (allegato X alla Direttiva 2000/60/CE);
- Legge n. 979 del 31 dicembre 1982 “Disposizioni per la difesa del mare”;
- Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152, recante “Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della Direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole” come modificato e integrato dal Decreto Legislativo 18 agosto 2000, n. 258;
- Decreto 6 novembre 2003, n. 367 “Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose, ai sensi dell'articolo 3, comma 4, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152”;
- Delibera di Giunta Regionale Toscana n. 225 del 10 marzo 2003 “Acquisizione del quadro conoscitivo relativo alla qualità delle acque superficiali ed a specifica destinazione, ai sensi del D. Lgs. 152/99 e successive modificazioni. Attuazione della Delibera di Giunta Regionale Toscana n. 101/2003 (Direttive all'ARPAT per l'attività negli anni 2003/04/05”.

#### ➤ L. 979/82

La Legge 31 dicembre 1982, n. 979 “Disposizioni per la difesa del mare”, prima norma italiana, in ordine di tempo, che stabilisce criteri e competenze per il monitoraggio ed il controllo del mare, è indirizzata ad un controllo ambientale più ampio ed ha tra i principali obiettivi quello di:

- attivare programmi di monitoraggio marino,
- predisporre piani di pronto intervento contro gli inquinamenti da idrocarburi,
- istituire riserve marine.

Il Ministero dell'Ambiente ha proprio per questo stipulato, a partire dal 1997, con le regioni marittime italiane specifiche convenzioni triennali al fine di dare attuazione ai programmi di monitoraggio in mare previsti dalla Legge citata.

#### ➤ D.LGS 152/99 E D.LGS 258/00

Il Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152 “Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezio-

ne delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole", modificato dal D.Lgs 18 agosto 2000, n. 258, inserendosi sull'impianto normativo senza abrogarlo, ma rinnovando ed integrando, richiama i nuovi concetti di tutela della qualità delle acque costiere e di ecosistemi marini attraverso l'adozione e lo sviluppo di nuovi metodi per l'identificazione delle sorgenti di inquinamento e la conoscenza delle cause e del degrado dello stesso, nelle sue diverse manifestazioni.

Uno degli elementi di novità introdotti è il concetto di una politica ambientale volta al perseguimento e/o al mantenimento di prefissati obiettivi di qualità dell'ambiente marino costiero, in accordo con gli attuali orientamenti comunitari.

Il criterio nuovo – contenuto nella normativa attuale – che chiarisce e informa la natura stessa del monitoraggio delle acque in genere, e quindi anche del mare costiero, è chiaramente evidente nell'introduzione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici superficiali, che per le acque marine costiere, è definito sulla base di:

- *stato chimico*, che deve essere definito in base alla presenza di sostanze chimiche pericolose nei sedimenti e negli organismi bioaccumulatori (*molluschi bivalvi*);
- *stato ecologico*, che deve essere definito sulla base dello stato trofico, che corrisponde all'applicazione dell'indice TRIX, dello stato chimico e delle caratteristiche delle biocenosi (prateria di *Posidonia oceanica*, coralligeno, comunità dei fondi mobili, ecc.) e tramite l'uso di altri indici biologici.

Soprattutto innovativa è stata l'introduzione dell'indice trofico TRIX ai fini della classificazione delle acque marine costiere (allegato 1 D.Lgs. 152/99) che permette di esplicitare la dinamica e le distribuzioni spazio-temporali dei parametri fondamentali di uno stato trofico (indicatori trofici).

➤ *La direttiva europea 2000/60/CE*

A Dicembre del 2000 è entrata in vigore la Direttiva Quadro sulle Acque (WFD = Water Framework Directive), una legislazione innovativa nella politica comunitaria sulle acque, che affronta i problemi della salvaguardia e tutela delle acque considerando gli ambienti acquatici nella loro complessità e definendo degli obiettivi di qualità ambientale da raggiungere per tutti i corpi idrici.

Mediante un processo graduale di analisi, monitoraggi e studi mirati, tutti gli Stati Membri (SM) devono classificare adeguatamente lo stato di qualità ambientale delle proprie acque superficiali e conseguire infine uno "stato buono" dei diversi corpi idrici entro 15 anni dall'entrata in vigore della Direttiva stessa. Nell'immediato, entro 3 anni dalla pubblicazione della Direttiva, ovvero entro la fine del 2003, ogni Stato Membro dovrà prendere provvedimenti amministrativi e organizzativi necessari al recepimento della stessa<sup>1</sup>.

In particolare, per l'ambiente marino la direttiva introduce un nuovo sistema di caratterizzazione delle tipologie costiere, con specifici adattamenti per l'ecoregione Mediterranea, ed una classificazione delle acque, basata in primo luogo sugli elementi

<sup>1</sup> L'Italia è, attualmente, in una situazione di inadempienza, non avendo ancora recepito formalmente la Direttiva in toto,

ma solo alcuni aspetti specifici.

biologici (*fitoplancton*, *fitobenthos* e *macroinvertebrati bentonici*), con gli altri fattori (idromorfologici, chimici e fisico-chimici) da usare a sostegno dei primi. In questo senso, quindi, oltre ad introdurre nuovi parametri obbligatori rispetto alla normativa italiana, ne capovolge, di fatto, le priorità, ponendo quelli biologici come fondamentali, mentre, attualmente, è il solo indice trofico TRIX ad essere utilizzato in Italia per la classificazione. Inoltre, al centro del sistema di classificazione vi sono le condizioni del corpo idrico di riferimento, individuato per ciascuna tipologia costiera. Queste condizioni devono riflettere, quanto più possibile, situazioni naturali indisturbate ovvero di impatto antropico nullo o trascurabile rispetto alle caratteristiche naturali. La Direttiva, però, non fornisce alcuna indicazione specifica per la classificazione: gli Stati Membri dovranno mettere a punto sistemi di classificazione adeguati per le proprie acque.

Vista l'articolazione e complessità della Direttiva e le implicazioni tecniche e scientifiche che derivano da una sua applicazione corretta e uniforme fra tutti gli SM, la Commissione europea, ha stabilito nel maggio 2001, una "Strategia Comune di Implementazione" (CIS = Common Strategy Implementation), con l'obiettivo di creare delle linee metodologiche comuni ai vari paesi per l'interpretazione ed applicazione della Direttiva. A tal fine sono stati quindi istituiti dei Gruppi di Lavoro (Working Groups WGs), costituiti da esperti designati dai vari paesi, per sviluppare delle linee guida

("Guidance"), legalmente non vincolanti, su diversi aspetti tecnici della Direttiva.

Per gli aspetti legati alle acque marine il gruppo di lavoro più rilevante è il WG COAST, al quale hanno partecipato esperti dei vari paesi, appartenenti a Istituzioni/Organizzazioni nazionali competenti, e, per l'Italia, la Direzione per la Qualità della Vita del Ministero dell'Ambiente (responsabile per l'Italia della Direttiva), l'APAT e l'ICRAM. Questo Gruppo di Lavoro, di recente, ha prodotto le linee guida<sup>1</sup> per le acque costiere e di transizione, per i lo "Sviluppo delle Tipologie", la "Descrizione delle Condizioni di Riferimento" e lo "Sviluppo di Sistemi di classificazione". Tali linee guida, attualmente, sono al vaglio di tutti gli Stati Membri per una loro validazione e verifica, ma contengono già utili indicazioni circa i principali elementi biologici ed alcuni indicatori da poter utilizzare per la classificazione.

### 3.2. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il programma di monitoraggio della Regione Toscana, realizzato in convenzione con il Ministero dell'Ambiente ed affidato all'ARPAT, ha avuto inizio con il primo triennio dal maggio 1997 al dicembre 2000.

#### 3.2.1. IL TRIENNIO 1997-2000

ARPAT ha iniziato il monitoraggio delle acque marino costiere nel maggio del 1997

<sup>1</sup> Il documento finale "Guidance on Typology, Reference Conditions and Classification Systems for Transitional and Coastal Waters" è disponibile, al momento solo in lingua

inglese, su internet, con accesso pubblico, al seguente indirizzo: <http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/wfd/library>.

nell'ambito della prima convenzione triennale con la Regione Toscana relativa alla Legge 979/82. Il piano di monitoraggio svolto nell'ambito di questa convenzione, poneva sotto controllo la costa regionale continentale e dell'Isola d'Elba, con esclusione delle sole isole minori, per una lunghezza di circa 400 km, prevedendo un totale di circa 180 stazioni, diverse per frequenza e matrici di campionamento, in base agli obiettivi stabiliti dal programma nazionale:

- conoscenza dello stato degli ecosistemi marini: 40 transetti, con 3 stazioni su ciascuno (500 m, 1000 m, 3000 m<sup>1</sup> dalla linea di costa), disposti a circa 10 km di distanza l'uno dall'altro;
- controllo dell'eutrofizzazione: 23 transet-

ti, con 2 stazioni su ciascuno (500 m, 3000 m dalla linea di costa), a distanza reciproca non superiore ai 20 km;

- monitoraggio dei molluschi bivalvi in qualità di bioaccumulatori: 14 stazioni, localizzate nelle zone più critiche (foci di fiumi, prossimità di porti, zone industriali costiere ecc.) ed in numero di circa 4 ogni 100 km di costa.

I prelievi, per il monitoraggio dell'eutrofizzazione, venivano eseguiti bimensilmente nel periodo giugno-settembre e mensilmente nel periodo ottobre-maggio per un totale di 16 ogni anno su ognuna delle tre stazioni previste per ogni transetto individuato; mentre per il monitoraggio degli ecosistemi marini e dei bivalvi la frequenza era stagionale.

**Figura 5**  
Stazioni di monitoraggio delle acque marine costiere della Toscana nel periodo 1997-2000 (a sinistra) ed a partire dal giugno 2001 (a destra).



<sup>1</sup> Nei casi in cui alla distanza di 3000 m corrispondeva una profondità superiore ai 50 m, la stazione più al largo è stata

avvicinata alla costa fino a trovare i 50 m di profondità.

### 3.2.2. IL SECONDO PERIODO 2001-04

Il nuovo programma triennale, che va ad integrarsi con il monitoraggio previsto dal D.Lgs 152/99, con inizio nel giugno 2001 e termine previsto nel giugno 2004 (di recente prorogato al 31 dicembre 2004) ha comportato una radicale revisione di tutto il sistema di controllo, sia per quanto riguarda le stazioni da sottoporre a monitoraggio, sia per frequenze di campionamento, matrici e parametri da determinare.

L'individuazione dei transetti e delle stazioni non è, quindi, avvenuta sulla base di un semplice criterio chilometrico, ma all'interno di opportune aree critiche e aree di riferimento definite lungo la costa regionale, nelle quali, oltre alle acque (dove viene

indagato anche lo zooplancton) ed ai molluschi bivalvi bioaccumulatori, sono presi in esame i sedimenti, anche mediante indagini ecotossicologiche, nonché lo stato delle biocenosi bentoniche, in particolare le praterie di fanerogame, il coralligeno, le biocenosi dei fondi mobili.

Le aree, critiche e di riferimento, sono state individuate, di comune accordo tra Regione, ARPAT e Ministero dell' Ambiente, fondamentalmente sulla base dei risultati del precedente monitoraggio, relativo a tre fattori:

- presenza di sostanze chimiche pericolose negli organismi bivalvi;
- stato trofico, che corrisponde all'applicazione dell'indice TRIX;
- individuazione di biocenosi di pregio.

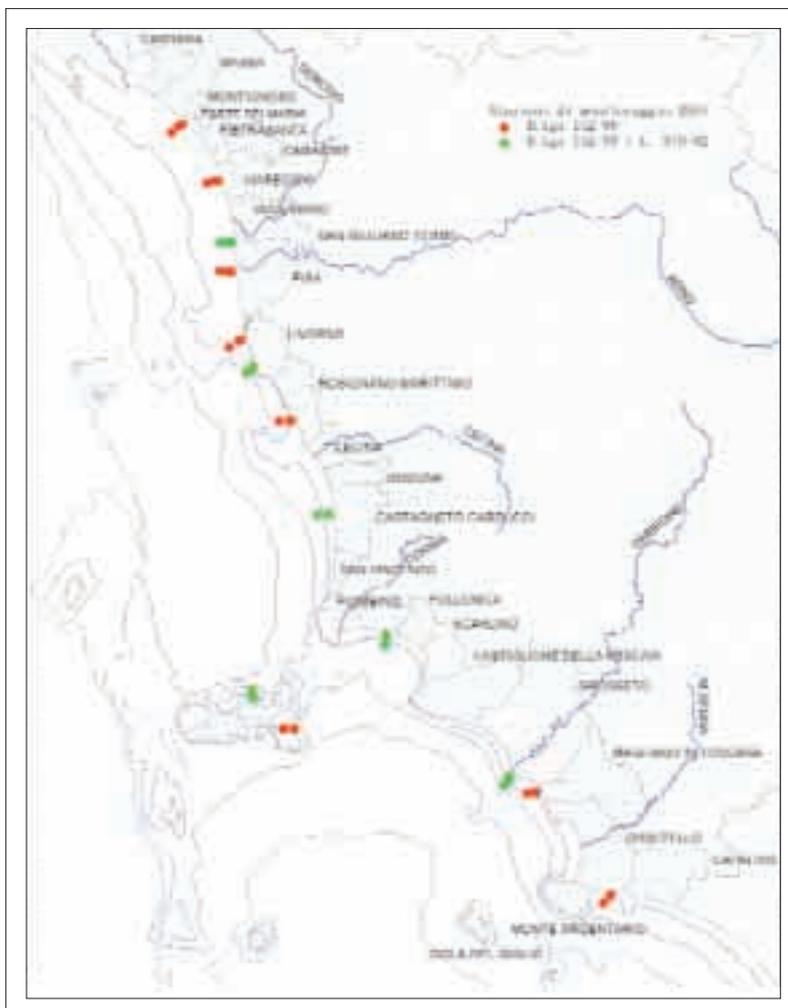


Figura 6  
Stazioni di monitoraggio delle acque marine costiere della Toscana nel periodo 1997-2000 (a sinistra) ed a partire dal giugno 2001 (a destra).

Lungo la costa toscana sono state individuate 14 aree di indagine, 12 critiche e 2 di riferimento (tra parentesi è indicato la denominazione utilizzata per le stazioni di prelievo):

1. Area del Cinquale (Cinquale);
2. Area antistante il porto di Viareggio (Nettuno);
3. Area compresa tra il fiume Serchio e il fiume Arno (Fiume Morto);
4. Area antistante la foce del fiume Arno (Foce Arno);
5. Area portuale di Livorno (Livorno);
6. Area compresa tra il porto di Livorno e Rosignano Marittimo (Antignano);
7. Area interessata dallo scarico Solvay a Rosignano (Rosignano Lillatro);
8. Area compresa tra Cecina e San Vincenzo (Marina di Castagneto Carducci);
9. Area compresa tra il porto di Piombino e il porto di Fiumara (Carbonifera);
10. Area antistante Punta Ala<sup>1</sup>, area di riferimento (Punta Ala);
11. Area antistante la foce del fiume Ombrone (Foce Ombrone);
12. Area marina adiacente la laguna di Orbetello, lato sud (Ansedonia);
13. Area del golfo di Mola all'Isola d'Elba (Mola);
14. Isola d'Elba, costa nord, area di riferimento (Elba Nord);

La Figura 6 evidenzia le aree in questione, differenziando tra quelle previste ai sensi del D.Lgs. n. 152/99 e della Legge n. 979/82, facenti parte della rete di monitoraggio nazionale (in verde) e quelle previste solo dal D.Lgs. n. 152/99, di competenza esclusivamente regionale (in rosso). All'interno di ognuna delle aree sono stati tracciati i transet-

ti, lungo i quali sono state identificate le stazioni da utilizzare per il monitoraggio (tre per ciascun transetto).

I prelievi delle acque sono previsti bimensilmente per tutti i mesi per un totale di 24 ogni anno su ognuna delle tre stazioni previste per ogni transetto individuato, mentre le biocenosi sono campionate annualmente ed i sedimenti ed i bivalvi semestralmente.

### 3.2.3. I PROSSIMI OBIETTIVI PER IL MONITORAGGIO

Il 31 dicembre 2004 scadrà la Convenzione tra Regione e Ministero dell'Ambiente per il "Programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino costiero prospiciente la Regione" ai sensi dell'articolo 3 della Legge 979/82, che la Regione ha affidato all'ARPAT. Questa convenzione è stata prorogata di recente (da giugno a dicembre, appunto), per consentire a tutte le Regioni di portare a termine l'ultimo anno completo di monitoraggio.

Inoltre, sempre nel 2004, con un ritardo di quasi un anno sulla scadenza europea, l'Italia dovrà recepire formalmente la Direttiva Quadro sulle acque (2000/60/CE), adattando la normativa nazionale vigente. Questa Direttiva, tra l'altro, si pone su un piano ancora più avanzato rispetto all'attuale monitoraggio marino (ex D.Lgs. 152/99), introducendo parametri ed approcci innovativi, sempre più basati sull'analisi delle componenti biologiche e su una conoscenza approfondita degli ecosistemi e dei fattori esterni.

<sup>1</sup> Quest'area (Punta Ala) ha sostituito nel corso del 2002 la precedente area di controllo antistante il Parco della

Maremma (Cala di Forno).

Entrambe queste attività, sia la predisposizione dei nuovi programmi di monitoraggio che il recepimento ed implementazione della WFD, sono attualmente oggetto di riunioni tra esperti del Ministero dell'Ambiente, dell'APAT, dell'ICRAM e delle Università e, entro pochi mesi, dovrebbero uscire indicazioni utili per il futuro. Queste stesse indicazioni dovranno, necessariamente, essere portate al confronto con le Regioni e le Agenzie, per essere opportunamente integrate e validate.

L'Area "Mare", che per ARPAT si è da sempre occupata del controllo delle acque e delle risorse marine, seguendo anche le direttive dettate dalla Regione in adeguamento di normative regionali, nazionali e comunitarie, in questi anni ha maturato un elevato grado di conoscenze e di competenze professionali, potendo acquisire un cospicuo numero di informazioni diversificate sulle varie matrici ed ambienti marini. Ciò consente una prima valutazione complessiva della situazione ambientale delle acque costiere toscane ed una verifica dell'attuale sistema di controllo e monitoraggio di questi ambienti, verso un sicuro miglioramento delle attività e l'ottimizzazione nell'uso delle risorse.

Sono stati, già, individuati i settori dove concentrare l'attenzione e gli sforzi, sia perché non del tutto sviluppati negli ultimi programmi (biocenosi bentoniche) o perché affrontati con competenze e conoscenze di base (sedimenti) o, infine, perché del tutto innovativi (indici biologici). Logicamente, su alcuni di questi aspetti dovrà essere avviata una sperimentazione, anche in collaborazione con le principali istituzioni di ricerca (università, CNR, ecc.), ma ancora più importante sarà poter disporre di una base informativa standardizzata ed elaborabile in modo rapido ed efficace.

Infatti, se da una parte l'Agenzia ha tra i suoi compiti e responsabilità la creazione e la gestione del Sistema Informativo Regionale per l'Ambiente (SIRA), dall'altra è chiaro come il quadro normativo in continuo mutamento e le nuove esigenze di conoscenza e di valutazione ambientale configurino necessità e risposte sempre più impellenti ed aggiornate da parte dei sistemi informativi. A questo si aggiunge una specificità, in molti casi, dei fattori e delle problematiche attinenti all'ambiente marino, che non permettono una facile e sempre valida relazione con gli altri aspetti di gestione delle risorse idriche.

Inoltre, ai fini di un adeguamento verso i criteri della WFD, l'intero sistema di monitoraggio deve essere rivisitato, focalizzandolo sui corpi idrici di riferimento, che rappresentano un punto centrale nella definizione dei livelli di qualità ambientale e, di conseguenza, nella realizzazione dei piani di tutela. Altrettanto importante è la possibilità di essere inseriti tra i siti di intercalibrazione a livello europeo (ecoregione Mediterranea) per la verifica della WFD: attualmente ben 3 zone della Toscana (siamo la regione più rappresentata) sono state proposte da APAT in questo elenco, Antignano, Castagneto Carducci e Carbonifera, per le quali dovranno essere rese disponibili molte più informazioni delle attuali.

### **3.3. UN APPLICATIVO GIS PER IL MONITORAGGIO MARINO COSTIERO**

La mole di dati prodotta dall'attività di monitoraggio è molto elevata (circa 90.000 valori per anno) e ciò è dovuto all'estensione geografica dell'area di indagine (400 km

di costa regionale della Toscana), al numero delle stazioni di misura, alla frequenza delle campagne, al numero dei parametri acquisiti in automatico (sonda multiparametrica) ed analizzati in laboratorio (160 parametri), ai campioni prelevati (circa 700 campioni d'acqua, 20 di sedimenti e 60 di biota).

Questi dati costituiscono la base del sistema di controlli ambientali, da cui scaturiscono quelle informazioni e conoscenze che possono condurre verso scelte politiche adeguate per un'efficace programmazione territoriale. L'elaborazione di tali dati richiede il supporto di un adeguato strumento software di tipo GIS in grado di effettuare un'elaborazione del dato ambientale, funzione sia della sua parte descrittiva quanto di quella geografica. Un software di questo tipo è stato sviluppato in collaborazione tra Area "Mare" di ARPAT e l'Istituto di Scienze e Tecnologie dell'Informazione (ISTI) del CNR di Pisa, utilizzando un database contenente i dati dell'attività di monitoraggio marino costiero a partire dal maggio 1997.

Questo strumento, in modo agevole e semplice, consente alcune funzioni di immediato interesse ed utilizzo nelle attività di monitoraggio e gestione della fascia costiera, quali:

- interrogare interattivamente i dati presenti nel database, mediante successive selezioni singole e/o multiple di una serie di alternative all'attività di monitoraggio marino (ad es. convenzione, monitoraggio, matrice, campagna, area di indagine, distanza dalla costa, stazione, profondità e parametro);
- visualizzare e stampare grafici 2D e 3D, relativamente alla variazione di vari parametri ambientali verificatasi nel tempo o nello spazio (profondità, distanza dalla

costa), anche in modo comparato (più parametri contemporaneamente);

- elaborare strati informativi geografici (per produrre mappe tematiche, istogrammi, torte) con rappresentazione dei parametri selezionati e/o delle medie degli stessi calcolate su più campagne di misura;
- calcolare e rappresentare geograficamente indici di qualità ambientale: indice trofico (TRIX), indice di torbidità (TRBIX), classificazione delle acque marine (CAM) e fattore di diluizione (F%);
- integrare gli strati informativi, ottenuti dall'elaborazione dei dati (es. indice trofico TRIX), con altri strati informativi provenienti da altri settori di indagine (es. Indice di Qualità Batteriologica IQB), così da favorire un'analisi multidisciplinare dello stato dell'ambiente marino;
- esportare i risultati ottenuti dalla selezione.

Si forniscono di seguito alcuni sintetici esempi applicativi che evidenziano le potenzialità dello strumento informatico sviluppato:

a) *Grafico di più parametri ambientali in funzione della profondità*: utile per un'analisi preliminare dei dati, permette di visualizzare con immediatezza la variazione dei parametri, selezionati lungo la colonna d'acqua, in una prefissata stazione di misura (Figura 7).

b) *Grafico di un parametro in funzione del tempo e della profondità*: consente di apprezzare, attraverso isolinee, la variazione durante un determinato arco temporale nella colonna d'acqua (Figura 8).

c) *Grafico della variazione di un parametro ambientale in una determinata stazione e ad una prefissata profondità in funzione del tempo*: consente di analizzare più in dettaglio le situazioni locali (Figura 9).

Grafico dei parametri selezionati durante la campagna  
07a 01/07/2002-01/07/2002  
nella stazione WFA30 ae tutte le profondità dei campionamenti

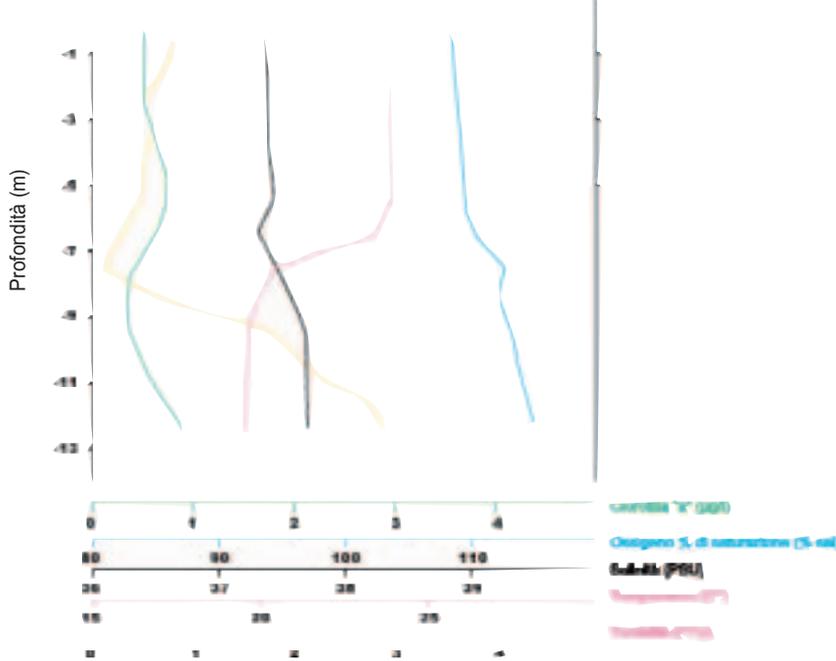


Figura 7  
Grafico di più parametri  
in funzione della profondità.

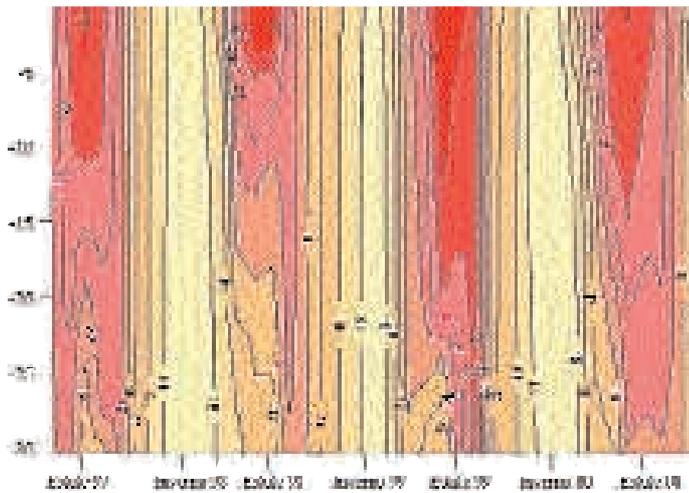


Figura 8  
Distribuzione della  
temperatura in funzione  
dell'arco temporale  
e della profondità.

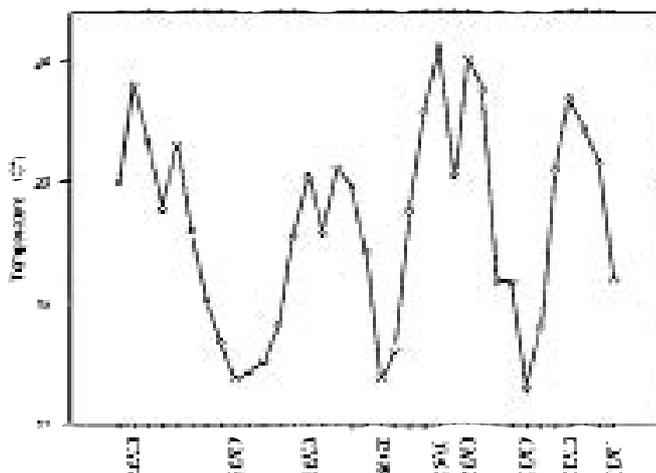


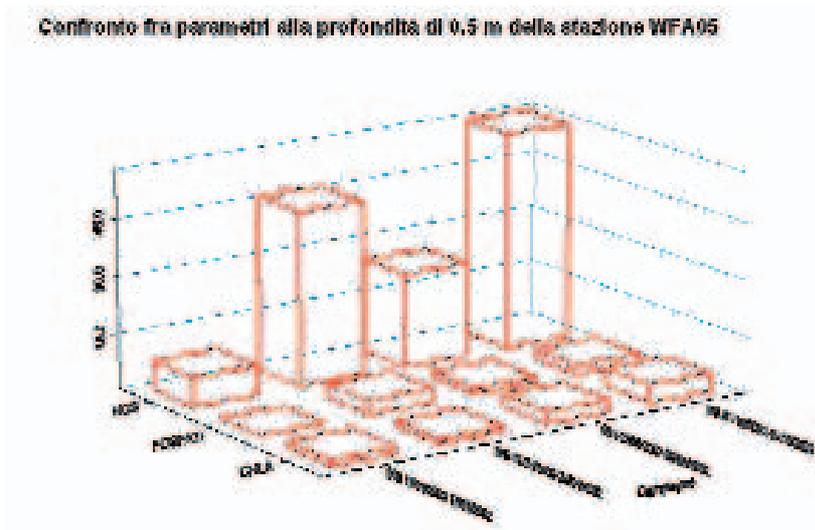
Figura 9  
Variazione della  
temperatura in una  
determinata stazione  
e ad una prefissata  
profondità in funzione  
dell'arco temporale.

d) *Grafico tridimensionale con rappresentazione della variazione, in una prefissata stazione, di più parametri relativi a più campagne selezionate*: consente di apprezzare per una stazione di interesse, attraverso istogrammi disposti su spazio tridimensionale,

la variazione di più parametri durante un determinato arco temporale a una profondità selezionata (Figura 10).

e) *Rappresentazione delle medie di più parametri ambientali*: calcolate in un determinato arco temporale e visualizzate sotto

Figura 10  
Rappresentazione della variazione di più parametri in più campagne selezionate.



forma di istogrammi o torte, si ottengono dalla selezione di più parametri ad una determinata profondità, nelle stazioni di interesse e nell'ambito di più campagne di misura. La rappresentazione consente di

avere l'informazione geografica della distribuzione delle stazioni, con i valori medi sull'arco temporale dei parametri considerati e rappresentati da istogrammi o torte (Figura 11).

Figura 11  
Strato informativo con rappresentazione di istogrammi di più parametri.



f) *Rappresentazione del calcolo dell'indice trofico "TRIX" e sovrapposizione dell'Indice di Qualità Batteriologico IQB*: sono confrontati due indici dell'ambiente marino,

provenienti da due diversi sistemi di monitoraggio, uno relativo alle acque di balneazione e uno alla qualità delle acque marine costiere.

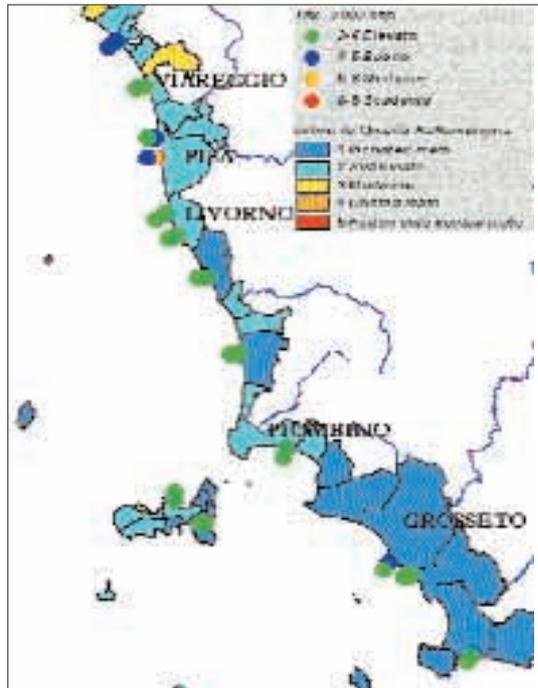


Figura 12  
Rappresentazione dell'indice trofico TRIX e l'Indice di Qualità Batteriologico IQB.

g) *Rappresentazione dell'indice di Classificazione delle Acque Marine "CAM"*: nel sistema è stato implementato anche il calcolo dell'indice CAM per la Classificazione delle Acque Marine.

Nella sua versione attuale, il software GIS sviluppato è predisposto per gestire dati ambientali marini relativi alle coste della Toscana con funzionalità specifiche di rappresentazione e sintesi, legate ai compiti istituzionali dell'ARPAT.

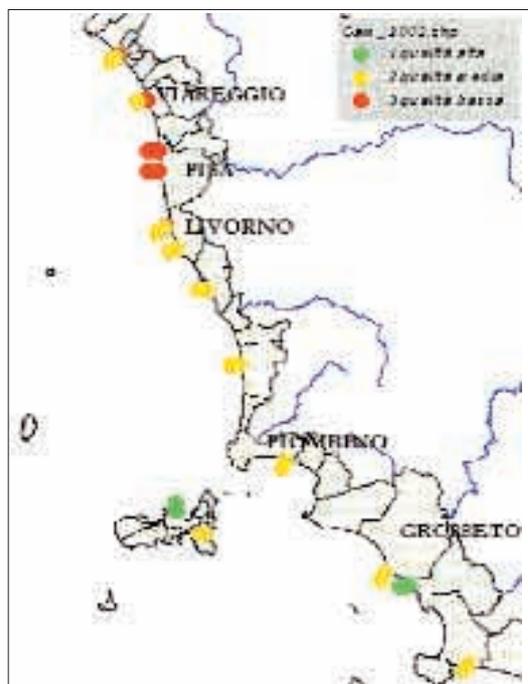


Figura 13  
Rappresentazione dell'indice di Classificazione delle Acque Marine CAM.

In realtà è un sistema *aperto*, in quanto può contenere anche dati di altre zone geografiche e/o acquisibili in campagne future, opportunamente predisposti nel database.

È un sistema *flessibile* in quanto consente di operare sia su dati singoli che aggregati (per campagna, convenzione...), applicando a questi le varie funzionalità appositamente predisposte.

È, infine, un sistema *scalabile*, per la sua naturale struttura ed apposita predisposizione, che consente l'aggiunta di nuove funzionalità ottenute anche mediante l'implementazione di nuovi algoritmi (ad es. calcolo di nuovi indici) da sperimentare o valutare in modo comparativo.

Il sistema sviluppato, si dimostra uno strumento di lavoro essenziale per l'organizzazione, il reperimento, la sintesi e la rappresentazione grafica dei dati finalizzata allo studio degli indicatori biologici e degli indici di qualità ambientale. Le rappresentazioni ottenute costituiscono un consistente punto di partenza per uno studio più approfondito e multidisciplinare, focalizzato ad una maggiore conoscenza dello stato di qualità dell'ambiente marino ed alla sua gestione. L'applicativo presentato, consentendo un rapido calcolo degli indici di qualità ambientale (TRIX, CAM, TRBIX, Fattore di diluizione), permette, dunque, di ottenere analisi di sintesi dei parametri ambientali monitorati.

### **3.4. L'IMPEGNO NELLE ATTIVITÀ SUBACQUEE DI MONITORAGGIO**

Il campionamento costituisce la prima fase di ogni procedimento di analisi e la sua corretta esecuzione è di fondamentale importanza per lo sviluppo dell'intero pro-

cesso. Questo è sicuramente un momento piuttosto complesso e delicato, poiché può condizionare definitivamente i risultati di tutti i punti successivi vanificando gli sforzi analitici e rendendoli assolutamente inaccettabili.

L'obiettivo principale e fondamentale della fase di campionamento è la produzione di un'aliquota di matrice, rappresentata sia da numeri sia da materiale vero e proprio, destinata alle analisi e che deve necessariamente essere rappresentativa. È essenziale rilevare che, come spesso succede, la matrice da campionare è eterogenea e in continuo dinamismo, questo rende necessaria un'adeguata attenzione alle fasi di prelievo e una cura particolare alle metodiche da utilizzare.

Il progresso tecnologico e l'attenzione sempre maggiore rivolta alla protezione dell'ambiente marino, ha permesso uno sviluppo dei metodi di campionamento che rispondessero alle nuove esigenze: le sonde multiparametriche, il Side Scan Sonar (SSS), il R.O.V. e tutte le nuove tecniche di indagine subacquea hanno permesso una conoscenza sempre più approfondita dell'idrosfera.

Secondo il manuale di bionomia bentica mediterranea, però, esiste una distinzione tra le varie tecniche di indagine e prelievo: metodologie di prelievo senza osservazione (draghe e benne); indagini visuali senza possibilità di prelievo (R.O.V. minisommergibili); tecniche visuali con possibilità di prelievo, cioè l'immersione subacquea. Quest'ultima, a differenza delle altre, può contemporaneamente effettuare prelievi e fare rilevamenti mentre le prime due tecniche, benché insostituibili devono essere considerate tra loro complementari.



Figura 14  
Esempi di campionamenti  
con A.R.A.

Nel corso degli anni è stata evidente l'utilità di avere una squadra di subacquei a bordo del battello oceanografico, sia per motivi di sicurezza in mare sia, soprattutto, per le attività che l'Agenzia deve svolgere, tra le quali possiamo ricordare:

- il monitoraggio delle biocenosi bentoniche (D.Lgs. 152/99);
- le ispezioni per le procedure di dragaggio;
- le ispezioni su condotte a mare ed acque portuali;
- verità a mare di strumentazione oceanografica;
- valutazione d'impatto delle attività di prelievo, quali la pesca a strascico e la pesca artigianale (ghost-fishing);
- valutazione d'impatto delle attività di acquacoltura off-shore sulle biocenosi sottostanti le strutture allevative.

ARPAT ha, così, creato una squadra di subacquei addestrati a queste particolari attività, avvalendosi, nel proprio organico, di operatori tecnici subacquei, regolarmente iscritti nelle Capitanerie di Porto, tra i quali un biologo sommozzatore abilitato alle immersioni in ambito portuale. Il personale subacqueo, con un addestramento continuo, ha preso confidenza con le diverse attrezzature (palloni di sollevamento, maschere gran facciale, comunicatori subacquei, telecamere subacquee, macchine fotografiche, mute stagne, ecc.) ed è stata effettuata un'attenta e specifica "analisi dei rischi delle attività subacquee", con un'attenzione particolare ai corsi di aggiornamento, alla sicurezza ed alle visite mediche specialistiche. Questo modo di operare ha permesso all'ARPAT di



Figura 15  
Indagini sulle praterie  
a Posidonia oceanica  
e su fondi duri.

non delegare il lavoro a subacquei sportivi, che secondo normativa vigente hanno notevoli restrizioni, né a subacquei professioni-

sti, che spesso non sono in grado di individuare e descrivere gli aspetti salienti dell'area studiata.

Figura 16  
Uso di palloni  
da sollevamento e lavori in  
ambito portuale.





## 4. I PRINCIPALI ELEMENTI DI CONOSCENZA SUGLI ECOSISTEMI COSTIERI TOSCANI

### 4.1. ANALISI PRELIMINARE DI ALCUNI PARAMETRI FISICO-CHIMICI

Come già detto (par. 3.2.1.), i piani di monitoraggio nei due periodi considerati (maggio 1997-dicembre 2000 e giugno 2001-giugno 2004) hanno evidenti differenze, in relazione a numero e posizionamento delle stazioni di misura e frequenza delle indagini:

- nel primo periodo le stazioni di indagine sono in numero molto elevato, in totale 120 stazioni su 40 transetti con 3 stazioni per transetto; la frequenza è stagionale su tutte le stazioni e su un numero più limitato (46) la frequenza è quindicinale da giugno a settembre e mensile per il resto dell'anno;
- nel secondo periodo le stazioni di indagine sono 42, distribuite su 14 transetti; la frequenza è quindicinale per i 6 transetti della Legge 979/82 (18 stazioni), stagionale per i restanti 8 del D.Lgs. 152/99 (24 stazioni), quindicinale da giugno a settembre nei transetti di quest'ultimo gruppo in cui l'indice *TRIX* risulta "scarso".

Pertanto, per poter rappresentare l'andamento delle singole variabili mediato lungo la costa regionale nell'intero arco temporale

di sette anni, sono state identificate 11 aree in cui sono disponibili i dati sia nel primo che nel secondo periodo di attività:

1. Cinquale;
2. Nettuno;
3. Costa del Serchio;
4. Foce Arno;
5. Livorno;
6. Rosignano Solvay;
7. Litorale Castagneto Carducci - San Vincenzo;
8. Porto Azzurro (Isola d'Elba);
9. Golfo di Follonica;
10. Foce Ombrone;
11. Ansedonia.

La strumentazione utilizzata per il rilevamento dei parametri fisico-chimici delle acque marine è un sistema multiparametrico costituito da due sonde, interfacciate tra loro in modo da utilizzare lo stesso cavo per l'alimentazione e la trasmissione dei dati a bordo:

- Sonda multiparametrica (Idronaut mod. Ocean Seven 316) dotata dei sensori per la misura di pressione, temperatura, conducibilità, pH, ossigeno disciolto (in ppm e in % di saturazione), le cui caratteristiche sono riportati nella tabella seguente:

Parametro	Intervallo	Precisione	Risoluzione	Costante di tempo
Pressione	0 / 1500dbar	0.2 % del fondo scala	0.03%	50 ms
Temperatura	-3 / +50°C	0.003°C	0.0005°C	50 ms
Conducibilità	0 / 64 mS/cm	0.003mS/cm	0.001mS/cm	50 ms
Ossigeno	0 / 50 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm	3 s
pH	0 / 14	0.01	0.0001	3 s

- Fluorimetro (Seapoint Chlorophyll Fluorometer, SCF): La lunghezza d'onda di eccitazione è 470 nm CWL e 30 nm FWHM; la lunghezza d'onda di emissione è 685 nm CWL e 30 nm FWHM.; il livello minimo rilevabile è 0.02 mg/L; il range di misurazione va da 0 a 15 mg/L di clorofilla *a* e per questo intervallo la sensibilità dello strumento è di 0.33 V/(mg/L).

#### 4.1.1. TEMPERATURA

L'andamento della temperatura superficiale mensile ottenuta calcolando la media dei valori disponibili nelle 11 aree per un determinato mese fornisce, in maniera sintetica, il comportamento del parametro considerato mediato lungo la costa regionale nell'intero arco temporale di sette anni.

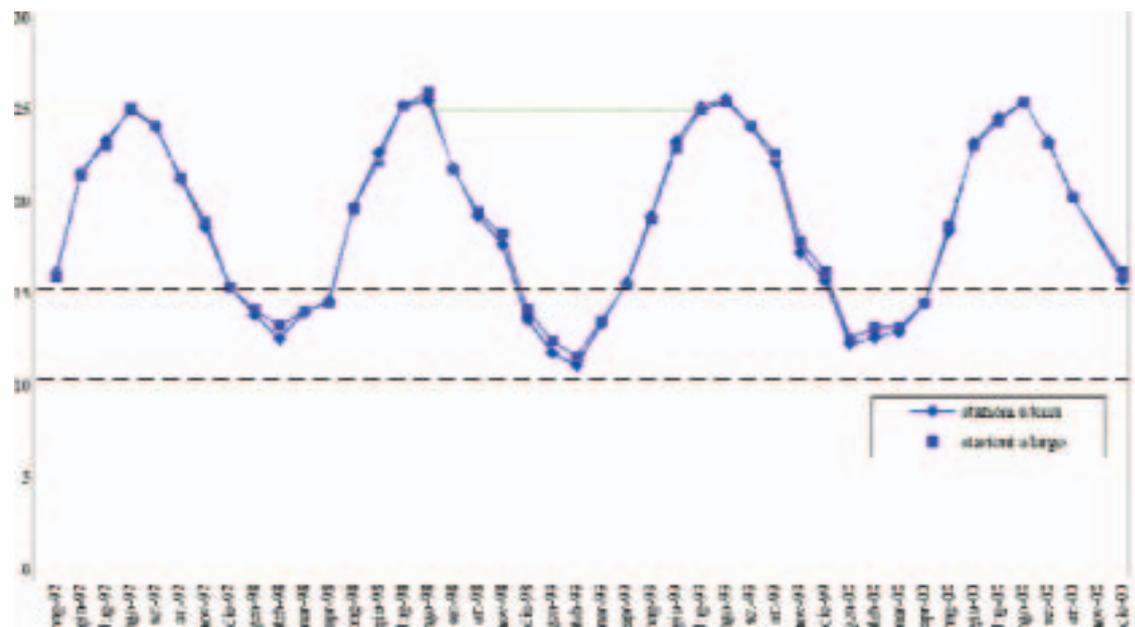
Risulta evidente (Figura 17 e Figura 18) il carattere periodico della variazione annuale della temperatura, con tipico andamento

sinusoidale, in funzione del ciclo stagionale e non si riscontrano differenze di rilievo tra le medie mensili calcolate per le stazioni a terra e quelle a largo.

Le medie mensili più alte di temperatura sono state raggiunte nei mesi di agosto di ogni anno, con valori che superano di poco i 25° C; da queste medie superficiali lungo la costa regionale risulta che nel 2003 si sono registrati i valori più alti con 25,98° in luglio e 26,75° in agosto. Tipicamente, la temperatura superficiale delle acque costiere, dopo i massimi estivi, subisce una brusca caduta con le prime avvisaglie dell'autunno; infatti, osservando i grafici si rileva questo tipo di andamento con una elevata pendenza del grafico da agosto verso settembre.

Le medie mensili più basse di temperatura sono state raggiunte quasi sempre nel mese di febbraio, con valori poco superiori a 12° C; l'inverno più freddo risulta quello del 1998-1999 con la temperatura di 11,12° (stazione a terra) e 11,62° (stazione a largo).

Figura 17  
Medie mensili della temperatura superficiale da maggio 1997 a dicembre 2000 delle stazioni più vicine alla costa e più al largo degli 11 transesti considerati.



Nelle acque costiere diversi fattori, correlati alla tipologia di costa, possono influire sulle temperature superficiali. Diminuzioni

nei valori della temperatura possono essere indotti, nel periodo invernale, dalla presenza di apporti lungo costa di acque dolci che, in

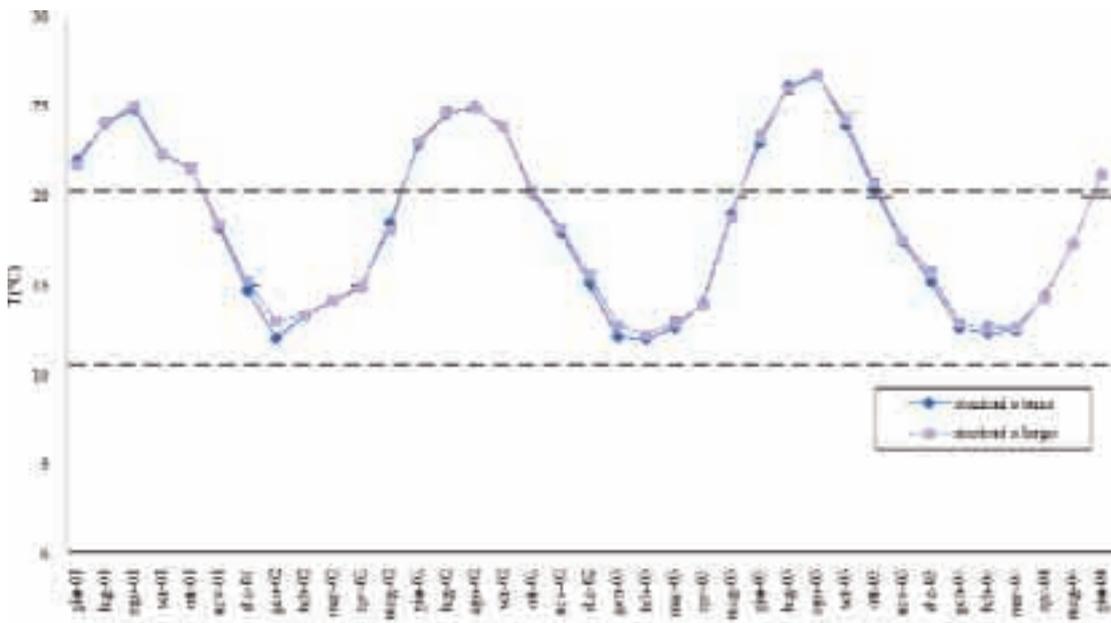


Figura 18  
Medie mensili della temperatura superficiale da giugno 2001 a giugno 2004 delle stazioni più vicine alla costa e più al largo degli 11 transetti considerati.

questo periodo dell'anno, hanno temperature più basse del mare; l'orografia costiera può intensificare la forza del vento (wind-stress) quando questo spira lungo l'asse delle valli provocando fenomeni di "up-welling" di acque profonde più fredde.

Al contrario, valori alti di temperatura possono essere favoriti in acque ad elevata

torbidità, dovuta ad alta densità di biomassa algale fitoplanctonica, che provoca un assorbimento maggiore della radiazione solare da parte della massa d'acqua; questo fenomeno è accentuato in zone con basso fondale dove il rimescolamento verticale della colonna d'acqua è più rapido. A tal proposito, si nota (Figura 19) che le tempe-

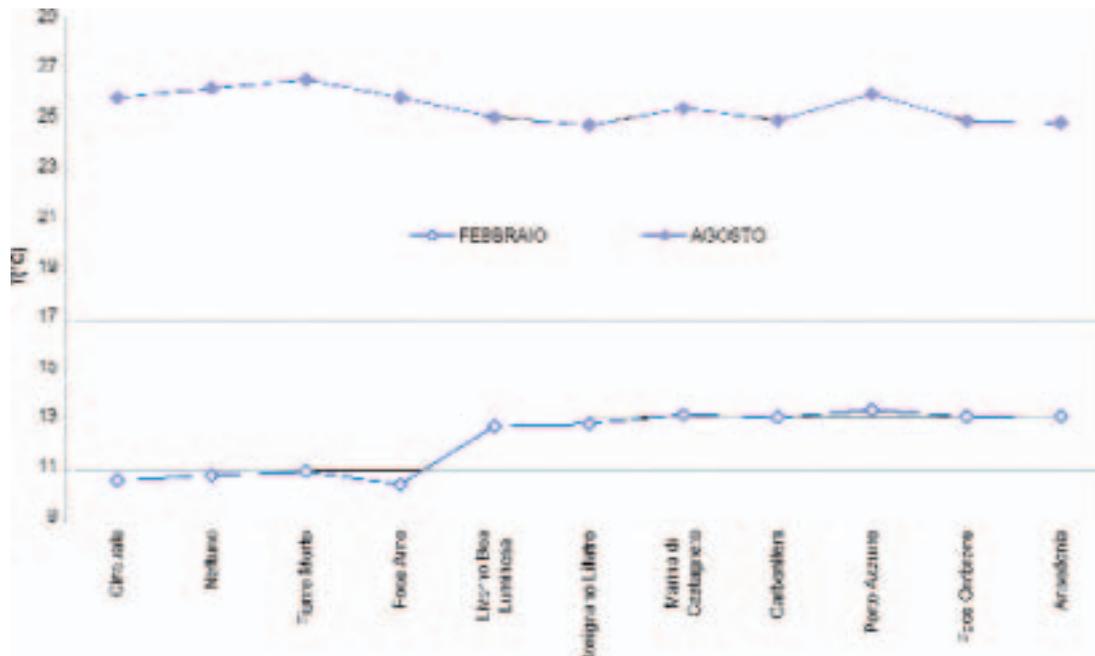


Figura 19  
Medie delle temperature superficiali nei mesi di febbraio e agosto, dal 1997 a giugno 2004, ottenute nelle 11 aree considerate.

rature delle stazioni a nord di Livorno risultano nettamente più basse nel mese di febbraio e più alte nel mese di agosto. Questa

distribuzione delle temperature lungo la costa toscana è da imputare ai fattori sopracitati, poiché, si tratta di dati riferiti ad una

fascia di mare non oltre la distanza di 3000 metri dalla costa; pertanto, quanto osservato non è da mettere in relazione con la circolazione generale del Mediterraneo e, più in particolare, con il flusso di correnti innescato dal gradiente termico esistente tra il bacino ligure e quello del Tirreno meridionale.

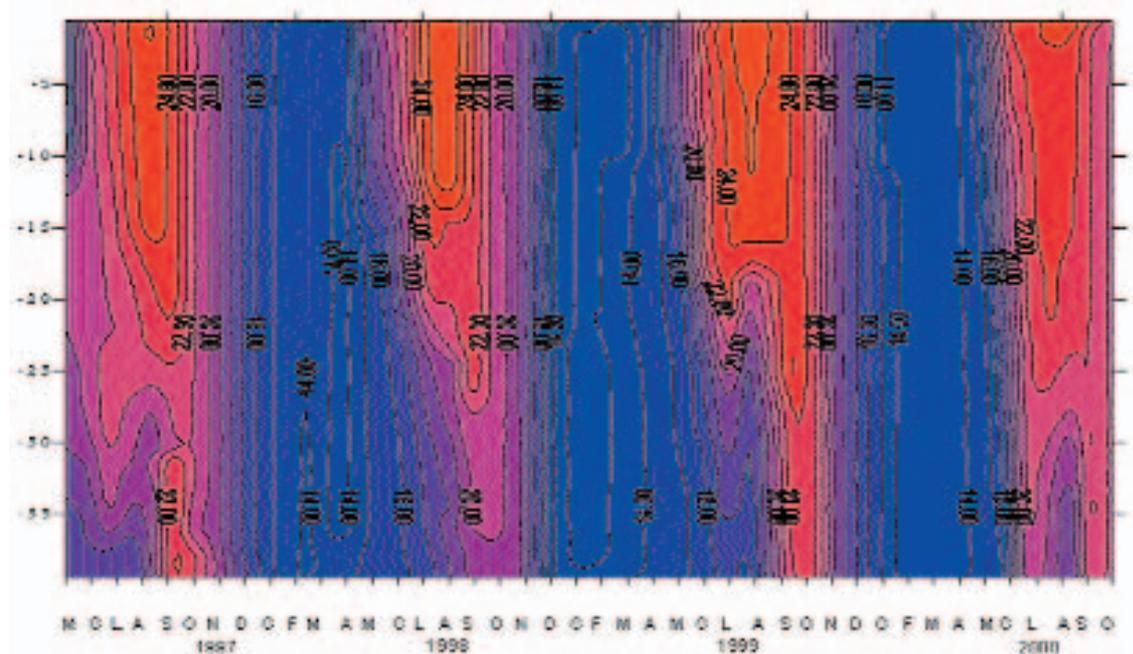
La massa d'acqua del mare riesce ad immagazzinare in modo molto efficiente l'energia solare sotto forma di calore, ma, per poter esaminare questo aspetto è necessario estendere l'analisi della temperatura a tutta la colonna d'acqua.

A tale scopo, tra le stazioni con profondità elevata, prossima ai 50 metri, non potendo disporre di una stessa stazione comune al primo e secondo triennio di misura, sono state individuate due stazioni posizionate entrambe all'Isola d'Elba (Punta Rossa e Capo Bianco), la prima monitorata durante il primo triennio e l'altra nel secondo.

L'analisi dei dati relativi alla temperatura registrata in queste stazioni vuole essere rappresentativa di quello che, generalmente, è accaduto a livello regionale e non descrittivo della specifica località a cui si riferiscono le misure.

Osservando i sette periodi estivi (Figura 20 e Figura 21), è possibile notare che la isoterma dei 22° C ha raggiunto le profondità maggiori nelle estati del 1999 e del 2003; questo conferma che il 2003 è stato caratterizzato da un'estate particolarmente calda, con valori alti di temperatura che, però, hanno interessato particolarmente le acque superficiali. Il 1999 rimane l'anno in cui sono state registrate temperature elevate alle massime profondità e per un maggior periodo di tempo. L'estate del 2000 è caratterizzata dalle minime temperature nello stato superficiale, mentre il 2002 risulta l'anno in cui l'isoterma dei 22° C ha raggiunto la profondità minore.

Figura 20  
Andamento temporale  
delle isolinee  
di temperatura (°C)  
da maggio 1997  
ad ottobre 2000  
in funzione  
della profondità.



Analizzando i profili relativi al mese di giugno (Figura 22), è possibile osservare che le acque superficiali avevano raggiunto

nel 2003 un valore prossimo a 25° C con un termoclino che inizia intorno ai 5 metri di profondità. Nel 1999 la massa d'acqua ha

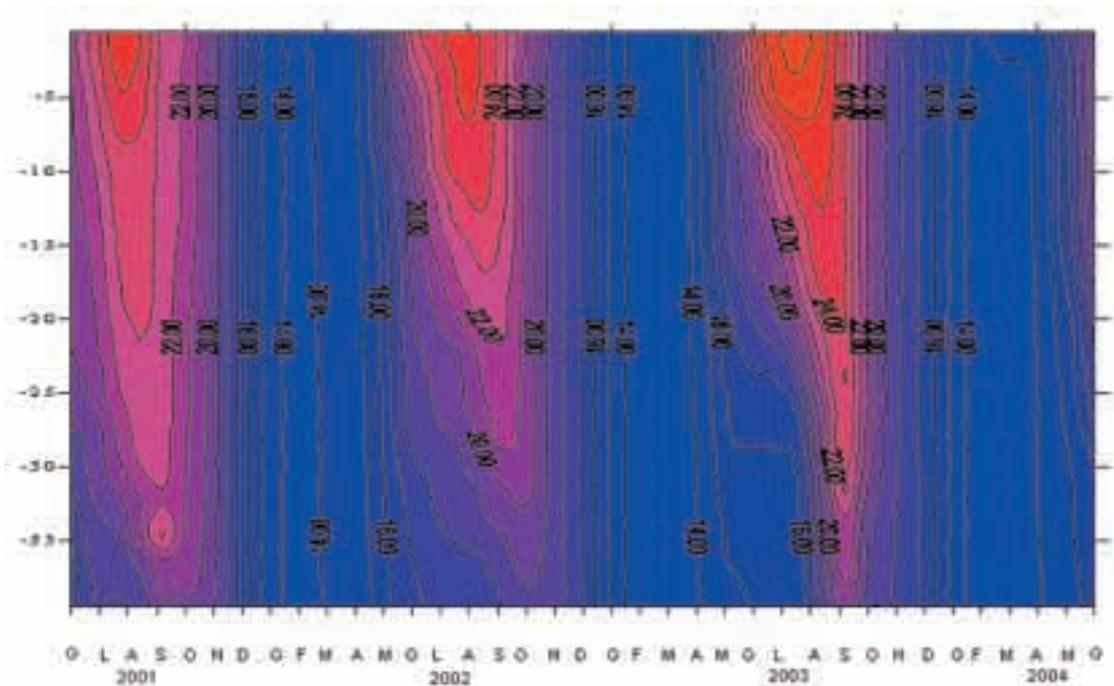


Figura 21  
Andamento temporale  
delle isolinee  
di temperatura (°C)  
da giugno 2001  
a giugno 2004  
in funzione  
della profondità.

già raggiunto un discreto riscaldamento con una temperatura di circa 23° C quasi costante dalla superficie fino a oltre 15 metri; il 2002 e il 1998 sembrano essere gli anni in cui, fino a giugno, la massa d'acqua ha accumulato meno calore. Questi andamenti trovano riscontro nelle caratteristiche meteorologiche dei relativi mesi di quegli anni; infatti, nel 2003, il mese di giugno fu caratterizzato da condizioni stabili del tempo con alti valori di temperatura, così come nel 1999, ma, in questo caso, a fine mese, per instabilità meteorologica

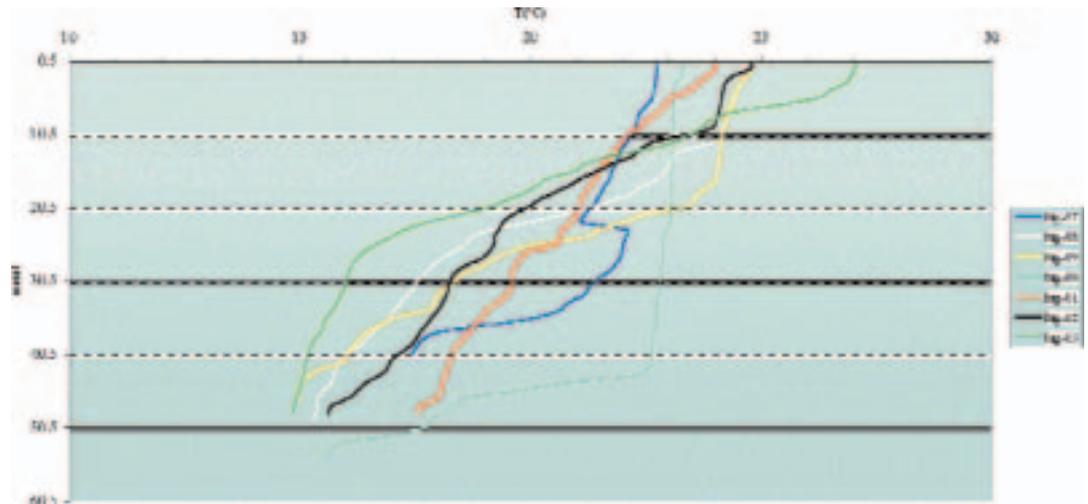
durata circa una settimana, si è avuto il trasferimento di calore accumulato negli strati superficiali verso il basso, con un approfondimento del termocline; nel giugno 2002 le giornate caratterizzate da condizioni meteorologiche tipicamente estive furono veramente poche e solo un sottile strato superficiale del mare risulta in minima parte riscaldato.

Confermando quanto già osservato precedentemente sulla differenza tra le due estati del 1999 e 2003, che risultano le più calde del periodo considerato, nel luglio del 2003



Figura 22  
Profili di temperatura (°C)  
per il mese di giugno  
dal 1997 al 2003  
a Punta Rossa  
e Capo Bianco.

Figura 23  
 Profili di temperatura (°C)  
 per il mese di luglio  
 dal 1997 al 2003  
 a Punta Rossa  
 e Capo Bianco.

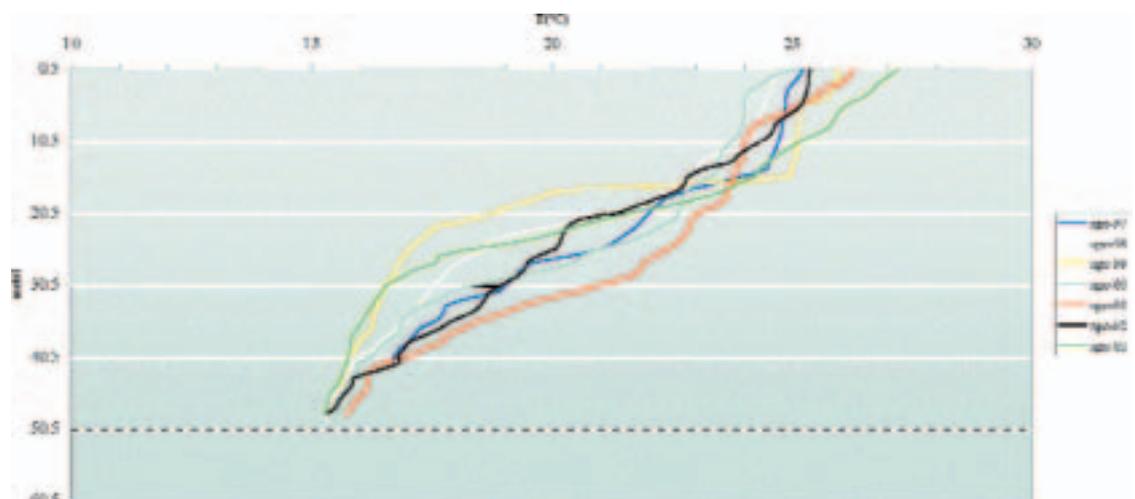


il riscaldamento dello strato superficiale raggiunge temperature elevate, ma confinate ai primi metri. Infatti, si vede (Figura 23) che l'andamento della temperatura nel luglio del 2003 interseca alla profondità di circa 8 metri e alla temperatura di circa 25° C gli andamenti delle temperature negli anni 1998, 1999 e 2002. Con l'aumentare della profondità la temperatura nel 2003 diminuisce verso gli strati profondi, ma, nel 1999 si registrano circa 25° C fino a quasi 20 metri di profondità. Il profilo del grafico relativo al luglio 2000, con uno strato superficiale ben rimescolato e un termocline molto netto, risulta più simile a un andamento tipico del mese di settembre; infatti, in questo mese fino ai primi giorni di agosto, le condizioni meteorologiche sono state perturba-

to in modo anomalo per il periodo stagionale, con frequenti venti settentrionali di forte intensità e mari molto mossi. A livello nazionale, è stato registrato un abbassamento della temperatura dell'aria che certamente non si verifica di frequente in questo mese, con valori, in qualche caso, di 10° inferiori alle medie del periodo.

Nei mesi di agosto si vede (Figura 24) che nel 2003 la massa d'acqua ha continuato ad accumulare calore, anche se, lo scarso rimescolamento dovuto alla stabilità atmosferica, ha determinato valori molto elevati limitatamente ai primi 10 metri di profondità. Nel 1999 si nota che da luglio ad agosto la massa d'acqua si è ulteriormente riscaldata, ma, a differenza del 2003, i meccanismi di trasferimento del calore verso il basso sono

Figura 24  
 Profili di temperatura (°C)  
 per il mese di agosto  
 dal 1997 al 2003  
 a Punta Rossa  
 e Capo Bianco.



più attivi e si registrano temperature superiori a 25° C oltre i 15 metri di profondità. Nel 2000 il termoclino è risalito rispetto al mese precedente, conservando la stessa temperatura dello strato superficiale, tranne nei primissimi metri: la massa d'acqua ha perso calore rispetto al mese di luglio, contrariamente a quanto accade in genere.

Nel mese di settembre si osserva in genere, con la fine delle calme estive e i primi fenomeni di instabilità atmosferica dell'inizio di autunno, un rimescolamento del primo strato sopra il termoclino con un trasferimento agli

strati profondi del calore superficiale immagazzinato nel periodo estivo. Questo determina la presenza di un primo strato con temperatura quasi costante, di qualche grado inferiore alle temperature superficiali del mese di agosto, separato con un termoclino abbastanza netto dallo strato sottostante.

Si può notare (Figura 25) che a settembre del 2003 sono stati registrati circa 25° C fino a 30 metri di profondità e nel 1999, ad oltre 25 metri di profondità, si raggiungono circa 24° C. L'estate del 2003, particolarmente negli strati superficiali, risulta certamente caratte-

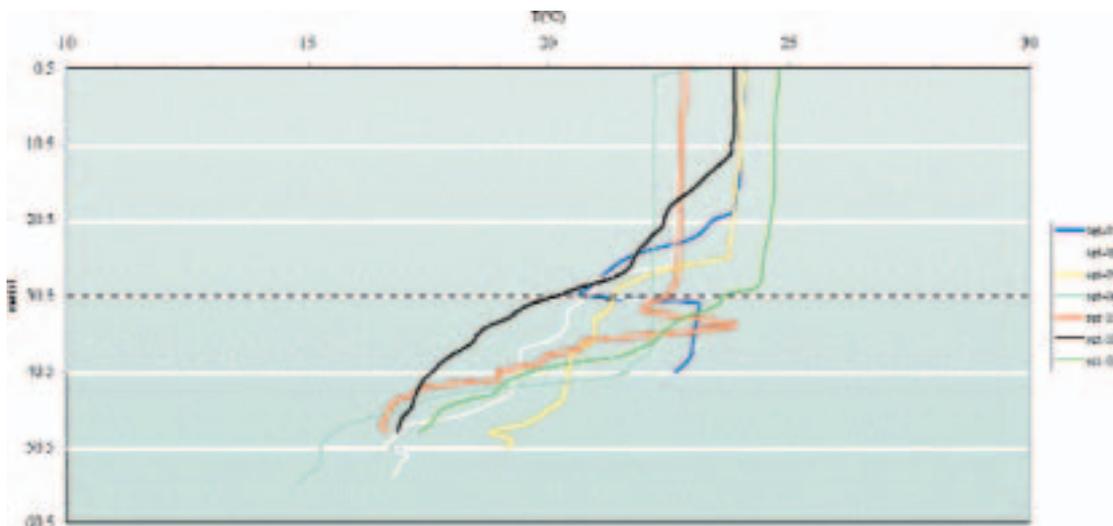


Figura 25  
Profili di temperatura (°C)  
per il mese di settembre  
dal 1997 al 2003  
a Punta Rossa  
e Capo Bianco.

rizzata da temperature più elevate relativamente ai sette periodi stagionali esaminati, ma, l'estate del 1999 è quella in cui sono stati registrati alti valori di temperatura per un lungo periodo ad elevata profondità. Quanto descritto sopra relativamente all'estate del 1999, potrebbe aver causato i danni, documentati in quell'anno, al coralligeno e in particolare alle gorgonie e al corallo rosso.

#### 4.1.2. SALINITÀ

La salinità del Tirreno mostra solo piccole variazioni imputabili ai fenomeni di

evaporazione e precipitazione con andamenti legati ai periodi stagionali. I dati ottenuti nell'ambito delle attività di monitoraggio marino costiero si riferiscono a misure eseguite in stazioni a distanza non superiore a 3000 metri dalla costa. Questa fascia di mare risente direttamente degli apporti terrigeni di acqua dolce e le variazioni di salinità, associata ai regimi di portata fluviale, sono più accentuate rispetto a quanto accade in mare aperto: l'andamento delle medie mensili delle stazioni costiere risulta più variabile di quelle al largo in entrambi i periodi (Figura 26 e Figura 27).

Figura 26  
Medie mensili della salinità superficiale da maggio 1997 a dicembre 2000 delle stazioni più vicine alla costa e più al largo degli 11 transetti considerati.

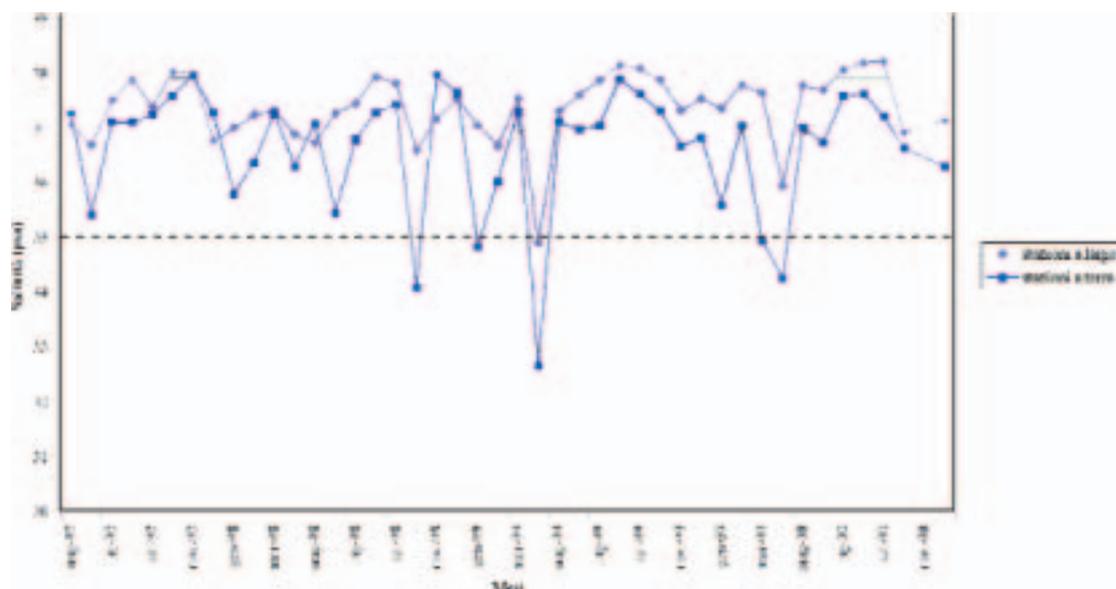
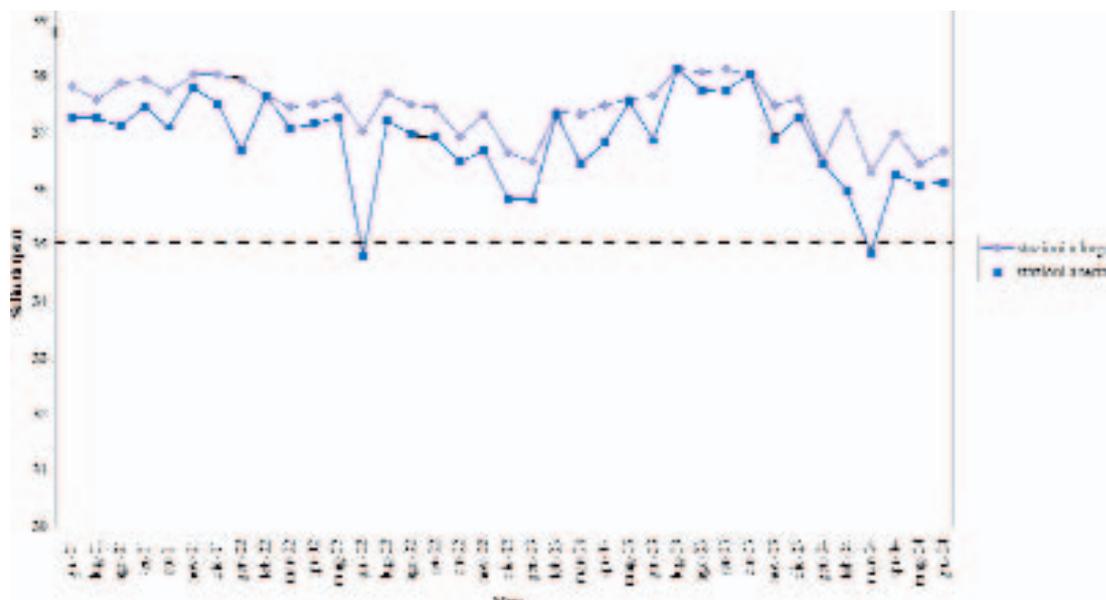


Figura 27  
Medie mensili della salinità superficiale da giugno 2001 a giugno 2004 delle stazioni più vicine alla costa e più al largo degli 11 transetti considerati.



Nel primo triennio di attività, è possibile riscontrare (Figura 26) che i massimi di salinità, circa 38 psu, si trovano in coincidenza dei periodi estivi, quando anche il gradiente di salinità, tra le stazioni più vicine alla costa e quelle a largo, tende a diminuire. I minimi sono di norma osservati in primavera e alla fine dell'estate o in autunno inoltrato e sono sempre da riferirsi ai regimi fluviali e alle piogge stagionali, infatti, sono frequenti picchi accentuati con diminuzione della salinità di 2-3 unità.

Nel secondo triennio si notano (Figura 27) solo due periodi con massimi di salinità, il primo dall'estate 2001 alla primavera 2002 e il secondo dalla tarda primavera all'estate del 2003; mentre l'estate 2002 non raggiunge valori di salinità particolarmente elevati. Questi dati trovano riscontro nella situazione meteorologica che ha caratterizzato questi periodi. Infatti, l'inverno 2001-2002 risultò quasi siccitoso e, anche la primavera-estate 2003 fu particolarmente scarsa di pioggia. Al contrario, nel 2002, dopo la pri-

mavera, l'estate fu del tutto particolare, con frequenti passaggi di perturbazioni atmosferiche che hanno portato spesso piogge, anche di notevole intensità.

La misura della salinità associata con la temperatura permette di caratterizzare le masse d'acqua dal punto di vista fisico e identificare acque di origine diversa presenti nella stessa area costiera. La salinità può anche fornire utili informazioni per

definire la qualità delle acque dal punto di vista chimico e biologico. A tal proposito può risultare utile il calcolo del fattore di diluizione "F%" (o rapporto di diluizione), proporzionale alla frazione di acqua dolce presente in un campione di acqua di mare. Quasi sempre è ben evidente la dipendenza tra questo indicatore e la concentrazione delle sostanze di origine continentali.

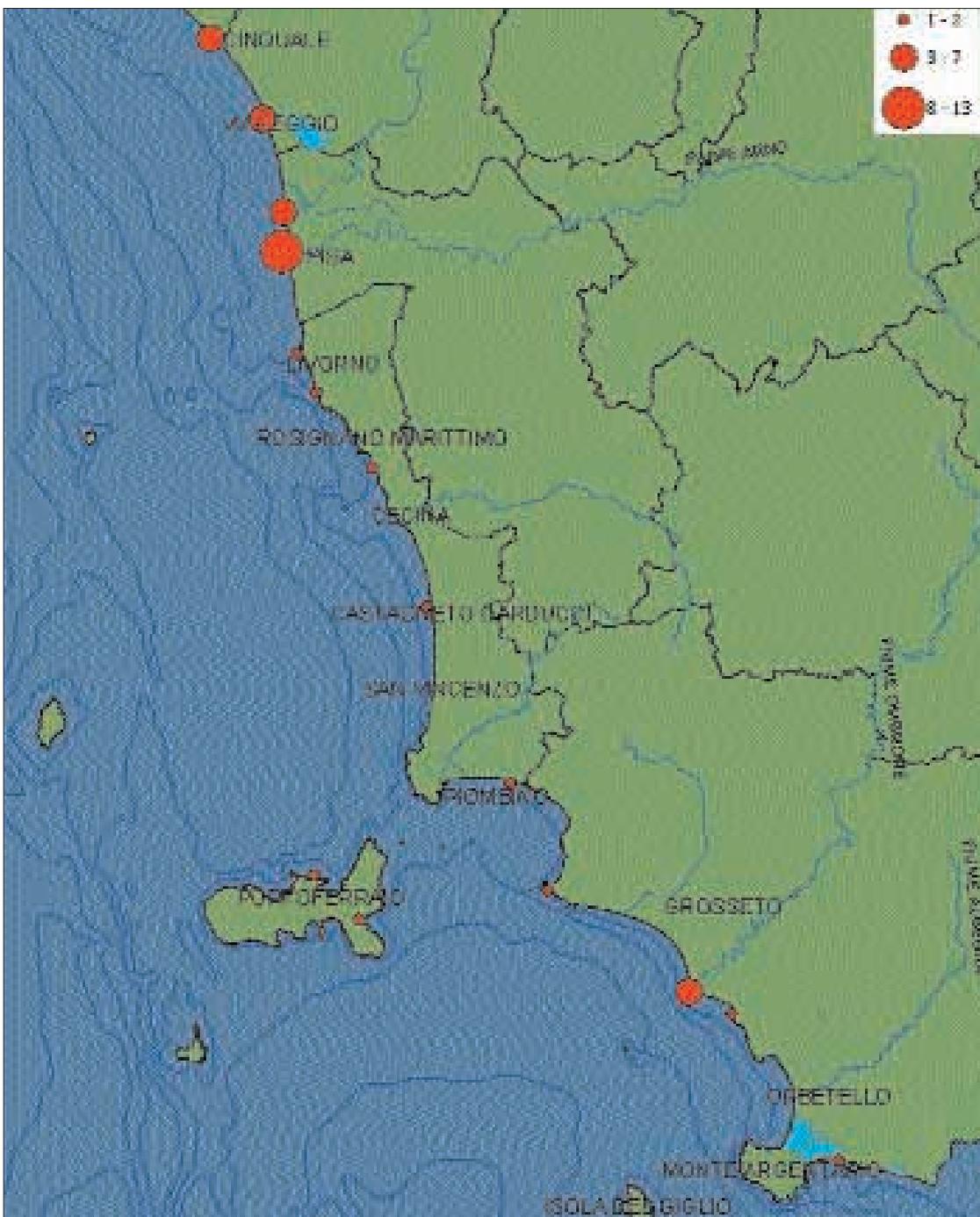


Figura 28

Fattore di diluizione (F%)  
delle acque costiere  
toscano:  
giugno 2001-giugno 2004.

Risulta evidente (Figura 28) che le acque a nord di Livorno presentano un maggior apporto di acque dolci rispetto alla costa a sud e a quella dell'Isola d'Elba, unica eccezione è rappresentata dalla stazione posta in prossimità della foce del fiume Ombrone.

#### 4.1.3. OSSIGENO DISCIOLTO

Il tenore di ossigeno disciolto permette di valutare l'attività della componente fitoplanctonica nell'ambiente e può quindi costituire un indicatore dello stato di trofia del corpo idrico.

I valori massimi di saturazione, coincidenti con il periodo di fine primavera, non superano il 110%, e quelli più bassi, prossimi a 80%, sono raggiunti in inverno con la stasi dei cicli fitoplanctonici. L'andamento del primo triennio risulta (Figura 29) più regolare e meglio associato ai cicli stagionali. Infatti, nel secondo triennio di monitoraggio, probabilmente in conseguenza delle particolari condizioni meteorologiche che si sono verificate, si riscontrano (Figura 30) valori alti in primavera fino all'inizio dell'autunno del 2002. Non si osserva un sensibile gradiente tra le stazioni più vicine alla costa e quelle a largo.

Figura 29  
Medie mensili dell'ossigeno superficiale (% sat.) da maggio 1997 a dicembre 2000 delle stazioni più vicine alla costa e più al largo degli 11 transetti considerati.

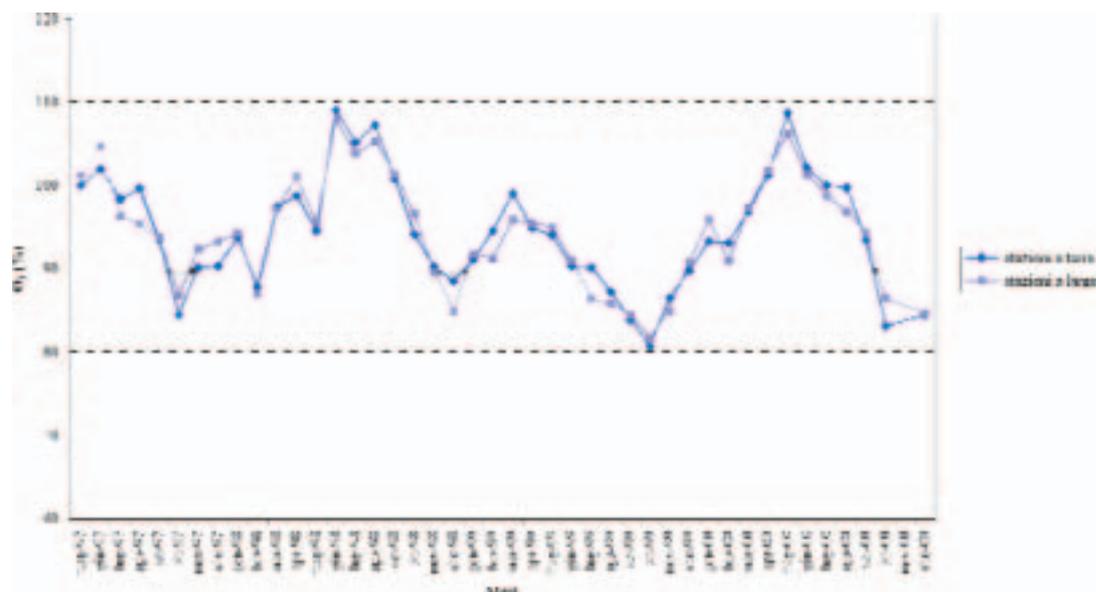
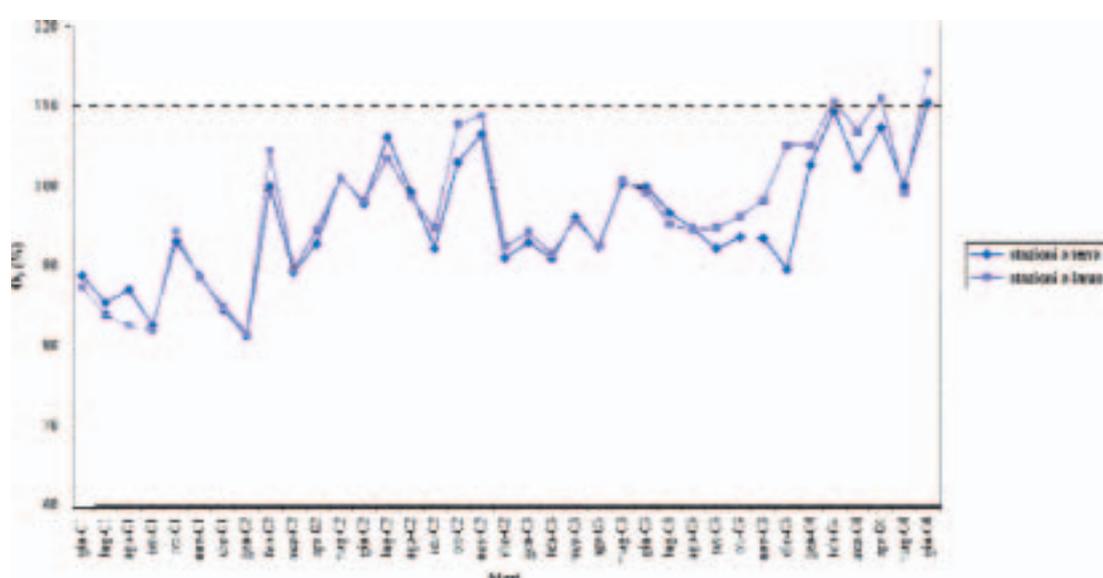


Figura 30  
Medie mensili dell'ossigeno superficiale (% sat.) da giugno 2001 a giugno 2004 delle stazioni più vicine alla costa e più al largo degli 11 transetti considerati.



#### 4.2. VALUTAZIONE DEL CARICO DI AZOTO INORGANICO NEL PERIODO 1997-2004

Il parametro esaminato è il DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen = azoto inorganico disciolto) i cui costituenti sono rappresentati dall'azoto ammoniacale, nitroso e nitrico. Il DIN, è uno dei parametri che riveste un ruolo importante ai fini della classificazione delle acque. È, infatti, utilizzato insieme a Ossigeno disciolto, Clorofilla *a* e Fosforo totale per il calcolo dell'indice Trix e quindi per stabilire, ai sensi del D. Lgs. 152/99 la qualità delle acque.

L'obiettivo è quello di valutare l'impatto dei carichi di nutrienti azotati nelle acque marino-costiere e, di esaminarne la distribuzione spazio-temporale.

Sono stati esaminati 4.500 campionamenti effettuati in superficie (-50 cm) in oltre 30 transetti della costa Toscana ed Isola d'Elba dal 1997 al 2004. I prelievi hanno interessato la zona vicino a terra, quella intermedia e quella del largo, che nella maggior parte dei casi sono localizzate a 500, 1000 e 3000 metri dalla costa, rispettivamente. Durante il primo triennio la frequenza di campionamento è risultata stagionale per 17 stazioni e mensile per le restanti 23. Nel secondo triennio la frequenza di campionamento è stata stagionale per le stazioni del monitoraggio 152/99, (ad eccezione di quelle stazioni che, essendo state interessate da fenomeni eutrofici, tra giugno e settembre sono state prelevate bimensilmente), e bimensile per quelle del monitoraggio 979/82.

I campioni di acqua sono stati mantenuti a bordo della M/N Poseidon a -18° C e sono stati scongelati immediatamente prima delle relative analisi, eseguite rispettando le metodiche uff-

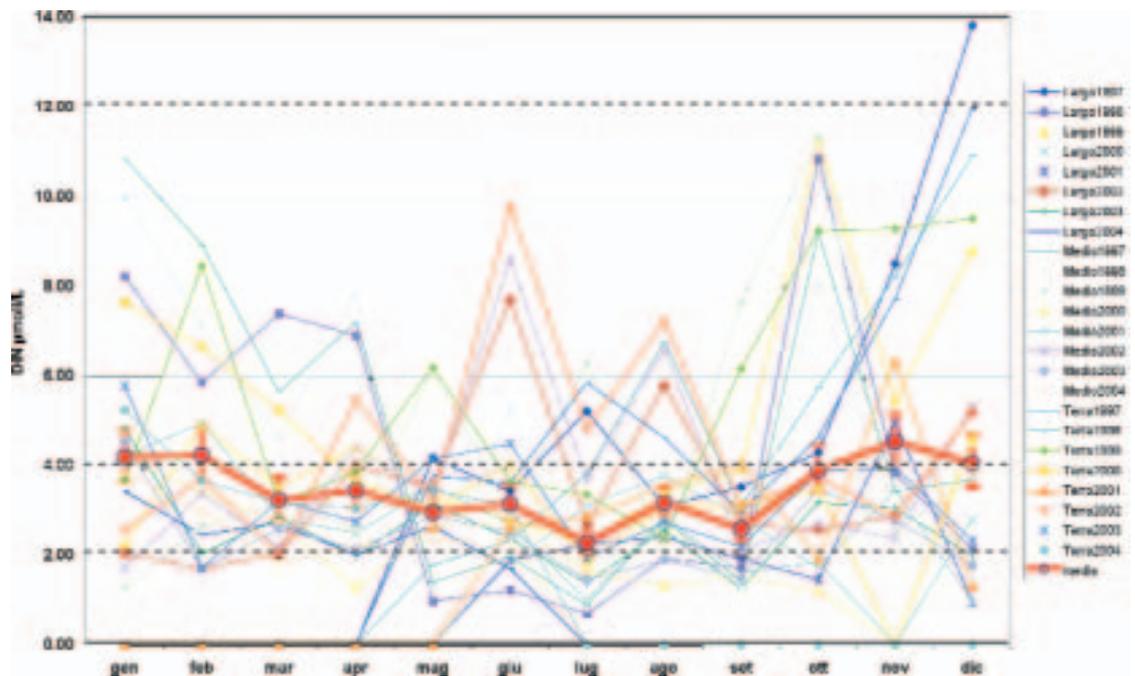
ciali (Standard Methods) ed utilizzando un autoanalizzatore Systea mod.  $\mu$ MAC 1000:

- *Nitrati*: la determinazione è basata sulla riduzione, in fase eterogenea, a nitriti mediante una colonna di cadmio rameizzato e sul successivo dosaggio dei nitriti totali per via colorimetrica a 550 nm; il limite di determinazione è 0,36 $\mu$ mol/L;
- *Nitriti*: tramite una serie di reazioni si forma un composto diazoico colorato che viene dosato per via colorimetrica a 550 nm; il limite di determinazione è 0,06 $\mu$ mol/L;
- *Ammoniaca*: tramite una serie di reazioni, catalizzate fotochimicamente, si arriva alla formazione del blu di indofenolo (Berthelot), che viene dosato per via colorimetrica a 630 nm; il limite di determinazione è 0,5 $\mu$ mol/L.

Nei calcoli si fa riferimento al valore assunto dalle medie geometriche, considerata la distribuzione log-normale dei dati a disposizione.

L'andamento del DIN (Figura 31) per le stazioni a terra, intermedie e al largo, durante il periodo 1997-2004, procede da valori che vanno da 2.3 a 4.6  $\mu$ mol/L senza rilevanti fluttuazioni stagionali. È possibile, comunque, riscontrare un andamento costante nei mesi invernali (4.0  $\mu$ mol/L a dicembre, gennaio e febbraio), seguito da un moderato calo primaverile, che diventa più marcato col sopraggiungere dell'estate, dove si raggiungono i valori più bassi (2.2  $\mu$ mol/L a luglio). L'andamento è in rialzo col sopraggiungere dell'autunno quando, a causa delle piogge e dei conseguenti apporti a mare dei nutrienti dai corsi d'acqua registriamo i valori di DIN più alti dell'anno (4.6  $\mu$ mol/L). L'esame del DIN riferito agli anni 1997-2004 mostra la progressiva tendenza alla diminuzione.

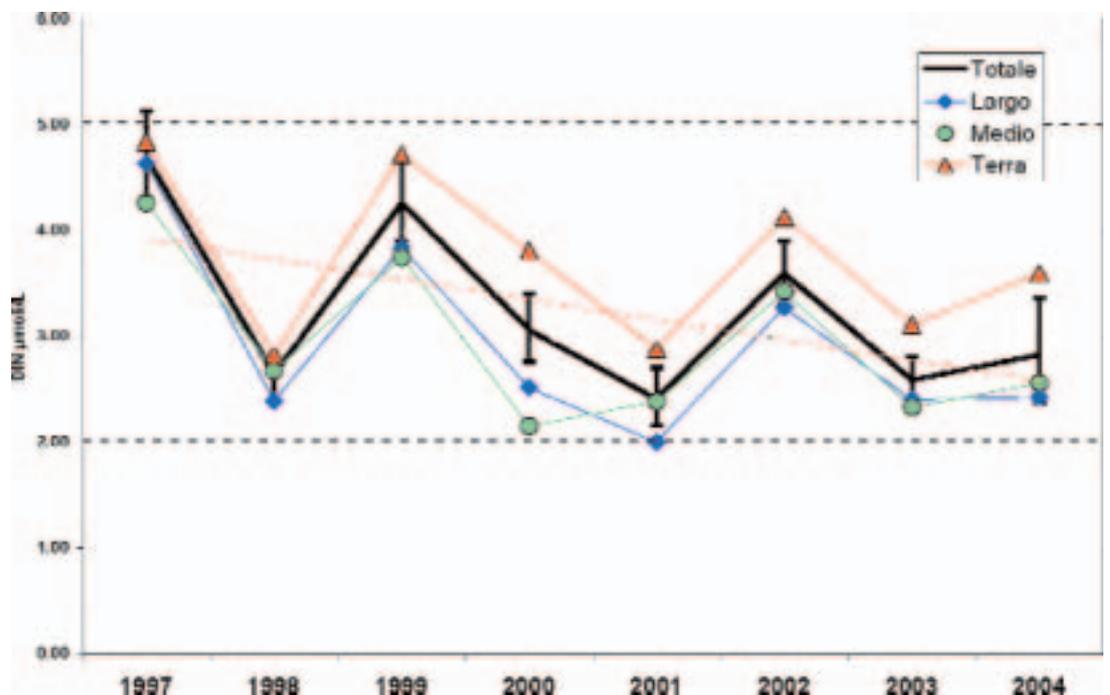
Figura 31  
Andamento delle medie geometriche mensili delle concentrazioni di DIN nelle stazioni vicine a terra, intermedie ed al largo dal 1997 al 2004 e media generale del periodo.



In Figura 32 sono raffigurati i profili del DIN per le stazioni a terra, intermedie e al largo verso gli anni oggetto di indagine: le stazioni a terra, come era prevedibile, pre-

sentano i valori di DIN più alti di circa 1 µmol/L di quelle intermedie e del largo; quelle del largo e intermedie sono risultati pressoché sovrapponibili.

Figura 32  
Andamento delle medie geometriche annuali delle concentrazioni di DIN nelle stazioni vicine a terra, intermedie ed al largo dal 1997 al 2004.



In Figura 33 sono riportate, sulle ascisse, le stazioni indagate procedendo da nord a sud. Sulle ordinate sono riportati i valori di DIN mediati per l'intero periodo in esame e, per ogni transetto, per le tre

stazioni. I tre colori distinti evidenziano le tre zone geografiche in cui ricadono i transetti del monitoraggio 979/82 e 152/99: nord, centro e sud procedendo da sinistra verso destra.

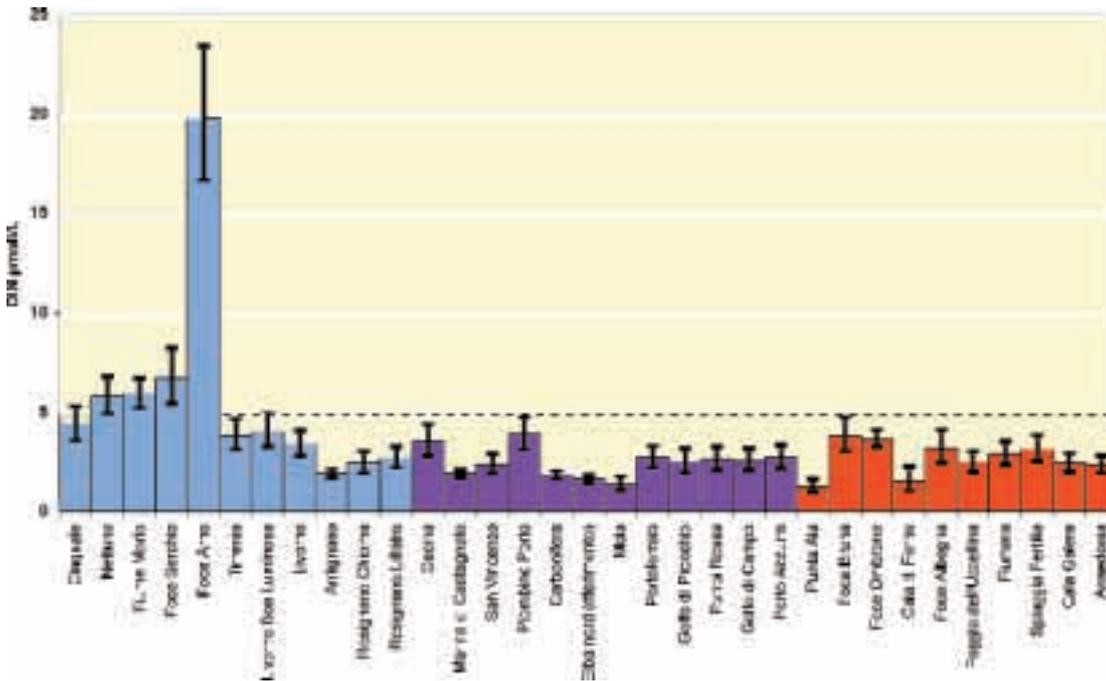


Figura 33  
Andamento delle medie geometriche totali (dal 1997 al 2004) delle concentrazioni di DIN nei diversi transetti (media delle tre stazioni).

La zona a nord manifesta la più alta concentrazione di DIN in corrispondenza di Foce Arno (19.8 µmol/L), che influenza maggiormente le stazioni localizzate a nord di questa stazione piuttosto che quelle a sud. È verosimile ritenere che vi sia un'importante influenza correlata alle correnti dirette a nord dal bacino dell'Arno. Le stazioni del nord manifestano le concentrazioni più alte della Toscana, con medie intorno a 6 µmol/L per le stazioni a nord di Foce Arno e 4 µmol/L per quelle a sud di Foce Arno. Nella zona nord Antignano rappresenta la stazione col più

basso contenuto di nutrienti azotati. Le stazioni del centro e quelle del sud mostrano una notevole uniformità. Esse sono mediamente distribuite intorno a valori di 1.5-3.5 µmol/L, con picchi di minimo per le stazioni di Carbonifera, Marina di Castagneto Carducci, Elba nord, Mola, Punta Ala e Cala di Forno.

In Figura 34 sono riportati gli andamenti del DIN durante il primo ed il secondo triennio distinti per transetti. Come si vede, oltre al fatto che durante il primo triennio il monitoraggio ha interessato un più alto numero di stazioni, durante il 1998 e il 2000 si sono

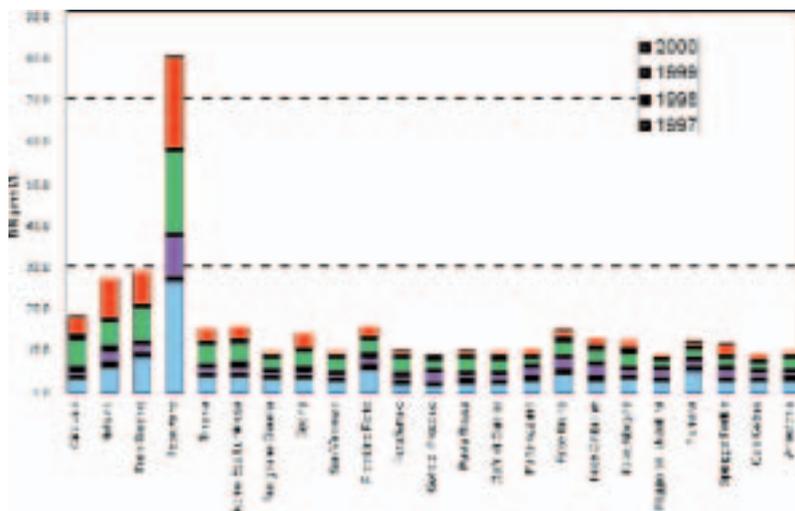


Figura 34 (a)  
Andamento delle medie geometriche annuali delle concentrazioni di DIN nei diversi transetti (media delle tre stazioni) dal 1997 al 2000.



In Figura 36 sono rappresentati gli andamenti delle running average 5 per le stazioni di terra, del medio e del largo di Foce Arno: quello del largo rispetta il globale presentato in Figura 31, sebbene sia circa otto volte più abbondante in concentrazione. Per le stazioni di terra e intermedia, si risente

invece di fenomeni locali, puntuali e identificabili in certi mesi ed anni ben precisi: giugno 1997, agosto 1997, giugno 2003 e giugno 2004 con campionamenti che superano 400  $\mu\text{mol/L}$  e medie geometriche al di sopra di 300  $\mu\text{mol/L}$ , come presentato in Figura 37.

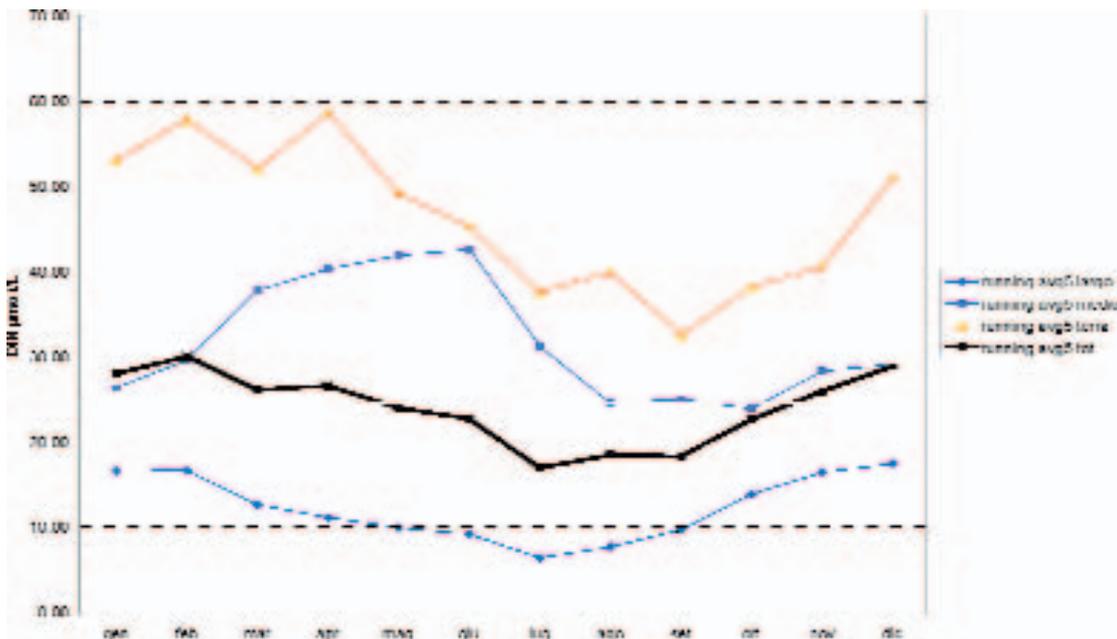


Figura 36  
Andamenti delle running average 5 (medie mobili) per le stazioni di terra, del medio e del largo di Foce Arno.

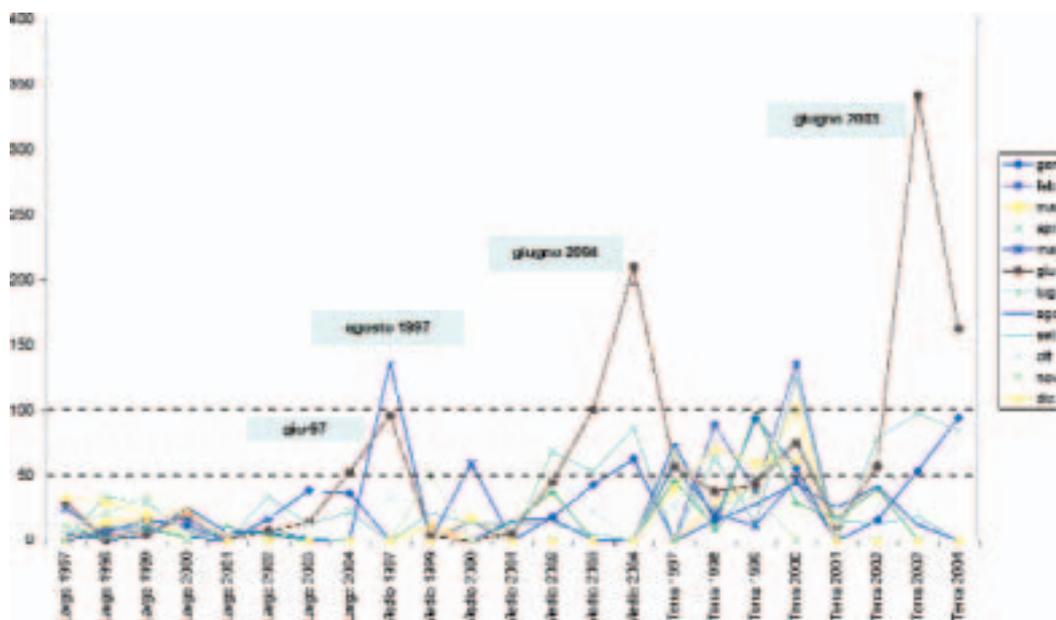


Figura 37  
Andamento delle medie geometriche annuali (dal 1997 al 2004) delle concentrazioni di DIN nelle 3 stazioni di Foce Arno.

Di tutti i transetti monitorati lungo la costa toscana a distanza di 500, 1000 e 3000 metri dalla linea di costa per la grande maggioranza dei casi, compresi nel monitoraggio effettuato

ai sensi della L. 979/82 e del D.Lgs. 152/99, la zona di criticità è legata alla Foce dell'Arno e ai transetti a nord di questa. Senza grandi fluttuazioni stagionali, il valore del DIN, che si

colloca abbondantemente sotto il limite di 5.0  $\mu\text{moli/L}$  per la totalità dei transetti del centro e del sud, si trova a circa 20.0  $\mu\text{moli/L}$ , limitata alla Foce dell'Arno, e sopra 6.0  $\mu\text{moli/L}$  per i transetti di Cinquale, Nettuno, Foce Serchio, Fiume Morto. Il fenomeno eutrofico degenerativo di Foce Arno non sembra però interessare la zona di alto fondale.

#### 4.3. LA BIOMASSA FITOPLANCTONICA

Con le novità normative, nazionali e comunitarie, degli ultimi anni il controllo delle acque costiere è stato istituzionalizzato prevedendo la realizzazione di piani di monitoraggio, per molti aspetti, innovativi rispetto al passato. In particolare, l'inserimento di alcuni fattori biologici, tra quelli da monitorare obbligatoriamente lungo tutte le coste italiane, ha contribuito ad una miglior caratterizzazione degli ambienti marini, considerando le diverse componenti degli ecosistemi interessati. In tali monitoraggi, oltre ai parametri di tipo chimico e fisico per la prima volta viene richiesto di determinare la biomassa fitoplanctonica, sia con misure quantitative che di composizione tassonomica, prima a livello di classe poi di specie. La comunità fitoplanctonica, costituita da organismi unicellulari dotati di capacità fotosintetica (microalghe e cianobatteri) che vivono liberi in sospensione nel mare, è il primo livello della rete trofica, quello in grado di introdurre energia e sostanza organica nell'ecosistema, insieme alle altre componenti vegetali che vivono sui fondali (macroalghe e piante). Però, al contrario di queste ultime, non essendo limitata dalle condizioni edafiche (tipo di substrato) e/o batimetriche, il fitoplancton è assai più diffusa ed è presente in tutte le zone di mare.

I fattori ambientali, come per esempio la temperatura, la salinità, la radiazione solare e la dinamica dei nutrienti, infatti, influenzano la distribuzione e la concentrazione di questi organismi, intervenendo direttamente sul ciclo vitale di ciascuna specie fitoplanctonica e, quindi, determinando la composizione di tutto il popolamento.

Da questo punto di vista, gli organismi fitoplanctonici costituiscono un punto privilegiato di osservazione per la valutazione dell'influenza dei fattori esterni sugli ecosistemi marini, essendo estremamente sensibili all'azione diretta di questi. Però, a causa di questa forte interazione, il loro comportamento e le caratteristiche del popolamento subiscono forti e rapide variazioni anche in un breve ambito temporale e spaziale, rendendo spesso difficile una valutazione dei meccanismi in atto e l'analisi di cause ed effetti.

Tra le classi più rappresentative del fitoplancton marino, sia come diffusione che come importanza relativa all'interno del popolamento, possiamo annoverare le diatomee (microalghe dotate di una teca silicea) ed i dinoflagellati (organismi mobili dotati di flagelli). Questi organismi, pur nella diversità di generi e specie di ognuno, hanno caratteristiche biologiche, fisiologiche ed ecologiche sostanzialmente diverse, tali che possono essere significative per la prevalenza dell'uno o dell'altro in determinate condizioni ambientali.

##### 4.3.1. LA VARIAZIONE STAGIONALE NELLA COMPOSIZIONE DEL FITOPLANCTON

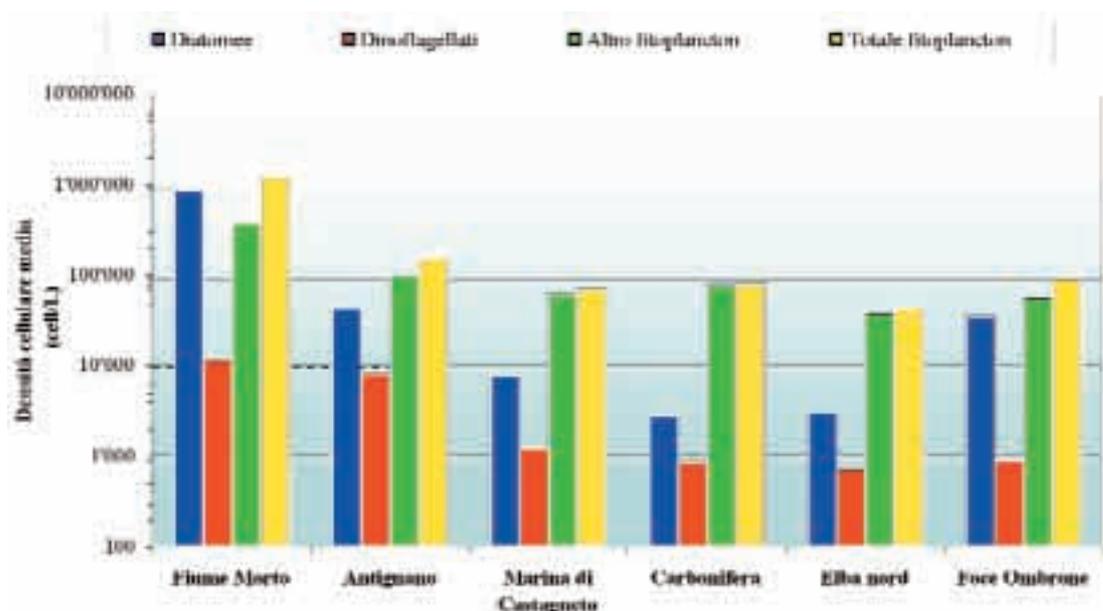
In questo capitolo vengono riportati i risultati relativi alle principali caratteristiche del popolamento fitoplanctonico pre-



I campioni sono stati conservati in bottiglie di plastica scure con tappo a vite in frigorifero a 4° C e, dopo essere stati fissati con soluzione di Lugol 1%, sono stati analizzati al microscopio rovesciato (Zeiss Axiovert 25 con contrasto di fase).

Per il riconoscimento del fitoplancton sono stati consultati i seguenti testi: Chrétiennot-Dinet, 1990; Rampi e Bernhard, 1978a; 1978b, 1981; Richard, 1987; Sournia, 1986; Thomas, 1996.

Figura 39  
Andamento della densità fitoplanctonica lungo la costa toscana nel 2002 (medie annuali).



Le medie dei dati raccolti (n=24 per ogni stazione) mostrano (Figura 39) una brusca diminuzione della densità del fitoplancton totale a partire dal Fiume Morto, con oltre  $10^6$  cell/L, fino a meno di  $10^5$  cell/L nelle stazioni a Sud di Livorno (il valore più basso è 42.566 cell/L di Elba nord). Questa stessa diversità si nota anche nella composizione relativa delle diverse classi (Tabella 9), con la stazione più settentrionale domi-

nata dalle diatomee (quasi il 70%) e tutte le altre da piccoli flagellati appartenenti a classi diverse (Prasinophyceae, Cryptophyceae, Prymnesiophyceae, ecc.), che sono stati raggruppati come “Altro fitoplancton”. Questi organismi costituiscono la quasi totalità del fitoplancton (87-95%) nelle stazioni di Marina di Castagneto Carducci, Carbonifera ed Elba Nord, mentre sono meno preponderanti (62-66%) ad Antignano ed alla foce

Tabella 9  
Valori medi e percentuali relative dei tre principali raggruppamenti fitoplanctonici.

Fitoplancton	Fiume Morto		Antignano		Marina di Castagneto		Carbonifera		Elba nord		Foce Ombrone	
	Cell/L	%	Cell/L	%	Cell/L	%	Cell/L	%	Cell/L	%	Cell/L	%
Diatomee	855.551	69	43.613	28	7.756	11	2.876	4	3.088	7	34.797	37
Dinoflagellati	11.827	1	8.079	5	1.223	2	861	1	737	2	889	1
Altrofitoplancton	376.849	30	101.467	66	61.917	87	76.547	95	38.742	91	57.591	62
<i>Totale Fitoplancton</i>	<i>1.245.476</i>		<i>153.159</i>		<i>70.895</i>		<i>80.284</i>		<i>42.566</i>		<i>93.277</i>	

dell'Ombrone, dove anche le diatomee sono rappresentative di circa un terzo del popolamento. I dinoflagellati sono sempre poco abbondanti (intorno a 1-2%) con l'unica eccezione di Antignano dove raggiungono il 5% (Tabella 9).

Analizzando la distribuzione stagionale, si osserva (Tabella 10) che sia presso il Fiume Morto che alla foce dell'Ombrone è presente un picco primaverile da parte delle diatomee.

Tutte le altre stazioni hanno valori molto più bassi e i picchi di massima produttività delle diatomee si registrano in primavera estate, ad eccezione della stazione di Carbonifera che presenta il suo massimo (4.607 cell/L) nel periodo autunnale. Per quanto riguarda i dinoflagellati, i valori medi massimi si hanno nel periodo primavera-estate (Tabella 10).

Analizzando le percentuali relative delle diatomee e dei dinoflagellati, si può fare una

Fitoplancton totale	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Fiume Morto	1.435.268	2.412.822	637.660	496.155
Antignano	105.641	266.024	220.925	20.047
Marina di Castagneto	76.068	180.103	20.410	7.000
Carbonifera	79.175	231.840	4.200	5.920
Elba nord	50.550	109.557	6.623	3.533
Foce Ombrone	95.505	257.161	16.157	4.287
Diatomee	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Fiume Morto	1.015.140	1.353.179	565.967	487.918
Antignano	3.987	31.847	120.623	17.997
Marina di Castagneto	3.327	3.510	18.387	5.800
Carbonifera	1.273	3.453	2.170	4.607
Elba nord	2.410	3.253	4.377	2.310
Foce Ombrone	6.217	116.635	13.170	3.167
Dinoflagellati	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Fiume Morto	6.403	18.363	18.300	4.240
Antignano	2.020	2.847	26.663	787
Marina di Castagneto	1.037	2.107	1.137	610
Carbonifera	693	1.020	1.157	573
Elba nord	710	787	997	453
Foce Ombrone	437	880	1.953	287

Tabella 10

Densità cellulare del fitoplancton nel 2002: media stagionale (cell/L).

prima stima dei generi e delle specie più rappresentati nell'area investigata. Per le diatomee, tutte le altre stazioni mostrano popolamenti costituiti per lo più dal genere *Leptocylindrus*, che arriva a rappresentare anche l'80% nelle stazioni di Antignano e

Foce Ombrone; a Fiume Morto, invece, il genere più abbondante risulta essere *Skeletonema* (circa il 50% dell'intero popolamento). Gli altri generi significativamente presenti sono *Chaetoceros* (20% delle popolazioni di diatomee nelle stazioni di Marina

di Castagneto Carducci e Carbonifera) e *Nitzschia/Pseudonitzschia* (poco meno del 20% della popolazione annua nelle stazioni di Fiume Morto, Carbonifera e Elba nord).

A livello specifico si nota che le specie *Leptocylindrus danicus* e *Leptocylindrus*

*minimus* (entrambi molto rappresentati durante tutto l'anno e in tutte le stazioni) sembrano essere più tipiche del periodo primavera-estate, mentre *Leptocylindrus mediterraneus* (Figura 5), molto meno abbondante, è presente solo nel tardo autunno ed in inverno.

Figura 40  
*Pseudonitzschia* sp. del  
"Nitzschia delicatissima  
Complex".

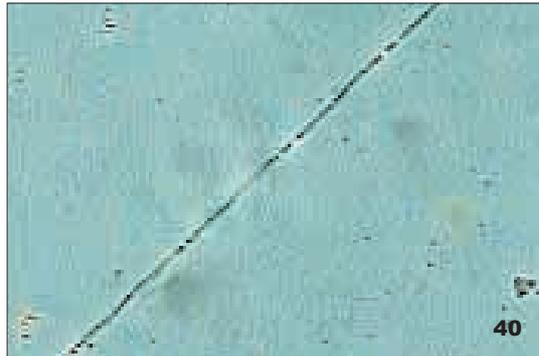


Figura 41  
*Leptocylindrus*  
*mediterraneus*  
(Peragallo) Hasle.



Figura 42  
*Ceratium furca*  
(Ehrenberg)  
Claparède & Lanchmann.



Figura 43  
*Prorocentrum micans*  
Ehrenberg.



Nella stazione di Fiume Morto *Skeletonema costatum* è molto abbondante nel periodo invernale (media stagionale di 792.178 cell/L), mentre *S. menzelii* in quello primaverile (media stagionale di 616.150 cell/L). Nelle altre stazioni monitorate il genere è presente per lo più in estate.

I generi *Pseudo-nitzschia* facenti parte del "Nitzschia delicatissima Complex" (Figura 5) sono abbondanti in tutte le stazioni e in tutte le stagioni (a Fiume Morto sia la media stagionale estiva sia quella autunnale supera le 250.000 cell/L); meno frequenti, invece, sono i generi *Pseudo-nitzschia* del "Nitzschia seriata Complex" e la specie *Nitzschia longissima*.

Il genere *Chaetoceros* è presente con molte specie lungo la costa: *C. curvisetus* si trova abbondante durante l'anno tranne che nei mesi estivi, mentre *C. decipiens*, anche nella sua forma non coloniale, e *C. peruvianus* sembrano essere più tipici del periodo autunno-inverno; *C. affinis* si trova soprattutto in inverno.

Per quanto riguarda i dinoflagellati, il genere più abbondante lungo tutta la costa sembra essere *Ceratium* (circa il 13% dei popolamenti di dinoflagellati in tutte le stazioni). Altri generi significativamente frequenti sono *Gonyaulax* (13.5% del popolamento a Foce Ombrone), *Dinophysis* (quasi 14% dei dinoflagellati ritrovati ad

Antignano e a Marina di Castagneto Carducci) e *Prorocentrum* (circa il 9% dei popolamenti di dinoflagellati rinvenuti a Fiume Morto, Marina di Castagneto Carducci e Elba nord). *Protoperidinium* è il genere più abbondante nella stazione di Fiume Morto (15.7%).

Inoltre, si osserva che *Ceratium furca* (Figura 7) e, in minor quantità, *Ceratium fusus* si ritrovano lungo tutta la fascia costiera e durante tutto l'anno, così come le specie *Protoperidinium steinii* e *P. diabolus*; queste ultime due specie sono particolarmente abbondanti nel periodo estivo (le medie massime stagionali sono state per entrambe registrate a Fiume Morto e sono rispettivamente 267 e 350 cell/L).

*Dinophysis acuminata* e *D. rotundatum* sono abbondanti soprattutto nel periodo primavera-estate, così come *Prorocentrum triestinum* e *P. minimum*. *Prorocentrum micans* (Figura 8) è l'unica specie del suo genere ad essere presente in tutte le stazioni durante tutto l'anno (a Fiume Morto la media primaverile supera le 4.000 cell/L). Tra le specie più frequenti del genere *Gonyaulax*, troviamo *G. scrippsae*, tipico del periodo invernale (media stagionale massima: 1.650 cell/L a Fiume Morto), e *G. verior*, caratterizzato dal fatto di non essere mai presente in inverno e Foce Ombrone.

L'alta densità fitoplanctonica, registrata anche negli anni precedenti, nel tratto settentrionale (Fiume Morto) potrebbe essere dovuta all'apporto di nutrienti provenienti dal fiume Arno, le cui acque risalgono verso nord per effetto delle correnti superficiali che lambiscono le coste toscane. A partire dall'area livornese e, più precisamente, dalla stazione di Antignano, il fitoplancton comincia a decrescere più o meno bruscamente proce-

dendo verso sud, dove l'"altro fitoplancton" si sostituisce alle diatomee. Questa diversa composizione della comunità fitoplanctonica può essere, quindi, imputata ad un maggior apporto di sostanze organiche di provenienza fluviale e a fenomeni di turbolenza che avvantaggiano le forme più voluminose del fitoplancton come appunto le diatomee. La stessa abbondanza nella stazione di Fiume Morto di *Skeletonema costatum*., una specie che sfrutta, a svantaggio di altre, il surplus di nutritivo di provenienza fluviale, sembra avallare questa ipotesi.

Se lo scopo della determinazione della comunità fitoplanctonica è quello di portare informazioni sullo stato ambientale delle acque, però, il prelievo solo in superficie non è sufficiente, in quanto non tiene conto dell'effetto della luce e del suo ruolo nella distribuzione verticale del fitoplancton e sulla sua variazione giornaliera. Sarebbe, quindi, necessario introdurre un campionamento del fitoplancton anche a diverse profondità, in modo tale da permettere il confronto con altri indicatori della biomassa fitoplanctonica (per esempio, la concentrazione di pigmenti clorofilliani), rilevati lungo tutta la colonna d'acqua. Tenendo conto delle esigenze che possono esserci in un lavoro routinario, si potrebbe, ad esempio, prevedere almeno il campionamento a 3 diverse profondità a seconda del profilo rilevato dal fluorimetro: un prelievo superficiale, uno alla profondità dove si ha il picco di massima fluorescenza (concentrazione di clorofilla) ed uno al di sotto. Questo consentirebbe di ricostruire l'evoluzione della struttura della colonna d'acqua e di effettuare una più completa descrizione della distribuzione e del ciclo stagionale della biomassa fitoplanctonica e della successione dei popolamenti.

#### 4.3.2. DENSITÀ FITOPLANCTONICA E LIVELLI TROFICI LUNGO LA COSTA TOSCANA DAL 1997 AL 2004

Le informazioni sullo stato ambientale fornite dal fitoplancton possono essere integrate e confermate dalla classificazione delle acque effettuata tramite l'indice trofico TRIX (D.Lgs. 152/99), per far questo abbiamo utilizzato tutte le informazioni disponibili dal 1997 al 2004, cercando

di ricostruire un andamento medio di questi due indicatori.

Nel periodo 1997-2000 le stazioni sottocosta, monitorate per l'analisi quanti-qualitativa del fitoplancton, erano 23 con cadenza quindicinale nel periodo estivo e mensile per il resto dell'anno (368 campioni di fitoplancton all'anno). Attualmente, invece, le stazioni monitorate sono 14, con frequenza diversa, per un totale di 194 prelievi ogni anno (Tabella 11).

Tabella 11  
Campioni prelevati dal 1997 al 2004 nelle stazioni sottocosta.

Periodo	Norma	N° Stazioni	N° campioni/anno		Frequenza
			Per stazione	Totale annuo	
1997-2000	L. 979/82	23	16	368	Mensile; Quindicinale Giu-Set
2001-2004	L. 979/82	6	24	144	Quindicinale
	D.Lgs 152/99	5	4	20	Stagionale
		3	10	30	Stagionale; Quindicinale Giu-Set

I campionamenti sono stati effettuati a 0,5 metri di profondità, fissati con una soluzione di Lugol 1% e conservati in bottiglie scure con tappo a vite in luogo fresco, non illuminato. L'analisi microscopica del fitoplancton è stata eseguita con l'utilizzo del microscopio rovesciato Zeiss Axiovert 25 (400x).

Per esaminare la distribuzione spaziale della densità fitoplanctonica la costa è stata suddivisa in base ai corpi idrici significativi individuati dalla Regione Toscana nella Delibera della Giunta Regionale n. 225/2003, come previsto dall'articolo 5 del D.Lgs 152/99.

Tabella 12  
Corpi idrici significativi individuati dalla Regione Toscana lungo la costa e le relative stazioni di monitoraggio costiero.

Corpo idrico significativo	Stazioni di monitoraggio costiero
Costa della Versilia:	Cinquale
Costa del Serchio:	Nettuno, Foce Serchio
Costa pisana:	Fiume Morto, Foce Arno, Tirrenia
Costa livornese:	Livorno porto, Antignano, Rosignano Chioma
Costa del Cecina:	Rosignano Lillatro, Marina di Castagneto, Cecina, San Vincenzo
Golfo di Follonica:	Piombino porto, Carbonifera, Fiumara, Punta Ala
Costa maremmana:	Foce Bruna, Foce Ombrone, Uccellina, Cala Forno, Fertilia, Foce Albegna, Cala Galera, Ansedonia
Arcipelago toscano:	Elba nord, Portoferraio, Mola, Porto Azzurro, Punta Rossa, Golfo di Campo, Procchio

I valori delle medie geometriche delle densità fitoplanctoniche mostrano il picco massimo nel mese di giugno, con 292.877

cell/L e minimi nel periodo autunno-inverno. Andamento analogo è seguito dall'altro fitoplancton. La concentrazione media delle

diatomee è massima nel periodo aprile-maggio, con valori intorno a 35.000 cell/L per poi decrescere fino a 1.340 cell/L, valore medio calcolato per il mese di dicembre. Per

quanto riguarda i dinoflagellati, il loro andamento raggiunge il massimo valore nel mese di giugno con densità medie intorno a 10.000 cell/L (Figura 44).

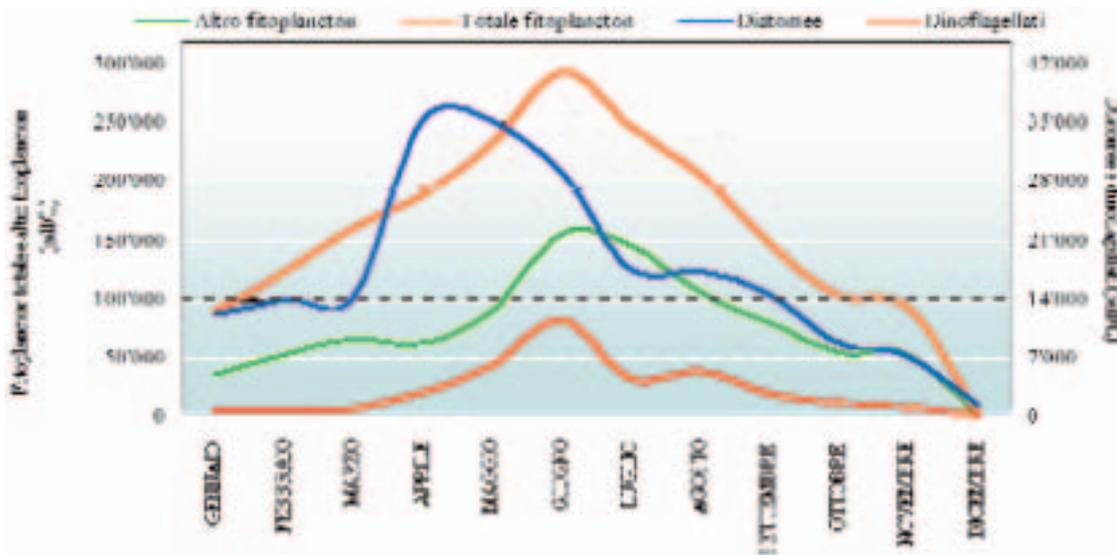


Figura 44  
Andamento delle medie geometriche mensili di densità fitoplanctonica 1997-2004.

Suddividendo la costa secondo i corpi idrici significativi, si evidenzia come le stazioni della zona più a nord (Costa della Versilia, Costa del Serchio e Costa pisana) presentino una maggiore concentrazione del fitoplancton (Figura 45): la densità

cellulare risulta mediamente molto elevata sia come fitoplancton totale, con valori superiori a 2.000.000 di cell/L e con massimi che superano 70.000.000 cell/L (Fiume Arno, luglio 1997), sia come singole classi.

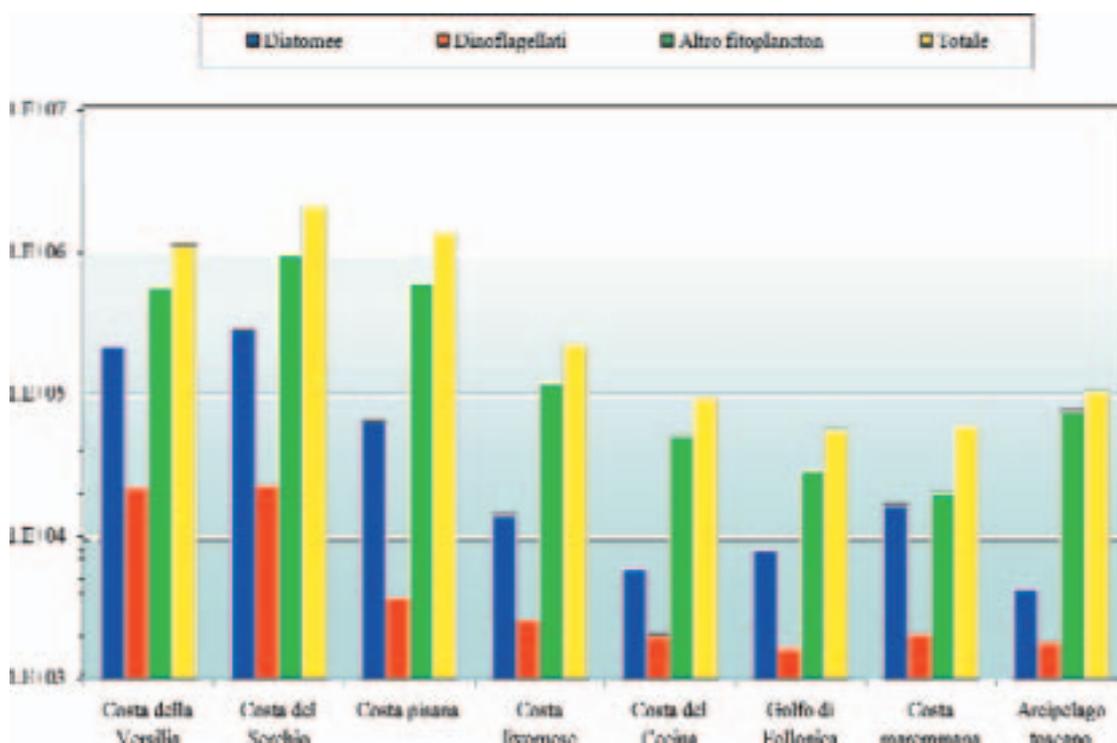


Figura 45  
Medie geometriche delle densità fitoplanctoniche lungo la costa toscana 1997-2004

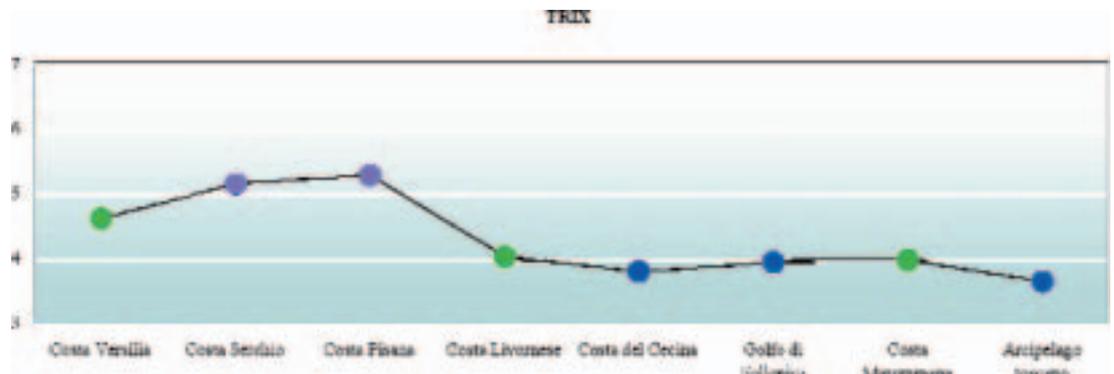
A sud della costa pisana la densità fitoplanctonica media decresce da valori intorno alle 200.000 cell/L della costa livornese alle 58.000 cell/L delle costa maremmana con punte minime di poche migliaia di cellule (1.902 cell/L a Fertilia, costa maremmana, nel settembre 1999).

I valori medi di fitoplacton totale all'isola d'Elba (arcipelago toscano) sono intorno alle 100.000 cell/L: la massima concentrazione registrata è di 1.195.442 cell/L a Porto

Azzurro nel settembre 1997 e la minima nella stazione di Elba nord con 1.400 cell/L nel novembre 2002.

L'indice TRIX mostra valori medi (Figura 46) tra 4,6 e 5,3 (stato ambientale mediocre-buono) nella zona a nord di Livorno, e tra 3,8 e 4 in quella a sud (stato ambientale buono-elevato); le acque costiere dell'Isola d'Elba indicano uno stato ambientale di tipo elevato, con il valore di trofia più basso, 3,6.

Figura 46  
Valori medi dell'indice trofico, TRIX, nel periodo 1997-2004.



Nelle acque della fascia costiera toscana (fino a 500m da riva) la densità cellulare può variare nel corso dell'anno da  $10^3$  a  $10^5$  cell/L, a seconda della stagione e della disponibilità trofica del sistema. Nelle stazioni vicine alle foci dei fiumi o, comunque, influenzate dalla loro presenza (Fiume Arno, Fiume Serchio e Nettuno) si hanno concentrazioni più elevate ( $10^5$ - $10^6$  cell/L) e nella tarda primavera si possono avere fioriture di alta densità (fino a  $7 \cdot 10^6$  cell/L).

La distribuzione spazio temporale della comunità fitoplanctonica costiera evidenzia, in tutti i punti esaminati, che le alte concentrazioni sono dovute essenzialmente alla presenza di fitoflagellati (da soli od insieme alle diatomee) e raggiungono il massimo nella tarda primavera-inizio estate, probabilmente a seguito della concomitanza di condizioni favorevoli per temperatura, e, so-

prattutto, irraggiamento solare. Le diatomee sono più abbondanti in aprile-maggio, in relazione ad una maggior disponibilità di nutrienti, mentre i dinoflagellati, sempre piuttosto scarsi, raggiungono il massimo nel periodo estivo.

Per quanto riguarda la distribuzione spaziale della densità fitoplanctonica, il litorale toscano appare diviso nettamente in due zone, una nord e una a sud di Livorno.

La costa versiliese, quella del Serchio e quella pisana, influenzate da importanti apporti fluviali e, quindi, da maggior quantitativi di sostanze nutritive ed organiche, hanno presentato, nel corso degli anni, valori di concentrazioni algali superiori al milione di cell/L, con fioriture di *Skeletonema costatum* e *Asterionellopsis glacialis*, specie favorite da condizioni eutrofiche dell'ambiente stesso.

Questo stesso trend, imputabile, quindi, alle diverse caratteristiche idromorfologiche e pressioni antropiche, viene confermato anche dai dati relativi all'indice trofico TRIX che attribuisce uno stato ambientale di tipo mediocre alla zona compresa tra costa del Serchio e a costa pisana e generalmente buono-elevato al resto del litorale.

#### 4.4. LA BIOMASSA ZOOPLANCTONICA

Nell'ambito del "Programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino-costiero (triennio 2001-2004)", promosso dal Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ai sensi della legge 979/82, è inserito lo studio quali-quantitativo del mesozooplankton di acque marine costiere.

Lo zooplankton è composto da una grande varietà di forme di vita: in pratica, ogni gruppo di organismi marini trascorre almeno una fase della propria vita (più spesso quella larvale) nella colonna d'acqua.

Il mesozooplankton comprende, per convenzione, tutti quegli organismi la cui dimensione è compresa fra 0,2 e 20 mm ed è costituito prevalentemente da Copepodi: questi sono molto importanti, nonostante le loro ridotte dimensioni (intorno al mm), poiché costituiscono, nel plancton, i consumatori primari, cioè gli erbivori. Si nutrono prevalentemente di fitoplancton (anche se ci sono specie che si nutrono filtrando particelle di sostanza organica e specie predatrici), e divengono preda di altri organismi, tra i quali i più importanti sono senz'altro i pesci, prevalentemente allo stadio larvale.

L'attività di monitoraggio del mesozooplankton marino costiero viene svolta per la

prima volta da tutte le regioni costiere con le stesse metodologie e tempistiche e permetterà di capire quali sono le specie presenti in acque costiere e quali sono le variazioni nella loro abbondanza, sia stagionalmente che in intervalli temporali più lunghi. I dati raccolti, una volta elaborati, potranno evidenziare eventuali variazioni nel tempo della composizione delle comunità planctoniche delle varie aree in esame, nonché permettere la messa a punto di metodologie di valutazione della qualità delle acque, sfruttando le potenziali caratteristiche di indicatori biologici di alcuni taxa.

##### 4.4.1. DISTRIBUZIONE DEI PRINCIPALI GENERI DI COPEPODI PLANCTONICI

Si riportano le variazioni temporali dell'abbondanza dei principali generi di copepodi planctonici nelle acque costiere toscane. In particolare, vengono riportati i risultati relativi ai generi *Acartia*, *Paracalanus*, *Centropages*, *Clausocalanus*, *Calocalanus*, *Temora*, *Isias*, *Oithona*, *Oncaea*, *Corycaeus*, *Farranula*, *Euterpina*.

I dati presentati portano un contributo alla conoscenza delle comunità strettamente costiere di copepodi per le acque toscane, dove, per la prima volta, viene svolto un programma di campionamento quindicinale durante tutto l'arco dell'anno.

Gli organismi mesozooplanktonici (dimensioni convenzionalmente comprese fra 0,2 e 20 mm) sono stati raccolti in sei stazioni costiere (circa 500m dalla costa, profondità 10m) con un retino WP-2 ( $\varnothing$  57 cm, lunghezza totale 260 cm, maglia da 200  $\mu$ m), con cadenza quindicinale (prima e

terza settimana del mese) nel periodo di tempo compreso tra il mese di giugno 2002 e quello di luglio 2004, per un totale di 168 campioni. Gli organismi vengono raccolti in bottiglie di polietilene da 1L e immediatamente fissati con 40 mL di formaldeide al 37% neutralizzata. L'identificazione ed il conteggio degli organismi appartenenti ai diversi taxa viene eseguito allo stereomicroscopio (Olympus SZX 12, max 90x), l'analisi tassonomica viene approfondita a livello specifico con l'ausilio di un microscopio ottico (Zeiss Axiovert 25, max 400x).

I tre generi che sono risultati più abbondanti in percentuale rispetto al numero totale di copepodi nel periodo considerato sono *Acartia* con il 18,2%, *Oithona* con il 16,0% e *Paracalanus* (esclusi i copepoditi). Seguono *Centropages* (5,4%), *Temora* con la sola specie *T. stylifera* (3,3%), *Clausocalanus* (2,3%, esclusi i copepoditi), (2,3%), *Isias* con l'unica specie *I. clavipes* (2,1%), *Euterpina* con l'unica specie *E. acutifrons* (2,0%), *Calocalanus* (1,4%), *Oncaea* (1,1%), *Corycaeus* (0,9%) *Farranula* (0,6%) (Tabella 13).

Tabella 13  
Percentuali dei vari generi rispetto al numero totale di Copepodi nelle sei stazioni di campionamento e valore medio nel periodo giugno 2002-luglio 2004.

	F. Morto	Antignano	Castagneto	Carbonifera	Elba Nord	F. Ombrone	Media
Paracalanus*	8,4	8,7	10,5	11,0	9,1	10,8	9,9
Oithona	13,5	19,9	16,6	13,1	20,1	15,3	16,0
Acartia	31,7	18,4	13,7	22,9	8,9	6,6	18,2
Centropages	7,5	5,9	6,0	4,7	1,6	6,7	5,4
Clausocalanus*	1,4	3,3	3,2	1,2	3,8	2,3	2,3
Temora	1,8	2,5	3,0	2,7	3,1	7,6	3,3
Isias	2,4	1,6	2,6	3,2	0,4	1,0	2,1
Oncaea	0,5	1,6	1,1	0,9	1,3	1,2	1,1
Euterpina	1,5	1,5	2,6	1,5	1,8	3,5	2,0
Calocalanus	0,5	1,4	1,6	1,0	2,7	2,3	1,4
Corycaeus	0,4	0,9	1,0	0,8	1,3	1,2	0,9
Farranula	0,2	1,0	0,5	0,5	1,2	0,6	0,6
Copepoditi Clausocalanus Paracalanus	28,5	30,9	35,6	34,5	42,9	39,0	34,7

(\*) = solo gli individui adulti

L'ordine Calanoida è il più abbondante tra quelli di copepodi planctonici di acque marine costiere, con i generi *Paracalanus*, *Acartia*, *Centropages*, *Temora*, *Clausocalanus*, *Isias*, *Calocalanus*; molto importante è anche il gruppo eterogeneo formato dagli individui giovanili dei generi *Paracalanus* e *Clausocalanus*, che nel periodo considerato rappresenta ben il 34,7% del numero totale dei copepodi. I

generi sopra citati, nel periodo preso in esame costituiscono il 98,3% dei Copepodi di Fiume Morto, il 97,6% di Antignano, il 98,1% di Castagneto Carducci e di Foce Ombrone, il 98,0% di Carbonifera e il 98,3% di Elba Nord (mediamente il 97,9% per le acque regionali). Il genere *Paracalanus* nelle acque toscane comprende tre specie, di cui sicuramente *P. parvus* è la più importante per frequenza e abbondanza. Gli

individui adulti di *P. parvus* (Figura 47 a sinistra) sono più abbondanti nel periodo che va da febbraio a maggio e in settembre-ottobre, anche se sono sempre presenti durante tutto l'anno; i valori più alti sono stati riscontrati nella stazione di Carbonifera, dove hanno sfiorato i 1200



individui per metro cubo (ind/m<sup>3</sup>) nei due campionamenti del mese di maggio 2003. *P. nanus* è invece più abbondante nel periodo dicembre-maggio, in quasi tutte le stazioni, con valori più elevati per il 2004 rispetto al 2003 (valore massimo registrato all'Elba nel marzo 2004, 400 ind/m<sup>3</sup>).



Figura 47

A sinistra: *Paracalanus parvus* (femmina), 0,8 mm; a destra: *Acartia clausi* (maschio), circa 1 mm.

Il genere *Acartia* è composto da varie specie, alcune delle quali molto rare nelle acque toscane, o addirittura assenti; in totale ne sono state rilevate nove (nel periodo di monitoraggio 2001-2004), tra le quali la specie più abbondante è sicuramente *A. clausi* (Figura 47 a destra). *A. clausi* è presente tutto l'anno con valori massimi nei mesi primaverili presso tutte le stazioni, esclusa Elba Nord, dove è sempre molto scarsa o assente, tranne nel periodo tardo primaverile (aprile-giugno). Il picco massimo è stato registrato presso la stazione di Carbonifera nell'aprile 2003, con 1255 ind/m<sup>3</sup>. Il genere *Centropages*

si compone di alcune specie che possono essere raccolte nelle nostre acque, tra le quali le più importanti numericamente sono *C. ponticus* e *C. typicus* (Figura 48). *C. ponticus* è specie tipicamente estiva, stagione durante la quale è presente e relativamente abbondante in tutte le stazioni (con eccezione Elba Nord, dove la presenza è più sporadica), per poi scomparire durante i mesi invernali. L'abbondanza maggiore si è avuta presso la stazione di Antignano nell'agosto 2003, con 280 ind/m<sup>3</sup>. *C. typicus* è più sporadico su tutte le stazioni, prediligendo i mesi primaverili (valore massimo 296 ind/m<sup>3</sup> nell'aprile 2004, stazione di Castagneto).



Figura 48

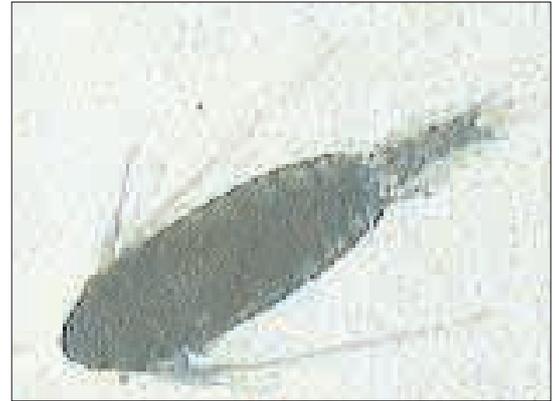
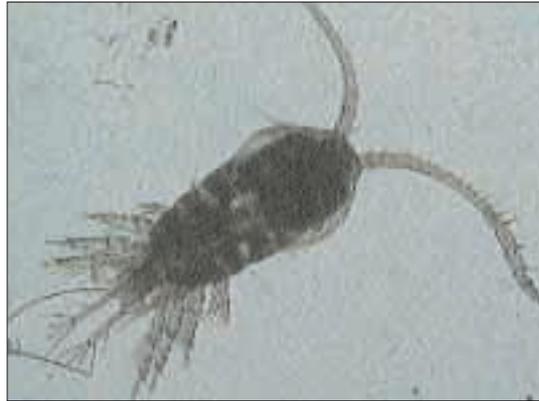
A sinistra: *Centropages ponticus* (femmina, 1 mm); a destra: *C. typicus* (femmina, 1,5 mm).

*Temora stylifera* (Figura 49 a sinistra) è più frequente durante i mesi autunnali, con le abbondanze massime registrate nei mesi di ottobre e novembre 2003 e 2004 in quasi tutte le stazioni. Fanno eccezione Elba e Ombrone con massimi di abbondanza

rispettivamente a giugno e a luglio 2002 (anche in queste stazioni però la frequenza più alta è in autunno); proprio nel luglio 2002, presso la stazione di Foce Ombrone, si è avuta la massima abbondanza registrata, con 941 ind/m<sup>3</sup>.

Figura 49

A sinistra: *Temora stylifera* (maschio, 1,3 mm);  
a destra:  
*Clausocalanus* sp.  
(femmina).



Il genere *Clausocalanus* è composto, nelle acque italiane, da otto specie, tre delle quali (*C. furcatus*, *C. pergens*, *C. paululus*) si ritrovano con una certa frequenza nei campioni di acque costiere. *C. furcatus* (Figura 49 a destra) è prevalentemente autunnale in tutte le stazioni, tranne Fiume Morto dove è scarso e sporadico: il valore massimo è stato riscontrato nel settembre 2002 a Castagneto Carducci, con 242 ind/m<sup>3</sup>. *C. pergens* è piuttosto frequente ma di solito poco numeroso nelle stazioni di Carbonifera e Antignano, dove raggiunge i valori più elevati nel periodo che va dal novembre 2003 all'aprile 2004. All'Elba invece è risultato piuttosto abbondante nella primavera 2004, quando ha raggiunto i 314 ind/m<sup>3</sup> in aprile, mentre in precedenza era risultato sempre molto scarso. Anche presso Foce Ombrone e Fiume Morto *C. pergens* è risultato relativamente abbondante nella primavera 2004 rispetto ai periodi precedenti, quando invece risultava sporadico. Presso la stazione di Castagneto Carducci sia le frequenze che le abbondanze maggiori sono state registrate nel periodo

novembre-aprile 2002-2003 e 2003-2004. *C. paululus* si rinviene nel periodo che va da novembre ad aprile, più o meno in tutte le stazioni, periodo durante il quale raggiunge i valori massimi di abbondanza. Il valore più alto è stato quello raccolto per la stazione di Castagneto nel dicembre del 2002, con 233 ind/m<sup>3</sup>. I valori relativi alle specie di *Clausocalanus* riguardano solamente gli esemplari femmina adulti, poiché il riconoscimento tassonomico a livello di specie per i maschi è molto complicato e laborioso, non adatto per un lavoro di routine.

*Isias clavipes* (Figura 50, a sinistra) è piuttosto frequente in tutte le stazioni, particolarmente nel periodo primaverile, quando la sua presenza è più consistente. Anche nei mesi autunnali è presente anche se meno abbondante rispetto alla primavera. La stazione in cui è meno frequente e abbondante è Elba Nord, dove anche i valori massimi registrati nel periodo considerato, sono molto bassi. Presso la stazione di Carbonifera si è registrato il valore più alto di abbondanza di 791 ind/m<sup>3</sup>, nell'aprile 2004.

Il genere *Calocalanus* (Figura 50, a destra) è maggiormente rappresentato nel periodo dell'anno che va da ottobre ad aprile, periodo durante il quale raggiunge le densità massime, su tutte le stazioni. È composto da diverse specie, di cui cinque principali per le acque tirreniche, ma di difficile diagnosi. Il picco massimo registrato è di 301 ind/m<sup>3</sup> nel marzo



2004, presso la stazione di Foce Ombrone. L'ordine Harpacticoida è rappresentato principalmente dal genere *Euterpina*, con la sola specie *E. acutifrons* (Figura 51, a sinistra): in tutte le stazioni predilige il periodo primaverile, in cui raggiunge i valori più elevati di abbondanza (valore più elevato, 542 ind/m<sup>3</sup> presso Foce Ombrone nell'aprile 2004).



Figura 50

A sinistra: *Isias clavipes* (maschio, 1,2 mm);  
a destra: *Calocalanus* sp.  
(*C. styliremis?*),  
circa 0,6 mm

Il genere *Oithona* (Figura 51, a destra) rappresenta invece l'ordine Cyclopoida, con una presenza continua e relativamente importante nel periodo considerato: è il terzo genere come valore percentuale, dopo *Paracalanus* e *Acartia* (compresi i

copepoditi). *Oithona* risulta più abbondante nel periodo primaverile, su tutte le stazioni, con valori massimi nei mesi di aprile e maggio (il valore massimo è di aprile 2004 con 4329 ind/m<sup>3</sup>, presso la stazione di Antignano).



Figura 51

A sinistra:  
*Euterpina acutifrons*  
(circa 0,7 mm);  
a destra: *Oithona* sp.  
(circa 0,7 mm).

*Oncaea* (Figura 52 a sinistra) è invece uno dei generi più frequenti per quello che riguarda l'ordine dei Poecilostomatoidi (gli altri due generi piuttosto frequenti ma meno abbondanti nel periodo considerato sono *Corycaeus* e *Farranula*). Nella stazione di Carbonifera, *Oncaea* è risultata piuttosto frequente e relativamente abbondante fino al giugno 2003, quando ha raggiunto i 261 ind/m<sup>3</sup>, per poi divenire scarsa e sporadica. Presso Antignano, la sua abbondanza è cresciuta fino ai valori massimi di dicembre

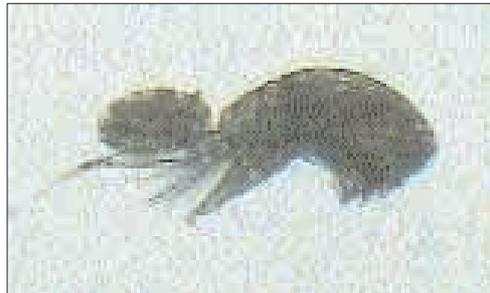
2002 e gennaio 2003 (rispettivamente 124 e 127 ind/m<sup>3</sup>), per poi decrescere lentamente fino a valori minimi nell'estate 2003: solo nel giugno 2004 è tornata ad aumentare di numero. Anche nelle altre stazioni *Oncaea* ha raggiunto la massima abbondanza nell'inverno 2002-2003, dopodiché si sono registrati valori molto più bassi, salvo qualche raro picco di abbondanza in primavera. Questo genere, composto da molte specie con caratteristiche ecologiche differenti, sembrerebbe non seguire le fluttuazioni sta-

gionali che si possono osservare per gli altri generi di copepodi considerati, anche se il periodo analizzato è piuttosto breve, e sarà

necessario allungare la serie storica per avere o meno conferma di questa osservazione preliminare.

Figura 52

A sinistra: *Oncaea* sp  
(circa 0,9 mm);  
al centro: *Corycaeus* sp.;  
a destra: *Farranula* sp.



*Corycaeus* e *Farranula* (Figura 52) sono gli altri due generi maggiormente rappresentati nel mesozooplankton costiero per quello che riguarda l'ordine dei Poecilostomatoidi. Sono composti da molte specie la cui diagnosi è piuttosto complicata, e la loro abbondanza è maggiore nei mesi freddi dell'anno. I picchi prevalenti si registrano in novembre e dicembre, con qualche picco anche in primavera, e questo "comportamento" sembra piuttosto simile per tutte le stazioni. Unica eccezione sembrerebbe la sporadicità di *Farranula* nella stazione di Fiume Morto, anche se le presenze numericamente più elevate si registrano comunque durante il periodo invernale.

I risultati presentati, pur necessitando di successive conferme, provengono da un numero consistente di campioni raccolti a intervalli di tempo regolari in stazioni molto vicine alla costa e costituiscono un punto di partenza per successivi confronti che saranno possibili negli anni a venire con il proseguimento del programma di monitoraggio: ciò dovrebbe permettere di rilevare eventuali cambiamenti stagionali che potrebbero avvenire nella composizione e nell'abbondanza delle comunità di copepodi planctonici nel corso degli anni, ma anche eventuali differenze nella composizione in specie e generi tra le varie stazioni indagate.

#### 4.4.2. COMPOSIZIONE E DISTRIBUZIONE DEL GENERE *ACARTIA* (COPEPODA, CALANOIDA)

I Copepodi costituiscono la componente principale del mesozooplankton marino e particolarmente interessante risulta il genere *Acartia* (Dana, 1846), uno dei più comuni ed abbondanti tra i Copepodi Calanoidi dell'Oloplankton neritico. Le specie appartenenti a tale genere hanno diversa valenza ecologica: per esempio, alcune sono indicatrici di acque tipicamente marine, altre prediligono acque di transizione (Crisafi e Crescenti, 1972). Inoltre, in ambienti con trofia elevata ed in condizioni favorevoli, alcune specie come *Acartia clausi*, considerata una delle specie chiave del popolamento mesozooplanktonico di ambienti costieri (Mazzocchi e Ribera d'Alcalà, 1995; Puddu et al., 1983), possono raggiungere abbondanze molto elevate.

Gli organismi mesozooplanktonici sono stati raccolti utilizzando una rete standard WP2 (57 cm, lunghezza totale 260 cm) con un vuoto di maglia di 200mm (Metodologie analitiche di riferimento ICRAM ANPA, 2002). Il campionamento è stato effettuato, con cadenza quindicinale, durante la prima e la terza settimana di ogni mese presso sei stazioni costiere, di cui cinque ubicate in aree definite critiche

ed una definita di controllo presso l'Isola d'Elba, in un ambiente scarsamente sottoposto ad impatti antropici, con caratteristiche di mare aperto.

I dati riferiti alle specie comprendono esclusivamente gli esemplari adulti; gli esemplari giovanili (copepoditi) vengono considerati tutti insieme, vista la difficoltà dell'identificazione a livello di specie, specialmente per i primi stadi di copepoditi.

Nelle acque toscane il genere *Acartia* rappresenta, nel periodo considerato, il 18,2% dei Copepodi totali (i valori per le singole stazioni sono rispettivamente 31,7% per Fiume Morto, 18,4% per Antignano, 13,7% per Castagneto, 22,9% per Carbonifera,

8,9% per Elba Nord e 6,6% per Foce Ombrone) e raggiunge le abbondanze più elevate nel periodo marzo-giugno praticamente in tutte le stazioni. La distribuzione temporale conferma la stagionalità primaverile del genere *Acartia*, già descritta in letteratura per il mare toscano. Nel periodo in esame, sono state ritrovate nove specie di *Acartia*, delle quali alcune molto rare (in particolare *A. danae*, *A. latisetosa* e *A. grani* (adesso classificate come *Paracartia*), *A. adriatica*. L'abbondanza è sostenuta principalmente dai copepoditi delle varie specie, che rappresentano mediamente circa il 75% del genere: i valori per le singole stazioni sono esposti in Tabella 14.

Specie	F. Morto	Antignano	Castagneto	Carbonifera	Elba Nord	F. Ombrone	Toscana <sup>1</sup>
<i>A. adriatica</i>	0,03	0,22	0,00	0,00	0,21	0,00	0,06
<i>A. clausi</i>	15,15	17,15	30,66	24,71	17,70	28,66	21,85
<i>A. discaudata</i> var. <i>mediterranea</i>	1,41	1,91	0,58	0,08	0,00	0,00	0,76
<i>A. grani</i>	0,02	0,84	0,00	0,00	0,02	0,03	0,16
<i>A. josephinae</i>	0,00	0,05	0,14	1,15	1,82	0,86	0,59
<i>A. margalefi</i>	0,00	0,00	0,00	0,05	18,45	0,19	0,95
<i>A. negligens</i>	0,03	0,56	0,36	0,36	1,26	1,26	0,41
<i>A. danae</i>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
<i>A. latisetosa</i>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,12	0,00	0,01
Copepoditi <i>Acartiidae</i> indet.	83,35	79,28	68,26	73,64	60,42	69,01	75,20

<sup>1</sup> In questa colonna sono riportate le percentuali considerando complessivamente tutte le stazioni.

Tabella 14

Valori percentuali delle varie specie rispetto al valore del genere *Acartia* in toto nelle varie stazioni.

La specie più abbondante e più frequente è *A. clausi*, specie tipicamente costiera piuttosto resistente a fenomeni di inquinamento, con circa il 22%; il valore percentuale più alto è quello della stazione di Castagneto, con circa il 30%, ma è sempre sopra il 15% in tutte le stazioni.

*A. discaudata* var. *mediterranea* (Figura 53, a sinistra) è piuttosto scarsa e sporadi-

ca e predilige il periodo primaverile: si trova più spesso nelle due stazioni situate più a nord, vale a dire Fiume Morto e Antignano, per poi diminuire fino a risultare, nel periodo considerato, completamente assente nelle stazioni di Elba Nord e Foce Ombrone (Tabella 14). Questo dato, seppur preliminare, è frutto di due anni di osservazioni, e risulta abbastanza

interessante; infatti, in letteratura, *A. discaudata* var. *mediterranea* viene descritta come una specie che predilige acque a

salinità non elevata, capace di tollerare anche acque soggette a fenomeni di inquinamento.

Figura 53

A sinistra:  
*A. discaudata* var.  
*mediterranea*  
(femmina);  
a destra: *Pteriacartia*  
*josephinae* (femmina).

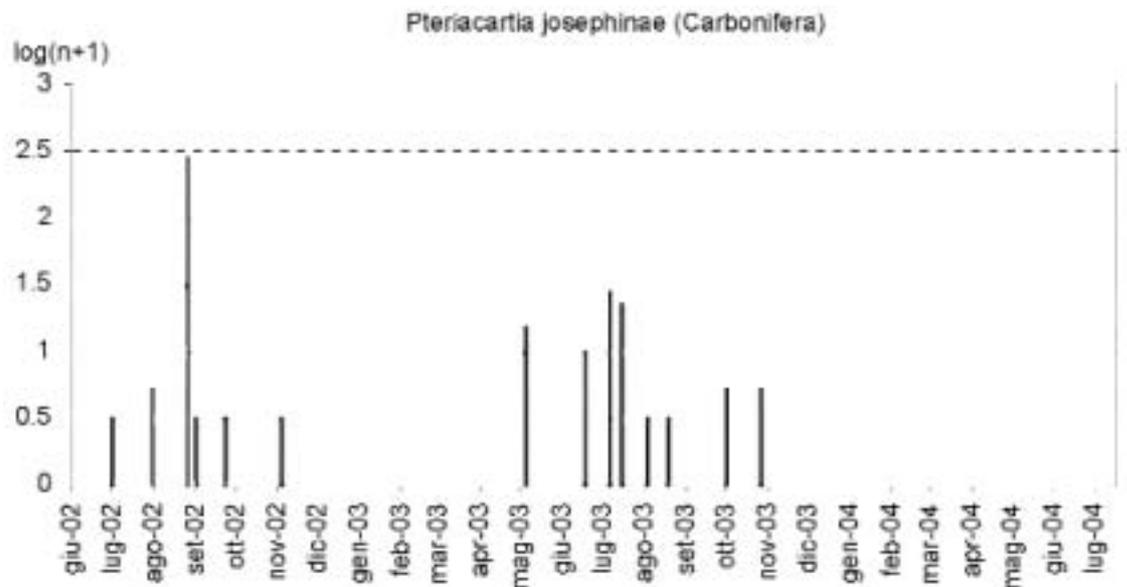


*Acartia josephinae* (adesso denominata *Pteriacartia josephinae*) (Figura 53 a destra) è anch'essa specie piuttosto rara e sporadica, capace di raggiungere però picchi di abbondanza elevati (276 ind/m<sup>3</sup> nell'agosto 2002 presso la stazione di Carbonifera). La stazione in cui è risultata più abbondante in percentuale è Elba Nord con l'1,8%, mentre è risultata di più frequente ritrovamento

presso la stazione di Carbonifera: l'andamento delle presenze presso questa stazione evidenzia la predilezione della specie verso il periodo estivo (Figura 54). Andando verso nord, si osserva un trend in diminuzione passando da Castagneto Carducci ad Antignano, per arrivare a Fiume Morto, dove, nel periodo considerato, è risultata assente.

Figura 54

Andamento temporale  
di *Pteriacartia josephinae*  
nella stazione  
di Carbonifera.



*A. negligens* (Figura 55, a sinistra), per quanto anch'essa molto scarsa (sopra l'1% solo nelle due stazioni Elba Nord e Foce Ombrone), è risultata di più frequente rinvenimento nella stazione di Carbonifera, dove, osservando l'andamento

temporale dell'abbondanza, dimostra di preferire i mesi autunnali e invernali (Figura 56). È risultata del tutto sporadica nella stazione di Fiume Morto, con tre soli ritrovamenti di singoli individui in due anni di campionamento.

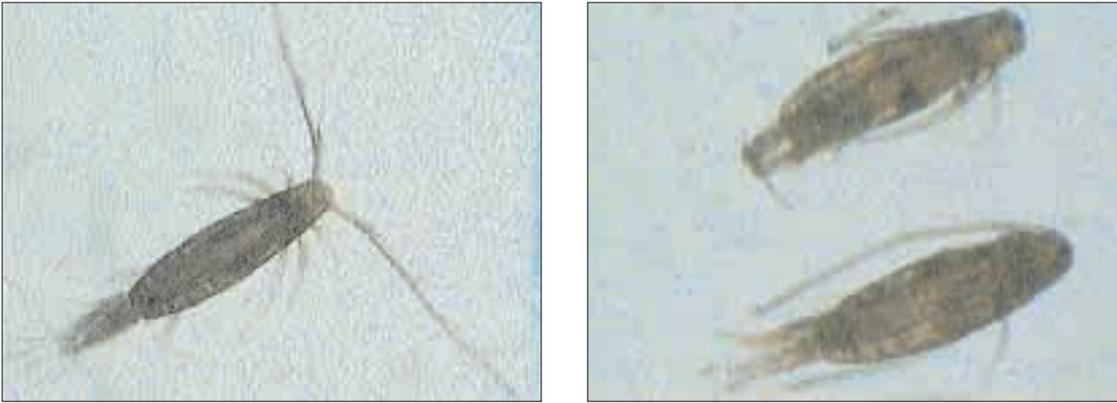


Figura 55

A sinistra:  
*A. negligens* (femmina);  
a destra: Maschio (in alto)  
e femmina di *A. margalefi*,  
lunghezza circa 0,7 mm.

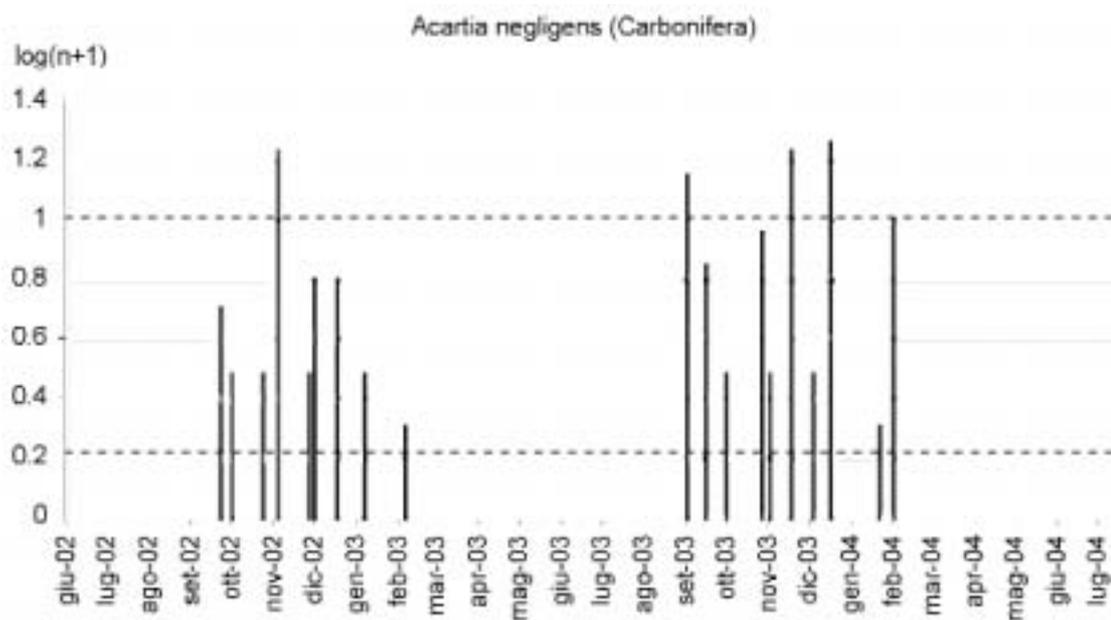


Figura 56

Andamento temporale  
di *Acartia negligens*  
nella stazione  
di Carbonifera.

Ulteriore considerazione riguarda la presenza abbastanza consistente di *A. margalefi* (Figura 56, a destra), descritta in letteratura come specie tipica di acque lagunari o comunque salmastre, non spiccatamente marine (Alcaraz, 1976), nella stazione di Elba Nord, dove supera il 18% ed è quindi la specie più importante come valori percentuali. Elba Nord non presenta apporti di acqua dolce di rilievo né importanti influenze antropiche tanto da venir considerata come zona di riferimento per il programma di monitoraggio marino costiero; la presenza di *A. margalefi* in questa stazione risulta, pertanto, piuttosto inattesa. Nelle altre stazioni toscane risulta sporadica (Carbonifera e Foce Ombrone) o addirittura

assente (Castagneto Carducci, Antignano, Fiume Morto).

Questa preliminare analisi delle distribuzioni spazio-temporali del genere *Acartia* ha permesso di identificare nove specie differenti, più o meno frequenti e abbondanti nelle acque costiere, tipicamente sottoposte a disturbo di origine antropica. In particolare, mette in risalto come *A. clausi* sia la specie più abbondante. La distribuzione di queste specie potrà essere analizzata in maniera più approfondita con l'acquisizione di un più ampio set di dati, e potrebbe in futuro essere utilizzata per differenziare, per esempio, acque costiere ad elevata trofia o salmastre da acque tipicamente marine, provenienti dal largo e individuare eventuali fenomeni di inquinamento.

#### 4.5. DINAMICA DEL LIMITE INFERIORE DELLA PRATERIA A *POSIDONIA OCEANICA*

Le praterie a *Posidonia oceanica* (L.) Delile, fanerogama marina del Mediterraneo, rappresentano la comunità climax del piano infralitorale e rivestono un'enorme importanza per i fondali costieri. Tali praterie sono in regressione in buona parte del Mediterraneo nord occidentale: le cause sono legate, in parte, ad eventi naturali, tra cui un disadattamento progressivo che la pianta mostra all'ambiente Mediterraneo (Molinier e Picard, 1952), ma, soprattutto, ad alterazioni ambientali legate alle attività umane quali l'inquinamento, la pesca irrazionale con strascicanti, gli ancoraggi e la cementificazione della costa. Per tali motivi e per il significato di indicatore ambientale, lo studio della prateria è stato inserito, a partire dal 2001, nel programma di monitoraggio nazionale previsto dalla L. 979/82 e dal D.Lgs 152/99 (all. 1 par. 3.4.1.2).

Il monitoraggio è stato effettuato, con frequenza annuale, su tre praterie situate lungo la costa toscana, ad Antignano, Elba nord e Carbonifera, sulle quali sono state effettuate analisi di densità e ricoprimento, di fenologia, di lepidocronologia e la messa in opera di "balisage" con l'elaborazione dei dati ricavati.

Allo scopo di monitorare la dinamica del limite inferiore della prateria, zona considerata, insieme al limite superiore, come più facilmente suscettibile ai cambiamenti ambientali, viene seguito il protocollo adottato dal *Rèseau de Surveillance Posidonies en Région Provence-Alpes-Cote d'Azur* (Bertrand et al., 1986). La messa in mare di 10 corpi morti posizionati ad una distanza precisa dal limite della prateria, permette nel corso degli anni successivi, di

misurarne la differenza, in centimetri, rispetto alla posizione iniziale: un aumento della distanza dei corpi morti dal limite si traduce in una regressione del limite. Ovviamente, c'è da tenere presente anche l'eventualità di una possibile causa meccanica, ad esempio un ancoraggio, che ha estirpato completamente i rizomi nella zona del corpo morto in esame.

In considerazione dell'intenso lavoro subacqueo che richiede questa attività, il tratto di terminale della prateria (limite) che si può investigare è breve (50-60 metri) e, certamente, non può dare indicazioni complete su un limite che si estende per chilometri. Alla luce di questo fatto, l'Area MARE ha deciso, anche se non ancora richiesto dalla normativa, di affiancare a questo tipo di monitoraggio, anche un'indagine con il Side Scan Sonar (SSS): in questo modo è possibile interpolare le due informazioni.

Al termine dei tre anni previsti del monitoraggio sulle praterie di *Posidonia oceanica* si può delineare una situazione per ogni sito di studio.

##### 4.5.1. ANTIGNANO

L'area della prateria ispezionata non presenta variazioni per quanto riguarda nuovi insediamenti urbani sulla costa e caratteristiche della colonna d'acqua; si conferma la presenza sul litorale di *banquette*.

Il limite della prateria, situato a circa 20 metri, è di tipo 3, cioè erosivo (Meinesz & Laurent, 1978), e, quindi, un limite che può essere condizionato da correnti di fondo e non dall'incidenza della luce. A riprova di ciò si registrano nel sito, costantemente lungo la colonna d'acqua, elevati valori di trasparenza calcolata con il metodo del Disco Secchi.

Dall'analisi del principale descrittore in uso nella metodologia di studio, la prateria, nei tre anni di monitoraggio, presenta un aumento, seppur minimo, dei valori di densità (Figura 57); questo valore rientra nella classe 4, cioè prateria molto rada, secondo la scala di densità di Giraud

(1977), mentre secondo Pergent et al. (1995), dove la densità della prateria è in funzione della profondità, la prateria è considerata una prateria densa.

Nello studio fenologico della prateria, in grado di descrivere la vitalità delle piante, si ritrova un numero medio di foglie per ciuf-

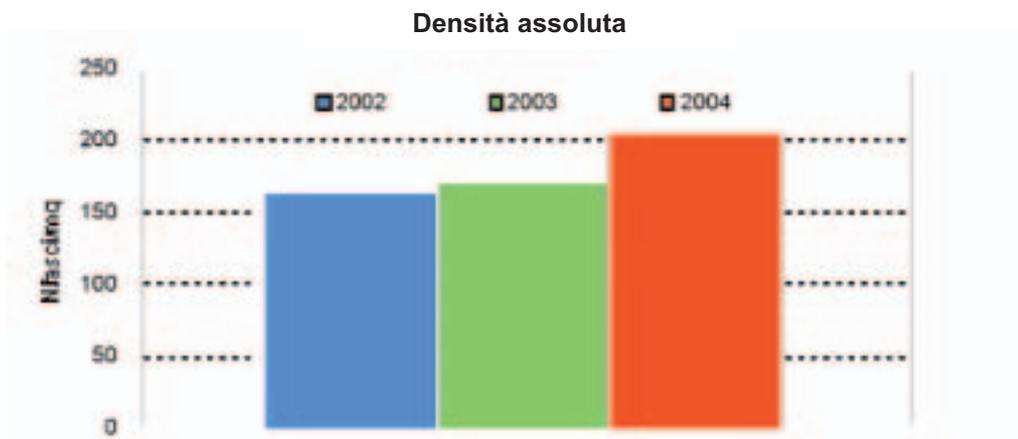


Figura 57  
Variazione annuale della densità fogliare della prateria di Posidonia ad Antignano.

fo che aumenta costantemente a partire dal 2002 con 5,1 foglie per ciuffo a 5,5 nel 2003 fino ad arrivare a 5,9 nel 2004.

Per quanto riguarda la produzione della prateria, valutata in maniera indiretta, determinando l'età dei rizomi attraverso il procedimento della lepidocronologia, essa ha evidenziato un andamento pressoché costante durante i tre anni di monitoraggio per un valore di circa 1000 mg/fascio per anno. Per lo studio della dinamica del limite inferiore

della prateria sono state misurate le distanze dal limite della prateria ai corpi morti i quali erano stati precedentemente posizionati sul fondo ad una distanza di 20 cm dal limite stesso. Le misure della distanza non evidenziano nessun tipo di andamento a parte due valori estremamente elevati sia come avanzamento della prateria, circa 20 cm, sia con arretramento, circa 60 cm. che evidentemente non possono rappresentare un andamento generale del limite (Figura 58 e Figura 59).

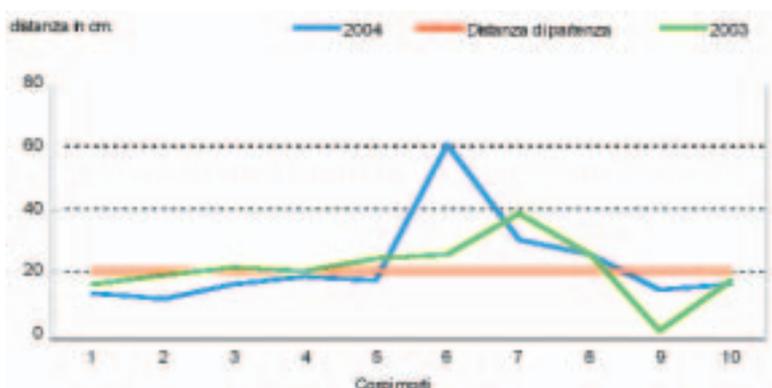
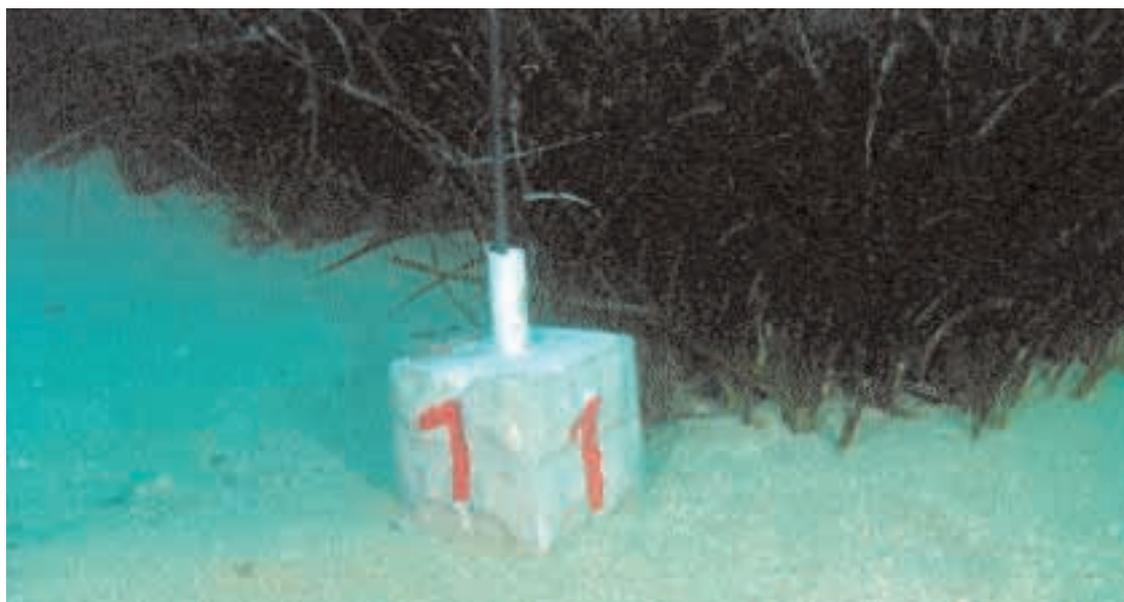


Figura 58  
Variazione annuale della distanza dai corpi morti al limite della prateria ad Antignano.

Figura 59  
Posizionamento  
del corpo morto  
n. 1 sul limite  
della prateria  
di Antignano.



#### 4.5.2. ELBA NORD

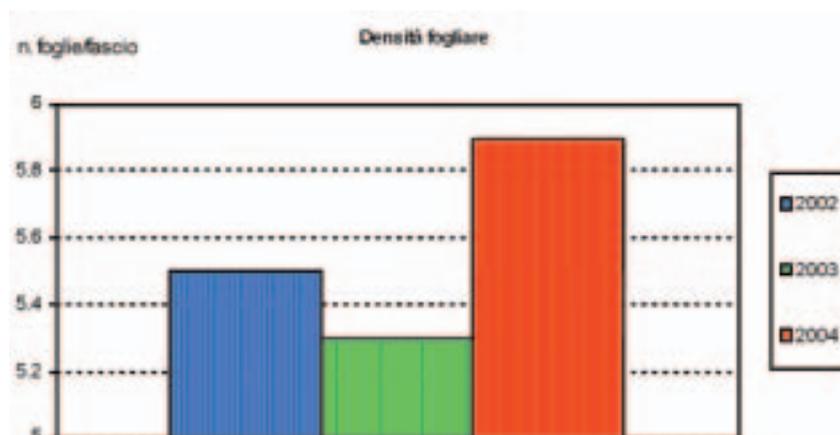
La prateria ispezionata presenta il limite inferiore ad una profondità di circa 22 metri. Al termine del triennio di monitoraggio e numerose immersioni sul sito di studio, si è arrivati alla conclusione che il limite considerato è del tipo 4 cioè erosivo (Meinesz & Laurent, 1978); la caratteristica di questo tipo di limite è la presenza di rizomi traccianti senza foglie e quindi morti, che si estendono oltre il fronte della prateria.

Dall'analisi della densità assoluta dei fasci fogliari, la prateria in esame presenta un aumento effettivamente troppo elevato:

95 fasci/m<sup>2</sup> del 2002, 208,75 fasci/m<sup>2</sup> del 2003 e 232,5 fasci/m<sup>2</sup> del 2004. Questo può far pensare ad una erronea misurazione di densità del primo anno. Con questo dato di densità, la prateria potrebbe essere inserita nella classe 4 (prateria molto rada) secondo Giraud (1977), mentre secondo la scala proposta da Pergent *et al.* (1995), dove la densità della prateria è in funzione della profondità, risulta essere una prateria normale.

Lo studio fenologico della prateria, in grado di descrivere la vitalità delle piante, mostra un numero medio di foglie per ciuffo nell'ultimo anno (Figura 60).

Figura 60  
Variazione annuale  
della densità fogliare  
per fascio della prateria  
di Posidonia  
ad Elba nord.



La produzione della prateria, valutata in maniera indiretta, determinando l'età dei rizomi, ha mostrato una produzione primaria fogliare per fascio stabile intorno a 800 mg/fascio al mq.

L'area presa in esame forse non rappresenta in modo adeguato la situazione reale delle prateria a *Posidonia oceanica* all'Isola d'Elba. La scelta di studiare questo limite, per altro abbastanza articolato tanto da creare problemi nelle misurazioni delle distanze del limite dai corpi morti, è scaturita per seguire le direttive del Ministero dell'Ambiente le quali richiedono che l'indagine del limite inferiore sia a profondità inferiori di 20-22 metri per motivi di sicurezza. Questo ha causato il monitoraggio in una zona in cui, evidentemente, il limite della prateria è particolarmente sofferente anche a causa di un aumento, osservato nel corso del triennio, di un popolamento a *Caulerpa racemosa* che va ad insidiare la disponibilità di substrato alla pianta.

#### 4.5.3. CARBONIFERA

La prateria ispezionata, rappresentativa del Golfo di Follonica, presenta il limite inferiore ad una profondità di circa 20 metri. Il limite della prateria è di tipo 1 cioè netto (Meinesz & Laurent, 1978), con un fronte della prateria che termina bruscamente su un fondale a sabbia fine. Questo tipo di limite è apparentemente condizionato dal fattore edafico, cioè dal tipo di sedimento e dalla natura del substrato. La prateria è continua e presenta un ricoprimento intorno al 75%. La densità calcolata per l'anno in corso presenta un valore superiore a quella registrata negli anni scorsi, intorno a 244 fasci/mq, valore che rientra nella classe IV della scala Giraud.

Per quanto riguarda la produzione primaria fogliare per fascio essa presenta un valore quasi triplicato rispetto all'anno precedente (Figura 61) e più simile a quello del 2002. Questo può significare un errore degli operatori nel calcolo della produzione dell'anno passato.

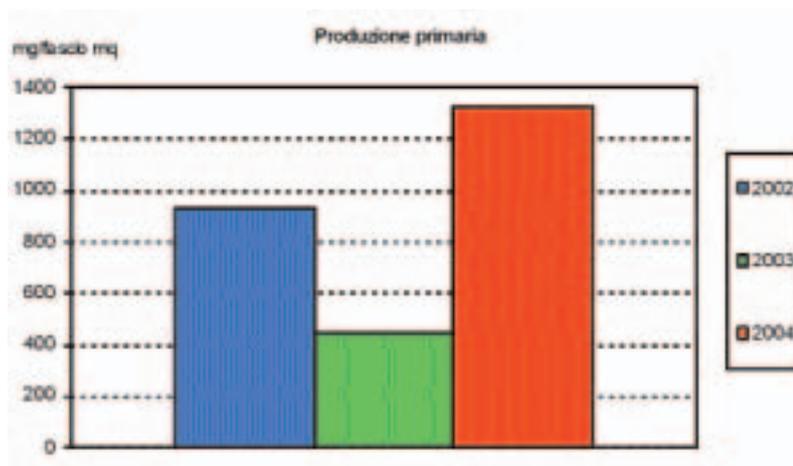
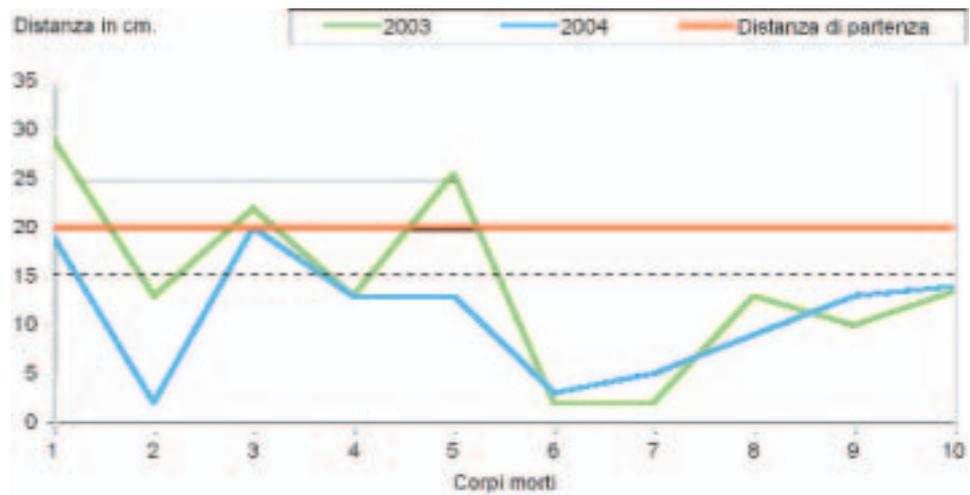


Figura 61  
Variazione annuale della produzione primaria fogliare della prateria di Carbonifera.

La rappresentazione delle distanze del limite dai corpi morti presenta valori molto estremi sia di arretramento sia di avanza-

mento, in ogni caso la tendenza è quella di un costante, seppur lento, avanzamento del limite (Figura 62).

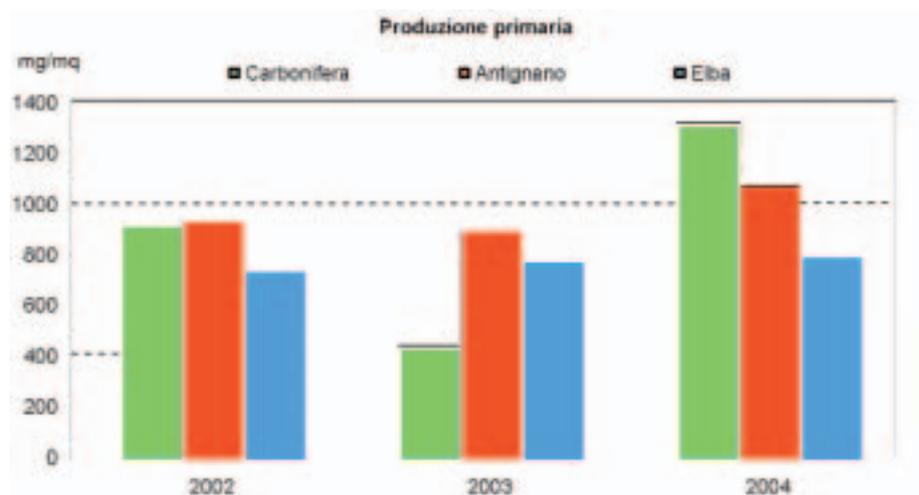
Figura 62  
Variazione annuale della distanza dai corpi morti al limite della prateria a Carbonifera.



Nella Figura 63 sono riportati i valori della produzione primaria che presentano un andamento abbastanza simile con la prateria di Carbonifera più produttiva seguita da

quella di Antignano e da quella dell'Elba. Il dato del 2003 esula da questa tendenza rispecchiando le differenze che questo anno ha fornito su tutti i dati.

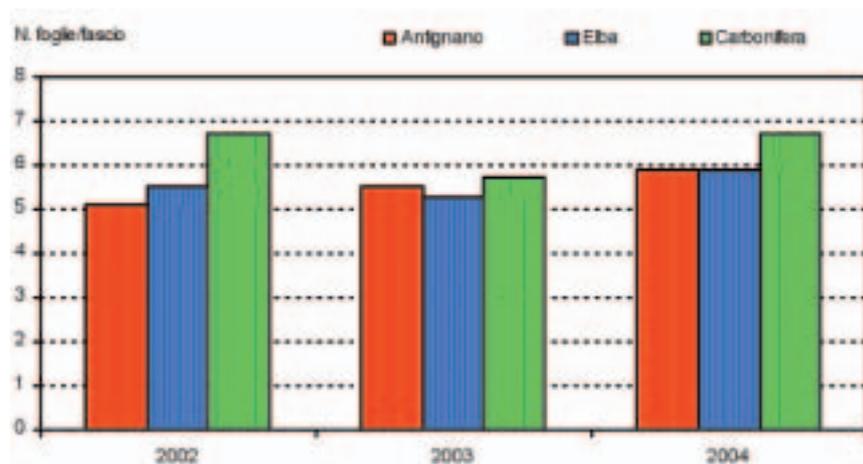
Figura 63  
Variazione annuale della produzione primaria della prateria di Carbonifera, Antignano ed Elba nord.



Il numero medio di foglie per fascio mostra un andamento costante nei tre anni di monito-

raggio con la prateria di Carbonifera che presenta il numero maggiore di foglie per ciuffo.

Figura 64  
Variazione annuale della densità fogliare per fascio nella prateria di Antignano, Elba nord e Carbonifera.



Il grafico della densità assoluta non evidenzia particolari andamenti a parte il valore della prateria dell'Elba nel 2002 particolarmente basso.

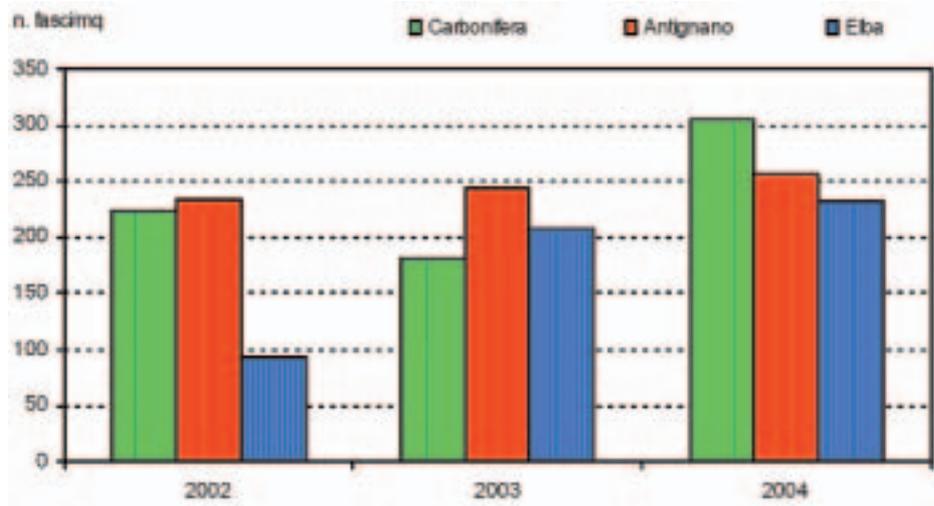


Figura 65  
Variazione annuale della densità fogliare assoluta della prateria a Carbonifera, Antignano ed Elba nord.

La distanza dei corpi morti dal limite, se pur con le dovute cautele, mostra un avanzamento del limite solo per la prateria di Carbonifera mentre per le altre due, ma soprattutto per l'Elba l'arretramento appare di una certa entità. Questo dato però può indurre in valutazioni sbagliate; infat-

ti se nella zona c'è stato l'ancoraggio di qualche imbarcazione, l'ancora nel momento di salpare può avere strappato ciuffi della pianta arrecando in questo modo un danno di tipo meccanico ma non imputabile a una rottura di equilibrio tra la pianta e l'ambiente.

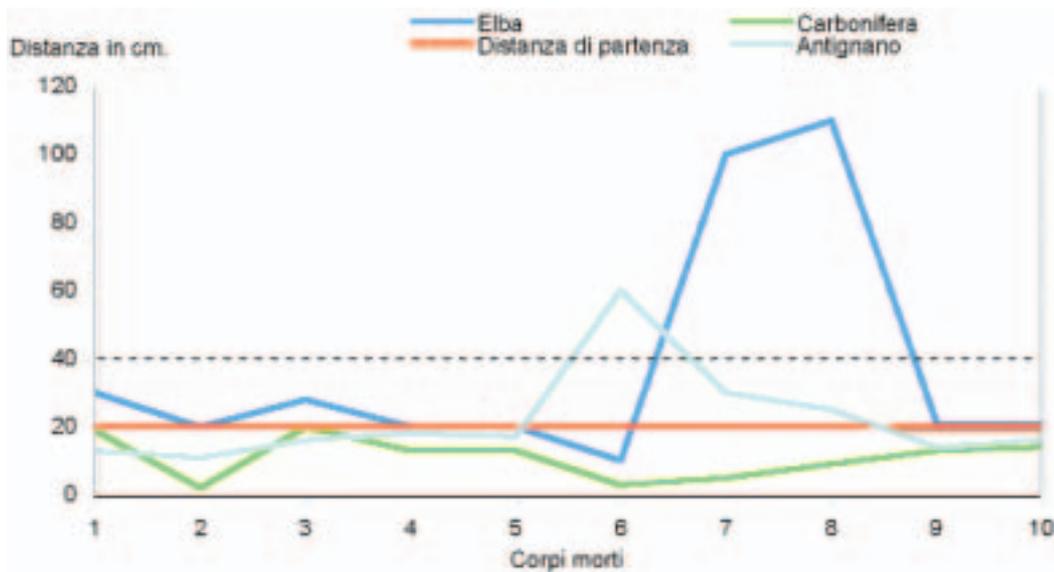


Figura 66  
Variazione annuale della distanza dai corpi morti al limite della prateria a Carbonifera, Antignano ed Elba nord.

Durante il triennio di monitoraggio sono state effettuate anche delle osservazioni sulla metodologia adottata allo scopo di migliorare l'efficacia dello studio. Uno dei

problemi maggiori incontrati dagli operatori è stato quello di identificare un limite inferiore alla profondità di circa 20 metri, soprattutto all'Isola d'Elba dove la biblio-

grafia riporta la profondità di alcuni limiti anche a 45 metri. Appare chiaro che il limite investigato a 20 metri rispecchia già di per sé una situazione alterata rispetto all'area elbana.

Un altro problema che si è evidenziato durante lo studio è stato quello dell'uso della scala di Giraud per la classificazione della densità della prateria; risulta ovvio che una prateria a 20 metri di profondità, anche se in equilibrio perfetto con l'ambiente circostante, non mostrerà una densità uguale ad una prateria superficiale. Per questo motivo è sembrato corretto affiancare al valore relativo alla scala di Giraud anche quello della scala di Pergent in cui il valore della densità è in funzione della profondità. Anche l'addestramento degli operatori subacquei è alla base di una buona riuscita del monitoraggio; l'affiatamento tra di loro è risultato ottimale nel campionamento del 2004 dopo che alcuni operatori avevano partecipato ad un corso di aggiornamento per ricercatori scientifici subacquei.

Ovviamente non esiste il metodo migliore per mappare il limite della prateria ma per ogni situazione l'operatore deve scegliere in funzione della precisione richiesta, del tempo necessario e del costo dell'operazione. L'immersione subacquea per lo studio del limite inferiore offre sicuramente un ottimo dettaglio ma la scarsa autonomia e la difficoltà di movimento fanno sì che per investigare un limite molto esteso, a questo metodo deve essere affiancato anche uno ecografico. Nel caso della prateria a Carbonifera il limite in esame è stato map-

pato, anche con l'ausilio del Side Scan Sonar. I dati ottenuti con queste due metodologie sono stati poi sovrapposti offrendo una visione del limite molto precisa; infatti usando il SSS il limite mappato è stato di 1,5 Km e all'interno di questo, per una distanza di circa 60 metri, l'indagine è stata condotta con l'ausilio dei subacquei offrendo un'indagine di dettaglio e curando, allo stesso tempo, il posizionamento migliore.

#### **4.6. LE BIOCENOSI DELLE SABBIE FINI BEN CALIBRATE**

I fondali marini sono per la maggior parte coperti da sedimenti e costituiscono i fondi molli o mobili (sabbie, fanghi, ecc.), mentre solo una piccola parte è costituita da rocce (fondi duri). La successione dei tipi di fondale è condizionata dalla diversa granulometria dei materiali che li compongono: ad esempio, i granelli di sabbia hanno un diametro (e quindi un peso) superiore a quello delle particelle di fango e, per questo, quando il detrito viene trasportato dal moto ondoso o dalle correnti, la sabbia si deposita sul fondo prima del fango. Quindi, procedendo dalla costa verso il largo, si ritrovano, in genere, roccia, ciottoli, sabbia, fango, argilla, intervallati da fondi in cui due di queste componenti sono presenti in proporzioni diverse.

I fondi molli costituiscono dei sistemi di estremo interesse per la loro ampia distribuzione e per l'importanza e la varietà dei popolamenti bentonici<sup>1</sup> che li colonizzano, costituiti prevalentemente da organismi endobionti<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Il benthos è l'insieme di tutti gli organismi, vegetali ed animali, fissi o mobili, che vivono sul fondo marino o che ad esso sono legati da esigenze alimentari.

<sup>2</sup> Gli organismi del benthos possono essere divisi, in base al

rapporto intrecciato con il substrato, in epibionti, se vivono al di sopra del substrato, ed endobionti se, invece, vivono affossati nel fango o nella sabbia o in nicchie scavate nella roccia.

quali policheti, molluschi bivalvi, crostacei anfipodi e decapodi ed echinodermi.

La composizione e la struttura delle comunità bentoniche di fondi mobili può essere utilizzata per caratterizzare le condizioni ambientali di aree da indagare e per classificare l'estensione di eventuali impatti ambientali. La caratterizzazione delle condizioni ambientali, generalmente, è basata su metodi quantitativi, mettendo in relazione il numero di specie e di individui prelevati con un'area di fondale conosciuta.

I vantaggi dello studio delle comunità bentoniche di fondi molli ai fini del monitoraggio marino-costiero possono essere così riassunti:

- sensibilità delle comunità alle condizioni dell'ambiente pelagico;
- popolamenti sedentari, utili negli studi sull'effetto locale degli inquinanti, soprattutto se protratto nel tempo;
- determinazione tassonomica relativamente semplice;
- campionamento quantitativo semplice;
- comunità spazialmente stabili;
- comunità temporalmente stabili (memoria biologica).

Lo studio di tali comunità ai fini di attività di monitoraggio comporta comunque degli svantaggi, quali ad esempio:

- campionamento di grandi volumi di sedimento;
- elevati costi di campionamento e sorting;
- risposta delle comunità, agli effetti di disturbo, generalmente lenta.

In questo lavoro vengono illustrati i risultati di tre anni di indagini in tre aree marine costiere della Toscana caratterizzate dalla presenza della biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC). Questa biocenosi, scelta come rappresentativa dei fondi molli

marino costieri, corrisponde alla zoocenosi a *Chione gallina* di Vatova (1949) e, al di fuori del Mediterraneo, alla comunità *Echinocardium-Venus* di Petersen (1918), caratteristica dei fondi sabbiosi. Tale biocenosi si estende generalmente da 2,5 a 25 metri di profondità, su fondali di sabbie fini con granuli di dimensioni uniformi e che presentano in superficie un leggero velo ricco di sostanze organiche.

I campionamenti sono stati eseguiti a marzo 2002, marzo 2003 e gennaio 2004 nelle aree di Fiume Morto, Marina di Castagneto Carducci e Foce Ombrone, in tre stazioni di prelievo situate nella fascia batimetrica dei 5 metri.

Il prelievo è stato effettuato mediante una benna Van Veen, avente superficie di presa di circa 0,1 m<sup>2</sup>, e per ogni stazione di campionamento sono state effettuate 3 repliche. I campioni sono stati lavati con acqua di mare e, contemporaneamente, vagliati attraverso setacci con luce delle maglie di 0,5 mm; la frazione trattenuta è stata fissata in formaldeide tamponata al 5% in acqua di mare. In laboratorio i campioni sono stati lavati con acqua corrente, per eliminare la formalina, su setacci con maglia inferiore a quella utilizzata in campo. Il materiale è stato smistato allo stereomicroscopio e la macrofauna è stata classificata, ove possibile, fino al livello di specie e conteggiata. Per ogni campione analizzato è stata fornita la lista specie completa.

Le forme coloniali (poriferi, cnidari e briozoi), i foraminiferi, i platelminti, i nemertini, i nematodi, gli oligocheti e gli emicordati non sono stati quantitativamente rappresentati nel campione; sono stati, comunque, riportati nella lista specie, ma esclusi dall'analisi statistica.

È stata elaborata la matrice quantitativa dei dati su cui calcolare, per ogni stazione, i seguenti parametri strutturali della comunità:

- numero di specie;
- numero di individui;
- indice di diversità specifica (Shannon & Weaver, 1949);
- indice di ricchezza specifica (Margalef, 1958);
- indice di equiripartizione o “evenness” (Pielou, 1966);
- indice di dominanza (Simpson, 1949).

Si tratta di parametri indicatori del grado di complessità delle biocenosi studiate, che prescindono, però, dalle caratteristiche e dalle esigenze delle singole specie che le compongono.

I dati di abbondanza della componente faunistica presa in esame sono stati analizzati tramite metodi multivariati di classificazione utilizzando il software PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research).

Il complesso della macrofauna è stato suddiviso con il criterio bionomico secondo i gruppi ecologici indicati da Pérès & Picard (1964). Sostanzialmente ogni specie di cui si conosce sufficientemente l'ecologia è stata assegnata ad una biocenosi-tipo fra quelle definite da questi autori, inoltre le specie sono state classificate, secondo le loro preferenze ecologiche per il substrato, secondo l'intensità del legame con il substrato stesso e secondo il carattere più o meno esclusivo della loro appartenenza alla biocenosi-tipo.

La fauna è stata poi suddivisa nei quattro seguenti gruppi “trofico-ecologici”:

- Detritivori superficiali e subsuperficiali (d.s.);
- Scavatori o burrowers (burr.);

– Carnivori ed onnivori (c.o.);

– Filtratori (filt.).

Al fine di cogliere chiaramente e di illustrare esplicitamente le caratteristiche fondamentali della struttura trofica, questa suddivisione piuttosto semplice è stata preferita ad altre più fini, poiché il livello di imprecisione aumenterebbe in maniera proporzionale col procedere in ulteriori distinzioni (Valentini, 1998).

Lo studio delle comunità macrozoobentoniche durante i tre anni di monitoraggio, nelle 3 stazioni di prelievo, ha permesso di identificare in totale 15.707 individui appartenenti a 100 specie diverse. Di seguito vengono riportati i risultati relativi alle singole stazioni di prelievo.

#### 4.6.1. FIUME MORTO (FM)

L'analisi tassonomica ha portato all'identificazione di 8.711 individui appartenenti ai seguenti gruppi: policheti, molluschi, crostacei ed echinodermi, per un totale di 43 specie. I taxa maggiormente rappresentati sono i policheti ed i crostacei.

L'analisi dei parametri strutturali della comunità mostra un graduale aumento del numero di specie e quindi della ricchezza specifica dal 2002 al 2004. Il valore del numero di individui risulta elevato nel 2003, mentre l'indice di dominanza e l'equiripartizione presentano valori più elevati nel 2002.

La biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate è rappresentata da specie caratteristiche come i molluschi *Acanthocardia tuberculata*, *Pharus legumen*, *Neverita josephina* e *Pandora inaequalis*, i policheti *Aricidea capensis bansei*, *Owenia*

*fusiformis* e *Paradoneis armata*, i crostacei *Diogenes pugilator* e *Liocarcinus vernalis* e l'echinoderma *Echinocardium cordatum*. Tali specie sono accompagnate da specie tipiche della biocenosi delle Sabbie Fangose superficiali di Moda Calma, da specie tipiche della biocenosi delle Sabbie grossolane e ghiaie fini rimosse dalle onde, da specie tipiche della biocenosi delle Sabbie Fini Superficiali, da specie tipiche della biocenosi del Detritico Costiero, da elementi misticoli tipici di fondi eterometrici, da specie limicole, da specie sabulicole, da elementi tipici di substrati molli e da elementi minuticoli legati sia a sabbia fine che a fango.

L'analisi dei gruppi trofico-ecologici evidenzia una comunità caratterizzata dai detritivori superficiali; non trascurabile la presenza sia dei carnivori-onnivori che dei filtratori.

#### 4.6.2. MARINA DI CASTAGNETO CARDUCCI (MC)

L'analisi tassonomica ha portato all'identificazione di 5.110 individui appartenenti ai seguenti gruppi: policheti, molluschi, crostacei ed echinodermi, per un totale di 61 specie. Il taxon maggiormente rappresentato è quello dei policheti.

L'analisi dei parametri strutturali della comunità mostra nel 2003 i valori più elevati.

La biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate è rappresentata da specie caratteristiche come i molluschi *Acteon tornatilis*, *Nassarius mutabilis*, *Neverita josephina*, *Pharus legumen*, *Spisula subtruncata*, *Tellina fabula* e *Tellina pulchella*, i policheti *Euclymene oerstedii*, *Nephtys hombergii*, *Owenia fusiformis*, *Para-*

*doneis armata*, *Prionospio caspersi* e *Spiophanes bombyx*, il crostaceo *Liocarcinus vernalis* e l'echinoderma *Echinocardium cordatum*. Tali specie sono accompagnate da specie limicole, da specie tipiche della biocenosi delle Sabbie Grossolane e ghiaie fini sotto l'influenza di Correnti di Fondo, da specie tipiche della biocenosi delle Sabbie Fini Superficiali, da specie tipiche della biocenosi dei Fanghi Terrigeni Costieri, da specie tipiche della biocenosi del Coralligeno, da specie tipiche della biocenosi del Detritico Costiero, da specie a larga ripartizione ecologica, da specie misticole tipiche di fondi eterometrici, da specie di fondi molli e da specie minuticole legate sia a sabbia fine che a fango.

L'analisi dei gruppi trofico ecologici evidenzia una comunità caratterizzata dai detritivori superficiali; non trascurabile la presenza sia dei carnivori-onnivori che dei filtratori.

#### 4.6.3. FOCE OMBRONE (FO)

L'analisi tassonomica ha portato all'identificazione di 1.886 individui appartenenti ai seguenti gruppi: policheti, molluschi, crostacei, echinodermi e cefalocordati, per un totale di 44 specie. I taxa maggiormente rappresentati sono quelli dei crostacei e dei policheti.

L'analisi dei parametri strutturali della comunità mostra una netta diminuzione del numero di individui dal 2002 al 2004, mentre nel 2003 si registrano i valori più elevati di quasi tutti gli altri parametri.

La biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate è rappresentata da specie carat-

teristiche come i molluschi *Chamelea gallina*, *Neverita josephinia*, *Pharus legumen*, *Spisula subtruncata* e *Tellina fabula*, i policheti *Aricidea capensis bansei*, *Euchone rosea*, *Euclymene oerstedii*, *Owenia fusiformis* e *Paradoneis armata* ed i crostacei *Diogenes pugilator* e *Liocarcinus vernalis*. Tali specie sono accompagnate da specie tipiche della biocenosi delle Sabbie Fangose superficiali di Moda Calma, da specie come il *Branchiostoma lanceolatum* (Anfiosso) tipiche della biocenosi delle Sabbie Grossolane e ghiaie fini sotto l'influenza di Correnti di Fondo, da specie tipiche della biocenosi delle Sabbie Fini Superficiali, da specie misticole tipiche di fondi eterometrici, da elementi tipici di substrati molli, da elementi minuticoli legati sia a sabbia fine che a

fango, da specie limicole e da specie a larga ripartizione ecologica.

L'analisi dei gruppi trofico ecologici evidenzia una comunità caratterizzata dai detritivori superficiali; non trascurabile la presenza sia dei carnivori-onnivori che dei filtratori.

#### 4.6.4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Analizzando i risultati dei parametri strutturali delle comunità macrozoobentoniche studiate nei tre anni di monitoraggio, si evidenzia un aumento del numero di specie nel 2003 in tutte le stazioni monitorate, con Marina di Castagneto che raggiunge il valore massimo registrato nei tre anni nelle tre stazioni (42 specie) (Tabella 15).

Tabella 15  
Parametri strutturali delle comunità macrozoobentoniche studiate.

Indici ecologici	FM02	FM03	FM04	CS02	CS03	CS04	FO02	FO03	FO04
Numero di specie	21	29	30	35	42	35	30	33	20
Numero di individui	610	4771	3330	1907	2016	1187	1262	427	197
Indice diversità specifica	1,57	1,11	1,23	2,09	2,94	1,84	2,14	2,91	2,53
Indice ricchezza specifica	3,11	3,31	3,58	4,5	5,39	4,8	4,06	5,28	3,6
Indice equiripartizione	0,35	0,23	0,25	0,4	0,55	0,36	0,43	0,58	0,59
Indice dominanza	0,41	0,21	0,32	0,68	0,77	0,41	0,62	0,77	0,66

Il numero di individui presenta i valori più alti nella stazione di Fiume Morto (4.771 individui nel 2003), mentre nella stazione di Foce Ombrone valori progressivamente decrescenti nel tempo, passando dai 1.262 individui del 2002 ai 197 del

2004. La diversità specifica, l'equiripartizione, la ricchezza specifica e la dominanza (Tabella 15), mostrano valori più elevati a Marina di Castagneto ed a Foce Ombrone rispetto a Fiume Morto, dove nel 2003 si rileva il valore minimo del-

l'indice di dominanza. Confrontando i risultati dell'analisi tassonomica di tre anni di monitoraggio (Figura 67), si evidenzia la scomparsa degli echinodermi e

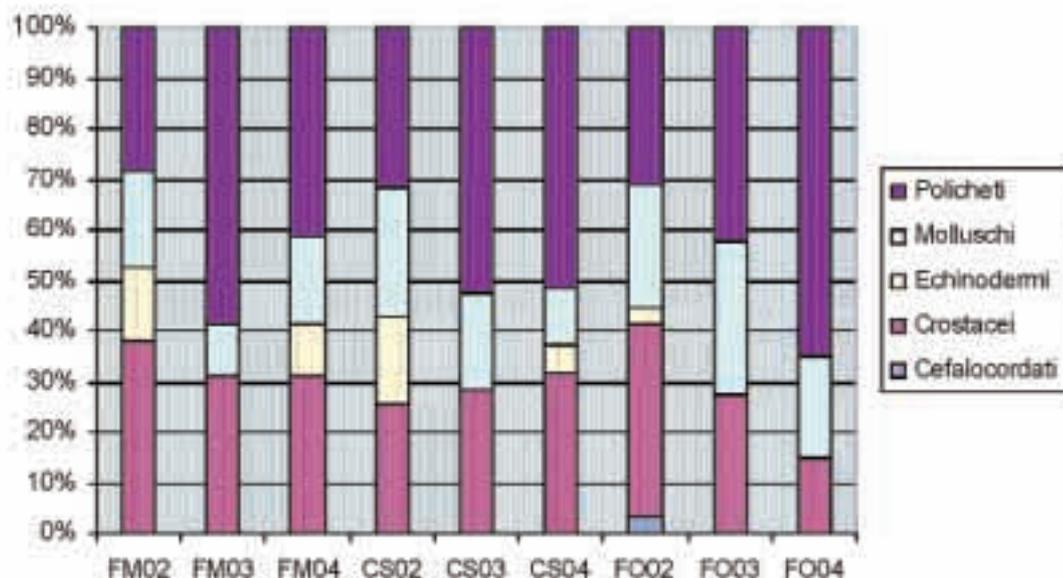


Figura 67  
Variazioni temporali della composizione tassonomica delle stazioni monitorate.

dei cefalocordati a Foce Ombrone ed a Marina di Castagneto del mollusco bivalve *Spisula subtruncata*, specie dominante nel 2002 con 500 individui. L'analisi dei gruppi trofico-ecologici delinea delle comunità ben strutturate nello spazio e nel tempo dominate dai detritivori superficiali e sub-superficiali.

La biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate caratterizza le comunità macrozoobentoniche di tutte le stazioni monitorate. I popolamenti sono caratterizzati, in particolar modo, dalla predominanza dei molluschi *Acanthocardia tuberculata*, *Neverita josephina*, *Nassarius mutabilis*, *Spisula subtruncata*, *Tellina pulchella*, *Tellina fabula* e *Pharus legumen*, dei policheti *Euclymene oerstedii*, *Nephtys hombergii*, *Owenia fusiformis*, *Paradoneis armata*, *Prionospio caspersi* e *Spiophanes bombyx*, dei crostacei *Lio-carcinus vernalis* e *Diogenes pugilator* e

dell'echinoderma *Echinocardium cordatum*.

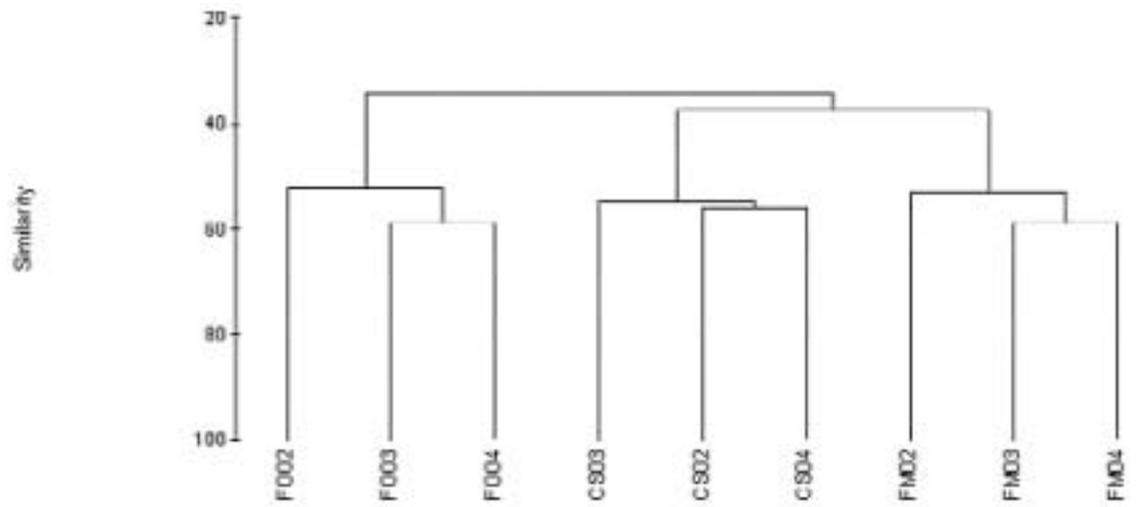
Nella stazione di Foce Ombrone, particolarmente significativa appare la presenza dell'Anfiosso (*Branchiostoma lanceolatum*), specie tipica della biocenosi delle Sabbie Grossolane e ghiaie fini sotto l'influenza di Correnti di Fondo ed unica specie vivente nei mari italiani appartenente al subphylum dei Cefalocordati. Questa specie è considerata di particolare interesse, non solo per la sua posizione filogenetica, ma anche, e soprattutto, per le sue esigenze ecologiche. La sua presenza in Mediterraneo è poco segnalata, molto spesso in aree di particolare interesse naturalistico e con marcato idrodinamismo.

Tramite l'analisi dei cluster (Figura 68) viene evidenziata una differenziazione tra parte centro-settentrionale e parte meridionale delle comunità macrozoobentoniche della costa toscana, ma non si rileva-

no modificazioni significative nella composizione faunistica delle singole stazioni

monitorate, che risultano essere ben strutturate nel tempo.

Figura 68  
Dendrogramma relativo  
al confronto  
delle comunità  
macrozoobentoniche  
studiate.





## 5. L'APPROCCIO ECOSISTEMICO

Le variazioni dei fattori abiotici, come ad esempio le fluttuazioni naturali della disponibilità di nutrienti, l'immissione nell'ecosistema marino di sostanze inquinanti, possono influenzare le relazioni trofiche all'interno di un ecosistema fino a portare a profondi cambiamenti non solo nella composizione delle specie presenti, ma anche nella fisiologia, riproduzione, comportamento e persino nella struttura genetica degli organismi.

I cambiamenti nelle caratteristiche delle acque e dell'habitat, così come gli effetti globali del clima che stanno avvenendo attualmente, determinano variazioni nei rapporti esistenti a diversi livelli della catena trofica, alterando i flussi energetici e la struttura trofica dell'intero ecosistema.

La conservazione degli ecosistemi marini è quindi di vitale importanza per il mantenimento dei sistemi naturali dei mari che hanno una funzione ecologica determinante e che sono componenti importantissimi della biodiversità. Se questo scopo è raggiunto, saremo in grado di garantire un uso sostenibile delle risorse ambientali. Una politica indirizzata all'uso sostenibile delle risorse naturali necessita di obiettivi chiari e ben codificati, ad esempio il mantenimento dell'integrità, della diversità e funzionalità degli ecosistemi, lo sfruttamento sostenibile delle risorse presenti in questi sistemi, il controllo degli input di sedimenti e prodotti industriali in modo da non sbilanciare gli ecosistemi. Azioni a livello nazionale o internazionale devono essere impostate per trasformare gli obiettivi prefissati in misure pratiche mirate alla conservazione e all'uso sostenibile delle risorse. Questo include l'identificazione di metodi

efficienti, sia per lo studio degli ecosistemi in questione, sia per monitorare lo status delle specie sfruttate e anche di quelle che subiscono impatto indiretto dall'attività antropica.

Per riuscire ad avere una buona conoscenza degli elementi dell'ecosistema, delle interazioni esistenti fra loro, per la valutazione dell'impatto dell'attività antropica, per l'identificazione delle misure necessarie per la loro protezione e sfruttamento sostenibile, dovrebbe essere imperativo considerare azioni globali per intraprendere e attivare il cosiddetto Approccio Ecosistemico di valutazione.

I flussi di energia fra livelli trofici influenzano la sopravvivenza e le caratteristiche qualitative delle risorse. Attraverso la nutrizione gli organismi si procurano l'energia necessaria per sviluppare tutte le funzioni vitali, tra cui l'accrescimento e la riproduzione. Conoscere le abitudini alimentari e le interazioni trofiche all'interno di una comunità è essenziali per comprendere i fenomeni biologici.

Data l'impossibilità di condurre esperimenti controllati a livello di interi ecosistemi e l'assenza di una teoria che possa predire sia le interazioni al loro interno sia le loro evoluzioni nel tempo, la modellizzazione di tali sistemi appare lo strumento necessario per stabilire una relazione fra la comprensione delle interazioni a livello di organismi e la dinamica dell'ecosistema.

I modelli ecologici utili per descrivere gli ecosistemi marini, ed in particolare quelli mediterranei, possono essere di due tipi principali: i modelli "dinamici", costruiti in base ad equazioni differenziali che descrivono i più importanti tassi di trasferimento di energia e i modelli stazionari "steady-state

models”, nei quali si assume che le specie mantengono le loro biomasse su un valore medio, considerato valido per tutto il periodo preso in esame.

Quando si tratta di concepire modelli molto complessi, i risultati sono spesso deludenti dal momento che tra i processi simulati esistono interazioni non sufficientemente formalizzate o quantificabili. La soluzione percorsa da Polovina (1984) è stata quella di ridurre un conosciuto modello dinamico in un sistema di equazioni lineari: successive evoluzioni hanno permesso di implementare l'approccio in forma di un programma denominato ECO-PATH e hanno potuto stimare le biomasse dei principali gruppi di specie di un ecosistema corallino nelle Hawaii.

Recentemente Christensen e Pauly (1991) hanno introdotto nuovi elementi nel programma Ecopath, che riguardano principalmente la possibilità di rappresentazioni dell'ecosistema più dinamiche (ECOSIM) e l'introduzione dell'aspetto spaziale (ECOSPACE). Ecosim utilizza una serie di equazioni differenziali che esprimono i flussi di biomassa e permette di esplorare la dinamica del sistema analizzando come la biomassa dei differenti gruppi nell'ecosistema viene controllata. Le due vie estreme sono: controllo del predatore (top-down control) e controllo della preda (bottom-up control). Il primo prevede rapide oscillazioni delle biomasse della preda e del predatore; il secondo si verifica quando una preda è protetta per larga parte del tempo e diventa disponibile solo quando viene meno la sua protezione.

Gli ecosistemi reali hanno dinamiche più complesse di quelle rappresentate in Ecosim; il punto quindi è individuare una struttura che permetta una rappresentazione degli aspetti basilari di un ecosistema,

dando una quantità limitata di input. Questo è stato ottenuto mediante l'introduzione di una dinamica spaziale che quindi permette anche di esplorare il ruolo potenziale delle Aree Marine Protette (MPA) come strumento per mitigare e spesso ridurre vari effetti che influenzano gli ecosistemi.

Con tali modelli negli anni Novanta è stato realizzato uno studio nella laguna di Orbetello con l'obiettivo di valutare l'impatto antropico sulle risorse tramite un modello a compartimenti (box model). Il modello della laguna di Orbetello è da 16 comparti che raggruppano tutti i componenti del complesso ecosistema lagunare: i cormorani, le anguille e il branzino che si trovano all'apice della rete trofica, l'orata, i saraghi, la sogliola, i mugilidi e i pesci foraggio che si trovano su livelli intermedi (alcuni di loro suddivisi in più di un compartimento in funzione della taglia). Infine il modello include quindi alcuni compartimenti per i produttori bentonici, fitoplankton, zooplankton e detrito organico.

Si è valutato lo stato di “maturità” del sistema “sensu Odum” (1969) grazie ad alcune statistiche che sono fornite in output e che descrivono il sistema nella sua globalità. Nella laguna di Orbetello, il rapporto fra la “produzione primaria totale” e la “respirazione totale” risulta pari a 13.3, caratteristico di un ecosistema autotrofico e immaturo.

Lo studio ha fornito una maggiore conoscenza sulle tecniche di pesca, sulla composizione del pescato per specie, per taglia e per strategia di pesca nonché sulla biologia di diverse specie sfruttate in laguna (crescita, mortalità, dinamica d'ingresso in laguna, dieta, ecc.). Tramite le valutazioni dei risultati ottenuti con le tecniche correnti, si è confermato, che le strategie di pesca adotta-

te (principalmente in relazione alle taglie di cattura e periodi) sono in genere adeguate. Si è inoltre constatato che una migliore gestione della dinamica di ingresso del novellame in laguna permetterebbe di migliorare le rese e soprattutto la necessità di mantenere un certo livello di eutrofizzazione per garantire una ottimale disponibilità alimentare e quindi una biomassa pescabile elevata. Comunque è necessario, in ogni caso, controllare l'eccessivo incremento dei nutrienti al fine di evitare i fenomeni

di moria che possono talvolta insorgere nell'ambiente lagunare.

Anche a livello degli ecosistemi marini esiste tutta una serie di interazioni alimentari fra specie che spesso occupano più livelli trofici contemporaneamente, tanto che è più corretto parlare di reti che di catene trofiche. L'alimentazione rappresenta un aspetto fondamentale nella biologia ed ecologia di una specie e le strategie alimentari sono uno dei principali fattori nel determinare la struttura e la dinamica delle comunità biotiche.

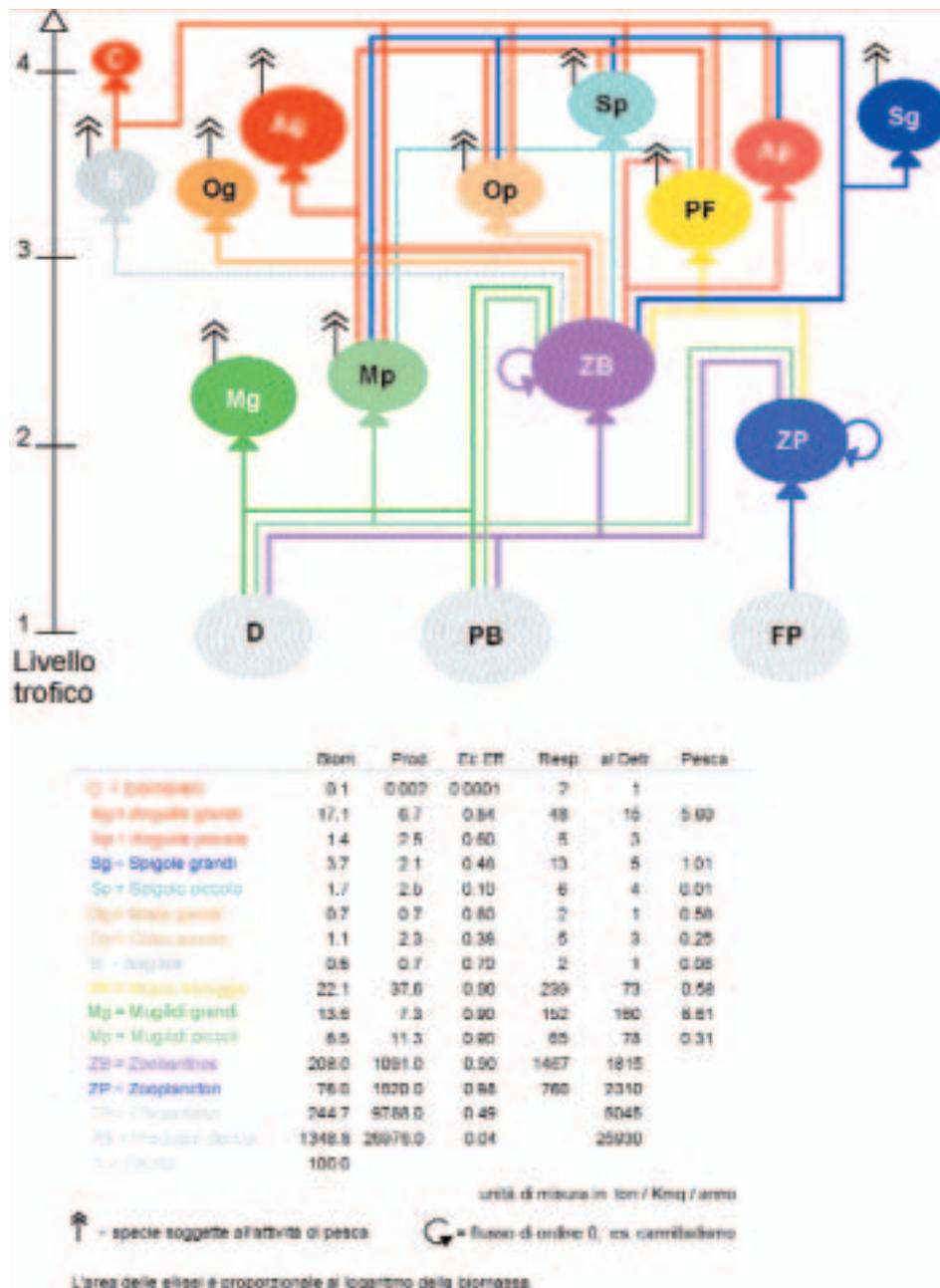


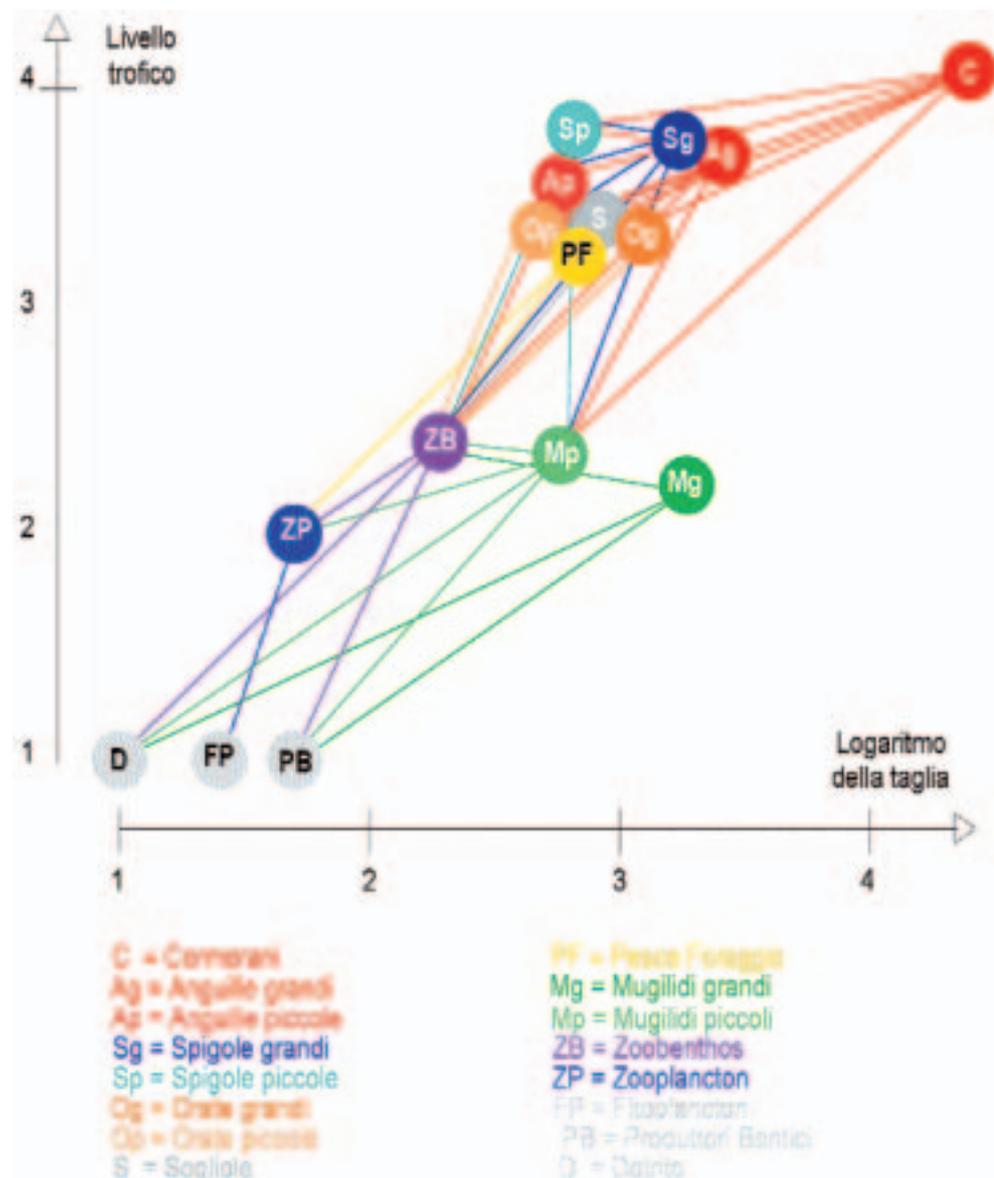
Figura 69  
Principali componenti del modello ecosistemico applicato alla Laguna di Orbetello.

Le caratteristiche ecologiche del Mediterraneo, come quelle di molti altri mari temperati, favoriscono un'alta ricchezza specifica tanto che nessuna specie ha una netta predominanza sia in termini di biomassa che di abbondanza nella comunità biologica di una determinata area.

In questo contesto, circa quindici anni fa è stato dato il via ad una linea di ricerca volta a conoscere l'ecologia trofica dei pesci demersali del Mar Tirreno Settentrionale,

tratto di mare in cui, a quel tempo si conosceva poco su questo argomento. Sono state studiate 14 tra le specie di pesci più importanti dell'area, sia in termini di abbondanza, sia di biomassa; tali specie presentano differenti caratteristiche morfologiche, anatomiche e comportamentali. elaborare un quadro conoscitivo sull'alimentazione delle 14 specie, con particolare attenzione ad eventuali cambiamenti nella dieta legati alla taglia e/o alla stagione.

Figura 70  
Livelli trofici delle principali componenti del modello ecosistemico della Laguna di Orbetello.



I dati sono stati raccolti durante campagne di pesca sperimentale (trawl-surveys) e sugli esemplari campionati delle 14 specie si è proceduto al prelievo degli stomaci, con un campionamento proporzionale all'abbondanza relativa delle classi di taglia di ogni specie. Una volta isolate le prede, il materiale è stato identificato con l'aiuto di uno stereomicroscopio, cercando di arrivare al livello tassonomico più basso possibile. Per ogni contenuto gastrico, sono state annotate le prede ritrovate, il loro stato di digestione e ne è stato stimato numero e peso.

Il contributo di ogni preda alla dieta di ciascuna specie è stato valutato tramite l'Indice di Importanza Relativa (IRI) è stato calcolato per ciascuna preda sia come valore assoluto che

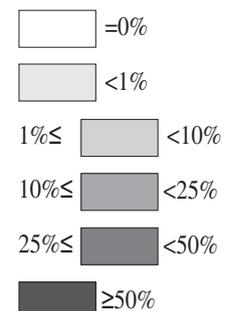
come percentuale rispetto al totale delle prede, tenendo conto sia della taglia del predatore sia della stagione di campionamento.

La Tabella 16 offre un quadro riassuntivo dello spettro trofico delle 14 specie analizzate: ad esempio il gattuccio boccanera (*Galeus melastomus*) evidenzia una dieta molto diversificata e senza particolari differenze al variare della taglia, comprende principalmente cefalopodi, crostacei decapodi, eufausiaci e pesci. Al contrario nel nasello (*Merluccius merluccius*) gli individui più giovani, minori di 20 cm si nutrono essenzialmente a carico di eufausiaci e di misidacei, mentre in quelli più adulti la dieta è più diversificata e comprende principalmente crostacei decapodi e pesci.

Prede	LT (cm)	Policheti	Cefalopodi	Copepodi	Misidacei	Isopodi	Anfipodi	Eufausiaci	Decapodi bentonici	Decapodi neotonici	Pesci	Altro
<i>S. canicula</i>	14.0-34.5											
<i>G. melastomus</i>	9.0-34.5											
	35.0-55.0											
<i>E. spinax</i>	11.5-31.5											
<i>H. italicus</i>	5.5-18.0											
<i>N. sclerorhynchus</i>	6.5-19.5											
<i>M. merluccius</i>	6.5-9.5											
	10.0-19.5											
	20.0-29.5											
	30.0-43.0											
<i>G. a. argenteus</i>	5.0-11.0											
<i>M. poutassou</i>	10.5-19.5											
	20.0-39.0											
<i>T. m. capelanus</i>	5.5-14.5											
	15.0-23.0											
<i>P. blennoides</i>	5.0-19.5											
	20.0-49.0											
<i>L. caudatus</i>	47.0-99.5											
	100-134											
<i>H. dactylopterus</i>	3.0-9.5											
	10.0-20.0											
<i>L. cavillone</i>	7.5-15.5											
<i>L. boscii</i>	5.0-9.5											
	10-25.0											

Tabella 16

Valori percentuali di IRI (indice di importanza relativa) delle prede, suddivise in grandi gruppi, per le 14 specie di pesci.



Il fatto di avere studiato contemporaneamente la dieta di più specie ha permesso di evidenziare sia l'insieme di risorse alimentari, sia le relazioni trofiche tra le specie stesse. La dieta delle 14 specie insiste su un pool di risorse, estremamente diversificato, essendo stata rilevata la presenza di 113 categorie di prede, appartenenti a Policheti, Molluschi (Cefalopodi, Bivalvi, Opistobranchi), Crostacei (Ostracodi, Copepodi, Stomatopodi, Misi-dacei, Cumacei, Tanaidacei, Isopodi, Anfipodi, Eufausiacei, Decapodi), Echinodermi (Crinoidei, Ofiuroidei, Oloturoidei), Taliacei, Pesci.

Per meglio valutare l'importanza che riveste una preda all'interno di una rete trofica va tenuto conto anche della distribuzione e dell'abbondanza del predatore; il pandalide *C. crassicornis*, ad esempio, è rilevante nella dieta di poche specie, fra le quali però c'è *M. merluccius*, una tra le specie più abbondanti dell'area. Sicuramente una delle risorse più importanti è costituita dal misidaceo *L. typicus* che, oltre a caratterizzare lo spettro trofico dell'intera popolazione di alcune specie, costituisce una delle principali prede per i giovani di molti predatori.

Nonostante l'alto numero di prede, la maggior parte dell'attività alimentare insiste comunque solo su un ristretto numero di esse. Inoltre, diverse prede appartengono al dominio pelagico, determinando un trasferimento energetico tra le reti trofiche presenti nella colonna d'acqua e quelle del dominio bentonico. Comunque gran parte del fabbisogno energetico è soddisfatto da organismi appartenenti al macrobenthos. Questa è un'ulteriore indicazione dell'importanza di questo comparto biotico e quanto eventuali danni a carico di queste comunità, anche in seguito a perturbazioni antropiche, si ripre-

cuotano sulla produzione del popolamento ittico.

Le connessioni trofiche dirette sono risultate di scarsa entità; è stata osservata una bassa frequenza di cannibalismo, limitato solo a *M. merluccius* e *P. blennoides*, e una scarsa presenza di rapporti di tipo preda-predatore tra le 14 specie esaminate. Il cannibalismo può essere un importante fattore di controllo del reclutamento, può rappresentare un meccanismo di sopravvivenza per popolazioni con scarse risorse alimentari e sembra avere maggiore intensità in aree a bassa diversità specifica. Per quanto riguarda i rapporti preda-predatore, solo *G. a. argenteus* sembra avere una certa importanza come risorsa alimentare tra le specie analizzate.

Il calcolo dell'ampiezza della nicchia trofica può essere utile per valutare il grado di specializzazione alimentare di una specie distinguendo così le stesse in generaliste o specialiste. La maggior parte di esse ha rivelato una nicchia trofica abbastanza ampia e diversificata, a testimonianza, globalmente, di un buon livello di eurifagia, ovvero di tendenza all'onnivorismo. In diverse specie, l'ampiezza della nicchia trofica tende ad aumentare con il crescere delle dimensioni: la dieta degli individui più giovani è di solito meno generalista, essendo basata su una gamma di prede più ristretta, con un elevato grado di dominanza.

Il grado di similarità e/o di sovrapposizione alimentare tra specie è stato analizzato mediante cluster analysis. Gli spettri trofici relativi a specie e a classi di taglia della stessa specie sono stati confrontati utilizzando l'indice di dissimilarità di Bray-Curtis, a partire dai valori percentuali di IRI di ciascuna preda.

Dall'analisi è possibile distinguere almeno quattro gruppi. Uno risulta costituito da *E. spinax* e *G. melastomus*, accomunati da una dieta a base di eufausiacei, del decapode *P. sivado*, e soprattutto del calalopode *H. dispar*. Un altro gruppo è rappresentato da *S. canicula*, *H. d. dactylopterus* e *P. blennoides*, specie a dieta essenzialmente bentonica, accomunate dalla presenza del decapode *A. glaber*. Il terzo gruppo è composto da *L. cavillone*, *T. minutus capelanus*, *L. boscii*, *M. poutassou* e *M. merluccius*; l'elemento di similarità per la dieta di queste specie è, fondamentalmente, il misidaceo *L. typicus*.

All'interno di questo raggruppamento ne sono individuabili altri due: il primo è formato da *L. cavillone*, *T. minutus capelanus* e *L. boscii*, nei quali la presenza di *L. typicus* è maggiore; al secondo appartengono *M. poutassou* e *M. merluccius*, resi simili dalla presenza di eufasiacei e, soprattutto, di pesci. Il quarto gruppo contiene i due macruridi *N. sclerorhynchus* e *H. italicus* nella cui dieta sono importanti piccoli crostacei come anfipodi e misidacei. Restano isolate *G. argenteus* e *L. caudatus*, a causa della dominanza dei copepodi nella dieta della prima e di eufausiacei per la seconda specie.

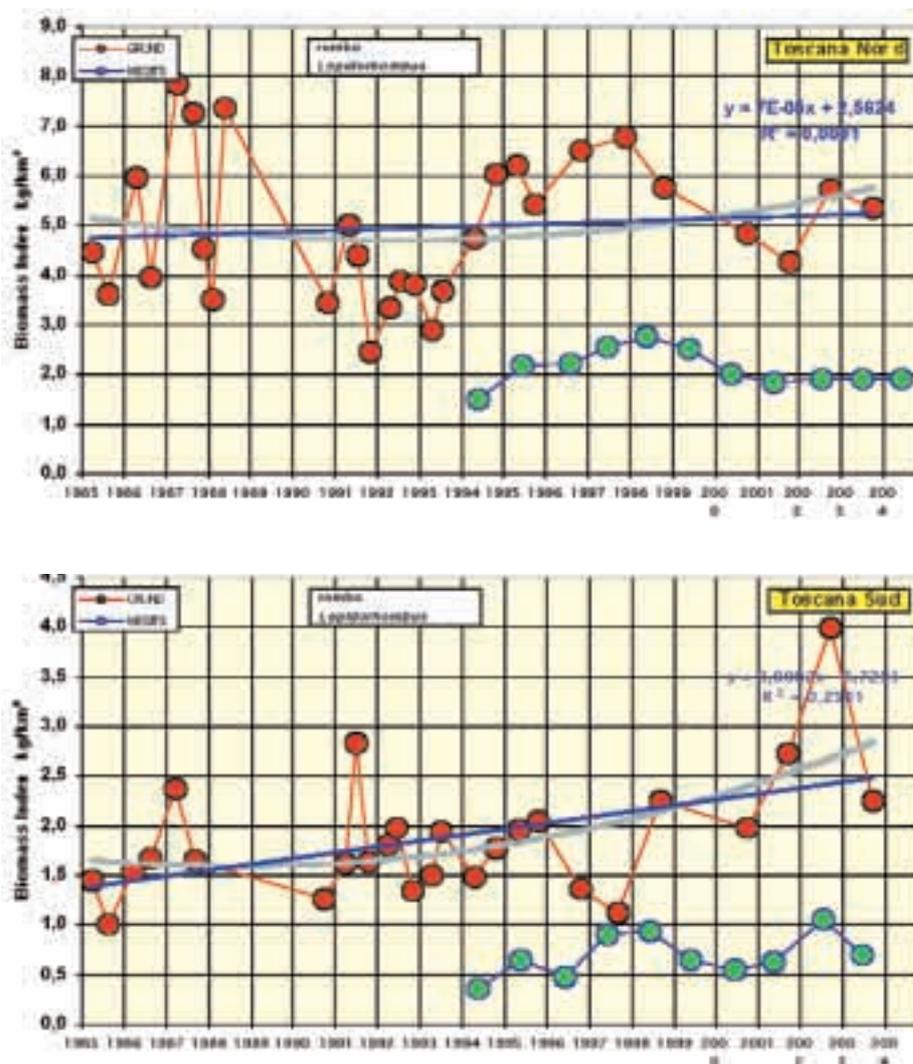


Figura 71  
Andamento dell'indice di abbondanza del rombo quattrocchi (*Lepidorhombus boscii*) dal 1985 al 2004 nella zona a Nord (sopra) ed a Sud (sotto) dell'Isola d'Elba.

Nonostante sia stato rilevato un buon grado di similarità nella dieta delle 14 specie, sia a livello inter- che intraspecifico, gli spettri trofici hanno mostrato caratteristiche peculiari tali da renderli diversi dagli altri. Le specie che insistono su risorse comuni presentano meccanismi di separazione trofica, spaziale e temporale, tali da diminuire i fenomeni competitivi. Più specie possono insistere sulle stesse risorse in momenti diversi, giornalieri o stagionali, specie che insistono sullo stesso insieme di risorse possono avere abbondanze diverse o una differente distribuzione batimetrica; un altro meccanismo importante per diminuire la competizione consiste nella differente selezione della taglia di prede comuni.

L'approccio ecosistemico, inoltre non può prescindere dall'aspetto temporale: quale esempio si riporta il caso del rombo quattrocchi (*Lepidorhombus boscii*) già considerato precedentemente. Questo pesce piatto è distribuito comunemente ad una profondità com-

presa tra 100 e 500 metri e presenta un indice di densità a nord dell'Elba intorno ai 5 kg/kmq, mentre a sud tale valore si riduce a soli 1.5 kg/kmq (Figura 71). La diversità nell'abbondanza della specie tra il nord e il sud della regione, può essere attribuibile alle diverse caratteristiche delle biocenosi che si ritrovano nelle due aree, e si può quindi presupporre che le condizioni a nord siano più favorevoli alla specie di quanto non si verifichi per il sud della Toscana, sebbene le precise ragioni (numero esiguo di predatori, nursery più estese, minore pressione di pesca, ecc.) non siano a questo livello definibili. È interessante notare come le reti utilizzate nelle campagne Grund (la rete commerciale toscana) e nelle campagne Medits (una rete scientifica ad alta apertura verticale) forniscano stime assolutamente coerenti, sebbene con un coefficiente di catturabilità molto diverso: in altri termini la rete Medits cattura solamente il 50% rispetto a quella Grund, sia nelle due zone, sia nei diversi anni campionati.



## 6. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- ALCARAZ M. (1976), *Description of Acartia margalefi, a new species of pelagic copepod, and its relationship with A. clausi*. Investigacion Pesquera, Barcelona 40 (1): 59-74
- BARGHIGIANI C., DE RANIERI S. (1992), *Mercury content in different size classes of important edible species of the Northern Tyrrhenian Sea*. Marin Pollut. Bullet. 22: 114-116
- BARGHIGIANI C., RISTORI T. (1994), *Mercury levels in land products of Mt. Amiata*, Arch. Environ. Contam. And Toxicol., 24: 329-334
- BARGHIGIANI C., RISTORI T., BIAGI F., DE RANIERI S. (2000), *Size related mercury accumulation in edible marine species from an area of the Northern Tyrrhenian Sea*. Water, Air and Soil Pollut. 80: 169-176
- BARGHIGIANI C., RISTORI T., LOPEZ ARENAS J. (1996), *Mercury in marine sediment from a contaminated area of the northern Tyrrhenian Sea: <math><20\ \mu\text{m}</math> grain-size fraction and total sample analysis*. Sci. Total. Environ. 192: 63-73
- CRISAFI P., CRESCENTI M. (1972), *Comportamento, morfologia, sviluppo, misure, confronti e revisione di 8 specie della famiglia Acartidae incontrate in acque marine inquinate soprattutto da scarichi industriali*, Boll. Pesca Piscic. Idrobiol. 27 (2): 221-254
- MAZZOCCHI M.G., RIBERA D'ALCALÀ M. (1995), *Reccurrent patterns in zooplankton structure and succession in a variable coastal environment*. ICES J. Mar. Sci., 52: 679-691
- PUDDU A., LOMBARDI F., SEQUI R. (1983), *Distribuzione ed evoluzione delle comunità planctoniche*. Quad. Ist. Ric. Acque (IRSA), 66: 169-199
- SCERBO R., MAGRI M., BALOCCHI L., MUGNAI C., BARGHIGIANI C. (2004), *Mercurio nei sedimenti marini da Vada a Livorno*. Biol. Mar. Medit. In corso di stampa
- VALENTINI A. (1998), *Comunità zoobentoniche di fondi molli dell'Alto e del Medio Adriatico e loro sensibilità ad alterazioni di origine antropica*. Tesi di Dottorato: 1-192

<sup>1</sup> Non sono stati inseriti i riferimenti relativi a metodiche, classificazioni e tassonomia.

Finito di stampare in Italia nel mese di Ottobre 2004  
presso Pacini Editore Industrie Grafiche - Ospedaletto (Pisa)  
per conto di Edifir - Edizioni Firenze