



ARPAV
Agenzia Regionale
per la Prevenzione e
Protezione Ambientale
del Veneto

Direzione Generale
Via Matteotti 27
35137 Padova
(Italy)
Tel. +39 049 823 93 41
Fax +39 049 660 966
e-mail: urp@arpa.veneto.it
www.arpa.veneto.it

ISBN 88-7504-104-0

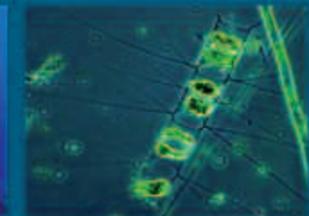
Campo Sperimentale in mare: prime esperienze nel Veneto relative a elevazioni del fondale con materiale inerte

Campo Sperimentale in mare: prime esperienze nel Veneto relative a elevazioni del fondale con materiale inerte





Campo Sperimentale in mare: prime esperienze nel Veneto relative a elevazioni del fondale con materiale inerte



REGIONE DEL VENETO

Presidente

Giancarlo Galan

Assessore alle Politiche dell'Ambiente

Giancarlo Conta

Segretario Regionale Ambiente e Territorio

Roberto Casarin

ARPAV

Direttore Generale

Andrea Drago

Direttore Area Tecnico-Scientifica

Sandro Boato

Osservatorio Alto Adriatico - Polo Regionale Veneto

Marina Vazzoler

Progetto Intervento 72 - "Campo sperimentale in mare"



Il progetto Intervento 72 - "Campo sperimentale in mare", Progetto Esecutivo 93-T406-REL-G003, rientra nel Programma Triennale per la Tutela Ambientale 1994-1996 della Regione del Veneto, con il contributo del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.

Comitato scientifico

Marina Vazzoler ¹, Roberto Bertaggia ², Luca Mizzan ³

Comitato tecnico

Enzo Zennaro ⁴, Salvatore Patti ⁴, Daniele Scatto ⁴

Responsabile scientifico

Michele Pellizzato ³

Responsabile scientifico per l'ISMAR-CNR

Alfredo Boldrin ⁵

Coordinamento editoriale

Maria Grazia Dal Prà ⁶

1. ARPAV - Osservatorio Alto Adriatico - Polo Regionale Veneto
2. Regione del Veneto - Segreteria Ambiente e Territorio
3. Consulenti scientifici
4. Regione del Veneto - Genio Civile di Venezia
5. ISMAR-CNR di Venezia
6. ARPAV - Servizio Comunicazione ed Educazione Ambientale

Esecuzione attività sperimentali:



Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche, ISMAR-CNR, di Venezia

Hanno collaborato:

per l'ISMAR-CNR di Venezia:

Francesco Acri
Fabrizio Bernardi Aubry
Mauro Bastianini
Anna Maria Bazzoni
Alfredo Boldrin
Sebastiano Bruno
Elisa Capuzzo
Daniele Cassin
Massimiliano Cervelli
Arduino Cesca
Andrea Chinellato
Paola Cordone
Luciano Craboledda
Amelia De Lazzari
Luisa Da Ros
Gretel Frangipane
Erica Keppel
Francesca Maggiore
Francesca Meneghetti
Vanessa Moschino
Mauro Penzo
Giuseppe Pessa
Alessandra Pugnetti
Giorgio Socal
Davide Tagliapietra
Giancarlo Taroni
Margherita Turchetto
Daniela Veneri
Veronica Zanon

per l'Osservatorio Alto Adriatico - Polo Regionale Veneto:

Daniele Bon

per l'Università degli Studi di Padova:

Monica Bressan
Gomiero Mirco
Maura Zanella

per THETIS S.p.A (Venezia):

Andrea Berton
Emiliano Molin

Michele Pellizzato

Le fotografie di questo volume appartengono all'ISMAR-CNR di Venezia, ad eccezione di quelle presenti negli interventi di Fabi (foto di ISMAR-CNR di Ancona), di Scatto-Zennaro-Patti (foto di ARPAV e di M. Pellizzato), di Molin-Gomiero-Zanella e di Keppel-Maggiore (foto di E. Molin) e di Chinellato-Bressan-Pellizzato (foto di M. Bressan, A. Chinellato, M. Pellizzato).

INDICE

PREMESSE	9
REGIONE DEL VENETO, ARPAV	
1 > ASPETTI INTRODUTTIVI E GENERALITÀ SUL CAMPO SPERIMENTALE	14
- GENESI E SVILUPPO DEL PROGETTO "CAMPO SPERIMENTALE IN MARE"	15
<i>R. Bertaglia</i>	
- LE BARRIERE ARTIFICIALI IN ITALIA	20
<i>G. Fabi</i>	
- PRIMA REALIZZAZIONE IN VENETO DI ELEVAZIONI DEL FONDALE CON MATERIALE INERTE: IL "CAMPO SPERIMENTALE IN MARE"	35
<i>E. Zennaro, D. Scatto, S. Patti</i>	
2 > CONDIZIONI IDROLOGICHE E FITOPLANCTON	46
- VARIABILITÀ TEMPORALE DELLE CONDIZIONI IDROLOGICHE, IDROCHIMICHE E BIOLOGICHE NELLA COLONNA D'ACQUA (LUGLIO 2003 - GENNAIO 2005)	47
<i>S. Bruno, M. Bastianini, F. Aciri, D. Cassin, A. Boldrin</i>	
- POPOLAMENTI FITOPLANCTONICI NELL'AREA A BARRIERE ARTIFICIALI DEL CAMPO SPERIMENTALE	62
<i>A.M. Bazzoni, M. Bastianini</i>	
- PRODUTTIVITÀ PRIMARIA, FLUSSI VERTICALI DI MATERIALE PARTICELLATO ED EXPORT DI CARBONIO ORGANICO NELL'AREA DEL CAMPO SPERIMENTALE	70
<i>A. Boldrin, A. De Lazzari, A. Pugnetti, A. M. Bazzoni, D. Cassin, M. Turchetto</i>	
3 > SEDIMENTI, POPOLAMENTI BENTONICI E PROCESSO DI COLONIZZAZIONE	84
- CARATTERISTICHE TESSITURALI E CHIMICHE DEI SEDIMENTI SUPERFICIALI NELL'AREA A BARRIERE ARTIFICIALI DEL "CAMPO SPERIMENTALE"	85
<i>A. De Lazzari, A. Boldrin, D. Cassin</i>	
- EFFETTI DELL'INTRODUZIONE DI SUBSTRATI ARTIFICIALI SULLA STRUTTURA DELLE COMUNITÀ BENTONICHE DI SUBSTRATO MOBILE	97
<i>D. Tagliapietra, V. Zanon, G. Frangipane, G. Pessa, P. Cordone, E. Keppel, G. A. Fenzi</i>	
- COLONIZZAZIONE SU SUBSTRATO DURO NELL'AREA A BARRIERE ARTIFICIALI DEL CAMPO SPERIMENTALE: UN ANNO DI STUDIO	109
<i>F. Maggiore, E. Keppel</i>	
- MONITORAGGIO FOTOGRAFICO DELLA COMUNITÀ BENTONICA NEL CAMPO SPERIMENTALE.	123
<i>E. Molin, M. Gomiero, M. Zanella</i>	
4 > ASPETTI PRODUTTIVI, QUALITÀ DELL'AMBIENTE E GENETICA DEI POPOLAMENTI	134
- ACCRESCIMENTO DI MITILO NEL "CAMPO SPERIMENTALE": ALCUNI ASPETTI GENETICI	135
<i>M. Cervelli</i>	
- INSEDIAMENTO, RECLUTAMENTO ED ACCRESCIMENTO DEI BIVALVI EDULI SU STRUTTURE IN SOSPENSIONE NELL'AREA DEL CAMPO SPERIMENTALE	144
<i>A. Chinellato, M. Bressan, M. Pellizzato</i>	
- INTERAZIONI TRA MOLLUSCHI BIVALVI EDULI E HABITAT NELL'AREA A BARRIERE ARTIFICIALI DEL CAMPO SPERIMENTALE: RISPOSTE BIOLOGICHE DI <i>Mytilus galloprovincialis</i> e <i>Tapes philippinarum</i>	165
<i>F. Meneghetti, V. Moschino, L. Da Ros</i>	
CONCLUSIONI	180
<i>S. Boato, R. Bertaglia</i>	

Con l'occasione della presentazione dei risultati dell'attività sperimentale condotta dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto in collaborazione con il CNR-ISMAR di Venezia sul Campo Sperimentale in mare, è con estrema soddisfazione che si richiama l'attenzione sul Disegno di Legge n. 8/DDL, del 14.6.2005, presentato dalla Giunta regionale al Consiglio regionale, avente la finalità di attivare interventi per la tutela, la promozione e lo sviluppo della zona costiera del Veneto e per la creazione di zone di tutela biologica.

Evidenziando la necessità che quella realtà naturalistica, peculiare dell'Alto Adriatico, rappresentata dall'insieme delle teggùe, lastrure o presure, che dir si voglia, ovvero beachrocks e concrezioni organogene, sia identificata, classificata, catalogata e valutata su basi scientifiche, per permetterne un corretto processo di valorizzazione, tutela e sviluppo, la Regione del Veneto intende assolvere a questo compito:

- promuovendo la conoscenza attraverso uno studio scientifico rigoroso e sistematico degli affioramenti lungo la costa veneta nonché attraverso la loro caratterizzazione geomorfologia ed ecologia;
- attivando, di conseguenza, una serie di iniziative volte all'intelligente e rispettosa fruizione del mare e delle sue risorse, temperando il rispetto della natura con le attività dell'uomo, ludiche e lavorative.

Pertanto, il lavoro condotto sul Campo sperimentale, rappresenta un primo passo per l'acquisizione di conoscenze finalizzate a consentire l'approccio delineato. Con la consapevolezza che ogni intervento antropico possa avere sull'ambiente ricadute sia positive che negative, si è scelto di attuare una politica di piccoli passi, supportata da indagini conoscitive propedeutiche su progetti sperimentali o a livello pilota, per la realizzazione di esperienze gestionali relativamente a limitate elevazioni del fondale, con materiale inerte.

Con tutte queste cautele si procederà alla realizzazione di ulteriori elevazioni artificiali, attraverso un apposito piano di localizzazione, partendo da alcune prime limitate esperienze pilota.

In questa logica si pongono le azioni che vengono illustrate nella presente pubblicazione e i cui risultati, si auspica, possano rappresentare la base per un nuovo approccio sostenibile alle attività sul mare.

Presidente della
Regione del Veneto
Sen. Dott. Giancarlo Galan

L'attività di controllo della qualità delle acque marine della Regione del Veneto è stata avviata nel 1984, in applicazione del DPR n. 470/1982 sulle acque di balneazione.

Dal 1985, tali controlli sono stati integrati da un programma di sorveglianza per la rilevazione di alghe aventi possibili implicazioni igienico-sanitarie.

Nel 1986, l'esigenza di assolvere ai compiti affidati alla Regione da una serie di norme impose la necessità di razionalizzare le attività di monitoraggio, compendiandole in un primo Piano per il rilevamento delle caratteristiche qualitative e quantitative delle acque lagunari e marine costiere.

Il Piano regionale di monitoraggio, che ha visto la collaborazione dell'Istituto di Biologia del Mare del CNR di Venezia, dal 1985, l'affiancamento dell'Istituto di Igiene dell'Università degli Studi di Padova, a partire dagli anni novanta, e attualmente, nella configurazione tuttora seguita, il coordinamento dell'ARPAV, ha rappresentato la base su cui si sono innestate tutta una serie di attività conoscitive integrative finalizzate alla gestione della fascia costiera.

Vale la pena di ricordare che risale alla fine degli anni ottanta l'avvio della collaborazione tra gli Istituti scientifici del Friuli Venezia Giulia, del Veneto con quelli delle Repubbliche di Slovenia e di Croazia, nell'ambito della Comunità di Lavoro Alpe-Adria, e attraverso l'ARPAV, si è operata una gestione coordinata delle attività di osservazione e di misura in mare, sia ai fini istituzionali che per rappresentare un interfaccia tra il mondo scientifico e quello dell'informazione.

A seguito dell'emergenza socio-ambientale e economica insorta durante il predetto periodo nelle regioni rivierasche del mare Adriatico, conseguente al manifestarsi di aggregati gelatinosi che, a più riprese, avevano investito la costa tra l'agosto del 1988 e luglio 1990, erano stati promossi alcuni progetti sperimentali proposti dalle Regioni adriatiche nell'ambito delle iniziative del Piano di Risanamento per la Difesa del mare Adriatico, previsto dalla legge n. 57/1990.

Il Campo sperimentale in mare e le relative attività si collegano, per il carattere innovativo per l'area marina costiera della nostra regione, a tali iniziative e, per l'importanza dei risultati conseguiti, pur del tutto preliminari, nel panorama di attività similari, avviate in altre aree lungo le coste italiane, rappresentano un primo passo verso lo sviluppo dell'introduzione di elevazioni artificiali del fondale, con materiale inerte, con finalità di incremento della biodiversità e per una diversificazione delle attività di pesca.

In una logica di piccoli passi e di rigorose verifiche scientifiche, così come previsto dal Disegno di Legge n. 8/2005, del 14.6.2005, il percorso avviato fa intravedere importanti risvolti per il futuro delle nostre aree costiere, a cui l'ARPAV è stata chiamata a sovrintendere e a ricercare le più ampie collaborazioni con il mondo scientifico e quello degli operatori della pesca e del turismo, a supporto delle scelte programmatiche regionali, per la promozione e lo sviluppo della zona costiera del Veneto e per la creazione di zone di tutela biologica.

In tale contesto, si è, da un lato, dato continuazione alle attività sperimentali da effettuarsi sul Campo sperimentale, anche successivamente alla prima fase qui illustrata e, dall'altro, si sono avviate azioni pilota, quali quelle previste dai seguenti progetti:

1. il progetto triennale per la sperimentazione gestionale della zona di tutela biologica delle Tegnùe di Chioggia, per proporre la conservazione e la valorizzazione, perseguendo anche obiettivi di tipo divulgativo ed educativo;
2. il progetto proposto dal Comune di Carole, nell'ambito del Programma comunitario Leader Plus, per i primi interventi per la salvaguardia e la valorizzazione di un'oasi marina di ripopolamento denominata "Tegnù di Porto Falconera";
3. il successivo progetto del Comune di Caorle, che prevede non solo la creazione di una zona di tutela biologica, ma anche la gestione in via sperimentale dell'area attraverso l'organizzazione di una serie di attività;
4. un ulteriore progetto, presentato dal Comune di Caorle, in partenariato con il Comune di Grado e di Capodistria, per l'accesso ai fondi del Programma comunitario Interreg III A Italia - Slovenia, che prevede appositi apprestamenti per costituire un itinerario

subacqueo, che, in relazione alla fragilità dell'ecosistema interessato e alle limitate dimensioni, adotterà tutti gli accorgimenti necessari per non generare alcun rischio, anche solo potenziale, per le teggie, regolamentando il flusso turistico dei sub che visiteranno le aree interessate da questo biotopo e mettendo in atto azioni di educazione ambientale volte alla conoscenza dell'ambiente marino e delle teggie.

A questi si aggiunge il progetto "Adri-Blu", nell'ambito di Interreg III A Transfrontaliero Adriatico, per un primo allestimento delle previste elevazioni artificiali del fondale con materiale inerte, in aree interdette alla pesca professionale, in collaborazione, tra gli altri, con i partner delle Regioni Emilia Romagna e Friuli Venezia Giulia e delle Regioni croate Istria e Litoraneo Montana, per azioni che si concluderanno entro il 2006, a cui potrà eventualmente seguire lo sviluppo di attività di carattere economico e/o ricreativo.

Segretario Regionale
Ambiente e Territorio
Ing. Roberto Casan

L'Agenzia Regionale per la protezione dell'Ambiente del Veneto opera, ormai da tempo, per la tutela ed il recupero dell'ambiente non solo impegnandosi nello svolgimento di attività istituzionali di monitoraggio e controllo del territorio di competenza, ma anche promuovendo e coordinando progetti in ambito regionale, nazionale e transfrontaliero, in collaborazione con altri enti pubblici e con gli istituti di ricerca più qualificati.

E' proprio in questo contesto che si inseriscono le linee di studio e ricerca del "Campo Sperimentale a Mare", un progetto che ha come obiettivo principale la creazione di un sito controllato in mare su cui sperimentare tecniche e metodologie innovative finalizzate ad una maggiore conoscenza dell'ambiente marino e soprattutto ad uno sfruttamento sostenibile delle sue risorse.

La presente opera, che raccoglie i risultati di un anno e mezzo di sperimentazione sul campo, vede luce grazie ad uno sforzo umano ed economico notevoli che hanno visto coinvolti, oltre all'ARPAV, la Regione del Veneto, il Genio Civile di Venezia e l'Istituto di Scienze Marine del CNR.

Si tratta di un lavoro che, per lo spessore scientifico degli argomenti trattati, è principalmente rivolto agli addetti ai lavori, scostandosi in tal modo dalla linea didattico-divulgativa abitualmente seguita dalle altre pubblicazioni di ARPA Veneto. Tuttavia, per riaffermare il ruolo chiave dell'Agenzia nel coinvolgimento dei cittadini nelle azioni di tutela ambientale, si è cercato di rendere il volume fruibile anche ad un pubblico più vasto, attraverso l'inserimento di numerose immagini ed elementi grafici.

Con la realizzazione di questa pubblicazione, c'è la speranza da parte nostra di aver fornito uno strumento utile alla gestione dell'ambiente marino costiero, nella consapevolezza che tutti gli argomenti trattati sono stati affrontati con serietà e rigore scientifico. Un sincero ringraziamento a tutti coloro che, con impegno e passione, hanno contribuito alla realizzazione dell'opera.

Direttore Generale ARPAV
Avv. Andrea Drago

1. ASPETTI INTRODUTTIVI E GENERALITÀ SUL CAMPO SPERIMENTALE



GENESI E SVILUPPO DEL PROGETTO "CAMPO SPERIMENTALE IN MARE" *GENESIS AND DEVELOPMENT OF THE PROJECT "CAMPO SPERIMENTALE"*

R. BERTAGGIA

GIUNTA REGIONALE DEL VENETO - Segreteria Ambiente e Territorio - Calle Priuli, Cannaregio, 99 - 30121 Venezia
e-mail: serv.coord.amb@regione.veneto.it

RIASSUNTO

Il "Campo sperimentale in mare" è un progetto sviluppato nell'ambito del Programma Triennale per la Tutela Ambientale 1994-1996 della Regione del Veneto, con il finanziamento del Ministero dell'Ambiente e del Territorio, su progettazione esecutiva originariamente sviluppata dal Consorzio Thetis di Venezia.

È stato realizzato da ARPAV in collaborazione con l'Ufficio del Genio Civile di Venezia per l'aggiornamento del progetto e l'esecuzione delle opere e con CNR-ISMAR di Venezia per le attività di ricerca.

L'obiettivo del Campo Sperimentale è stato la realizzazione di un'area attrezzata in mare per sperimentazioni di carattere ambientale, in particolare di tecniche e metodologie di protezione costiera, ripopolamento ittico e molluschicoltura, monitoraggio ambientale attraverso bioindicatori.

Il progetto si è svolto nell'arco di tempo compreso tra settembre 2003 e maggio 2005.

Su proposta di programma avanzata da ARPAV e successiva approvazione della Regione del Veneto è prevista l'estensione delle attività di ricerca del Campo per gli anni 2005 e 2006.

ABSTRACT

The "Sea Experimental Field" is a project developed in the "Three-Year Program for Environmental Protection" 1994-1996, established by Veneto Region, with the financial support of the "Ministry of Environment and Territory" on executive projects that THETIS Consortium originally arranged.

Realized by ARPAV (Regional Agency for Environmental Prevention and Protection in Veneto), collaborating with Venice "Civil Engineers Office", for modernization of the plan and execution of the work, and with Venice CNR-ISMAR (National Research Council - Sea Sciences Institute), for research activities. The aim of "Sea Experimental Field", has been the realization of an equipped area in the sea for environmental experimentations, in particular techniques and methodologies of coastal protection, fish restocking and molluscs farming, environmental monitoring by means of bio-indicators.

The study under review has been carried out in the period sept 2003 - may 2005.

Proposed by ARPAV and later approved by Veneto Region, "Sea Experimental Field" will continue on 2005 and 2006.

A seguito dell'emergenza socio-ambientale e economica insorta alla fine degli anni ottanta nelle regioni rivierasche del mare Adriatico, conseguente al manifestarsi di aggregati gelatinosi che, a più riprese, avevano investito la costa tra l'agosto del 1988 e luglio 1990, era stato nominato per il coordinamento degli interventi, dapprima, un Commissario ad acta e, successivamente, con legge n. 57/1990, istituita l'Autorità per il mare Adriatico.

L'Autorità rappresentava una sede di raccordo tra le Amministrazioni dello Stato e delle Regioni, con l'obiettivo di razionalizzare risorse e modalità di intervento.

L'Autorità, nel corso degli esercizi finanziari 1990-1992, aveva assegnato al Ministero dell'Ambiente 18 miliardi di lire, a cui se ne sono aggiunti altri 10 per il 1993, finalizzati alla promozione di progetti sperimentali proposti dalle Regioni adriatiche nell'ambito delle iniziative del Piano di Risanamento per la Difesa del mare Adriatico, previsto dalla stessa legge n. 57/1990, dei quali 4,5 miliardi erano stati ripartiti a favore della Regione del Veneto.

Il Ministero dell'Ambiente ha fornito alle Regioni disposizioni per la presentazione delle istanze, per progetti che si ispirassero ai criteri di:

- innovazione
- sperimentabilità
- replicabilità
- funzionalità rispetto la soluzione di problemi di aree sensibili
- sinergia con iniziative collaterali
- impulso alle condizioni socioeconomiche dell'area.

Accompagnati dalla deliberazione della Giunta regionale n. 4835 del 26.10.1993, sono stati presentati al Ministero dell'Ambiente tre progetti, riguardanti:

- a) Ricostruzione e valorizzazione dell'originario paesaggio agrario nel comprensorio dell'Isola della Donzella (nel Delta del Po) con particolare riguardo all'area compresa fra l'Oasi di Ca' Mello e il biotopo Bonello, il canale Scoetta e la pineta di Cassella, per un importo di 2 miliardi di lire;
- b) Risanamento e salvaguardia di zone e scanni soggetti a erosione e ripascimento con coltivazione sperimentale di specie erbacee pioniere e alofite a scopo trapianto per ricostruzione di ecosistemi naturali e creazione di sentieri naturalistici a funzionalità didattica (botanico-faunistici), per un importo di 1,5 miliardi di lire;

- c) Realizzazione di un campo attrezzato in mare per sperimentazioni di carattere ambientale, per un importo di 1,5 miliardi di lire.

In particolare, quest'ultimo prevedeva la realizzazione di un campo attrezzato in mare per la sperimentazione di tecniche e metodologie di:

- protezione costiera;
- ripopolamento ittico e molluschicoltura;
- monitoraggio ambientale attraverso bioindicatori.

L'allestimento del campo prevedeva l'installazione di strutture permanenti e di strumentazione per il monitoraggio in continuo.

Originariamente, ci si proponeva che le attività sperimentali includessero:

- valutazione della capacità produttiva naturale del sito;
- creazione di un microhabitat di substrato duro;
- installazione di strutture artificiali galleggianti e ancorate al fondo per la captazione di larve e di organismi sessili;
- ripopolamento di molluschi, da impiegare come bioindicatori;
- installazione di strutture flessibili articolate per la protezione del fondale, anche in concomitanza con la reintroduzione di *Posidonia oceanica*.

Le sperimentazioni previste dovevano consentire valutazioni sull'efficacia e l'impatto degli interventi sperimentali e sulla possibilità di estensione degli interventi derivanti da un quadro conoscitivo capace di guidare l'interazione tra le esigenze di:

- difesa del suolo delle linee di costa;
- tutela naturalistico ambientale;
- implicazioni derivanti da attività di molluschicoltura.

In relazione agli orientamenti ministeriali, le sperimentazioni dovevano ispirarsi ai criteri di:

- innovazione, per le finalità ambientali della sperimentazione stessa e l'integrazione delle tematiche affrontate;
- sperimentabilità e reversibilità, sia per le tipologie degli interventi che per le tecniche di monitoraggio;
- replicabilità, in quanto le sperimentazioni dovevano essere in grado di fornire indicazioni per l'estensione degli interventi su ampia scala;
- funzionalità rispetto alla soluzione di problemi specifici dell'area di intervento, in quanto le sperimentazioni dovevano orientarsi alle attività di molluschicoltura e al

contenimento di fenomeni erosivi che caratterizzano l'area prescelta;

- sinergia con iniziative collaterali, quali quelle di difesa del litorale veneziano dal fiume Brenta al fiume Sile e con le relative indagini geognostiche intraprese per conto dal Magistrato alle Acque dal Consorzio Venezia Nuova;
- impulso alle condizioni socioeconomiche dell'area, attraverso il coinvolgimento degli operatori locali nella realizzazione delle sperimentazioni e la successiva ricaduta sui medesimi, attraverso l'applicazione dei risultati ottenuti.

Nel frattempo, la deliberazione CIPE 21.12.1993, come modificata dalla deliberazione del 3.8.1994, relativa al Programma Triennale per la Tutela Ambientale, ha previsto che "Gli interventi individuati negli schemi previsionali e programmatici approvati dai comitati istituzionali delle Autorità di bacino di rilievo nazionale, nonché gli interventi sperimentali del mare Adriatico approvati dalle Regioni prima dell'approvazione del Ministero dei Documenti Regionali di Programma di cui al paragrafo 5.1.3. del capo V (dello stesso P.T.T.A.), sono inseriti nello stesso dalle Regioni."

Approvato dal Ministero dell'Ambiente il predetto Documento Regionale di Programma in data 9.8.1995 - che attribuiva il numero d'ordine 72 al progetto in questione - la Giunta regionale ha affidato al Consorzio Thetis l'incarico della progettazione esecutiva, per l'identificazione del sito maggiormente idoneo, per la progettazione esecutiva delle opere del campo sperimentale e per la definizione delle procedure di installazione e gestione, con definizione del programma delle sperimentazioni nonché per l'ottenimento delle autorizzazioni necessarie.

La convenzione tra la Regione e il Consorzio Thetis è stata sottoscritta il 13.2.1996, e, a seguito di una serie di considerazioni tecniche contenute negli elaborati progettuali, è stata individuata un'area nei pressi della foce del fiume Sile, che consentiva altresì di operare, previ accordi tra le parti, all'interno dell'area in concessione alla Cooperativa di pesca Sile, assentita per attività di molluschicoltura, anche al fine di accelerare l'approvazione del progetto da parte dell'Autorità competenti e agevolare un eventuale passaggio dell'area attrezzata ad attività produttive e/o didattiche o di ricerca.

Prendendo atto del parere favorevole espresso dalla Commissione Tecnica Regionale, sezione Ambiente, in data

16.5.1996, n. 2391, la Giunta regionale con deliberazione n. 2697 del 19.6.1996 approvava il progetto, mentre l'Ufficio del Genio Civile Opere marittime di Venezia rilasciava il proprio parere tecnico favorevole, ai fini marittimi, in data 19.6.1996 e la Capitaneria di Porto di Venezia, per quanto di competenza, autorizzava la realizzazione dell'intervento in data 8.11.1996.

Poiché la deliberazione CIPE del 21.12.1993 e successive integrazioni e modificazioni vietava l'affidamento dell'esecuzione delle opere al medesimo soggetto che ne avesse curato la progettazione, per tutta quella serie di prestazione di servizi relativa al coordinamento delle azioni nell'ambito delle diverse fasi delle sperimentazioni, della direzione lavori, del supporto tecnico-amministrativo per la predisposizione degli atti di gara e sviluppo delle procedure concorsuali da esperire, la Regione si riservava di avvalersi di una propria struttura tecnica, identificabile nel Genio Civile o nell'Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto (E.S.A.V.).

Al fine dell'affidamento dell'esecuzione, va ricordato che, con L.R. 18.10.1996, n. 32, è stata istituita l'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV), mentre, con la L.R. 5.9.1997, n. 35, l'Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto veniva soppresso e istituita l'Azienda regionale per i settori agricolo, forestale e agro-alimentare Veneto Agricoltura.

Sostanzialmente il ritardo nell'avvio del progetto è da imputare quindi al fatto che solo con deliberazione della Giunta regionale n. 3003 del 4.8.1999, tra gli altri compiti, è stato attribuito a ARPAV quello di condurre le sperimentazioni previste dal D.M. Ambiente 9.8.1995, n. 13480/ARS, secondo le seguenti modalità:

- individuazione dell'Agenzia, quale concessionaria, per la gestione, realizzazione e coordinamento del progetto;
- nomina di un Comitato misto di esperti e membri ARPAV, a cui partecipa la Regione;
- acquisizione del programma di lavoro elaborato dal Comitato, consistente in un progetto pluriennale in distinte linee di attività;
- individuazione da parte del Comitato delle modalità operative (mezzi, personale, collaborazioni esterne) attraverso le quali si articola e si realizza il programma;
- sottoscrizione di appositi accordi con soggetti esterni che contribuiscono a eseguire i programmi;
- definizione delle procedure per gli appalti di forniture e di opere;

- partecipazione alla realizzazione del programma con personale e mezzi propri, eventualmente attivando apposite borse di studio;
- informatizzazione, elaborazione e diffusione dei dati, nonché rendicontazione delle spese.

La deliberazione del Direttore Generale di ARPAV, n. 744 del 8.10.2002, recepisce le indicazioni regionali e nomina il Comitato misto di esperti e membri dell'Agenzia e della Regione.

Successivamente, il dirigente regionale responsabile della Direzione per la Tutela dell'Ambiente, con decreto n. 15 del 24.2.2003, ha approvato in linea tecnica ed economica il progetto esecutivo e di variante, redatto a cura dell'Ufficio regionale del Genio Civile di Venezia, valutato che, con lettera del 16.12.2002, l'ARPAV aveva chiesto, in data 24.1.2003, la collaborazione dello stesso Genio Civile per l'appalto e la realizzazione delle opere previste nell'ambito delle attività in oggetto, previa una verifica delle varianti e della congruenza dei prezzi alla situazione attuale.

Infine la deliberazione del Direttore Generale n. 890 del 11.11.2003, affida a CNR-ISMAR di Venezia l'esecuzione delle attività sperimentali previste dal progetto esecutivo, considerato che l'Istituto vanta una pluriennale esperienza su problematiche ambientali e che tale esperienza risultava funzionale alle esigenze di ARPAV nell'espletamento delle attività in questione, anche alla luce delle numerose attività pregresse svolte da ISMAR in ambito regionale nonché dell'Accordo quadro tra ARPAV e CNR, approvato nel dicembre 2002, che consente la stipula di specifici accordi operativi per la realizzazione delle attività oggetto dell'Accordo stesso.

L'arco temporale entro cui si è sviluppato il progetto - inizialmente previsto in 22 mesi, tra avvio amministrativo e redazione dei rapporti finali - è stato sostanzialmente rispettato, considerato che l'allestimento del campo è stato avviato, con atto di cottimo, in data 10.9.2003, affidando i lavori alla ditta SOMIT sas di Alessio Tiozzo & C. e l'attività del CNR-ISMAR è stata oggetto di una relazione finale presentata da ARPAV in data 24.5.2005.

Il campo sperimentale, localizzato, come si è detto, in un'area marina prospiciente il litorale del Cavallino, sta svolgendo funzioni di supporto tecnico sperimentale alle numerose azioni di interesse regionale nell'ambiente marino e costiero sviluppando

attività di ricerca sui temi dell'inquinamento, della pesca, dell'acquacoltura, della tutela della biodiversità.

Al suo interno è inoltre collocata un'unità della Rete Regionale di Boe Meteo Marine che dovrà supportare le azioni integrate sul bacino dell'Alto Adriatico, in collaborazione con Friuli Venezia Giulia, Croazia e Slovenia.

I risvolti tecnici e scientifici del mantenimento e prosecuzione delle attività del Campo rivestono certamente una particolare importanza in ambito regionale veneto in quanto implicano contemporaneamente la possibilità di offrire, da un lato, conoscenze e strumenti di rapido utilizzo per i temi già indicati e relativi ad una gestione integrata dell'ambiente marino costiero e, dall'altro, devono garantire un tempestivo e qualificato supporto tecnico alle politiche regionali sul tema (pesca, emergenze ambientali, turismo, aree di tutela biologica).

In conformità a quanto fino ad oggi realizzato nell'ambito del Progetto "Intervento n. 72 - Campo sperimentale in mare", gli obiettivi della proposta di programma avanzata da ARPAV, accolta dalla deliberazione della Giunta regionale n. 4391 del 29.12.2004, sono i seguenti:

- mantenere in piena efficienza l'area attrezzata del Campo sperimentale, per permettere la continuazione delle ricerche e sperimentazioni e permettere lo sviluppo di sinergie con altri partner, sia pubblici che privati, interessati ad utilizzare pienamente le strutture esistenti, e al fine di sviluppare nuovi progetti in ambito regionale e più in generale in quello adriatico (interregionale, stati transfrontalieri);
- mantenere e gestire la boa oceanografica, che rappresenta un elemento fondamentale nella rete di monitoraggio meteomarinario ed oceanografico regionale per l'Alto Adriatico;
- proseguire ed approfondire gli studi sui popolamenti animali presenti sui fondali circostanti e sui substrati di recente installazione, al fine di valutare gli effetti di queste strutture su biomassa, biodiversità e come elemento di protezione ambientale;
- proseguire ricerche e monitoraggi sugli aspetti applicativi nel settore della maricoltura e in modo specifico sulla produzione e qualità dei molluschi bivalvi;
- attivare e standardizzare le procedure per saggi ecotossicologici, in quanto tale linea di ricerca prevede di applicare, per controlli istituzionali e di routine nell'ambiente marino, analisi di ecotossicologia tradizionale e studi

integrati con sistemi di rilevamento in continuo (supporto alle attività di ripascimento e alla ricognizione sulla qualità dei sedimenti marini);

- approfondire gli studi inerenti materiali e sistemi di difesa a mare di ambienti di particolare interesse naturalistico (per esempio Tegnùe) e la sperimentazione di strutture idonee per una loro possibile estensione.
- supportare la prosecuzione del progetto AdriaMet sull'attivazione di un servizio in linea di informazione sulle condizioni meteomarine dell'Adriatico, in collaborazione con le regioni costiere italiane e con numerosi partner della sponda orientale.

Si prevede di implementare le sperimentazioni per il biennio 2005-2006 con altre due linee di ricerca:

1. all'interno del Campo sperimentale saranno testati substrati di differenti materiali e diversa forma al fine di valutare l'efficacia, la riproducibilità e il comportamento di possibili o analoghe strutture impiegate a difesa di ambienti marini (per esempio Tegnùe o dighe foranee) e la sperimentazione di manufatti idonei per un loro possibile impiego in mare.
2. nel corso della sperimentazione verranno effettuati studi sistematici sui test di ecotossicità più idonei per rilevare alterazioni della qualità dell'ecosistema marino. Tale attività presenta un elevato interesse perché le analisi ecotossicologiche, già previste nel D.Lgs. 152/99, prevedono una consistente implementazione della Direttiva 2000/60 e necessitano di procedure scientifiche e indirizzi unitari e specifici per il loro utilizzo in ambito regionale.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta inoltre alla sperimentazione di nuovi metodi, attualmente disponibili sul mercato, per i sistemi biologici di rilievo in continuo dell'ecotossicità per il controllo sulle attività di dragaggio dei fondali marini o per il controllo delle aree marine della costa veneta a tutela biologica (tegnùe, presure ecc.), identificate e classificate dall'Osservatorio Alto Adriatico - Polo Regionale Veneto, nell'ambito delle attività in Interreg III A Italia Slovenia 2000-2006.

Per monitorare l'evoluzione dell'attività per il periodo 2005-2006, l'ARPAV dovrà produrre alla Regione relazioni tecniche - oltre che contabili - secondo le scadenze pattuite, ricomprendendo, in particolare, sotto il coordinamento tecnico e amministrativo della medesima tutte le azioni relative alle attività del Campo sperimentale in mare collegabili con le attività

operative previste dai "progetti tegnue" di Caorle e di Chioggia. Ciò deve far intendere che gli studi sull'evoluzione dei popolamenti animali presenti nell'area, con particolare riferimento a quelli presenti sui fondali e sulle strutture sommerse; gli studi su substrati artificiali; gli studi ecotossicologici e la fornitura di un supporto tecnico scientifico qualificato per eventuali eventi anomali o di emergenza nell'ambiente marino costiero devono considerare le ricadute di carattere pratico, agli effetti della programmazione e gestione dell'intera area marina costiera di competenza della Regione del Veneto, dovendosi intendere in particolar modo tale area quale area pilota per ricerche applicate, utili a fornire risposte tempestive e puntuali su specifiche problematiche di interesse regionale.

LE BARRIERE ARTIFICIALI IN ITALIA ARTIFICIAL REEFS IN ITALY

G. FABI

CNR-ISMAR ISTITUTO DI SCIENZE MARINE - Sezione di Ancona - Largo Fiera della Pesca 1 - 60125 Ancona
e-mail: g.fabi@ismar.cnr.it

RIASSUNTO

Le barriere artificiali rappresentano interventi di "tecnologia morbida" volti ad incrementare la produttività dell'ambiente marino e che, associati ad altre misure gestionali, possono contribuire a risolvere o attenuare i problemi biologici e socio-economici concernenti lo sfruttamento delle risorse acquatiche. Dal 1970 in Italia sono state costruite almeno 47 barriere localizzate in aree costiere entro le 3 mn o 50 m di profondità e aventi, generalmente, fini multipli: protezione contro lo strascico illegale, introduzione di superfici utili per l'insediamento di organismi sessili, disponibilità di tane e rifugi per uova e giovanili di specie ittiche, incentivazione della piccola pesca locale e/o della pesca sportiva.

La maggior parte di esse è stata realizzata con cubi in calcestruzzo (8 m³), aventi un peso di 13000 kg, superfici scabre per favorire l'insediamento di organismi sessili e fori di diverse dimensioni per offrire rifugio a pesci e altri macroinvertebrati e che, grazie alle loro caratteristiche tecniche, assicurano una buona stabilità, un'efficace protezione contro lo strascico illegale e notevole versatilità nella progettazione di una barriera.

Le barriere artificiali italiane sono state oggetto di un'intensa attività di ricerca volta a valutare la loro efficienza in diverse condizioni ambientali, soprattutto trofia e trasparenza delle acque. Le indagini hanno riguardato principalmente: le comunità bentoniche che colonizzano i substrati e i fondi mobili circostanti, la comunità ittica ad essi associata e i rendimenti di pesca, i rapporti trofici di alcune specie ittiche con i popolamenti bentonici presenti sui substrati e nel fondo mobile adiacente per verificare l'eventuale contributo della barriera nell'aumento di biomassa di tali specie, sviluppo di nuove forme di maricoltura per incrementare la produttività della barriera.

ABSTRACT

The artificial reefs are "soft technologies" aimed to increase the productivity of the marine environment.

Since 1970s at least 47 artificial reefs have been deployed along the Italian coasts inside 3 nm offshore or 50 m depth. The main aims were: to protect fish-spawning and nursery areas from illegal trawling in waters ≤ 50 m deep and/or within the Italian 3 mile limit; immersion of available surfaces for the settlement of benthic organisms; provision of shelters for adult and juvenile fish; improvement of small-scale set gear fisheries.

The basic module used in the construction of most of reefs was a 8 m³ concrete block, weighing 13000 kg which had rough surfaces to facilitate the settlement of benthic organisms and incorporated holes of different shape and size to provide habitats for marine biota. The cuboid shape allowed stacking of the blocks to create "pyramids", so increasing reef height along the water column.

An intense research activity has been carried out to evaluate the artificial reef efficiency in different environmental conditions. Investigations mainly concerned: the benthic communities settled on the man-made substrates and in the surrounding soft bottoms, the fish assemblage inhabiting the reef, the fishing yields, the trophic relationships between some reef-dwelling fish and the macrobenthic communities living on the substrates and in the nearby soft seabed to verify the role of the artificial structures in the increment of fish biomass, the development of new mariculture activities.

INTRODUZIONE

Le barriere artificiali sono corpi naturali o artificiali deposti sul fondo marino in ordine sparso o opportunamente assemblati per riprodurre alcune caratteristiche degli habitat rocciosi naturali. Esse rientrano nella definizione più generale di "strutture artificiali", comprendente qualsiasi oggetto posizionato deliberatamente in un ambiente acquatico per proteggerne, incrementarne e gestirne le risorse.

Inizialmente le barriere artificiali hanno rappresentato un mezzo per favorire la pesca e la raccolta di organismi acquatici. In seguito, però, anche grazie allo sviluppo di nuove tecnologie, il loro impiego si è esteso ad altre applicazioni di carattere sia ecologico che produttivo e che comunque, in ultima analisi, hanno lo scopo di salvaguardare l'ambiente marino e le sue risorse svolgendo un ruolo rilevante nella protezione di habitat importanti per la riproduzione e le fasi di primo accrescimento di specie ittiche, nella creazione di habitat idonei all'insediamento di larve di organismi, eduli e non, che altrimenti andrebbero perdute per l'assenza di substrati idonei, nella gestione delle diverse attività di pesca sia professionale che ricreazionale, nell'approfondimento delle conoscenze sull'ambiente acquatico a livello scientifico e divulgativo (**Tab. 1**).

Tab. 1 - Utilizzo delle barriere artificiali nell'ambiente marino.

Incremento delle catture della pesca commerciale
Incremento delle catture della pesca sportiva
Creazione di aree per l'acquacoltura estensiva o semiestensiva
Creazione di aree per il turismo subacqueo
Controllo della mortalità naturale e da pesca
Gestione del ciclo vitale degli organismi acquatici
Protezione di habitat ecologicamente rilevanti
Ripristino di habitat danneggiati
Conservazione della biodiversità
Attività di ricerca

BARRIERE ARTIFICIALI NEL MONDO E IN EUROPA

Le prime testimonianze concernenti la realizzazione di barriere artificiali si rinvencono alla fine del 1600 in Giappone, dove rocce naturali venivano posizionate appositamente per aumentare la produzione di *Laminaria* spp (Mottet, 1986). Altra documentazione prova che nella seconda metà del 1800 esse venivano impiegate anche negli Stati Uniti, più precisamente nel Sud Carolina, dove ammassi di tronchi e pietre venivano utilizzati per attrarre alcune specie di pesci in determinate aree (Stone, 1985).

Nel XX secolo l'impiego di queste strutture è aumentato rapidamente e nel 1991 tale attività si riscontrava in circa 40 Stati, con una maggiore concentrazione nel Sud-Est asiatico, in Giappone, in Australia, lungo la costa atlantica del Nord America, nel Mar dei Caraibi e in Mediterraneo (Seaman e Sprague, 1991; **Fig. 1**).

In Europa la realizzazione di barriere artificiali è iniziata nella seconda metà del 1900 e si è intensificata notevolmente negli anni '80 e '90. Un censimento condotto nel 1995 nell'ambito del progetto European Artificial Reef Research Network (EARRN) finanziato dalla Comunità Europea ha portato all'individuazione di circa 75 barriere artificiali esistenti in Europa, la maggior parte delle quali situate in Italia e lungo le coste mediterranee della Francia e della Spagna (Jensen e Collins, 1995; Jensen, 1998).

Questa network, che all'inizio includeva 51 ricercatori europei appartenenti a 36 Istituti di Italia, Francia, Spagna, Portogallo, Regno Unito, Olanda, Finlandia e Germania, si è estesa gradualmente negli anni successivi coinvolgendo altri Paesi, come Turchia, Israele e Grecia, e ha avuto un ruolo decisivo non solo nella diffusione all'estero della ricerca sino ad allora condotta in Europa sulle barriere artificiali, ma anche nella promozione di nuove iniziative in ambito europeo concernenti sia la ricerca, sia la realizzazione di nuovi impianti (Jensen *et al.*, 2000; Santos e Monteiro, 2001; Lök *et al.*, 2002).

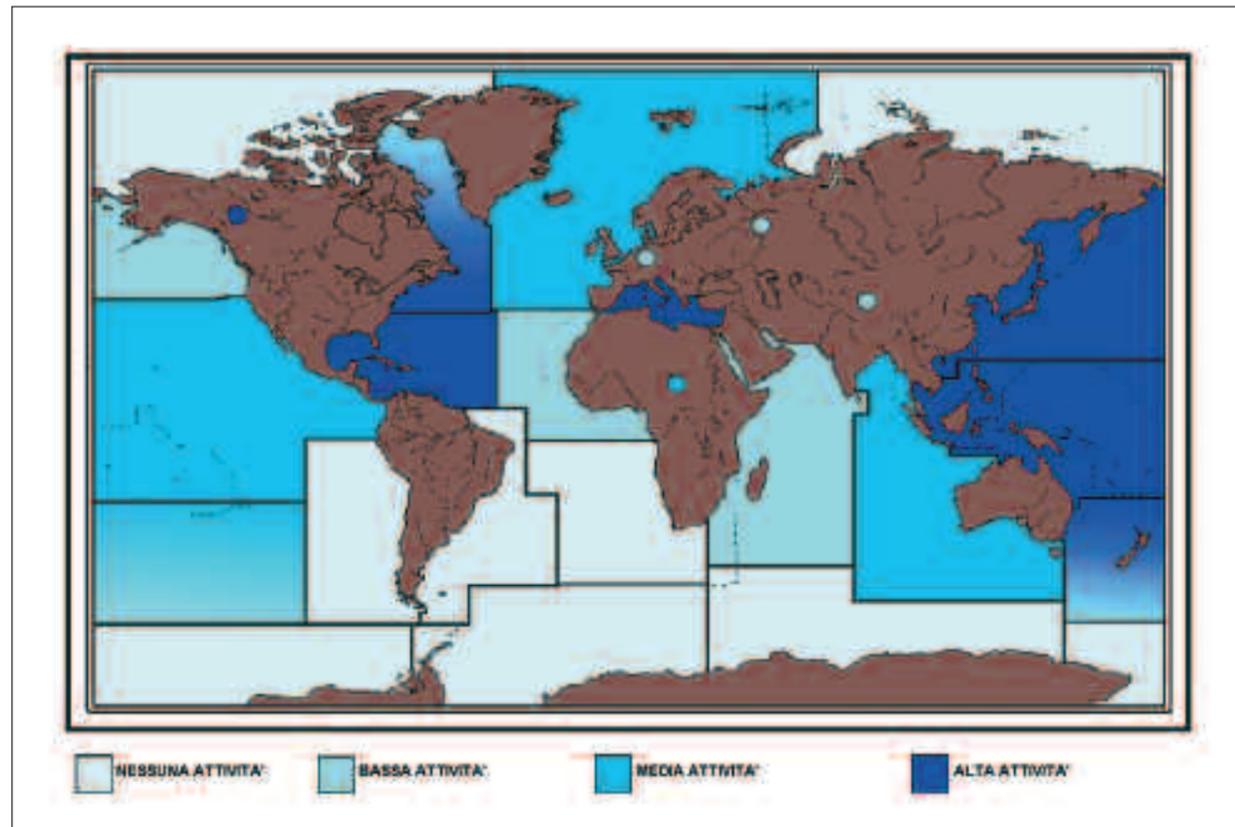


Fig. 1 - Utilizzo delle barriere artificiali nel mondo (mod. da Seaman e Sprague, 1991).

BARRIERE ARTIFICIALI IN ITALIA

A differenza di altri Paesi, in Italia non è mai stato redatto un Piano nazionale volto a regolamentare e razionalizzare lo sviluppo di barriere artificiali in funzione delle esigenze ecologiche e socio-economiche delle varie aree costiere e la maggior parte degli impianti esistenti è frutto di iniziative a carattere geografico limitato intraprese da Istituti di ricerca, Associazioni di pescatori ed Enti locali.

A partire dagli anni '70 nel nostro Paese sono state costruite almeno 47 barriere (Fig. 2) localizzate nelle aree costiere all'interno delle 3 mn o 50 m di profondità e aventi, nella maggior parte dei casi, fini multipli: protezione nei confronti dello strascico illegale, introduzione di nuove superfici utili per l'attecchimento di organismi sessili, maggiore disponibilità di tane e rifugi per uova e giovanili di specie ittiche commercialmente importanti, incentivazione della piccola pesca locale e/o della pesca sportiva.



Fig. 2 - Barriere artificiali censite in Italia nel 2005 (fonte CNR-ISMAR, Ancona).

Per la loro realizzazione sono stati utilizzati i materiali più vari: da semplici corpi antistrascico (tripodi e torpedini; es. Golfo di S. Eufemia; CONISMA, 1999) a carcasse di auto (Varazze; Relini e Orsi Relini, 1971, 1989) e imbarcazioni (Golfo Marconi; Relini e Orsi Relini, 1989), fino ad arrivare a moduli progettati ad hoc (es. Porto Recanati, Loano, Senigallia, Portonovo; Bombace, 1977; Relini, 2000a; Bombace *et al.*, 2000).

Alcune di tali iniziative non hanno avuto buon esito a causa della dispersione di sostanze inquinanti e dello sfaldamento delle vernici con perdita del fouling insediato su di esse (carcasse di auto; Relini e Orsi Relini, 1971; Relini e Wurtz, 1977; Relini, 1979, 1983a, 1983b), dell'azione distruttrice di organismi perforatori (battelli in legno) o del rapido infossamento delle strutture nel substrato mobile dovuto alla limitata superficie di appoggio (tripodi e torpedini; CONISMA, 1999). Infatti, in seguito all'esperienza negativa di Varazze, il Ministero della Marina Mercantile vietò l'uso di carcasse di auto e rifiuti simili per la costruzione di barriere artificiali.

Anche alcuni moduli progettati ad hoc non hanno fornito risultati soddisfacenti, poiché le strutture si sono disgregate a causa del movimento ondoso e si sono parzialmente infossate nel substrato (Bombace *et al.*, 2000).

Risultati positivi si sono invece ottenuti con moduli in calcestruzzo progettati dall'Istituto di Ricerche sulla Pesca Marittima (attuale ISMAR) del CNR di Ancona. Questi blocchi (2x2x2 m), aventi un peso di 13000 kg, superfici scabre per favorire l'insediamento di organismi sessili e fori di diverse dimensioni per offrire rifugio a pesci e altri macroinvertebrati, assicurano anche una buona stabilità, un'efficace protezione contro lo strascico illegale e, grazie alla possibilità di assemblaggio, una notevole versatilità nella progettazione di una barriera (Bombace *et al.*, 2000).

Essi vennero impiegati per la prima volta nel 1974-75 al largo di Porto Recanati (Adriatico centrale) per la realizzazione del primo impianto a fini multipli pianificato scientificamente. Gli scopi erano: protezione della fascia costiera contro lo strascico illegale, ripopolamento ittico e sviluppo di nuovi banchi di mitili (*Mytilus galloprovincialis*) e ostriche (*Ostrea edulis* e *Crassostrea gigas*). In questo caso i moduli vennero assemblati in piramidi a tre piani posizionate a circa 50 m l'una dall'altra su letti di pietrisco per prevenire fenomeni di infossamento nel substrato sabbiofangoso (Fig. 3). Per rendere il sistema più continuo e maggiormente diversificato, cumuli di pietre vennero posizionati tra le piramidi e due imbarcazioni vennero affondate al centro dell'oasi (Fig. 4), mentre attorno vennero dispersi in modo random piccoli corpi antistrascico.



Fig. 3 - Evoluzione delle strutture usate in Italia per la costruzione di barriere artificiali a fini multipli.

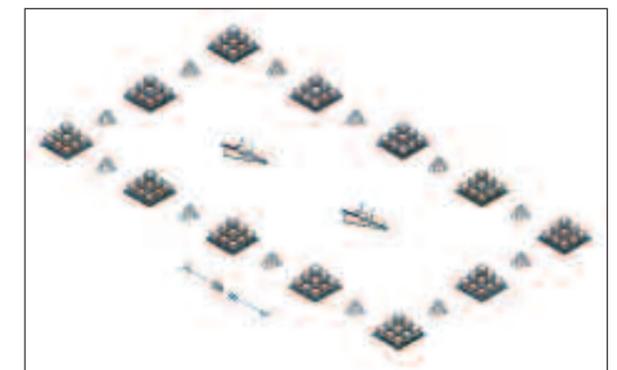


Fig. 4 - Schema della barriera artificiale a fini multipli costruita a Porto Recanati (Adriatico centrale) nel 1974-75 (non in scala).

Sulla base dei risultati ottenuti (Bombace, 1977, 1982, 1989) e grazie alle loro caratteristiche tecniche, negli anni successivi questi moduli sono stati largamente impiegati per la realizzazione della maggior parte delle barriere tuttora esistenti lungo tutte le coste italiane. Inizialmente sono state realizzate piramidi a due o tre piani, che venivano posizionate a 25-50 m di distanza l'una dall'altra a profondità comprese tra 15 e 20 m, in funzione della località (Fig. 3; Ardizzone *et al.*, 1989; Badalamenti *et al.*, 2000; Bombace *et al.*, 2000; D'Anna *et al.*, 2000b; Relini, 2000a; Riggio *et al.*, 2000). Gli scopi principali erano: protezione della fascia costiera e di altri habitat ecologicamente importanti (es. prateria di *Posidonia oceanica*) e incentivazione della piccola pesca.

Successivamente, la grande biomassa di mitili insediata sui substrati immersi in Adriatico ha portato alla creazione, in quest'area, di barriere più specializzate, volte anche allo sviluppo di forme di molluschicoltura estensiva. I nuovi impianti su larga scala (7500-13000 m³ di materiale immerso) costruiti alla fine degli anni '80 furono posizionate a minore distanza dalla costa (10-15 m di profondità) per agevolare la gestione delle colture. A causa dei bassi fondali, furono utilizzate piramidi a due piani associate a gabbioni in cemento armato (6x4x5 m; Figg. 3 e 5) che, grazie alla loro conformazione, hanno incrementato notevolmente la superficie utile per l'insediamento naturale dei

mitili e hanno contribuito a diversificare la barriera (Bombace *et al.*, 1994, 1995b; Fabi e Spagnolo, 2001).

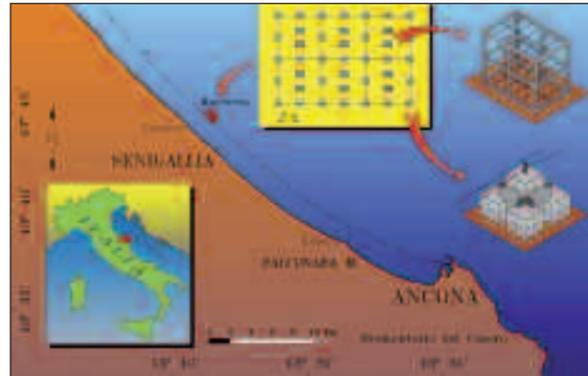


Fig. 5 - Schema delle barriere artificiali a fini multipli realizzate in Adriatico settentrionale alla fine degli anni '80.

Negli ultimi anni, infine, con la decentralizzazione di molte competenze dal Governo centrale alle Regioni, anche la realizzazione delle barriere artificiali è stata demandata alle Autorità Regionali molte delle quali, considerando la realtà locale dei vari comparti della pesca, hanno incentivato lo sviluppo di questi impianti nelle aree di propria competenza determinando la realizzazione di barriere artificiali in tratti di costa che in precedenza ne erano completamente sprovvisti. D'altro lato però, la parcellizzazione delle risorse economiche ha portato in diversi casi alla costruzione di barriere di dimensioni ridotte o di impianti strutturati in maniera molto semplice (es. immersione di cubi in cemento armato sparsi sul fondale) o all'impiego di moduli a basso costo ma non testati preventivamente dal punto di vista scientifico per quanto riguarda sia gli aspetti ecologici che la resistenza strutturale, tutti fattori che sicuramente limitano l'efficacia di tali iniziative e, nel peggiore dei casi, possono causarne il completo fallimento. Sulla base di questa nuova situazione e delle possibili conseguenze negative che ne potrebbero derivare per l'intero settore delle barriere artificiali, sono state avviate ricerche volte ad individuare nuovi schemi di disposizione delle strutture e moduli innovativi al fine di contenere i costi ed ottenere, al tempo stesso, massima estensione, efficienza ecologica e stabilità strutturale dei nuovi impianti.

Le indagini finora condotte in tal senso in Adriatico hanno portato all'identificazione di due nuove tipologie di moduli (Fig. 3) che, se associate, sono in grado di soddisfare i requisiti sopra elencati. Il primo, che può essere definito "gruppo piramidale a piastre" (Fig. 6), ha come scopo primario il ripopolamento ittico ed è formato da 42 piastre ottagonali in calcestruzzo seafriendly

con pH 9, ottenuto esclusivamente con elementi naturali (sabbia lavata, ghiaia spezzata) e senza composti di risulta, né additivi chimici. Queste caratteristiche, associate alle superfici microforate, favoriscono l'insediamento di larve di organismi sessili. Ogni gruppo piramidale ha una base di 12 m² e un'altezza di 3,5 m, per una superficie complessiva di 43 m² e un peso di 3000 kg. Si tratta di una struttura complessa, provvista di cavità interne, che garantisce comunque un ricambio costante di acqua favorendo l'apporto di sostanze nutritive e creando quindi rifugi e habitat diversificati ai vari organismi marini sia sessili che vagili. La struttura, grazie alla forma e alle piastre di base, è stabile e autoancorante, ma non affondante, ed è in grado di resistere alle spinte delle correnti o agli effetti di trascinarsi degli attrezzi da pesca a traino.



Fig. 6 - Gruppo piramidale a piastre (foto CNR-ISMAR).

La seconda tipologia di modulo, definito "plinto-palo" ha un'altezza di 4,2 m, un peso complessivo di 8.930 kg e deriva dall'assemblaggio di una base cava in calcestruzzo armato avente forma rettangolare all'interno della quale è inserito un palo, anch'esso in calcestruzzo armato, avente sezione di 50x50 cm. Lo scopo primario consiste nell'ostacolare la pesca a strascico illegale.

Dopo essere state testate scientificamente su piccola scala, queste strutture sono state impiegate per la prima volta su grande scala nel 2003 per la realizzazione di una barriera artificiale a fini multipli a circa 3 mn di distanza dalla costa marchigiana a Nord di Pesaro (Adriatico settentrionale). La barriera si estende su un'area rettangolare di 0,8 km² ed è costituita da 178 moduli plinto-palo disposti in modo irregolare a circa 35 m l'uno dall'altro lungo il perimetro dell'area centrale occupata da 78 gruppi piramidali (Fig. 7).

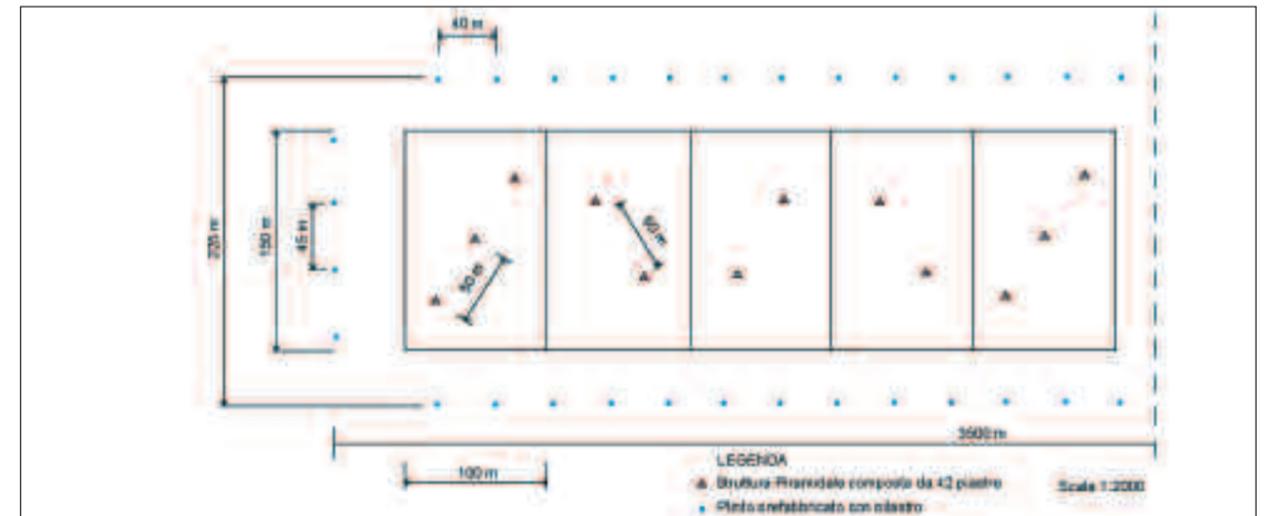


Fig. 7 - Disposizione dei gruppi piramidali a piastre e dei moduli plinto-palo all'interno della barriera artificiale realizzata lungo la costa marchigiana a Nord di Pesaro (Adriatico settentrionale).

A partire dalla sua immersione, la barriera è oggetto di un monitoraggio, della durata di 4 anni, condotto dal CNR-ISMAR di Ancona e volto a valutare la stabilità delle strutture e la loro efficacia ai fini di protezione contro lo strascico, ripopolamento ittico e produzione di nuova biomassa di bivalvi eduli (Fabi *et al.*, 2004). Un secondo impianto strutturato nello stesso modo è stato realizzato al largo di Pedaso, nel tratto meridionale della costa marchigiana.

Sebbene il cemento armato e il calcestruzzo siano i materiali maggiormente impiegati in Italia per la realizzazione di barriere artificiali, a partire dalla fine degli anni '80 sono state condotte anche indagini volte al riutilizzo di materiali di scarto, come le ceneri di carbone provenienti dalle centrali elettriche, sperimentate e utilizzate con successo per la realizzazione di barriere artificiali in alcuni paesi come USA (Woodhead *et al.*, 1982, 1985; Livingstone, 1994), Taiwan (Chen, 1987; Shao *et al.*, 1994; Kuo *et al.*, 1995), Giappone (Suzuki, 1985, 1995) e Regno Unito (Collins *et al.*, 1990, 1991, 1994a, 1994b; Jensen *et al.*, 1994). In seguito ai risultati positivi ottenuti da ricerche sperimentali condotte per alcuni anni in laboratorio e vasche (Relini e Patrignani, 1992; Sampaolo e Relini, 1994; Relini, 2000b), a partire dal 1992 sono iniziate le sperimentazioni in mare con l'immersione di blocchi in composto cenere di carbone e calce nel Mar Ligure, all'interno della barriera artificiale di Loano, e in Adriatico, nella barriera artificiale di Senigallia (Relini, 2000b). Queste prove hanno confermato che tale materiale non rilascia elementi nocivi per l'ambiente e gli organismi acquatici e consente un buon insediamento di organismi bentonici, ma non

è particolarmente adatto per la costruzione di barriere artificiali antistrascico a causa della maggiore friabilità rispetto al cemento (Bombace *et al.*, 1997a; Relini, 2000b). D'altra parte, proprio grazie a questa caratteristica, ovvero la friabilità, in Adriatico i moduli in composto cenere di carbone si sono rivelati estremamente idonei all'insediamento delle larve di *Pholadactylus* (dattero bianco; Fig. 8), un bivalve perforatore che vive all'interno di rocce tenere (arenacee, scistose e marnose) sino a circa 20 m di profondità (Bombace *et al.*, 1995a; 1997a). Questa specie è molto apprezzata su alcuni mercati e, nonostante la sua raccolta sia proibita dalla legge italiana (DM del 20/08/88 e successive proroghe) perché comporta la distruzione degli habitat rocciosi naturali, è tuttora oggetto di un'intensa attività illegale di prelievo.

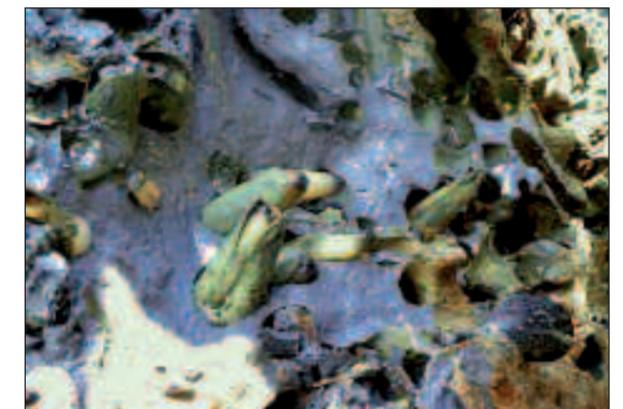


Fig. 8 - Esempi di dattero bianco (*P. dactylus*) insediati su un modulo in composto cenere di carbone (Adriatico settentrionale; foto CNR-ISMAR).

LE RICERCHE ASSOCIATE ALLE BARRIERE ARTIFICIALI

Le barriere artificiali immerse nei mari italiani sono state oggetto di un'intensa attività di ricerca volta a valutare la loro efficienza in diverse condizioni ambientali, soprattutto trofica e trasparenza delle acque.

Le indagini, che spesso sono proseguite per diversi anni, hanno riguardato innanzitutto lo studio delle comunità bentoniche che colonizzano i substrati e i fondi mobili ad essi circostanti (Relini e Wurtz, 1977; Ardizzone *et al.*, 1980, 1989, 1996, 2000; Riggio e Ardizzone, 1981; Ardizzone e Chimenz, 1982; Badalamenti *et al.*, 1985, 2000; Riggio *et al.*, 1985, 1986, 2000; Badalamenti e Riggio, 1986; Relini *et al.*, 1986, 1990b, 1994b; Relini e Orsi Relini, 1989; Falace e Bressan, 1990, 1994; Relini e Comagi, 1990; Castriota *et al.*, 1996; Tumbiolo e Patti, 1996; Bombace *et al.*, 1997a, 2000; Ardizzone *et al.*, 2000; D'Anna *et al.*, 2000b; Relini 2000a; Fabi *et al.*, 2001, 2002, 2004; Ausili *et al.*, 2004a, 2004b; Spagnolo *et al.*, 2004), la descrizione quali-quantitativa della comunità ittica ad essi associata e i rendimenti di pesca (Bombace, 1977; 1982; Relini *et al.*, 1986, 1990a, 1994a, 1995a, 1995b, 1997a, 1997b; Arculeo *et al.*, 1990; Bombace *et al.*, 1990a, 1990b, 1993, 1994, 1997b; D'Anna *et al.*, 1992, 1994, 2000b; Fabi e Fiorentini, 1993, 1994; Ardizzone *et al.*, 1997, 2000; Fabi *et al.*, 1999; Badalamenti *et al.*, 2000; Fabi e Sala, 2002; Scarcella *et al.*, 2004), spesso confrontando i dati raccolti presso la barriera con quelli concernenti aree rocciose naturali poste nelle vicinanze e/o zone di mare aperto caratterizzate da fondali omogenei e sabbio-fangosi.

Nonostante l'eterogeneità delle tecniche impiegate e la difficoltà di comparare i dati provenienti da studi diversi, è stato comunque possibile trarre alcune considerazioni generali. Per esempio, la trasparenza e la trofia delle acque appaiono fattori fondamentali nello sviluppo delle comunità bentoniche che colonizzano i substrati.

In barriere artificiali poste in acque oligotrofiche non soggette a sedimentazione, ad esempio il Mar Ligure e alcune aree della Sicilia settentrionale, la successione temporale e la struttura della comunità dipendono essenzialmente dal gradiente di penetrazione della luce, e quindi dalla profondità. Idrozoi, serpulidi e briozoi rappresentano gli organismi pionieri più importanti, ma in seguito le alghe divengono il gruppo dominante. I mitili sono assenti, mentre le ostriche possono costituire una componente importante nel popolamento bentonico.

In condizioni eutrofiche invece, il fattore luce perde importanza e si assiste a una rapida e imponente colonizzazione da parte di

organismi filtratori. Anche in questo caso le specie pioniere sono idrozoi, briozoi e serpulidi, ma dopo breve tempo, la cui durata dipende fondamentalmente dal periodo in cui è avvenuta l'immersione dei substrati, la comunità bentonica è nettamente dominata da mitili e da specie interstiziali ad essi associati, come ad esempio policheti erranti e anfipodi che trovano nel bisso di questi bivalvi un habitat a loro idoneo. La densità dei mitili tende a decrescere dalla superficie verso il fondo ed essi vengono progressivamente sostituiti dalle ostriche. Tale successione ecologica è stata osservata nel medio Tirreno (Fregene) ed è caratteristica delle barriere realizzate lungo la costa dell'Adriatico centrale e settentrionale, dove la biomassa di mitili insediata sulle strutture sommerse può raggiungere i 50 kgm⁻². La sedimentazione troppo intensa, comunque, può portare alla scomparsa dei mitili e nella comunità bentonica divengono progressivamente dominanti specie detritivore e carnivore, come verificatosi nella barriera artificiale di Fregene dopo circa 5 anni dalla sua immersione.

La presenza fisica dei substrati artificiali e la comunità insediata su di essi possono indurre dei cambiamenti anche nei popolamenti bentonici del fondo mobile circostante, come emerso da studi condotti in Adriatico settentrionale dove la grande biomassa di mitili presente sulle strutture determina una "pioggia" di biodetriti sul fondo favorendo la proliferazione di organismi detritivori.

Per quanto concerne la comunità ittica, in acque oligotrofiche le specie più comuni sono la castagnola (*Chromis chromis*), il re di triglie (*Apogon imberbis*), lo sciarrano (*Serranus cabrilla*) e alcuni sparidi (*Diplodus sargus*, *D. vulgaris*, *D. annularis*, *Spondylusoma cantharus*, *Oblata melanura*). Altre specie importanti sono il gronco (*Conger conger*) e il polpo (*Octopus vulgaris*).

Le specie caratteristiche delle barriere artificiali immerse in acque eutrofiche sono invece il sarago sparaglione (*D. annularis*), la corvina (*Sciaena umbra*), l'ombrina (*Umbrina cirrosa*), la spigola (*Dicentrarchus labrax*), le mugelle (*Liza spp.*, *Mugil cephalus*), le menole (*Spicara spp.*), la boba (*Boops boops*) e i suri (*Trachurus spp.*) I labridi, presenti in condizioni oligotrofiche, in questo caso sono praticamente assenti, a causa dell'assenza o scarsità della componente algale.

Il popolamento ittico di una barriera artificiale può subire delle variazioni stagionali determinate sia dall'eco-etologia delle varie specie ittiche, sia dalle condizioni ambientali. Ad esempio, in Adriatico, molte specie ittiche migrano in autunno dalla barriera verso le acque più profonde e più calde del largo per poi tornare a primavera - inizio estate.

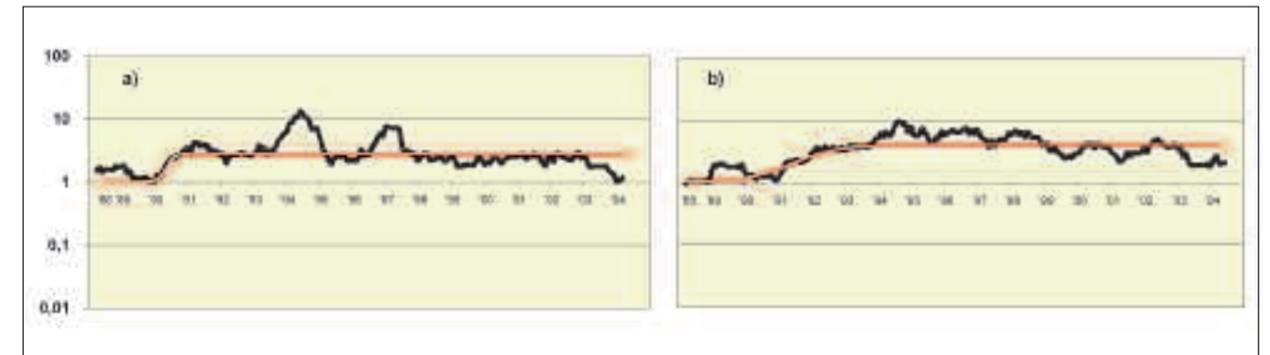


Fig. 9 - Rapporto tra le catture in peso di *Umbrina cirrosa* (a) e *Sciaena umbra* (b) ottenute presso la barriera artificiale di Senigallia (Adriatico settentrionale) e in un'area di controllo priva di substrati duri.

Nella maggior parte dei casi, i rendimenti di pesca ottenuti con reti da posta presso le barriere artificiali sono risultati simili a quelli riportati su substrati rocciosi circostanti, ma notevolmente superiori ai valori registrati in aree caratterizzate da fondali sabbio-fangosi (Fig. 9).

Diversi studi hanno analizzato i rapporti trofici esistenti tra alcune delle specie ittiche più frequenti presso una barriera e le comunità bentoniche presenti sia sulle strutture che nel fondo circostante al fine di dimostrare, anche se indirettamente, l'eventuale contributo della barriera artificiale nell'incremento di biomassa di tali specie. I risultati ottenuti indicano un trasferimento di energia dalla barriera alle varie specie prese in considerazione, anche se con modalità ed entità diverse. Infatti, un rapporto trofico stretto con i substrati artificiali è stato evidenziato per *S. umbra*, *D. annularis*, *D. vulgaris* (Fig. 10), *S. cabrilla* e *Scorpena notata* in Adriatico settentrionale (Fabi *et al.*, 1998, 2006), Sicilia settentrionale (Badalamenti *et al.*, 1993, 2000; Pepe *et al.*, 1996) e Mar Ligure (Relini *et al.*, 2002), ma non nel Tirreno centrale, dove, secondo quanto riportato da Ardizzone *et al.* (1997), *D. annularis*, *S. notata* e *S. cabrilla* si cibano prevalentemente nel fondo mobile circostante la barriera integrando comunque la loro dieta con organismi insediati sui moduli.



Fig. 10 - Esempi di sarago fasciato (*D. vulgaris*) alla ricerca di cibo sulla parete orizzontale di una struttura artificiale (Adriatico settentrionale; foto CNR-ISMAR).

Anche per *U. cirrosa*, *Mullus barbatus* e *M. surmuletus* il rapporto trofico con la barriera è indiretto, esplicandosi principalmente tramite l'arricchimento delle comunità bentoniche del fondo mobile circostante, mentre la presenza dei substrati determinerebbe un ampliamento della nicchia trofica di *L. mormyrus* (Fabi *et al.*, 1998, 2006; Badalamenti *et al.*, 2000). Molte sperimentazioni e interventi sono stati mirati a potenziare e diversificare la produzione delle barriere artificiali, cosicché gli addetti della piccola pesca potessero integrare il proprio reddito con attività alternative. In Adriatico, ad esempio, oltre alla già citata adozione di gabbioni aperti e di moduli in composto cenere di carbone per favorire lo sviluppo di banchi naturali di mitili e datteri bianchi, in alcuni casi alle strutture di fondo sono stati associati impianti flottanti su long-lines, in modo da estendere la mitilicoltura e l'ostricoltura lungo l'intera colonna d'acqua ed è stata inoltre dimostrata la possibilità di inserire in queste aree allevamenti di specie ittiche in gabbie di piccole e/o medie dimensioni (Fabi *et al.*, 1985, 1986; 1989; Fabi e

Fiorentini, 1990, 1997; Bombace *et al.*, 1995b, 1996, 1998a, 1998b). Sperimentazioni concernenti l'allevamento sospeso di mitili e ostriche sono state condotte anche nel Golfo di Castellammare (Sicilia N/O; Sarà *et al.*, 1993; Sorvillo *et al.*, 1993, 1994) e nel Mar Ligure (Guidetti e Relini, 1995) con risultati positivi, sebbene i bivalvi posti in coltura mostrarono un tasso di crescita più lento rispetto a quelli registrati in Adriatico, a causa del più basso livello di trofia delle acque.

Più recentemente sono state condotte, in aree di barriere artificiali e su scala prettamente sperimentale, iniziative di rilascio di giovanili di sarago maggiore, *D. sargus* (Golfo di Castellammare, Sicilia N/O; D'Anna *et al.*, 2000a) e spigola, *D. labrax* (Adriatico settentrionale; Fig. 11; Fabi e Grati, 2005) provenienti da schiuditoi, ma geneticamente controllati e compatibili con le popolazioni residenti.

Sia i saraghi che le spigole allevati in intensivo hanno mostrato un "deficit comportamentale", attribuito essenzialmente al periodo trascorso in cattività e consistente nel mancato istinto a cercare rifugio e nell'incapacità di riconoscere sia le potenziali prede che i predatori. Tali carenze non sono state invece riscontrate negli esemplari di spigola provenienti da allevamenti in grandi volumi. In tutti i casi, comunque, gli individui rilasciati hanno mostrato una tendenza a spostarsi in ambienti più costieri.

Il tasso di ricattura è stato circa il 10% nel caso dei saraghi e 1% per le spigole; tale differenza di ricattura può essere dovuta sia alla diversa mobilità delle due specie, sia al fatto che nel primo caso il rilascio è avvenuto in una barriera artificiale posta all'interno di un golfo e nel secondo in un impianto in mare aperto. Comunque, gli organismi sopravvissuti hanno mostrato un buon accrescimento in entrambi i casi.



Fig. 11 - Giovanile di spigola (*D. labrax*) marcato che staziona su una piramide della barriera artificiale di Senigallia (Adriatico settentrionale; foto CNR-ISMAR).

Il restocking di specie marine, che costituisce l'anello di congiunzione tra pesca e acquacoltura, è ancora in fase embrionale in Italia, dove necessiterebbe un maggiore impegno della ricerca e delle Autorità competenti per individuare siti e metodiche appropriate sia di rilascio, nel rispetto di accordi internazionali come la Convenzione sulla Biodiversità, sia per i successivi monitoraggi. In base all'esperienza giapponese, anche in questo contesto è indispensabile un approccio che combini tali iniziative con la creazione di apposite barriere artificiali per favorire la permanenza degli esemplari rilasciati e aumentare le probabilità di successo.

Gli studi effettuati nel Golfo di Trieste, invece, erano e sono tuttora volti a facilitare la colonizzazione dei substrati artificiali da parte della componente algale ostacolata dall'eccessiva sedimentazione e dall'azione distruttiva di organismi predatori, soprattutto ricci di mare, tramite l'adozione di superfici inclinate, reti protettive e operazioni di trapianto (Falace e Bressan, 1995a, 1995b, 2006).

Infine, negli ultimi anni, l'adozione di nuove tecnologie acustiche, come il multibeam echosounder, consente il monitoraggio periodico e oggettivo dello stato delle strutture sommerse e degli effetti fisici prodotti dalla loro presenza sul fondo originario (Fig. 12; Manoukian *et al.*, 2004).

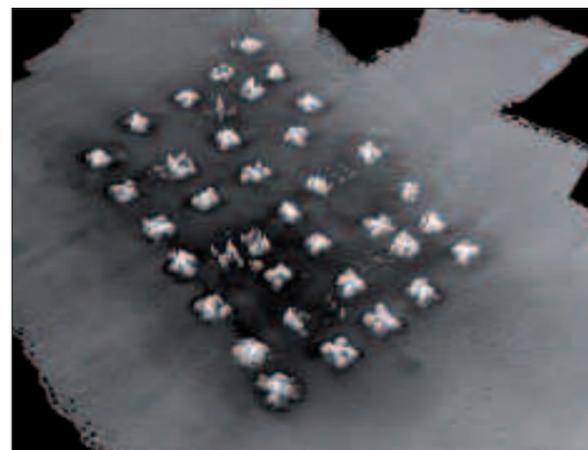


Fig. 12 - Immagine multibeam di una delle tre oasi che costituiscono la barriera artificiale a fini multipli realizzata nella Baia di Portonovo (Adriatico settentrionale).

Tale metodica, che necessita di tempo e personale limitati, può essere estremamente utile sia per verificare il corretto posizionamento dei moduli al momento della costruzione di una barriera artificiale, sia per controllarne la stabilità nel tempo, consentendo così di apportare eventuali modifiche nelle fasi di pianificazione e realizzazione di futuri impianti.

LE BARRIERE ARTIFICIALI NELLA GESTIONE DELLE RISORSE ACQUATICHE

Nelle loro molteplici applicazioni, le barriere artificiali possono essere considerate interventi di "tecnologia morbida" finalizzati ad incrementare la produttività dell'ambiente marino e che, associati ad altre misure gestionali, possono contribuire a risolvere o attenuare i problemi biologici e socio-economici concernenti lo sfruttamento delle risorse acquatiche.

Esse pertanto rappresentano un approccio diverso, e comunque complementare, rispetto alla strategia di gestione e conservazione delle risorse ittiche attuata sinora in molti Paesi e basata quasi esclusivamente su linee d'azione volte alla riduzione della capacità di pesca tramite il ridimensionamento della flotta, l'interdizione di alcune attività di pesca e altre restrizioni tecniche non prevedendo, peraltro, interventi diretti sulle risorse mirati a mantenere o aumentare i livelli produttivi e occupazionali senza gravare le varie categorie di addetti al settore con l'applicazione di modelli gestionali che hanno spesso disatteso i risultati previsti.

Infatti, la protezione di aree di riproduzione e/o primo accrescimento di specie demersali e lo sviluppo di forme più o meno avanzate di acquacoltura tramite la creazione di habitat idonei si traducono inevitabilmente in una riduzione della mortalità, sia da pesca che naturale, e in un incremento delle potenzialità dell'ambiente acquatico, con conseguente aumento delle risorse e benefici diretti e/o indiretti per tutti i comparti della pesca.

Inoltre, le barriere artificiali possono costituire un valido strumento gestionale in grado di redistribuire le risorse e le attività di pesca, influenzare l'uso degli attrezzi e indirizzare le catture in termini di specie e di taglia degli esemplari.

Alcune potenziali applicazioni in tal senso, indipendenti o correlate tra loro in base alle specifiche esigenze, sono:

- riconversione degli addetti di alcuni comparti della pesca verso altre attività, come maricoltura e pescaturismo;
- integrazione del reddito della pesca artigianale con forme di maricoltura mediante la creazione di impianti polivalenti;
- riduzione delle conflittualità intra- e intersettoriali (es.: pesca con attrezzi da posta e altre attività di pesca; pesca professionale e sportiva) esistenti nella fascia costiera allocando spazi e risorse;
- creazione di aree per attività ricreative (pesca subacquea, immersioni, ecc.) con nuove opportunità occupazionali ad esse associate.

Ovviamente, un approccio gestionale corretto dovrebbe inserire

tale tipologia di interventi in un piano globale che consideri gli aspetti ambientali, biologici e socio-economici, coinvolgendo tutti i possibili utenti del tratto di mare interessato. Inoltre, perché i benefici siano durevoli, sono necessarie misure specifiche volte a regolamentare l'utilizzo delle barriere stesse in termini di attrezzi e sforzo di pesca per evitare l'insorgere di situazioni di overfishing e di conflittualità tra i potenziali fruitori.

BIBLIOGRAFIA

ARCULEO M., BOMBACE G., D'ANNA G., RIGGIO S., 1990 - Evaluation of fishing yields in a protected and an unprotected coastal area of NW Sicily. *FAO Fish. Rep.*, **428**: 70-83.

ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A., SOMASCHINI A., 1997 - Fish colonization and feeding habits on a Mediterranean artificial habitat. In: Hawkins L.E., Hutchinson S., with Jensen A.C., Williams J.A. (eds.), *The responses of marine organisms to their environments - Proceedings of the 30th European Marine Biology Symposium, University of Southampton, Southampton*: 265-275.

ARDIZZONE G.D., CHIMENZ C., CARRARA A., 1980 - Popolamenti macrobentonici di substrati artificiali al largo di Fiumicino (Roma). *Mem. Biol. Mar. Oceanog.*, **10 suppl.**: 115-120.

ARDIZZONE G.D., CHIMENZ C., 1982 - Primi insediamenti bentonici della barriera artificiale di Fregene. *Atti del Convegno Progetto Finalizzato C.N.R. "Oceanografia e Fondi Marini"*, Roma, Novembre 1981: 165-181.

ARDIZZONE G.D., GRAVINA M.F., BELLUSCIO A., 1989 - Temporal development of epibenthic communities on artificial reefs in the Central Mediterranean Sea. *Bull. Mar. Sci.*, **44 (2)**: 592-608.

ARDIZZONE G.D., GRAVINA M.F., BELLUSCIO A., SOMASCHINI A., 1996 - Colonization and disappearance of *Mytilus galloprovincialis* Lam. on an artificial habitat in the Mediterranean Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **43 (6)**: 665-676.

ARDIZZONE G.D., SOMASCHINI A., BELLUSCIO A., 2000 - Prediction of benthic and fish colonization on the Fregene and other Mediterranean artificial reefs. In: Jensen A.C., Collins K.J., Lockwood A.P.M. (eds.), *Artificial reefs in European Seas, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*: 113-128.

AUSILI S., FABI G., MANOUKIAN S., SCARCELLA G., SPAGNOLO A., 2004a - Monitoraggio volto alla valutazione degli effetti indotti dalla realizzazione della barriera artificiale a fini multipli P.to Recanati - P.to Potenza Picena. III Anno di indagine. *Rapporto per la Regione Marche, Servizio Attività Ittiche, Commercio e Tutela del Consumatore, Caccia e Pesca Sportiva*: 52 pp.

AUSILI S., FABI G., MANOUKIAN S., SCARCELLA G., SPAGNOLO A., 2004b - Monitoraggio volto alla valutazione degli effetti indotti dalla realizzazione della barriera artificiale a fini multipli P.to Recanati - P.to Potenza Picena. IV Anno di indagine (2003). *Rapporto per la Regione Marche, Servizio Attività Ittiche, Commercio e Tutela del Consumatore, Caccia e Pesca Sportiva*: 73 pp.

BADALAMENTI F., D'ANNA G., FAZIO F., GRISTINA M., LIPARI R., 1993 - Relazioni trofiche tra quattro specie ittiche catturate su differenti substrati nel Golfo di Castellammare (Sicilia N/O). *Biol. Mar., Suppl. al Notiziario*

S.I.B.M., **1**: 145-150.

BADALAMENTI F., D'ANNA G., RIGGIO S., 2000 - Artificial reefs in the Gulf of Castellammare (North-West Sicily): a case study. In: Jensen A.C., Collins K.J., Lockwood A.P.M. (eds.), *Artificial reefs in European Seas, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*: 75-96.

BADALAMENTI F., GIACCONE G., GRISTINA M., RIGGIO S., 1985 - An eighteen months survey of the artificial reef off Terrasini (NW Sicily): the algal settlement. *Obelia N.S.*, **XI**: 417-425.

BADALAMENTI F., RIGGIO S., 1986 - An outline of the polychaete colonization of a small artificial reef of the NW Coast of Sicily. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, **30 (2)**: 417-425.

BOMBACE G., 1977 - Aspetti teorici e sperimentali concernenti le barriere artificiali. In: Cinelli F., Fresi E., Mazzella L. (eds.), *Atti IX Congresso della Società Italiana di Biologia Marina, Ischia, Maggio 1977*: 29-41.

BOMBACE G., 1982 - Il punto sulle barriere artificiali: problemi e prospettive. *Naturalista Siciliano*, **4 (6)**: 573-591.

BOMBACE G., 1989 - Artificial reefs in the Mediterranean Sea. *Bull. Mar. Sci.*, **44 (2)**: 1023-1032.

BOMBACE G., CASTRIOTA L., SPAGNOLO A., 1997 - Benthic communities on concrete and coal-ash blocks submerged in an artificial reef in the central Adriatic Sea. In: Hawkins L.E., Hutchinson S., with Jensen A.C., Williams J.A. (eds.), *The responses of marine organisms to their environments - Proceedings of the 30th European Marine Biology Symposium, University of Southampton, Southampton*: 281-290.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L., 1990a - Preliminary analysis of catch data from artificial reefs in central Adriatic. *FAO Fish. Rep.*, **428**: 86-98.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L., 1990b - Catch data from an artificial reef and a control site along the Central Adriatic coast. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, **32 (1)**: 247.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L., 1993 - Aspects theoriques et resultats concernants les recifs artificiels realises en Adriatique. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, **11 (3-4)**: 145-154.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L., 1995a - Osservazioni sull'insediamento e l'accrescimento di *Pholas dactylus* L. (Bivalvia, Pholadidae) su substrati artificiali. *Biol. Mar. Medit.*, **2**: 143-150.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L., 1995b - Artificial reefs and mariculture: the Italian experiences. *ECOSSET '95 Proceedings*, **II**: 830-835.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L. 2000 - Artificial reefs in the Adriatic sea. In: Jensen A., Collins K., Lockwood A. (eds.), *Artificial Reefs in*

European Seas, Kluwer Academic Publ., Dordrecht: 31-63.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L., GRATI F., PANFILI M., SPAGNOLO A., 1998a - Maricoltura associata a barriere artificiali. *Biol. Mar. Medit.*, **5 (3)**: 1773-1782.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L., SPAGNOLO A., 1997 - Assessment of the ichthyofauna of an artificial reef through visual census and trammel net: comparison between the two sampling techniques. In: Hawkins L.E., Hutchinson S., with Jensen A.C., Williams J.A. (eds.), *The responses of marine organisms to their environments - Proceedings of the 30th European Marine Biology Symposium, University of Southampton, Southampton*: 291-305.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L., SPERANZA S., 1994 - Analysis of the efficacy of artificial reefs located in five different areas of the Adriatic sea. *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2-3)**: 559-580.

BOMBACE G., FABI G., GAETANI G., 1996 - Sperimentazione di un prototipo di gabbia da fondo per l'ingrasso di pesce in medio Adriatico. *Biol. Mar. Medit.*, **3 (1)**: 186-191.

BOMBACE G., FABI G., GRATI F., SPAGNOLO A., 1998b - Tecnologie per l'allevamento in mare aperto di *Sparus aurata* in medio Adriatico. *Biol. Mar. Medit.*, **5 (1)**: 439-449.

CASTRIOTA L., FABI G., SPAGNOLO A., 1996 - Indagine sul popolamento bentonico insediato su substrati in calcestruzzo immersi in medio Adriatico. *Biol. Mar. Medit.*, **3 (1)**: 120-127.

CHEN G., 1987 - Feasibility of using coal ash for artificial reef application. *Taiwan Power and Light Company, Tech. Rep. No. 088-02*.

COLLINS K.J., JENSEN A.C., LOCKWOOD A.P.M., 1990 - Fishery enhancement reef building exercise. *Chemistry and Ecology*, **4**: 179-187.

COLLINS K.J., JENSEN A.C., LOCKWOOD A.P.M., 1991 - Artificial reefs: using coal-fired power station wastes constructively for fishery enhancement. *Oceanologica Acta*, **11**: 225-229.

COLLINS K.J., JENSEN A.C., LOCKWOOD A.P.M., 1994a - Coastal structures, waste materials and fishery enhancement. *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2-3)**: 1240-1250.

COLLINS K.J., JENSEN A.C., LOCKWOOD A.P.M., 1994b - Evaluation of stabilised coal-fired power station waste for artificial reef construction. *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2-3)**: 1251-1262.

CONISMA, 1999 - Analisi e ricerche per la definizione di una sistema integrato *Acquacoltura - Maricoltura - Ripopolamento attivo* di un'area protetta da *reefs* artificiali sottomarini (Golfo di S. Eufemia - Calabria). *Rapporto finale per il Ministero per le Politiche Agricole, Direzione Generale Pesca e Acquacoltura*: 116 pp.

D'ANNA G., BADALAMENTI F., GIACALONE V.M., DE CORDOVA G., 2000a - Iniziativa di restocking del sarago maggiore *Diplodus sargus* (L., 1758) e tecniche di monitoraggio in un'area protetta con strutture artificiali nel Golfo di Castellammare (Sicilia N/O). *Rapporto finale per il Ministero per le Politiche Agricole, Direzione Generale Pesca e Acquacoltura*.

D'ANNA G., BADALAMENTI F., GRISTINA M., PIPITONE C., 1994 - Influence of artificial reefs on coastal nekton assemblages of the Gulf of Castellammare (Northwest Sicily). *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2)**: 418-433.

D'ANNA G., BADALAMENTI F., PIPITONE C., RIGGIO S., 1992 - Notes on the ecological significance of the fish fauna associated to artificial reefs in the southern Tyrrhenian. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **33**: 378.

D'ANNA G., BADALAMENTI F., RIGGIO S., 2000b - Artificial reefs in North-West Sicily: comparisons and conclusions. In: Jensen A.C., Collins K.J., Lockwood A.P.M. (eds.), *Artificial reefs in European Seas, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*: 97-112.

FABI G., CAMILLETTI E., CICCONE E., LUCCARINI F., LUCCHETTI A., PANFILI M., SOLUSTRI C., 1998 - Ruolo trofico della barriera artificiale di Cesano-Senigallia nei confronti di alcune specie ittiche. *Biol. Mar. Medit.*, **5 (3)**: 1812-1821.

FABI G., FIORENTINI L., 1990 - Shellfish culture associated with artificial reefs. *FAO Fish. Rep.*, **428**: 99-107.

FABI G., FIORENTINI L., 1993 - Catch and growth of Umbrina cirrosa (L.) around artificial reefs in the Adriatic sea. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, **11 (3-4)**: 235-242.

FABI G., FIORENTINI L., 1994 - Comparison between an artificial reef and a control site in the Adriatic Sea: analysis of four years of monitoring. *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2-3)**: 538-558.

FABI G., FIORENTINI L., 1997 - Molluscan aquaculture on reefs. In: Jensen A.C. (ed.), *European Artificial Reef Research - Proceedings of the 1st EARRN Conference, Ancona, Italy, March 1996, Southampton Oceanography Centre, Southampton*: 123-140.

FABI G., FIORENTINI L., GIANNINI S., 1985 - Osservazioni sull'insediamento e sull'accrescimento di *Mytilus galloprovincialis* Lamk su di un modulo sperimentale per mitilicoltura immerso nella baia di Portonovo (Promontorio del Conero, Medio Adriatico). *Oebalia N.S.*, **11 (2)**: 681-692.

FABI G., FIORENTINI L., GIANNINI S., 1986 - Growth of *Mytilus galloprovincialis* Lamk on a suspended and immersed culture in the Bay of Portonovo (Central Adriatic Sea). *FAO Fish. Rep.*, **357**: 144-154.

FABI G., FIORENTINI L., GIANNINI S., 1989 - Experimental shellfish culture on an artificial reef in the Adriatic Sea. *Bull. Mar. Sci.*, **44 (2)**: 923-933.

FABI G., GRATI F., 2005 - Ripopolamento attivo di lagune, stagni costieri, e localizzate aree della fascia costiera con giovanili certificati di specie ittiche e di crostacei, secondo i principi del Codice di Condotta per una Pesca Responsabile (FAO 95) - Prove di ripopolamento in una barriera artificiale del medio Adriatico tramite immissione di esemplari di *Dicentrarchus labrax*. *Rapporto finale per il Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Dipartimento delle Politiche di Mercato, Direzione Generale per la Pesca e l'Acquacoltura*: 68 pp.

FABI G., GRATI F., LUCCARINI F., PANFILI M., 1999 - Indicazioni per la gestione razionale di una barriera artificiale: studio dell'evoluzione del popolamento necto-bentonico. *Biol. Mar. Medit.*, **6 (1)**: 81-89.

FABI G., LUCCARINI F., PANFILI M., SOLUSTRI C., SPAGNOLO A., 2002 - Effects of an artificial reef on the surrounding seabed community (central Adriatic sea). *ICES J. Mar. Sci.*, **59**: 5343-5348.

FABI G., MANOUKIAN S., SPAGNOLO A., 2006 - Feeding behaviour of *Sciaena umbra*, *Diplodus annularis* and *Lithognathus mormyrus* at an artificial reef in the northern Adriatic sea. *Bull. Mar. Sci.*, **78 (1)**: 39-56.

FABI G., PANFILI M., SOLUSTRI C., SPAGNOLO A., 2001 - Osservazioni sulla fauna bentonica rinvenuta in fori scavati da *Pholas dactylus* (Bivalvia, Pholadidae) in substrati artificiali. *Biol. Mar. Medit.*, **8 (1)**: 271-274.

FABI G., PUPILLI A., SCARCELLA G., SPAGNOLO A., 2004 - Monitoraggio volto alla valutazione degli effetti indotti dalla realizzazione della barriera artificiale a fini multipli Casteldimezzo - Monte Castellarò. III anno di indagine (I anno dopo la posa dei substrati). *Rapporto per la Regione Marche, Servizio Attività ittiche, Commercio e Tutela del Consumatore, Caccia e Pesca Sportiva*: 40 pp.

FABI G., SALA A., 2002 - Assessment of biomass and diel activity of fish at an artificial reef (Adriatic sea) using stationary hydroacoustic technique. *ICES J. Mar. Sci.*, **59**: 411-420.

FABI G., SPAGNOLO A., 2001 - Artificial reefs and mariculture. In: Coimbra J. (ed.), *Modern Aquaculture in the Coastal Zone: Lessons and Opportunities. NATO Science Series: Series A: Life Sciences, Vo. 314, IOS Press, Amsterdam*: 91-98.

FALACE A., BRESSAN G., 1990 - Dinamica di colonizzazione algale di una barriera artificiale sommersa nel Golfo di Trieste: macrofouling. *Hydrores*, **7 (8)**: 5-27.

FALACE A., BRESSAN G., 1994 - Some observations on periphyton colonization of artificial substrata in the Gulf of Trieste (N Adriatic Sea). *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2-3)**: 924-931.

FALACE A., BRESSAN G., 1995a - Adapting an artificial reef to biological requirements. *ECOSSET '95 Proceedings*, **II**: 634-639.

FALACE A., BRESSAN G. 1995b - Esperienze di strutture artificiali

sommerse nel Golfo di Trieste (Nord Adriatico). *Biol. Mar. Medit.*, **2 (1)**: 123-128.

FALACE A., ZANELLI E., BRESSAN G., 2006 - Algal transplantation as a potential tool for artificial reef management and habitat mitigation. *Bull. Mar. Sci.*, **78 (1)**: 161-166.

GUIDETTI P., RELINI G., 1995 - Accrescimento di *Mytilus galloprovincialis* Lamk. nella barriera artificiale di Loano (Savona, Mar Ligure). *Biol. Mar. Medit.*, **2 (1)**: 187-202.

JENSEN A.C., 1998 - European Artificial Reef Research Network (EARRN) AIR3-CT-94-2144. *Final Report to DGXIV of the European Commission, SUDO/TEC/98/11, Southampton Oceanography Centre, Southampton*.

JENSEN A.C., COLLINS K.J., 1995 - Artificial reef research in the European Union: a review. *ECOSSET '95 Proceedings*, **II**: 824-829.

JENSEN A.C., COLLINS K.J., LOCKWOOD A.P.M., 2000 - Artificial reefs in European Seas. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*: 508 pp.

JENSEN A.C., COLLINS K.J., LOCKWOOD A.P.M., MALLISON J.J., TURPENNY W.H., 1994 - Colonization and fishery potential of a coal-ash artificial reef, Pool Bay, United Kingdom. *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2-3)**: 1263-1276.

KUO S.T., HSU T.C., SHAO K.T., 1995 - Experiences of coal ash artificial reefs in Taiwan. *Chemistry and Ecology*, **10**: 233-247.

LIVINGSTON R.J., 1994 - Environmental implications of establishment of a coal-ash reef near Cedar Key, Florida, United States. *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2-3)**: 1345.

LÖK A., METIN C., ULAS A., DÜZBASTILAR F.O., TOKAÇ A., 2002 - Artificial reefs in Turkey. *ICES Jour. Mar. Sci.*, **59**: S192-S195.

MANOUKIAN S., FABI G., SPAGNOLO A., 2004 - Use of multibeam echosounder to detect terrain changes around two artificial reefs (western Adriatic sea, Italy). *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, **37**: 52.

MOTTET M.G., 1986 - Enhancement of the marine environment for fisheries and aquaculture in Japan. In: D'Itri F.M. (ed.), *Artificial reefs - Marine and Freshwater Applications*, Lewis Publishers, Inc., Chelsea: 13-112.

PEPE P., BADALAMENTI F., D'ANNA G., 1996 - Abitudini alimentari di *Diplodus vulgaris* sulle strutture artificiali del Golfo di Castellammare (Sicilia nord-occidentale). *Biol. Mar. Medit.*, **3 (1)**: 514-515.

RELINI G., 1979 - Ricerche in corso in Liguria sulle barriere artificiali. *Atti 8° Simposio Nazionale sulla Conservazione della Natura, Bari, Aprile 1979*: 79-87.

RELINI G., 1983a - Twelve years of experiments on artificial reefs in the Gulf of Genoa (Italy). *Journée d'études sur les aspects scientifiques concernant les récifs artificiels et la mariculture suspendue, CIESM, Cannes 1982*: 73-75.

RELINI G., 1983b - Esperienze di barriere artificiali in Mar Ligure. *Il Gazzettino della Pesca*, **5**: 20-23.

RELINI G., 2000a - The Loano artificial reef. In: Jensen A.C., Collins K.J., Lockwood A.P.M. (eds.), *Artificial reefs in European Seas, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*: 129-149.

RELINI G., 2000b - Coal ash for artificial habitats in Italy. In: Jensen A.C., Collins K.J., Lockwood A.P.M. (eds.), *Artificial reefs in European Seas, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*: 343-364.

RELINI G., COMAGI P., 1990 - Colonization patterns of hard substrata in the Loano artificial reef (Western Ligurian Sea). *FAO Fish. Rep.*, **428**: 108-113.

RELINI G., ORSI RELINI L., 1971 - Affondamento in mare di carcasse di automobili ed inquinamento. *Quaderni Civica Stazione Idrobiologia Milano*, **3/4**: 31-43.

RELINI G., ORSI RELINI L., 1989 - The artificial reefs in the Ligurian Sea (N-W Mediterranean): aims and results. *Bull. Mar. Sci.*, **44 (2)**: 743-751.

RELINI G., PATRIGNANI A., 1992 - Coal ash for artificial reefs. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **33**: 378.

RELINI G., PEIRANO A., TUNESI L., ORSI RELINI L., 1986 - The artificial reef in the Marconi Gulf (Eastern Ligurian Sea). *FAO Fish. Rep.*, **357**: 95-103.

RELINI G., RELINI M., TORCHIA G., 1990a - Fishes of the Loano artificial reefs (Western Ligurian Sea). *FAO Fish. Rep.*, **428**: 120-127.

RELINI G., RELINI M., TORCHIA G., 1994a - Seasonal variation of fish assemblages in the Loano artificial reef (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2)**: 401-417.

RELINI G., RELINI M., TORCHIA G., 1995a - Fish population pattern in a coastal artificial habitat in the N-W Mediterranean. In: Eleftheriou A., Ansell A., Smith A. (eds.), *Biology and Ecology of Shallow Coastal Water - Proceedings of the 28th EMBS, Olsen & Olsen, DK*: 359-368.

RELINI G., RELINI M., TORCHIA G., 1997a - Reclutamento delle specie ittiche su alcune barriere artificiali della Liguria. *Biol. Mar. Medit.*, **4 (1)**: 269-274.

RELINI G., RELINI M., TORCHIA G., DE ANGELIS G., 2002 - Trophic relationships between fishes and an artificial reef. *ICES J. Mar. Sci.*, **59**: 536-542.

RELINI G., TORCHIA G., RELINI M., 1995b - La barriera artificiale di Loano. *Biol. Mar. Medit.*, **2 (1)**: 21-64.

RELINI G., TORCHIA G., RELINI M., 1997b - Fish assemblages in the Ligurian artificial reefs (N-W Mediterranean). In: Hawkins L.E., Hutchinson S., with Jensen A.C., Williams J.A. (eds.), *The responses of marine organisms to their environments - Proceedings of the 30th European marine Biology Symposium. University of Southampton, Southampton*: 337-343.

RELINI G., WURTZ M., 1977 - La scogliera artificiale di Varazze (Mar Ligure) a sei anni dall'immersione. *Atti IX Congresso SIBM, Ischia, Maggio 1977*: 363-371.

RELINI G., ZAMBONI N., SONMEZER F., 1990b - Development of macrobenthos community in the Loano artificial reef. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, **32 (1)**: 27.

RELINI G., ZAMBONI N., TIXI F., TORCHIA G., 1994b - Patterns of sessile macrobenthos community development in an artificial reef in the Gulf of Genoa (NW Mediterranean). *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2)**: 747-773.

RIGGIO S., ARDIZZONE G.D., 1981 - Eutrofizzazione e comunità zoobentoniche su substrati artificiali. Indagine preliminare sulle coste della Sicilia nord occidentale. *Quaderni del Laboratorio di Tecnologia della Pesca*, **3**: 587-603.

RIGGIO S., BADALAMENTI F., D'ANNA G., 2000 - Artificial reefs in Sicily: an overview. In: Jensen A.C., Collins K.J., Lockwood A.P.M. (eds.), *Artificial reefs in European Seas, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*: 65-73.

RIGGIO S., BADALAMENTI F., CHEMELLO R., GRISTINA M., 1986 - Zoobenthic colonization of a small artificial reef in Southern Tyrrhenian: results of a three-year survey. *FAO Fish. Rep.*, **357**: 109-119.

RIGGIO S., GRISTINA M., GIACCONE G., BADALAMENTI F., 1985 - An eighteen months survey of the artificial reef of Terrasini (N/W Sicily): the invertebrates. *Oebalia, N.S.* **XI**: 427-437.

SAMPAOLO A., RELINI G., 1994 - Coal ash for artificial habitats in Italy. *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2-3)**: 1277-1294.

SANTOS M.N., MONTEIRO C.C., 2001 - The Portuguese experience on artificial reefs: past and future. In: Coimbra J. (ed.), *Modern Aquaculture in the Coastal Zone, NATO Science Series, Series A: Life Sciences, 314, IOS Press, Amsterdam*: 91-98.

SARA' G., CORTESE G., MANGANARO A., PULICANO' G., 1993 - Accrescimento di *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) in un parco sperimentale open-sea nel Golfo di Castellammare (TP - Sicilia). *Biol. Mar., Suppl. al Notiziario S.I.B.M.*, **1**: 259-260.

SCARCELLA G., BOMBACE G., FABI G., GRATI F., 2004 - Aumento

controllato dello sforzo di pesca in una barriera artificiale dell'Adriatico settentrionale: effetti sul popolamento ittico. *Biol. Mar. Medit.*, **11 (2)**: 21-32.

SEAMAN W., JR., SPRAGUE L.M., 1991 - Artificial habitat practices in aquatic systems. In: Seaman W., Jr., Sprague L.M. (eds.), *Artificial habitats for marine and freshwater fisheries*, Academic Press, Inc., San Diego: 1-29.

SHAO K.T., PENG H.I., KUO S.T., CHEN L.S., 1994 - Evaluation of the effectiveness of the coal ash reefs in Wan-li, Northern Taiwan, Republic of China. *Bull. Mar. Sci.*, **55 (2-3)**: 1352.

SORVILLO R., D'ANNA G., BADALAMENTI F., MAZZOLA A., 1993 - Primi dati sull'accrescimento di *Crassostrea gigas* in un parco sperimentale marino nel Golfo di Castellammare (Sicilia N/O). *Biol. Mar., Suppl. al Notiziario S.I.B.M.*, **1**: 263-264.

SORVILLO R., D'ANNA G., BADALAMENTI F., MAZZOLA A., 1994 - Insediamento di *Ostrea edulis* su collettori nel Golfo di Castellammare (Sicilia Nord Occidentale). *Biol. Mar. Medit.*, **1 (1)**: 437-438.

SPAGNOLO A., FABI G., MANOUKIAN S., PANFILI M., 2004 - Benthic community settled on an artificial reef in the western Adriatic Sea (Italy). *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, **37**: 552.

STONE R.B., 1985 - History of artificial reef use in the United States. In: D'Itri F.M. (ed.), *Artificial reefs - Marine and Freshwater Applications*, Lewis Publishers, Inc., Chelsea: 3-11.

SUZUKI T., 1985 - A concept of large artificial ridges using a new hardened product made from coal ash. In: Kato W. (ed.), *Ocean Space Utilization '85*, Springer Verlag, Tokyo: 611-618.

SUZUKI T., 1995 - Application of high-volume fly ash concrete to marine structures. *Chemistry and Ecology*, **10**: 249-258.

TUMBILOLO M.L., PATTI B., 1996 - Stima della biomassa bentonica in due barriere artificiali situate nel Mare Adriatico. *Biol. Mar. Medit.*, **3 (1)**: 516-519.

WOODHEAD P.M.J., PARKER J.H., DUEDALL I.W., 1982 - The Coal-Waste Artificial Reef Program (C-WARP): a new resource potential for fishing reef construction. *Mar. Fish. Rev.*, **44**: 16-23.

WOODHEAD P.M.J., PARKER J.H., DUEDALL I.W., 1985 - The use of by-products from combustion for artificial reef construction. In: D'Itri F.M. (ed.), *Artificial reefs - Marine and Freshwater Applications*, Lewis Publishers, Inc., Chelsea: 265-292.

PRIMA REALIZZAZIONE IN VENETO DI ELEVAZIONI DEL FONDALE CON MATERIALE INERTE: IL "CAMPO SPERIMENTALE IN MARE"

FIRST REALIZATION IN VENETO OF SEABED ELEVATIONS BY INERT MATTER: THE "CAMPO SPERIMENTALE IN MARE"

E. ZENNARO, D. SCATTO, S. PATTI

GENIO CIVILE di Venezia, Piscina S. Zulian - S. Marco 548, 30124 Venezia

e-mail: geniove@regione.veneto.it

RIASSUNTO

L'Ufficio del Genio Civile di Venezia è stato coinvolto dalla Direzione per la Tutela dell'Ambiente della Regione Veneto nella realizzazione tecnica del Campo Sperimentale. Nel presente lavoro vengono descritte nei particolari la struttura del campo, la sua localizzazione e le tipologie di manufatti e strumentazioni utilizzati per le attività di ricerca. Particolare risalto è stato dato alla descrizione degli aspetti ingegneristici dell'opera e alle difficoltà incontrate nel corso della sua realizzazione.

ABSTRACT

The "Protection of the Environment Management" (Veneto Region), involved the "Civil Engineers Office" in the technical realization of the "Experimental Field" (Campo Sperimentale). In this study, structure of the field, localization, and the kind of framework used for research activities are described in particular. The focus here is on the description of the engineering aspects and the difficulties emerged.

INTRODUZIONE

Con il D.lgs. 112/1998 è stato disposto il conferimento alle regioni delle funzioni relative:

- alla programmazione, pianificazione e gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri (art. 89, comma 1, lettera H);
- al rilascio di concessioni di beni del demanio marittimo e di zone del mare territoriale (art. 105, comma 2, lettera L);

Per far fronte alle nuove incombenze, la Regione Veneto ha promosso un processo riorganizzativo delle proprie strutture, a tutt'oggi non ancora concluso, da un lato individuando negli Uffici del Genio Civile di Venezia e Rovigo le unità preposte direttamente ai compiti gestionali e operativi, dall'altro istituendo i Distretti Idrografici di Bacino, tra i quali quello denominato "Laguna, Veneto Orientale e Coste" diretto dall'Ing. Enzo Zennaro, con compiti di coordinamento e supporto alla programmazione, e in questo ambito il Servizio Tecnico Opere Marittime diretto dall'Ing. Salvatore Patti.

Come emerge chiaramente dal disposto legislativo, le materie conferite hanno un contenuto prevalentemente tecnico-ingegneristico per quanto attiene alla difesa della costa, mentre l'attività di rilascio delle concessioni demaniali unisce aspetti tecnici e gestionali.

Due anime diverse, due differenti modi di porsi e confrontarsi con i problemi del mare e della fascia costiera emergono pertanto, da subito, nella gestione delle competenze trasferite.

La difesa della costa infatti rientra in un filone di attività connaturate al Genio Civile e dallo stesso svolte anche prima del Decreto Legislativo 112/98, in virtù di un'attenzione che la Regione Veneto ha da sempre rivolto al settore. Lo stesso, in una certa misura, può dirsi per le concessioni sul demanio marittimo, per le quali i temi ricalcano in parte quelli del demanio idrico, ed inoltre l'attività concessoria era stata preceduta da una esperienza in regime di avvalimento con la Capitaneria di Porto. La vera novità è rappresentata dal mare territoriale e dai suoi molteplici utilizzi, aspetti e problemi. Competenza questa che ci ha posto e ci pone, sovente, in difficoltà per la necessità di contemperare esigenze e richieste spesso tra loro inconciliabili o conflittuali, tanto che sempre più urgente diviene la possibilità di disporre di uno strumento di pianificazione.

E a disagio ci pone l'incertezza degli obiettivi verso cui rivolgere la nostra azione, ove gli strumenti dell'ingegneria ci appaiono non consoni ad un contesto realmente multidisciplinare, al di là dell'abuso che di tale termine spesso è stato fatto.

Lo stesso disagio è stato percepito nelle occasioni in cui ci si è

confrontati con le altre realtà istituzionali, dagli incontri di coordinamento in sede nazionale alle riunioni tecniche di carattere locale. È emerso che, comunque, il confronto e la cooperazione tra soggetti diversi rappresentavano la miglior risposta alle richieste e alle emergenze del mare. In tale contesto si è costituito un rapporto privilegiato con ARPAV e al suo interno con l'Osservatorio Alto Adriatico, nato dalle collaborazioni in sede di istruttoria per il ripascimento degli arenili, proseguito con i gruppi di lavoro per le direttive sui materiali di dragaggio e le sabbie di ripascimento e approdato finalmente a questa esperienza del progetto per il campo sperimentale.

Quando l'Ufficio del Genio Civile di Venezia è stato coinvolto dalla Direzione per la Tutela dell'Ambiente nella realizzazione tecnica del "Campo Sperimentale in mare", funzionale alle attività di ricerca di ARPAV, ciò è stato visto come l'occasione per mettere il nostro bagaglio di esperienze nei lavori marittimi a supporto di un progetto avente precipue finalità di ricerca e di studio.

L'intervento consisteva nell'attrezzare una area di 5.000 mq, posta sul fondo marino a una profondità variabile da -12 a -18 m a circa 3 km dalla costa, con manufatti in cemento armato e in parte in acciaio, nonché con particolari attrezzature idonee per l'allevamento di molluschi.

Nel Veneto questo tipo di intervento non era mai stato realizzato, se si escludono le aree per l'allevamento intensivo dei molluschi, realizzate con quell'esclusivo scopo.

Il campo attrezzato doveva invece rispondere a precisi requisiti tecnici relativi alla tipologia delle opere e alla loro precisa localizzazione, per permettere ad ARPAV e agli studiosi incaricati la raccolta e l'analisi dei dati e la riproducibilità del modello sperimentale.

A tal scopo il progetto è stato concepito unitariamente e allo scopo sono stati istituiti, sia un Comitato scientifico, sia un Comitato tecnico, affinché fosse possibile concordare le scelte tecniche e scientifiche e monitorare la realizzazione dell'opera. Nella fattispecie, bisognava introdurre particolarità operative specifiche per la buona riuscita dell'intervento superando le complesse difficoltà dovute alla ubicazione del sito, che si possono riassumere sostanzialmente:

1. profondità dei fondali variabile tra -12 e -18 m
2. presenza di due diverse correnti, una superficiale e l'altra di profondità
3. presenza di costante moto ondoso
4. eccessiva torbidità dell'acqua

5. stagione tardo-autunnale caratterizzata da basse temperature e sensibili variabilità climatiche

6. caratteristiche tipologiche dei manufatti (reperimento sul mercato, realizzazione in cantiere, movimentazione).

27,07' N e 12° 35,47' E, è compreso all'interno di un'area in concessione alla ditta Azzurra S.r.l per attività di molluschicoltura e più precisamente a ridosso del suo lato nord-orientale (Fig. 1).

Le strutture e i manufatti posati nel Campo sono i seguenti:

BARRIERA DI TIPO A

- 15 blocchi cubici in calcestruzzo armati delle dimensioni di 2 x 2 x 2 m del peso di circa 23 t, con nicchie e fori passanti di diametro 30 cm, disposti sul perimetro a protezione dell'area sperimentale e per ancoraggio (Fig. 2).
- 2 moduli artificiali composti ciascuno da 5 blocchi cubici in calcestruzzo armati sovrapposti delle dimensioni di 2 x 2 x 2 m, del peso complessivo di circa 115 t con nicchie e fori passanti di diametro 30 cm.

LA REALIZZAZIONE DEL CAMPO

Localizzazione e strutture

Il Campo Sperimentale è costituito da un'area di forma rettangolare con lati di 50 e 100 m (pari a 5.000 mq), localizzata a circa 2 miglia al largo della costa del Cavallino, di fronte alla foce del fiume Sile e ad una profondità di circa 14 m. Il campo, centrato sul punto di coordinate geografiche (WGS84) 45°

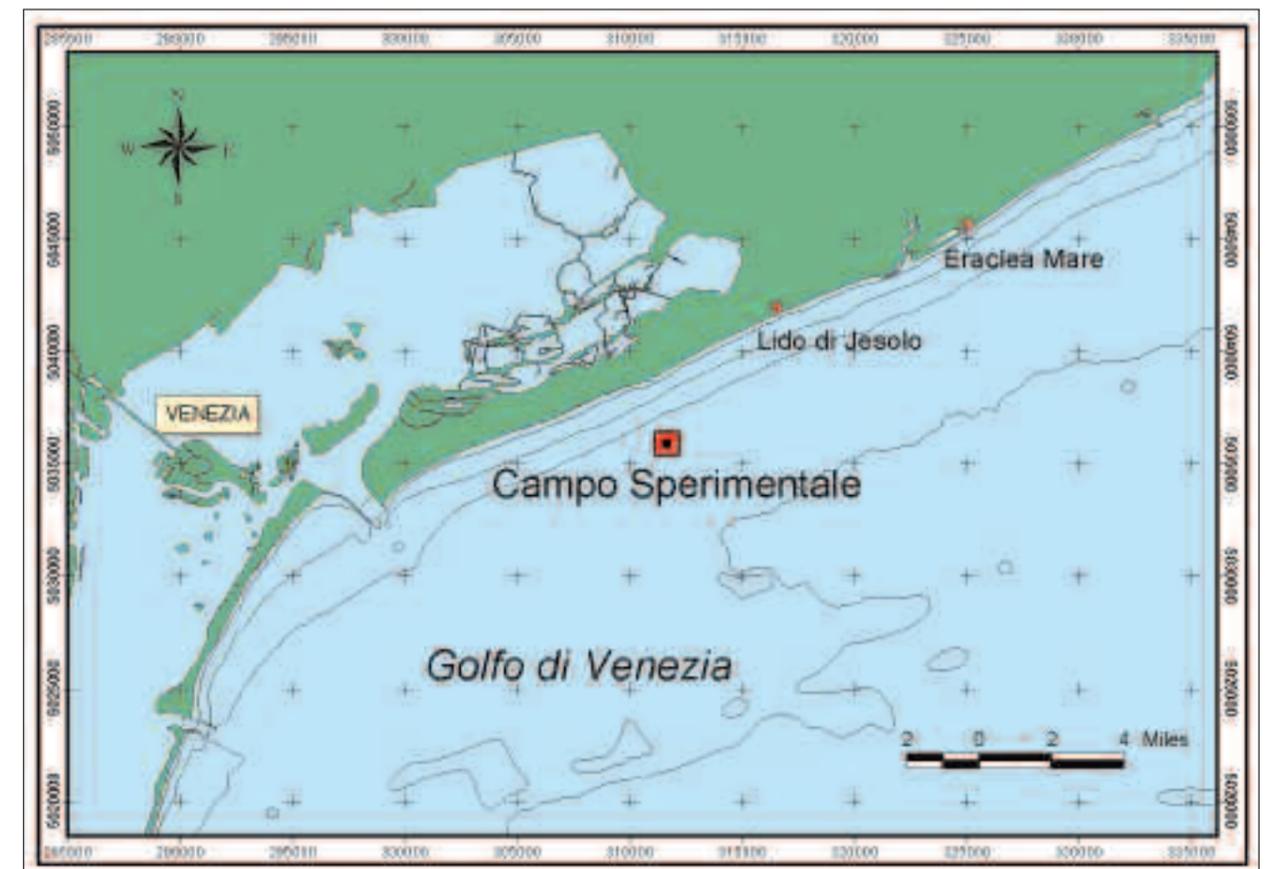


Fig. 1 - Localizzazione del Campo Sperimentale.



Fig. 2 - Barriere di tipo A.

La costruzione in cantiere di queste strutture è avvenuta utilizzando delle casseforme metalliche dotate di fori, con cilindri in polistirolo espanso passanti dal foro di una faccia a quello della faccia opposta; gli stampi così creati sono stati armati e riempiti con colate di cemento (Figg. 3-4). I blocchi di calcestruzzo risultanti sono stati posizionati in mare (Fig. 5).



Fig. 3 - Costruzione delle barriere di tipo A.



Fig. 4 - Costruzione delle barriere di tipo A.



Fig. 5 - Posa in mare delle barriere di tipo A.

BARRIERA DI TIPO B

- 1 modulo di barriera artificiale delle dimensioni di 6 x 4 m, costituito da un telaio in acciaio scatolare di sezione 20 x 20 cm, sabbiato e zincato a freddo, trattato contro la corrosione, compresa l'installazione di anodi di alluminio contro la corrosione galvanica, riempito al suo interno con calcestruzzo vibrato (Fig. 6).



Fig. 6 - Barriera di tipo B.

BARRIERA ARTIFICIALE RADENTE

- 1 barriera artificiale radente realizzata con tubi metallici del diametro esterno di 48,2 mm, spessore di 3,2 mm collegati mediante giunti per ponteggi (Fig. 7).



Fig. 7 - Barriera artificiale radente.

STRUTTURA ANTIEROSIVA FLESSIBILE

- 1 struttura da 500 mq composta da materassi metallici delle dimensioni di 6 x 2 m dello spessore di 23 cm confezionati con rete metallica a doppia torsione con filo da 2.20 mm di diametro a forte zincatura riempiti con pietrame scapolo di diverse pezzature (Figg. 8-9).



Fig. 8 - Strutture antierosive flessibili.



Fig. 9 - Dettaglio delle strutture antierosive flessibili.

STRUTTURE FLOTTANTI E SOMMERSE

- 1 longline flottante e 1 longline sommersa di supporto alle attività sperimentali di molluschicoltura, composte da file di galleggianti ancorate ai corpi morti perimetrali e collegate da funi (ventie) per il sostegno delle reste o a collettori di forme diverse (Figg. 10-11).

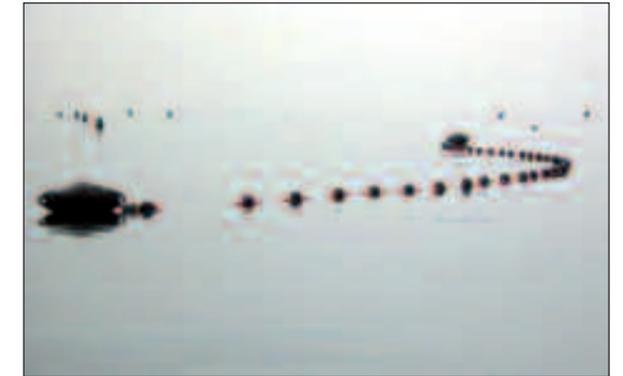


Fig. 10 - Longline flottante.



Fig. 11 - Lavori per il posizionamento delle longline.

STRUTTURA A GALLEGGIAMENTO CONTROLLATO

- 1 struttura (Fig. 12) a galleggiamento controllato in acciaio zincato a caldo, delle dimensioni di m 2.6 x 2.6 x 1.15 m, composta da 7 ripiani ulteriormente suddivisibili in settori, con possibilità di essere riportata in superficie mediante un serbatoio alloggiato all'interno della struttura tramite una manichetta ad aria compressa (Fig. 13). Questa tipologia di struttura non è stata utilizzata nel corso delle ricerche, ma rimane comunque disponibile per un suo impiego futuro.



Fig. 12 - Struttura a galleggiamento controllato.



Fig. 13 - Serbatoio per le strutture a galleggiamento controllato.

Descrizione di dettaglio della struttura del campo

Le suddette strutture sono state posizionate nell'area del campo in modo tale da suddividerlo in quattro sezioni, ognuna destinata a specifiche attività sperimentali (Figg. 14-15).

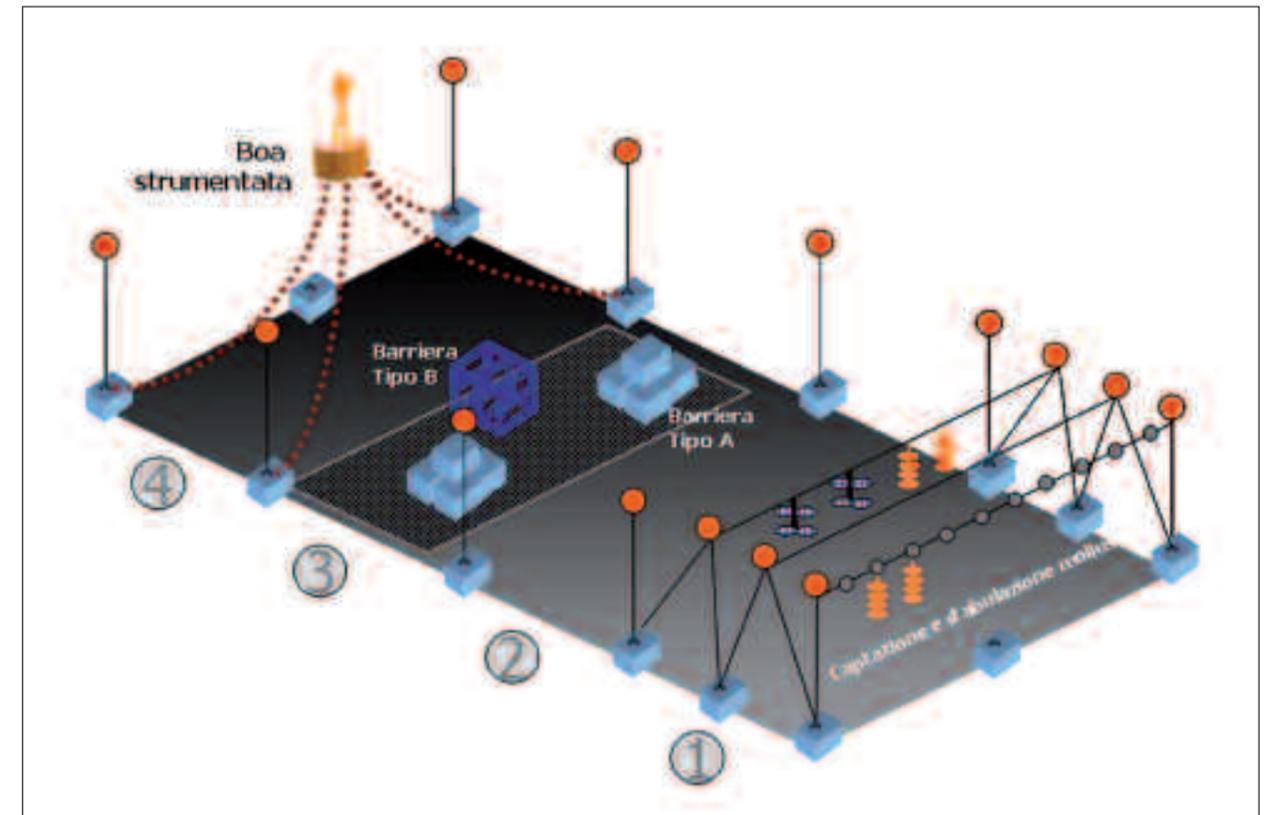


Fig. 15 - Vista prospettica del Campo Sperimentale con le quattro sezioni e le relative strutture posizionate.

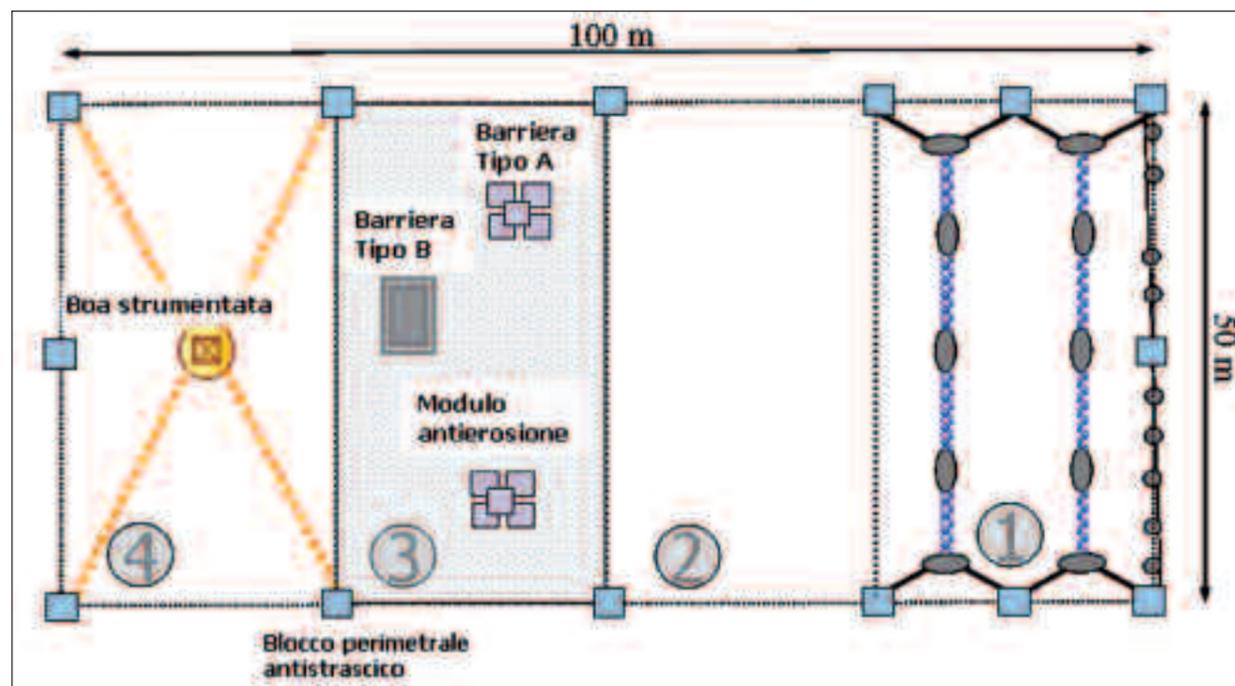


Fig. 14 - Pianta del Campo Sperimentale indicante le quattro sezioni e le relative strutture posizionate.

Nella *prima sezione* sono state posizionate le strutture flottanti e sommerse, destinate alla raccolta di seme di bivalvi e alla stabulazione di organismi da utilizzare nelle analisi (ad esempio i test biologici e le analisi genetiche).

La *seconda sezione*, priva di strutture artificiali, è stata utilizzata per gli studi sul bentos di substrato mobile, sulle caratteristiche del sedimento e per la raccolta di cisti di fitoplancton presenti nel sedimento. In tale sezione sono stati posizionati anche una trappola per i sedimenti, un correntometro e una sonda per la misura di temperatura e salinità.

Nella *terza sezione* sono state collocate le strutture antierosive flessibili e, sopra di esse, i due moduli di barriera di tipo A e al lato opposto il modulo di barriera di tipo B. Su questi moduli si sono concentrati gli studi sulle biocenosi di fondo duro e sul processo di colonizzazione.

Inoltre in questa sezione sono state piazzate alcune barriere artificiali radenti con funzione antistrascico.

Nella *quarta sezione* è localizzata la boa oceanografica,

destinata alla registrazione in continuo dei parametri chimico-fisici della colonna d'acqua (Fig. 16). Questo sistema assembla numerose strumentazioni: una sonda multiparametrica profilante (Fig. 17) per la misura dei parametri chimico-fisici lungo la colonna d'acqua (temperatura, conducibilità, salinità, ossigeno disciolto, pH, potenziale Redox, clorofilla *a*, torbidità), un profilatore di corrente ADCP (Fig. 18) al fondo per la misura della corrente (direzione e intensità) e una centralina (Fig. 19) per la misura dei parametri meteorologici (pressione atmosferica, temperatura, umidità relativa, direzione e intensità del vento, radiazione solare). Tutti i dati registrati dal microprocessore della boa vengono trasmessi periodicamente via GSM al server centrale ARPAV e successivamente elaborati.

Purtroppo, problemi tecnici hanno impedito di rendere operativo il sistema nei tempi prefissati e di utilizzare i relativi dati oceanografici come previsto da programma. Certamente il contributo di questo sistema per il prossimo futuro sarà ingente, sia nell'ambito dell'estensione del progetto "Campo

Sperimentale", sia nel ambito del controllo in continuo delle condizioni del bacino Nord Adriatico (Rete Regionale di Boe Meteo-marine).



Fig. 16 - Boa oceanografica.



Fig. 18 - Profilatore di corrente ADCP presente sulla boa oceanografica.



Fig. 19 - Centralina meteorologica presente sulla boa oceanografica.

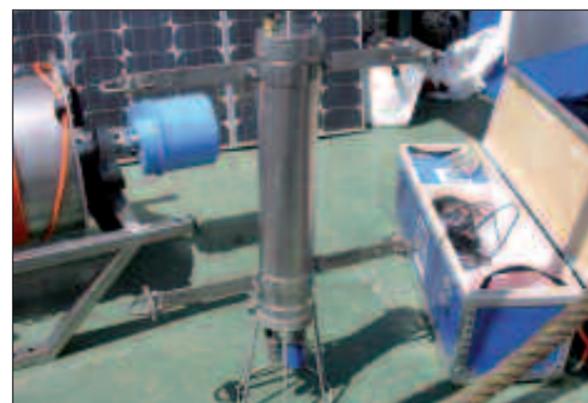


Fig. 17 - Sonda multiparametrica (CTD) presente sulla boa oceanografica.



Fig. 20 - Cartelli di cantiere.

Esecuzione e fasi del lavoro

L'esecuzione dei lavori è avvenuta sotto la direzione del Geom. Daniele Scatto e si è avvalsa dell'operato della ditta SOMIT s.a.s. di Sottomarina (Fig. 20).

Il Sig. Alessio Tiozzo, titolare della ditta aggiudicataria dei lavori, ha eseguito in prima persona tutte le fasi della lavorazione, insieme alle maestranze della ditta "Acquanauta" di Riccardo Schultz di Jesolo responsabile della posa in opera dei manufatti. In tutte le fasi lavorative si è creata una perfetta intesa tra la Direzione Lavori, l'Impresa esecutrice e i ricercatori scientifici, per superare le fasi più delicate del lavoro, relative al posizionamento dei pesanti manufatti in cemento armato. Importantissima è stata anche la collaborazione del Sig. Roberto Savian, esperto in allevamento di molluschi e titolare della ditta AZZURRA S.r.l., concessionaria del tratto di mare interessato dalla esecuzione del "Campo Sperimentale", il quale ha messo a disposizione parte dell'area pertinente alla concessione, oltre

alle sue conoscenze specifiche sulle caratteristiche del sito marino.

Inoltre, con specifica sottoscrizione di una convenzione tra ARPAV e Regione Veneto-Genio Civile, il sig. Savian ha messo gratuitamente a disposizione mezzi e personale per le operazioni preliminari e per l'aggiornamento del progetto originario e, da ultimo, ha garantito vigilanza ed informazioni durante la realizzazione del Campo Sperimentale.

La realizzazione del Campo Sperimentale, dall'installazione del cantiere alla posa di tutte le strutture, ha avuto una durata di 3 mesi, come descritto dal cronoprogramma dei lavori di Fig. 21.

REGIONE DEL VENETO - UFFICIO DEL GENIO CIVILE PER LE OPERE MARITTIME E PORTUALI

CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI DIAGRAMMA DI GANTT

OPERE PER L'ALLESTIMENTO FUNZIONALE DEL CAMPO SPERIMENTALE IN MARE AL LARGO DELLA FOCE DEL FIUME SILE

CATEGORIE LAVORAZIONI	SETTIMANA	PRIMO MESE				SECONDO MESE				TERZO MESE			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
INSTALLAZIONE DI CANTIERE		■											
DELIMITAZIONE CAMPO SPERIMENTALE			■	■	■								
PREPARAZIONE STAMPI CASSEFORME		■	■	■	■								
PREPARAZIONE STAMPI TAPPETINO		■	■	■	■								
GETTO PER STRUTTURE IN CLS ARMATE						■	■	■	■				
GETTO DEL TAPPETO ANTIEROSIVO						■							
POSA DEI CUBI IN CLS ARMATI E FORATI										■	■	■	
POSA DEL TAPPETO ANTIEROSIVO						■	■						
POSA DELLE STRUTTURE IN CLS ARMATE						■	■	■					
REALIZZAZIONE STRUTTURE METALLICHE						■	■						
POSA STRUTTURE METALLICHE											■	■	
POSA LONGLINE FLOTTANTE											■	■	
POSA LONGLINE SOMMERSA												■	■
POSA SEGNALAMENTI													■

Fig. 21 - Cronoprogramma dei lavori per la realizzazione del campo.

CONCLUSIONI

Le strutture artificiali realizzate hanno risposto in modo ottimale alle aspettative e soprattutto in maniera adeguata all'attività di ricerca scientifica, i cui risultati sono oggetto della presente pubblicazione.

Concepito con finalità connesse all'insediamento delle strutture per la miticoltura, il progetto del "Campo Sperimentale" ha visto la sua immediata e strategica estensione alle iniziative volte alla salvaguardia delle aree di tutela biologica denominate "Tegnue" consentendo di orientare l'intervento presso la Tegnua di Porto Falconera a Caorle. E ancora, l'iniziativa potrebbe trovare applicazione nella creazione di "Tegnue artificiali" in raccordo con il Progetto Interreg Adri.Blu.

Per il Genio Civile Regionale di Venezia, la riuscita dell'intervento rappresenta un importante stimolo per ampliare e migliorare le conoscenze e il livello delle prestazioni tecniche, già ora considerevole, relativo all'esecuzione di opere marittime anche in mare aperto. Una prima ricaduta è costituita dal contributo specifico che l'ufficio sta fornendo per la realizzazione di opere utili per la conservazione delle Tegnue di Chioggia e di Caorle. Un'altra conquista è costituita dalle collaborazioni poste in essere tra gli Enti che dovranno non essere disperse ma conservate e aggiornate costantemente in funzione delle maturate nuove esperienze.

L'Ufficio del Genio Civile di Venezia, consapevole del suo ruolo, si dichiara sin d'ora sempre disponibile nella ricerca delle più ampie intese operative e nel fornire la propria fattiva collaborazione nell'ambito di eventuali ulteriori iniziative riguardanti il mare.

A questo fine, parallelamente allo svolgimento delle proprie funzioni istituzionali, sta predisponendo la catalogazione degli interventi, lo studio per nuove procedure e la raccolta della normativa tecnica specifica, nonché da ultimo sta curando la realizzazione in scala 1: 5.000 e 1: 10.000 della " Carta Tematica Sugli Utilizzi del Mare Territoriale".

2. CONDIZIONI IDROLOGICHE E FITOPLANCTON



VARIABILITÀ TEMPORALE DELLE CONDIZIONI IDROLOGICHE, IDROCHIMICHE E BIOLOGICHE NELLA COLONNA D'ACQUA (LUGLIO 2003 - GENNAIO 2005)

TEMPORAL VARIABILITY OF HYDROLOGICAL, HYDROCHEMICAL AND BIOLOGICAL CONDITIONS IN THE WATER COLUMN (JULY 2003 - JANUARY 2005)

S. BRUNO, M. BASTIANINI, F. ACRI, D. CASSIN, A. BOLDRIN

CNR-ISMAR ISTITUTO DI SCIENZE MARINE - Sezione di Venezia Castello 1364/A - 30122 Venezia

e-mail: sebastiano.bruno@ismar.cnr.it

RIASSUNTO

Sono stati studiati gli aspetti idrologici, idrochimici e idrodinamici dell'area del Campo Sperimentale dal luglio 2003 al gennaio 2005. L'area risente in modo diretto dei cicli termici stagionali e degli apporti fluviali. Il campo di moto nell'area ha direzione prevalente parallela alla costa, che si riflette sui processi di trasporto del materiale disciolto e particellato. Le intensità di corrente appaiono correlate al vento da NE (Bora), prevalente come frequenza e intensità in questa regione. I nutrienti disciolti derivano essenzialmente da processi di dispersione e diluizione delle acque dei fiumi che sfociano in prossimità dell'area (Piave e Sile), mentre la concentrazione del materiale particellato dipende principalmente dai processi di risospensione e trasporto advettivo in prossimità del fondo.

ABSTRACT

Hydrology, hydrochemistry and hydrodynamics of the "Campo Sperimentale" area have been investigated between July 2003 and January 2005. The area appears to be directly influenced by seasonal thermic cycles and by rivers discharge. Current flows in the area showed a prevalent direction oriented parallel to the shoreline, influencing dissolved and particulate matter transport processes. Current intensity appear to be correlated with the Bora wind (NE direction), which showed to be prevailing in frequency and intensity in the region. Dissolved nutrients derive substantially from dispersal and dilution processes of fresh water from rivers draining in proximity of the area (Piave and Sile rivers), while the concentration of particulate matter depends mainly on resuspension and on advective transport close to the sea-bottom.

INTRODUZIONE

La conoscenza approfondita delle condizioni oceanografiche e idrochimiche, e delle relative dinamiche temporali, costituisce un elemento fondamentale ai fini della valutazione integrata della qualità ambientale. Per un'adeguata ed esaustiva interpretazione dei risultati delle ricerche svolte nell'ambito del programma Intervento 72 - Campo Sperimentale, è stato ritenuto indispensabile disporre di una base di informazioni sulle caratteristiche ambientali dell'area.

Nel corso degli ultimi decenni, nel Nord Adriatico si sono sovente verificate condizioni favorevoli allo sviluppo di fenomeni di compromissione della qualità ambientale, con conseguente impatto sulle attività di pesca, di acquacoltura e sull'utilizzo delle acque costiere a fini ricreativi. Gli andamenti climatici a scala globale sembrano influire su questi eventi, anche se non sono ancora sufficientemente noti i meccanismi alla base della loro insorgenza ed evoluzione.

E' quindi essenziale disporre di strumenti idonei a conoscere e monitorare in modo continuo le condizioni meteo-marine ed oceanografiche, al fine di rendere disponibili serie temporali di dati che consentano una migliore comprensione di tali dinamiche ambientali e, in futuro, la formulazione di previsioni sull'evoluzione dello stato dell'ambiente.

Scopo di questo lavoro è stato quindi studiare gli andamenti dei principali parametri idrologici, correntometrici, idrochimici e meteorologici nella stazione a barriere artificiali "Campo Sperimentale in mare", localizzata lungo il litorale veneto, durante l'intera durata del programma di ricerca. Oltre a fornire il necessario supporto alle altre linee di ricerca, tale sperimentazione va intesa come progetto pilota per la futura messa in funzione di una stazione automatica di monitoraggio meteo-oceanografico, che sarà in grado di effettuare misure ad alta frequenza e trasmettere in tempo reale i dati a terra, rispondendo così alla necessità di realizzare un monitoraggio a lungo termine delle condizioni ambientali nell'area.

MATERIALI E METODI

Per l'analisi degli aspetti idrologici sono state realizzate 18 campagne mensili nella stazione del Campo Sperimentale (14,5 m di profondità), da luglio 2003 a gennaio 2005, utilizzando la nave oceanografica G. Dallaporta e i motoscafi Mysis e Strafanto del CNR (Tab. 1; Figg. 1-3). Inoltre, informazioni in continuo dei parametri oceanografici ed idrodinamici ad una quota

prestabilita sono state ottenute mediante un ancoraggio fisso posizionato nell'area. Infine, il set di dati è stato integrato con misure dei principali parametri meteorologici relative al periodo considerato.

Tab. 1 - Campagne di misura effettuate nel periodo luglio 2003 - febbraio 2005.

Campagna	Data	Imbarcazione
INT07/03	16/07/2003	N/O Dallaporta
INT08/03	27/08/2003	Mysis
INT09/03	23/09/2003	Mysis
INT11/03	04/11/2003	N/O Dallaporta
INT12/03	14/12/2003	Mysis
INT01/04	20/01/2004	Mysis
INT02/04	28/02/2004	N/O Dallaporta
INT03/04	29/03/2004	Mysis
INT04/04	22-04-2004	Mysis
INT05/04	30-05-2004	N/O Dallaporta
INT06/04	2-07-2004	Mysis
INT07/04	2-08-2004	N/O Dallaporta
INT08/04	24-08-2004	Strafanto
INT09/04	23-09-2004	Strafanto
INT10/04	18-10-2004	Strafanto
INT11/04	19-11-2004	N/O Dallaporta
INT12/04	13-12-2004	Strafanto
INT01/05	3-02-2005	Strafanto



Fig. 1 - N/O G. Dallaporta.



Fig. 2 - Motoscafo Mysis.



Fig. 3 - Motoscafo Strafanto.

Durante le campagne sono stati misurati i valori dei principali parametri idrologici, idrochimici e biologici lungo la colonna d'acqua, mediante sonda multiparametrica profilante CTD Idronaut modello Ocean Seven 316 (Fig. 4), equipaggiata con sensori aggiuntivi per la misura della torbidità (Seapoint Turbidity Meter) e della fluorescenza (Seapoint Chlorophyll Fluorometer). Nella Tab. 2 sono elencati i parametri misurati, e riassunte le caratteristiche dei sensori installati sulla sonda Ocean Seven 316.

Tab. 2 - Parametri misurati dalla sonda CTD Ocean Seven 316 e caratteristiche dei sensori.

Parametro	Range (di misura)	Accuratezza	Stabilità	Tempo di risposta
Pressione	0 / 2000 dbar	0,1 % F.S.	0,03 %	50 ms
Temperatura	-3 / +50 °C	0,003 °C	0,0005 °C	50 ms
Conducibilità	0 / 84 mS/cm	0,003 mS/cm	0,001 mS/cm	50 ms
Ossigeno disciolto	0 / 200 ppm	± 1 ppm	0,01 ppm	3 s
	0 / 200 % sat	1% sat	0,1 % sat	3 s
pH	0 / 14 pH	0,01 pH	0,001 pH	3 s
Fluorescenza	0,02 / 140 µg/l	0,02 µg/l	1 - 0,003 W/g/l	0,1 s
Torbidità	0 / 750 FTU	+2 %	200 - 3 mV/FTU	0,1 s
Salinità	Calcolata dai valori di conducibilità, temperatura e pressione			



Fig. 4 - Sonda multiparametrica CTD Idronaut.

Il monitoraggio ad alta frequenza delle condizioni idrodinamiche e idrologiche è stato effettuato mediante un ancoraggio dotato di strumentazione automatica (Fig. 5). La strumentazione era costituita da un correntometro Aanderaa RCM/7 posto a circa 13 m di profondità, e da una sonda CTD SeaBird - Sea Cat 16 DO posta a circa 10 m, per misure di pressione, temperatura e salinità. Le caratteristiche di questi strumenti sono riportate nella Tab. 3. L'ancoraggio includeva anche una trappola automatica per sedimenti, per le misure dei flussi verticali di materiale particellato (Boldrin et al., questo volume). L'ancoraggio è stato collocato nel Campo Sperimentale per tre periodi campione durante i quali la frequenza di acquisizione per tutti i parametri è stata di 30 minuti.

I tre periodi di misura sono stati i seguenti:

1. 2 dicembre 2003 - 17 febbraio 2004
2. 19 maggio 2004 - 1 ottobre 2004
3. 23 novembre 2004 - 1 febbraio 2005

I dati oceanografici (temperatura, salinità) raccolti dalla sonda Sea-Bird - Sea Cat 16 DO e dal correntometro Aanderaa RCM/7 sono stati calibrati attraverso il confronto con misure effettuate mediante la sonda CTD Idronaut Ocean Seven 316 durante le campagne di misura idrologiche. Il funzionamento di quest'ultima è stato regolarmente verificato con misure di laboratorio.

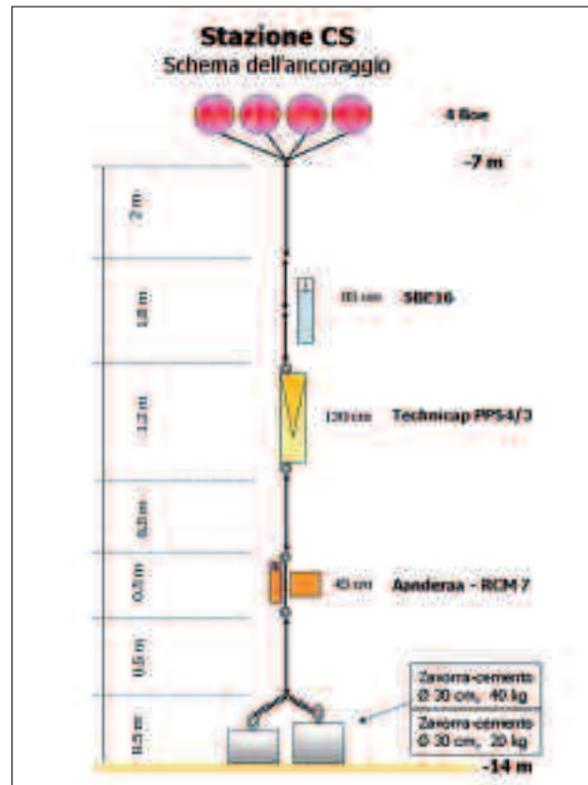


Fig. 5 - Schema dell'ancoraggio per il monitoraggio ad alta frequenza dei parametri idrologici e idrodinamici.

Tab. 3 - Caratteristiche della strumentazione utilizzata nell'ancoraggio.

Strumento	Parametro	Intervallo di misura	Accuratezza	Sensibilità
CTD Sea Cat	Conducibilità	0 - 7 Sm	± 0,001	± 0,001
SBE 16 DO	Temperatura	-5 - 30 °C	± 0,01	± 0,001
	Pressione		± 0,25 % FS	± 0,015 % FS
	Direzione	0° - 360°	± 0,35°	± 0,3°
Comptonmetro	Velocità	2 - 250 cm/s	± 1 cm/s	
Aanderaa RCM7	Conducibilità	0 - 74 mhos/cm	± 0,025	0,1 %
	Temperatura		± 0,1%	

I parametri meteorologici sono stati misurati mediante una centralina MICROS installata presso l'istituto CNR-ISMAR, situato nel centro storico di Venezia (coordinate geografiche: 45° 25'N - 012° 21'E, altezza m 16 slm). La stazione automatica di acquisizione era dotata di sensori per i seguenti parametri:

- pressione barometrica
- temperatura dell'aria
- radiazione solare
- precipitazione

Sui dati, raccolti con una frequenza di 1 minuto, è stata calcolata la media oraria per ciascun parametro.

Per dati sulla direzione e intensità del vento, sono state utilizzate misure registrate da una centralina meteorologica situata sulla piattaforma Acqua Alta del CNR, localizzata a circa 6 NM dalla costa (coordinate geografiche: 45° 18'N - 012° 30'E; dati forniti da Cavaleri, CNR-ISMAR). Si è preferito considerare i dati di vento relativi a questa stazione di mare aperto in quanto meno influenzati dalla morfologia della terraferma e del centro abitato, e quindi più vicini alle condizioni che si verificano in corrispondenza della stazione in esame.

Durante le campagne idrologiche mensili, sono stati effettuati campionamenti d'acqua a tre quote (in prossimità della superficie, a metà della colonna d'acqua e in prossimità del fondo) mediante bottiglie idrologiche Niskin da 5 litri (Fig. 6).

Tali campioni sono stati utilizzati per la determinazione analitica dei seguenti parametri idrochimici, del particolato e biologici:

- Concentrazione dell'ossigeno disciolto;
- Concentrazione dei nutrienti inorganici disciolti (ammoniaca, nitriti, nitrati, silicati, fosfati);
- Peso secco totale, carbonio organico particolato e azoto totale;
- Concentrazione della clorofilla *a* e dei feopigmenti.

L'ossigeno disciolto è stato misurato secondo Winkler utilizzando un titolatore automatico Metrohm (Strickland & Parsons, 1972); la percentuale di saturazione è stata calcolata secondo Weiss (1970).

I campioni per l'analisi dei macronutrienti inorganici disciolti sono stati immediatamente filtrati su filtri Whatman GF/F (porosità nominale 1 µm), congelati a bordo, e conservati in congelatore a -30°C fino al momento dell'analisi. Le determinazioni di azoto ammoniacale (N-NH₃), nitroso (N-NO₂), nitrico (N-NO₃) e degli ortosilicati (Si-SiO₄) disciolti sono state eseguite utilizzando System Alliance autoanalyzer. Per l'azoto ammoniacale è stato utilizzato il metodo descritto da Solorzano (1969) modificato da Grasshoff e Johannsen (1972), per l'azoto nitroso quello di Shinn (1941) modificato da Bendschneider e Robinson (1952), per l'azoto nitrico Wood *et al.* (1967), per l'ortosilicato Mullin e Riley (1955). I metodi di analisi automatica qui indicati sono riassunti da Folkard (1978). Le analisi del fosforo da ortofosfato sono state eseguite secondo Murphy e Riley (1962) per via spettrofotometrica.

Le determinazioni del peso secco sono state fatte per via

gravimetrica secondo Strickland e Parsons (1972), dopo filtrazione mediante filtri precombusti e prepesati Whatman GF/F da 25 mm di diametro. Le operazioni di filtrazione sono state effettuate immediatamente dopo il prelievo (Fig. 6). Dopo la filtrazione, tutti i filtri sono stati lavati con acqua di purezza grado chimico Milli-Q per eliminare i residui salini.



Fig. 6 - Campionamento lungo la colonna d'acqua mediante bottiglia Niskin.

In laboratorio i filtri sono stati essiccati a 60°C e pesati a peso costante. La frazione organica è stata stimata dopo incenerimento in stufa a 480°C. L'influenza del trattamento è stata stimata mediante filtri bianchi ogni 5 campioni.

Per le analisi del carbonio e dell'azoto particolati è stato utilizzato un analizzatore elementare CHN Perkin Elmer 2400. Il carbonio organico è stato determinato dopo esposizione dei filtri a vapori di HCl per l'eliminazione del carbonio inorganico (Hedges and Stern, 1984). La standardizzazione è stata effettuata mediante Acetanilide Standard Reference Material per microanalisi della NIST - National Institute of Standards and Technology del Department of Commerce (US).

I campioni di clorofilla *a* e dei feopigmenti sono stati filtrati su filtri Whatman GF/F (porosità nominale 0,7 µm). I filtri sono stati disgregati con omogenizzatore Ultra-Turrax, e i pigmenti estratti in acetone al 90% e misurati al fluorimetro (mod. Perkin-Elmer LS-5B) secondo Holm Hansen *et al.* (1965). La standardizzazione è stata eseguita su clorofilla *a* pura (Sigma Chemical Co.).

RISULTATI E DISCUSSIONE

PARAMETRI METEOROLOGICI

La temperatura dell'aria da luglio 2003 a gennaio 2005 è variata tra -2,4 °C e 33,2 °C, con una media di 14,1 °C (Fig. 7).

I valori più elevati sono stati registrati nei mesi di luglio ed agosto (medie: luglio₂₀₀₃=25,5 °C; agosto₂₀₀₃=27,2 °C; luglio₂₀₀₄=23,9 °C; agosto₂₀₀₄=24,1 °C), mentre il mese più freddo è stato gennaio (gennaio₂₀₀₄=3,5 °C; gennaio₂₀₀₅=3,2 °C).

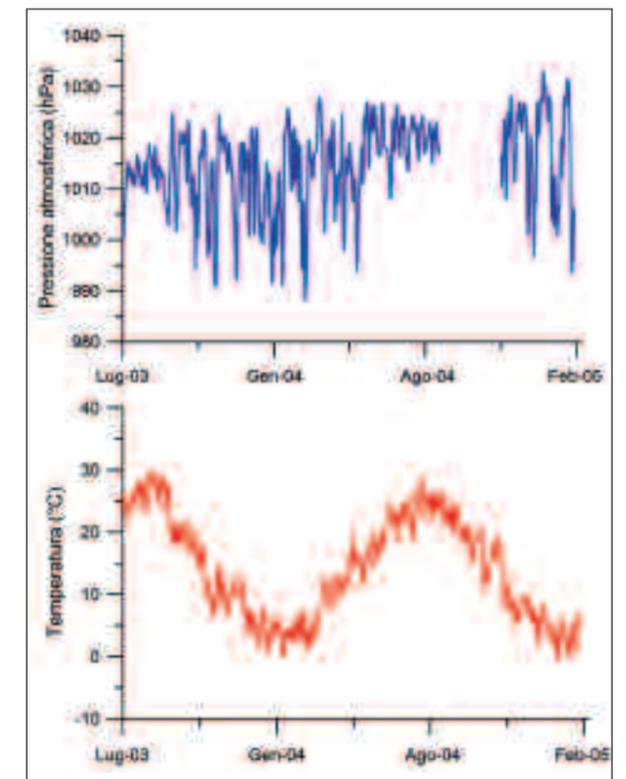


Fig. 7 - Temperatura e pressione atmosferica misurate dalla centralina meteorologica localizzata presso l'istituto CNR-ISMAR di Venezia. Ai dati è stato applicato uno smoother (media mobile, ampiezza = 33 ore) per minimizzare le variazioni ad alta frequenza e meglio rappresentare il trend stagionale.

L'irradianza si è assestata su valori medi nelle ore centrali della giornata (dalle 11 alle 13) pari a 1600 W/m², raggiungendo il valore massimo di 3175 W/m² nel mese di maggio 2004 (Fig. 8).

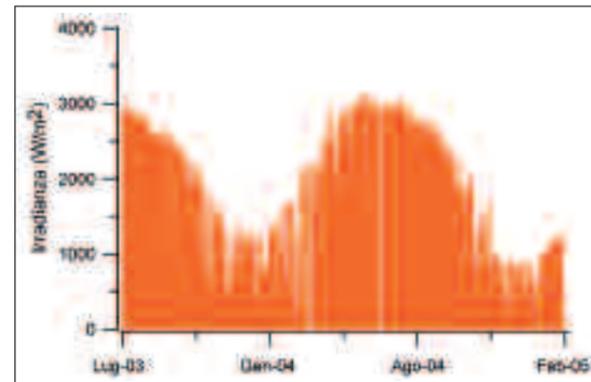


Fig. 8 - Irradianza solare misurata dalla centralina meteorologica localizzata presso l'istituto CNR-ISMAR di Venezia.

I giorni di pioggia sono stati 173 su 592; i mesi con le massime piovosità sono stati novembre 2003 (110 mm/mese), febbraio 2004 (173 mm/mese), maggio 2004 (91 mm/mese) e ottobre 2004 (93 mm/mese; Fig. 9).

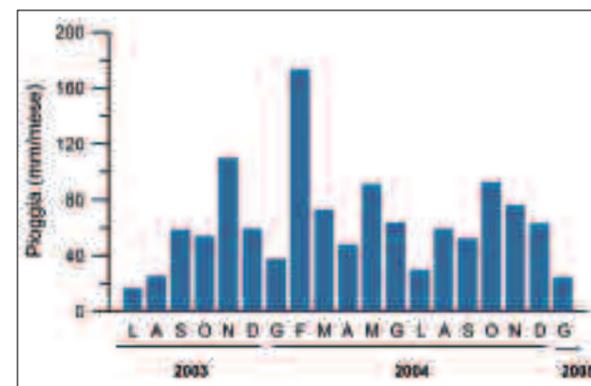


Fig. 9 - Piovosità per mese solare misurata dalla centralina meteorologica localizzata presso l'istituto CNR-ISMAR di Venezia.

I venti prevalenti, per frequenza ed intensità, sono risultati quelli provenienti dal primo quadrante (NE - Bora) e, in misura minore, dal secondo quadrante (SE - Scirocco; Fig. 10). I venti da NE hanno raggiunto picchi di intensità anche di 34 m/s, mentre i venti provenienti da SE hanno mostrato intensità massime non superiori ai 16 m/s (Fig. 10).

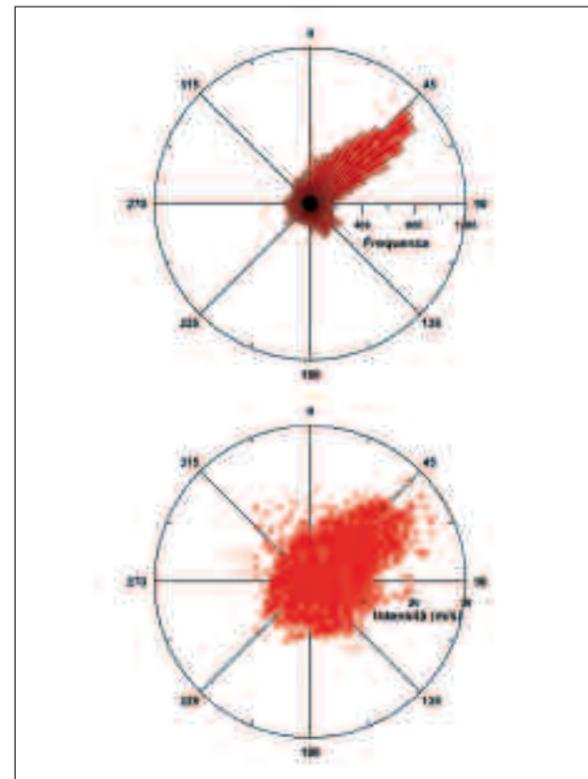


Fig. 10 - Direzione e intensità del vento misurato dalla centralina meteorologica localizzata sulla piattaforma Acqua Alta (gennaio 2004 - gennaio 2005). Diagramma della distribuzione di frequenza della direzione (in alto) e diagramma polare dell'intensità (in basso).

IDRODINAMICA

La corrente misurata a circa 13 metri di profondità, nei tre periodi in cui è stato in funzione l'ancoraggio con strumentazione autoregistrante, ha mostrato un'intensità media di 4,1 cm/s. Le intensità più elevate sono state registrate per correnti dirette verso SW, con picchi istantanei che hanno raggiunto anche i 35,7 cm/s (Fig. 11).

Le correnti superiori ai 12 cm/s rappresentano il 5% delle osservazioni, quelle superiori a 21 cm/s l'1% (Fig. 12). Pressoché tutte le correnti di intensità maggiore di 21 cm/s sono dirette verso SW (Fig. 11).

Le correnti nell'area del Campo Sperimentale sono orientate prevalentemente lungo la direzione della costa (approssimativamente secondo la direzione NE-SW), mentre quelle trasversali mostrano una frequenza piuttosto bassa (Fig. 11). Ciò influenza il trasporto e la dispersione dei materiali disciolti e particellati, che avvengono prevalentemente lungo

una direzione parallela alla costa, come anche evidenziato dalle aree di deposizione dei sedimenti pelitici attuali (Brambati *et al.*, 1983).

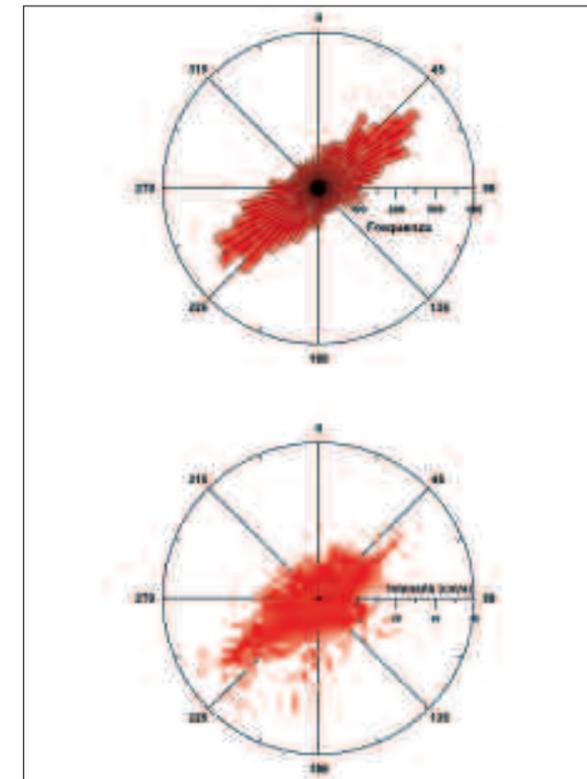


Fig. 11 - Diagramma della distribuzione di frequenza della direzione della corrente (in alto) e diagramma polare dell'intensità di corrente (in basso) misurate nel Campo Sperimentale in prossimità del fondo (circa 13 m).

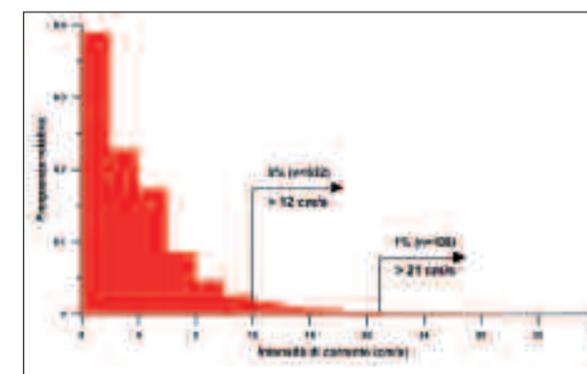


Fig. 12 - Distribuzione di frequenza dell'intensità di corrente registrata in prossimità del fondo (13 m).

Per evidenziare le relazioni tra venti dominanti e correnti sono state analizzate le componenti lungo costa e verso il largo della corrente, mettendole a confronto con i venti di Bora e Scirocco.

Il vettore corrente è stato quindi scomposto in due componenti: una orientata secondo la direzione della costa (60° - componente *Along shelf*) e una ad essa perpendicolare (150° - componente *Across shelf*). Valori positivi e negativi della componente *Along shelf* indicano, rispettivamente, correnti dirette verso 60° e verso 240°. In modo analogo, valori positivi e negativi della componente *Across shelf* indicano correnti dirette verso 150° e verso 330°. Le due componenti sono state messe a confronto con le componenti di Bora (direzione prevalente 50°) e di Scirocco (direzione prevalente 140°) del vento (Fig. 13).

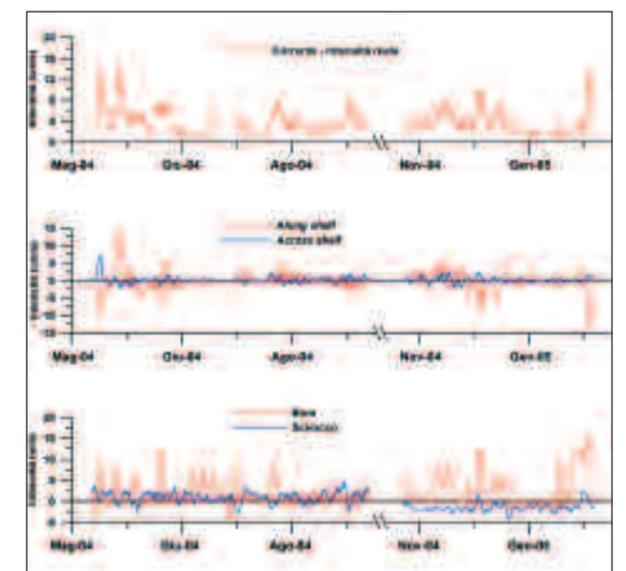


Fig. 13 - Corrente: intensità reale e componenti *Along shelf* e *Across shelf*. Vento: componenti di Bora e di Scirocco. Allo scopo di minimizzare le variazioni ad alta frequenza, alla serie temporale è stato applicato uno smoother (media mobile, ampiezza = 33 ore).

Dall'analisi dei dati del secondo e del terzo periodo (da maggio 2004 a ottobre 2004 e da novembre 2004 a febbraio 2005) (Fig. 13) si evidenzia come la corrente prevalente sia quella *Along shelf*, orientata parallelamente alla costa. La componente *Across shelf*, perpendicolare alla costa, è al contrario generalmente trascurabile.

Gli episodi di Bora di forte intensità tendono ad influire in maniera diretta sulle correnti nell'area, innescando correnti di fondo dirette verso sud-ovest anche molto intense, evidenziate dai valori negativi elevati assunti dalla componente *Along shelf* (Paklar *et al.*, 2001). In presenza di venti di minore intensità, diventano rilevanti sulla corrente fattori quali l'entità degli apporti fluviali, il ciclo di marea e la circolazione generale nord-adriatica (Artegiani *et al.*, 1997a; 1997b).

PARAMETRI IDROLOGICI

Data anche la limitata profondità, l'area del Campo Sperimentale risente in maniera diretta dei cicli termici atmosferici. In generale, la colonna d'acqua si presenta omogenea da un punto di vista termico, con sviluppo di limitati termoclini nel periodo considerato. E' emersa una rilevante variabilità interannuale, con temperature estive più elevate nel 2003 rispetto al 2004 ($media_{2003}=26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $media_{2004}=23,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) e temperature invernali più elevate nel 2004 rispetto al 2005 ($media_{2004}=12,9\text{ }^{\circ}\text{C}$; $media_{2005}=6,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ - **Fig. 14**).

Per la sua posizione prossima alle foci dei fiumi Sile e Piave, la stazione è inoltre influenzata dagli apporti fluviali. I valori minimi di salinità sono stati registrati alla superficie nel periodo compreso tra la fine dell'inverno e la primavera inoltrata, corrispondente alla fase di massima piovosità e di aumento degli apporti fluviali. La colonna d'acqua si è presentata stratificata rispetto alla salinità, con i valori più elevati raggiunti in prossimità del fondo. Tale stratificazione si accentua in relazione all'aumento degli apporti fluviali, che induce una significativa diminuzione della salinità nello strato superficiale (**Fig. 14**). La densità mostra un andamento che dipende in larga misura dalla salinità, con valori minimi durante la stagione estiva (**Fig. 15**).

L'ossigeno disciolto (in percentuale di saturazione) ha raggiunto i valori massimi nello strato superficiale a luglio 2003 (compresi tra 108 e 113%; fino a 12 metri di profondità) e in giugno-agosto 2004 (compresi tra 100 e 102%; fino a 7 metri). I valori minimi (compresi tra 81 e 85%) sono stati registrati in prossimità del fondo, nel periodo autunno-inverno 2003. Non sono stati rilevati eventi di anossia o di ipossia (**Fig. 15**).

I valori massimi di torbidità sono stati registrati generalmente in prossimità del fondo, quelli di fluorescenza *in situ* sono stati raggiunti in autunno 2003 e primavera 2004 (**Fig. 16**).

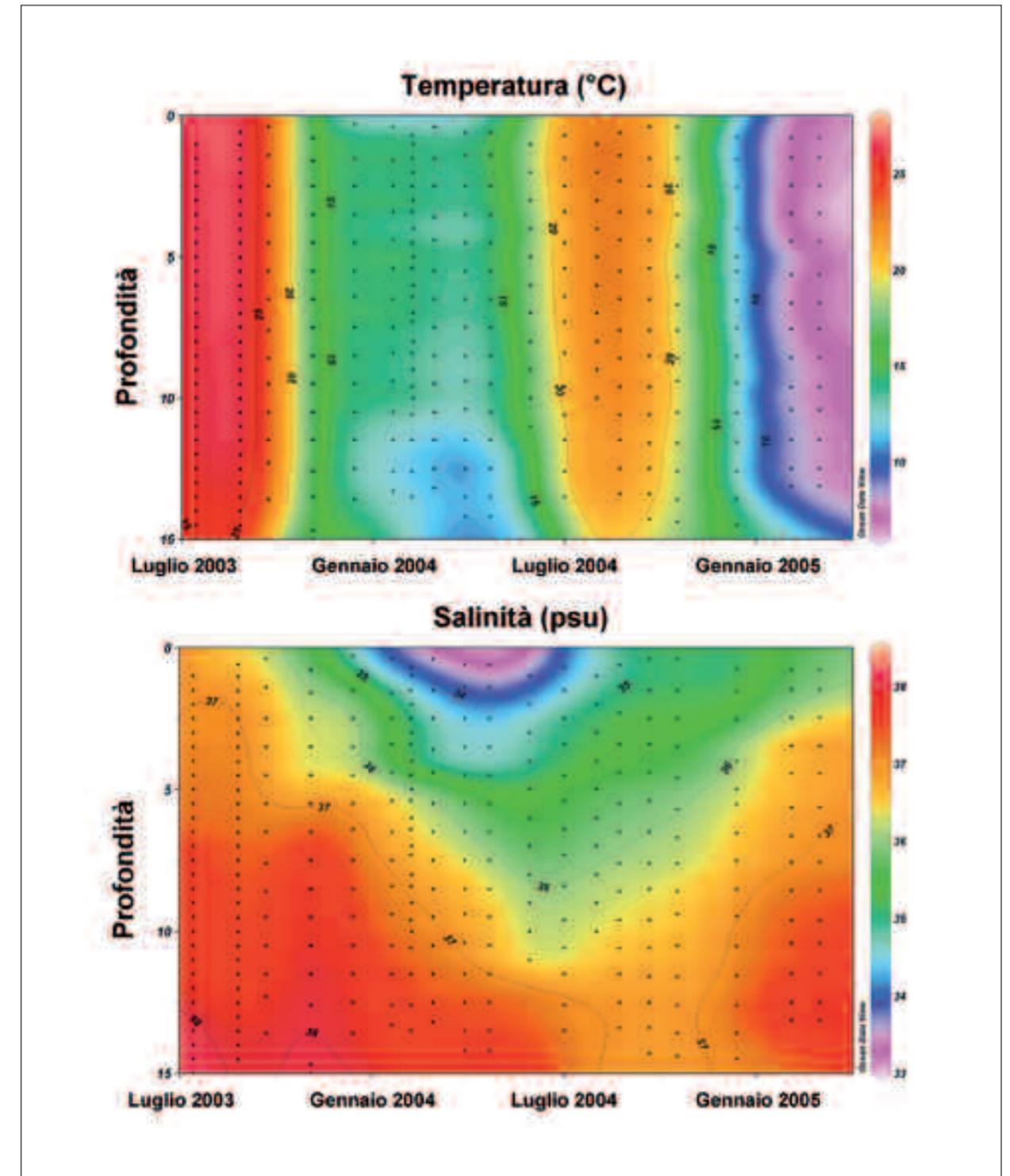


Fig. 14 - Andamento temporale della temperatura e della salinità lungo la colonna d'acqua da luglio 2003 a gennaio 2005 nel Campo Sperimentale. Grafico realizzato mediante il software Ocean Data View (Schlitzer, 2004).

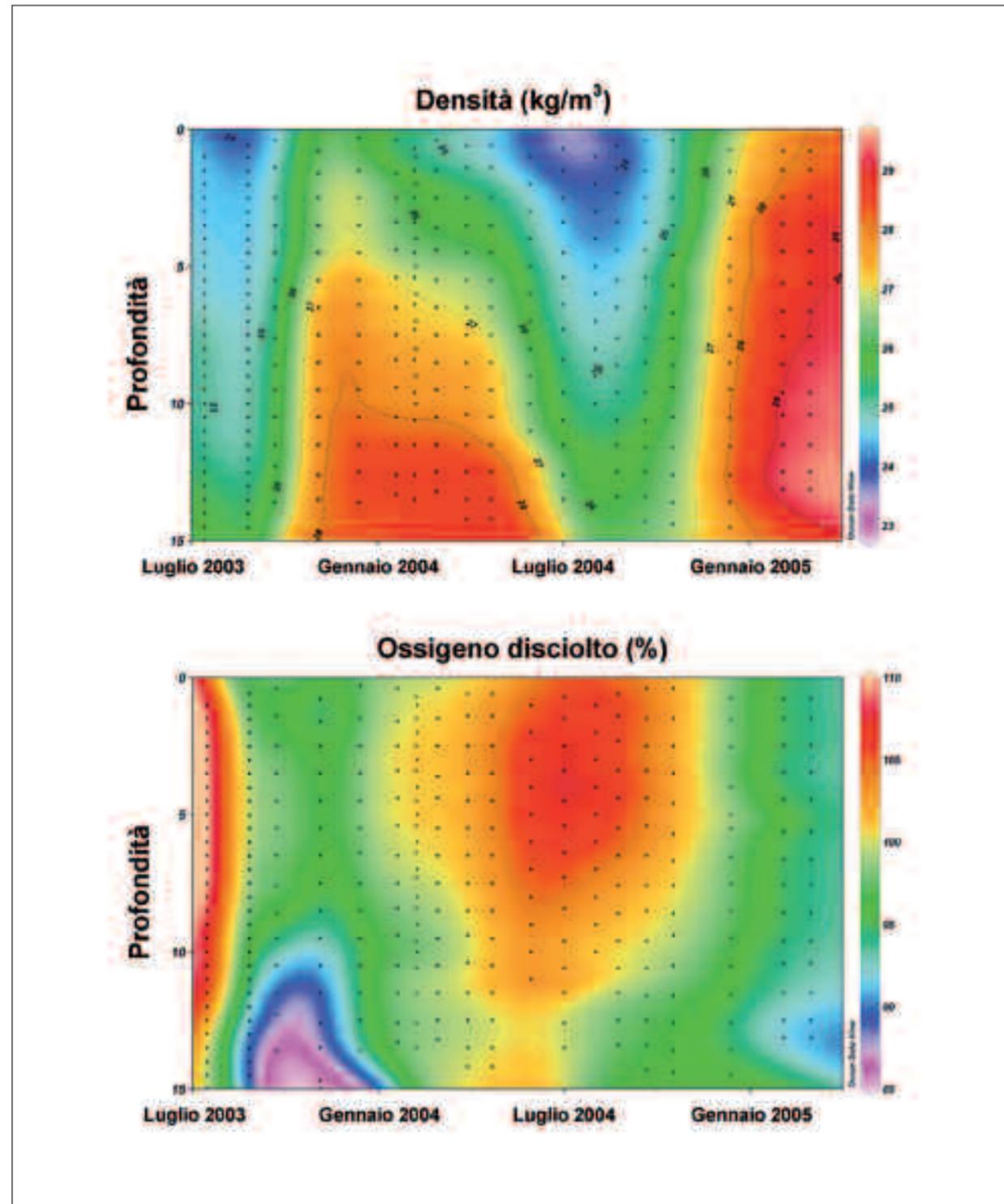


Fig. 15 - Andamento temporale della densità e dell'ossigeno disciolto lungo la colonna d'acqua da luglio 2003 a gennaio 2005 nel Campo Sperimentale. Grafico realizzato mediante il software Ocean Data View (Schlitzer, 2004).

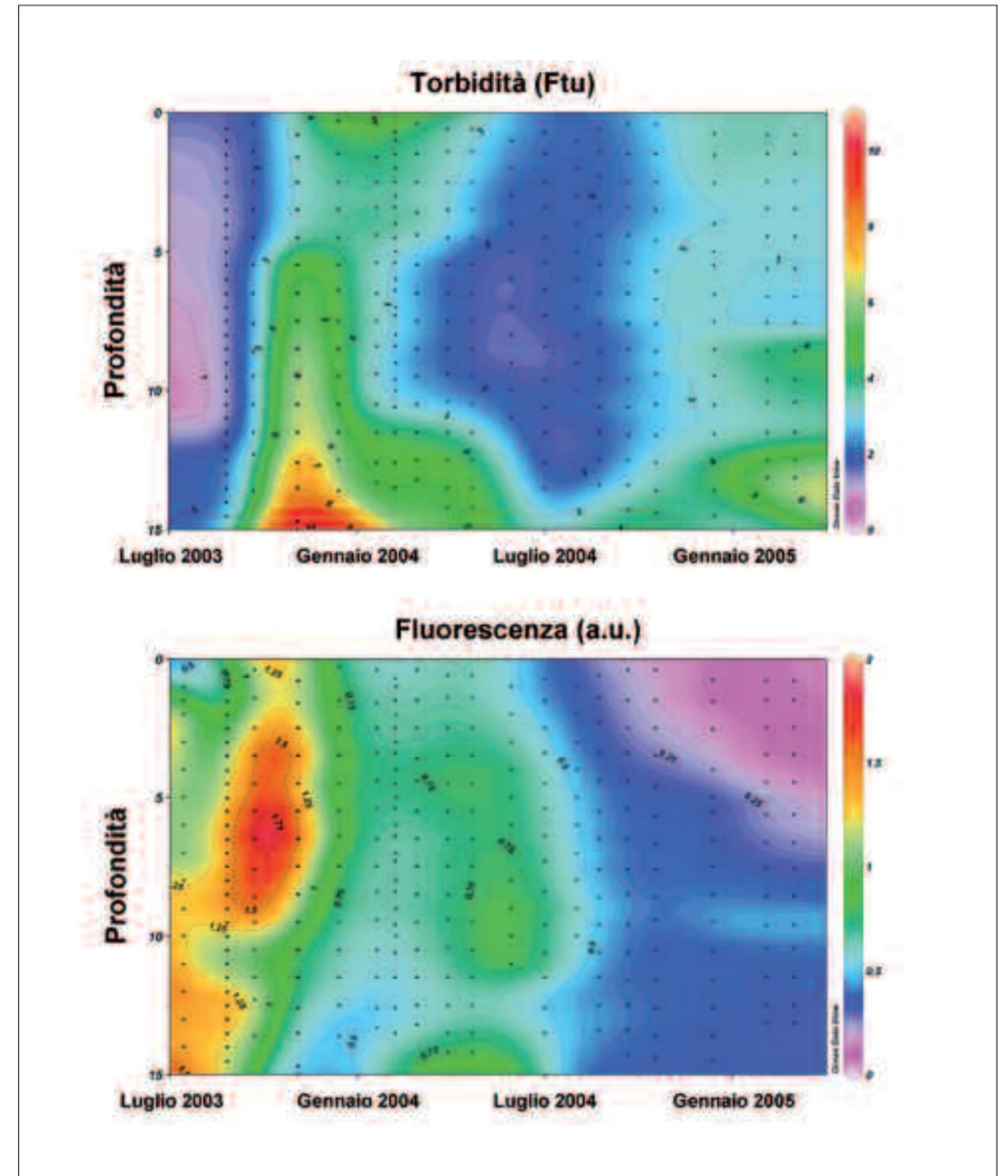


Fig. 16 - Andamento temporale della torbidità e della fluorescenza lungo la colonna d'acqua da luglio 2003 a gennaio 2005 nel Campo Sperimentale. Grafico realizzato mediante il software Ocean Data View (Schlitzer, 2004).

PARAMETRI IDROCHIMICI

L'azoto inorganico disciolto totale DIN (somma delle forme ammoniacale, nitrica e nitrosa) ha presentato valori sempre molto più alti in superficie, ad eccezione di febbraio 2004, durante il quale il valore misurato a 5 metri (37,13 µM) è stato quasi il doppio di quello superficiale e circa il triplo di quello del fondo, e di agosto 2004, in cui il valore della profondità intermedia è stato leggermente superiore agli altri due. Le concentrazioni del DIN si sono mantenute piuttosto basse (inferiori a 20 µM) durante il periodo estivo-autunnale, mentre i valori più elevati sono stati riscontrati a gennaio 2004 (53,40 µM), a maggio 2004 (62,87 µM) e novembre 2004 (43,53 µM) in superficie (Fig. 17).

Il fosforo reattivo non ha mai raggiunto alte concentrazioni. La più alta (0,56 µM) è stata riscontrata, anche per questo parametro, a gennaio 2004 in superficie.

Gli ortosilicati (Fig. 17) hanno mostrato i valori più elevati in maggio 2004 (41,29 µM in superficie), in coincidenza di una fioritura di *Cerataulina pelagica* (Bazzoni e Bastianini, questo volume), e in novembre 2004 (30,46 µM sempre in superficie).

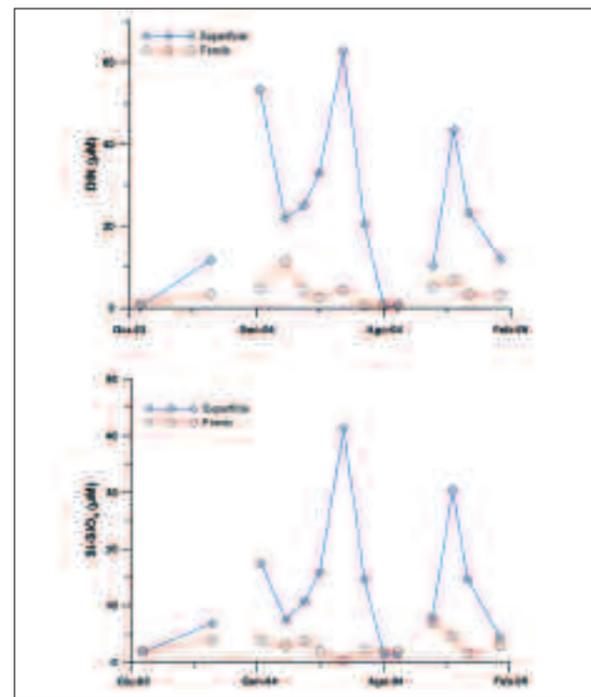


Fig. 17 - Andamento temporale della concentrazione di azoto inorganico disciolto (DIN) e dei silicati (Si-SiO4) nella stazione Campo Sperimentale alla quota superficiale e a quella di fondo (13 m).

La concentrazione dei nutrienti inorganici disciolti appare correlata agli apporti fluviali, come evidenziato dall'andamento temporale inverso rispetto a quello della salinità (Fig. 14).

Inoltre, la correlazione tra i valori massimi di concentrazione dei nutrienti (in particolare i silicati) e il bloom di *Cerataulina pelagica* è confermata anche dall'andamento temporale della concentrazione di clorofilla a (Fig. 18). Questa specie fitoplanctonica appartiene alla classe delle Bacillariophyceae (diatomee), organismi che utilizzano i silicati per la costruzione del loro scheletro esterno, o frustulo. Nel mese di maggio 2004 l'input di nutrienti ha reso possibile la proliferazione di *Cerataulina pelagica* che ha raggiunto abbondanze molto rilevanti, dell'ordine di 106 cellule/litro (Bazzoni e Bastianini, questo volume), evidenziando come l'abbondanza delle popolazioni fitoplanctoniche nell'area sia significativamente influenzata dalla disponibilità dei nutrienti di derivazione fluviale.

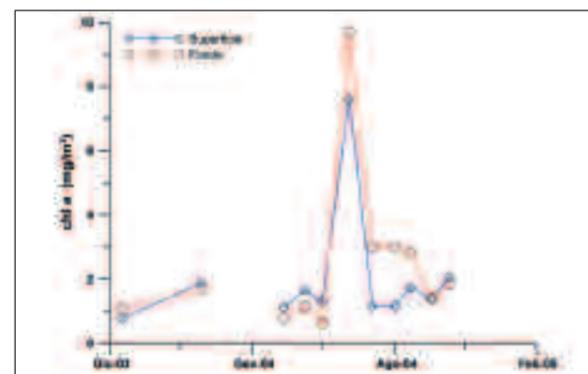


Fig. 18 - Andamento temporale della concentrazione di clorofilla a nella stazione Campo Sperimentale alla quota superficiale e a quella di fondo (13 m).

MATERIALE SOSPESO

Le concentrazioni medie del materiale particellato totale, del carbonio organico particellato e dell'azoto totale particellato sono, in generale, in accordo con i risultati ottenuti da studi precedentemente effettuati nell'Adriatico Settentrionale (Turchetto *et al.*, 2002; Giani *et al.*, 2003).

Il materiale particellato totale (TSM) nel periodo luglio 2003-dicembre 2004 ha mostrato una concentrazione compresa tra 1,29 e 24,70 mg/l, con valori generalmente più elevati al fondo (Fig. 19). La frazione organica è compresa tra 8 e 94% con valori più elevati in superficie nei campioni estivi (luglio 2003 e agosto 2004) e primaverili (marzo 2004; Fig. 19).

Nel periodo dicembre 2003 - dicembre 2004 la concentrazione

del carbonio organico particellato (POC) ha mostrato un valore medio pari a 233,46 (±139,24) µg C/l. I valori di concentrazione minimi sono stati misurati al fondo nei mesi invernali (79,35 µg C/l in gennaio 2004), mentre le concentrazioni più elevate sono state registrate, lungo tutta la colonna d'acqua, nel periodo primavera-estate (massimo di 687,16 µg C/l in maggio 2004 in superficie; Fig. 19), in corrispondenza del bloom fitoplanctonico. In quasi tutti i campionamenti effettuati è stata osservata una marcata diminuzione dei valori di POC dalla superficie al fondo, accompagnata da un aumento della frazione inorganica. Questo fenomeno può essere causato dalla presenza in prossimità del fondo di materiale particellato originato dalla risospensione di sedimenti o dalla rapida degradazione del materiale organico durante il suo trasferimento al fondo. Proprio in prossimità del fondo è probabile che si crei uno strato nefeloide correlato all'elevato idrodinamismo rilevato in questa zona (massimo di corrente pari a 36 cm/s in dicembre 2003), in cui si verificherebbero processi di risospensione e/o advezione laterale di materiale particellato, come evidenziato anche dall'analisi dei flussi verticali di materiale particellato (Boldrin *et al.*, questo volume).

La concentrazione media di azoto particellato (TPN) è risultata pari a 39,26 (±21,22) µg N/l, con i valori massimi misurati in superficie durante la campagna di maggio 2004 (106,71 µg N/l), e quelli minimi rilevati nella campagna di gennaio 2004 alla quota di fondo (13,07 µg N/l). L'aumento relativo della frazione azotata, al di sotto della superficie, alla fine di agosto 2004 (C/N=3,81 a metà della colonna d'acqua e C/N=5,13 al fondo) è verosimilmente attribuibile all'azione della componente batterica eterotrofa, mentre l'aumento del carbonio riscontrato nel mese di aprile 2004 (C/N=10,59 a metà della colonna d'acqua e C/N = 11,10 al fondo) può essere legato a fenomeni di risospensione e quindi alla presenza di materia organica maggiormente degradata e rimaneggiata (Fig. 19).

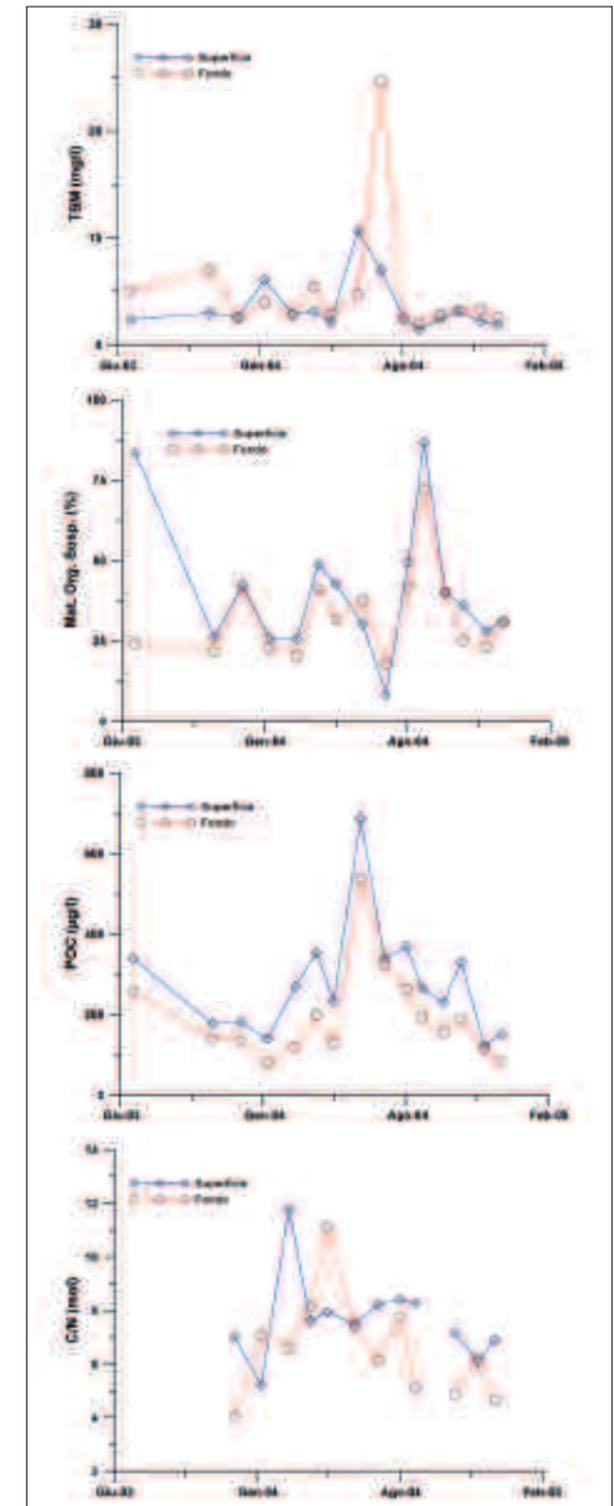


Fig. 19 - Andamento temporale della concentrazione del materiale particellato totale (TSM), della frazione organica (Mat. Org. Sosp.), del carbonio organico particellato (POC) e del rapporto C/N molare, alle quote superficiale e di fondo.

CONCLUSIONI

L'area a barriere artificiali del Campo Sperimentale, a causa della limitata profondità, risente in modo diretto dei cicli termici stagionali. La presenza di apporti fluviali ne condiziona inoltre le caratteristiche idrochimiche e biologiche. Il campo di moto segue la corrente costiera nord-adriatica con direzione prevalente orientata parallelamente alla costa, condizione che si riflette sui processi di trasporto del materiale disciolto e particellato.

L'idrodinamica risente in modo diretto dei venti da NE (Bora), che sono predominanti per frequenza ed intensità nell'area. I nutrienti disciolti derivano principalmente da processi di dispersione e diluizione delle acque dei fiumi Piave e Sile che sfociano in prossimità del Campo. La concentrazione del materiale particellato dipende essenzialmente da processi di risospensione e trasporto advettivo che avvengono in prossimità del fondo e, per quanto riguarda la frazione biogenica, dai processi di produzione planctonica, particolarmente evidenti nei mesi primaverili.

BIBLIOGRAFIA

ARTEGIANI A., BREGANT D., PASCHINI E., PINARDI N., RAICICH F., RUSSO A., 1997a - The Adriatic Sea general circulation. Part I: Air-sea interactions and water mass structure. *Journal of Physical Oceanography*, **27**: 1492-1514.

ARTEGIANI A., BREGANT D., PASCHINI E., PINARDI N., RAICICH F., RUSSO A., 1997b - The Adriatic Sea general circulation. Part II: Baroclinic circulation structure. *Journal of Physical Oceanography*, **27**: 1515-1532.

BAZZONI A.M., BASTIANINI M. Popolamenti fitoplanctonici nell'area a barriere artificiali del Campo Sperimentale. *Questo volume*.

BENDSCHNEIDER K., ROBINSON R. J., 1952 - A new spectrophotometric method for the determination of nitrate in sea water. *Journal of Marine Research*, **11**: 87-96.

BOLDRIN A., DE LAZZARI A., PUGNETTI A., BAZZONI A. M., CASSIN D., TURCHETTO M. Produttività primaria, flussi verticali di materiale particellato ed export di carbonio organico nell'area del Campo Sperimentale. *Questo volume*.

BRAMBATI A., CIABATTI M., FANZUTTI G. P., MARABINI F., MAROCCO R., 1983 - A new sedimentological textural map of Northern Adriatic Sea. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, **1** (4): 267-271.

FOLKARD A. R., 1978 - Automatic analysis of sea water nutrients. *Fish. Res. techn. rep.*, 46: 23 pp.

GIANI M., SAVELLI F., BOLDRIN A., 2003 - Temporal variability of particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus in the Northern Adriatic Sea. *Hydrobiologia*, **494**: 319-325.

GRASSHOFF K., JOHANNSEN H., 1972 - A new sensitive and direct method for the automatic determination of ammonia in sea water. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **30**: 315.

HEDGES J.I., STERN J.H., 1984 - Carbon and nitrogen determination of carbonate-containing solids. *Limnol. Oceanogr.*, **29**: 657-663.

HOLM HANSEN O., LORENZEN C.J., HOLMES R.W., STRICKLAND J.D.H., 1965 - Fluorometric determination of Chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor Mer*, **30**: 315.

MULLIN J.B., RILEY J.P., 1955 - The colorimetric determination of silicate with special references to sea and natural water. *Analyt. Chim. Acta*, **12**: 162-176.

MURPHY J., RILEY J.P., 1962 - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analyt. Chim. Acta*, **27**: 31-36.

PAKLAR G., ISAKOV V., KORACIN D., KOURAFALOU V., ORLIC M., 2001 - A case study of bora-driven flow and density changes on the Adriatic Shelf (January 1987). *Continental Shelf Research*, **21**: 1751-1783.

SCHLITZER R., 2004 - Ocean Data View, <http://www.awi-bremerhaven.de/GEO/ODV>.

SHINN M.B., 1941 - A colorimetric method for the determination of nitrite. *Ind. Eng. Chem. Analyt.*, **13**: 33-35.

SOLORZANO L., 1969 - Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.*, **14**: 799-801.

STRICKLAND J.D.H., PARSONS T.R., 1972 - A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, vol. 167: 311 pp.

TURCHETTO M., BOLDRIN A., RABITTI S., ACRI F., COMASCHI A., 2002 - Particulate matter and downward flux in the Northern and Central Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, **18**: 127-141.

WEISS R.F., 1970 - The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep Sea Res.*, **17**: 721-735.

WOOD E.D., ARMSTRONG F.A.J., RICHARDS F.A., 1967 - Determination of nitrate in seawater by cadmium-copper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **47**: 23-37.

POPOLAMENTI FITOPLANCTONICI NELL'AREA A BARRIERE ARTIFICIALI DEL CAMPO SPERIMENTALE PHYTOPLANKTON ASSEMBLAGES IN THE ARTIFICIAL REEF OF THE "CAMPO SPERIMENTALE"

A. M. BAZZONI, M. BASTIANINI

CNR-ISMAR ISTITUTO DI SCIENZE MARINE - Sezione di Venezia, Castello 1364/A - 30122 VENEZIA

e-mail: mauro.bastianini@ismar.cnr.it

RIASSUNTO

Nell'area a barriere artificiali del Campo Sperimentale sono stati effettuati campionamenti mensili per lo studio dei popolamenti fitoplanctonici e la stima di flussi verticali di cisti di dinoflagellate. Il fitoplancton ha mostrato un regolare ciclo annuale, con un bloom primaverile di *Cerataulina pelagica*. Sono state riscontrate anche alcune specie potenzialmente tossiche, ma con basse densità. Le forme di resistenza più abbondanti prodotte dalle dinoflagellate sono risultate quelle di tipo calcareo; i flussi verticali di cisti misurati mediante trappole di sedimenti hanno mostrato una buona relazione con i flussi di materiale organico. È stata segnalata la presenza di cisti di *Lingulodinium polyedrum*.

ABSTRACT

During 2004 an artificial reef area has been sampled monthly to investigate the seasonal cycle of phytoplankton assemblages and estimate the downward flux of dinoflagellate cysts by the deployment of a sediment trap. Phytoplankton populations showed a regular annual cycle with a spring bloom of Cerataulina pelagica. A few HAB species have been detected in the water column, but in low abundances. Calcareous walled cysts represented the most abundant morphotype and cyst fluxes showed a good relation with the organic fraction of the settling particles. Cysts of Lingulodinium polyedrum have been detected.

INTRODUZIONE

La fascia marina costiera è un'area sensibile sia alle molte attività umane che vengono esercitate in maniera diretta (pesca, acquacoltura, turismo, navigazione) sia a quelle svolte nei territori retrostanti (centri urbani e industriali, agricoltura, allevamento).

La gestione di questo ecosistema deve perciò avvenire attraverso un approccio olistico e integrato di tutte le sue componenti; ciò rende indispensabile una stretta relazione interdisciplinare tra ricercatori e gestori (Thia-Eng, 1997) che tengano conto dell'importanza fondamentale di far coesistere le esigenze umane e le attività socio-economiche con condizioni ambientali inalterate, mirando all'ottimizzazione nell'utilizzo delle risorse e trovando un'armonia tra valorizzazione delle attività produttive ed equilibri naturali.

Lo studio di queste zone si basa sempre su un programma di monitoraggio, che ha come obiettivo la comprensione dei processi che hanno luogo in mare e la raccolta di informazioni sugli andamenti e sulle variazioni dei parametri ambientali (Fernandes *et al.*, 2001); l'attività di monitoraggio è infatti uno strumento che agisce come controllo spaziale e temporale grazie all'analisi di parametri, chimico-fisici e biologici, opportunamente selezionati.

Tra le variabili biologiche utilizzate c'è il fitoplancton, la cui composizione e distribuzione nel tempo e nello spazio è in relazione sia con i principali nutrienti, sia con i fattori fisici, chimici e geografici. Oltre a determinare le specifiche strutture e le dinamiche dei popolamenti fitoplanctonici, con il monitoraggio è possibile verificare l'eventuale presenza di specie microalgali tossiche (HABs: Harmful Algae Blooms); studi recenti (Sannio *et al.*, 1997; Burkholder, 1998; Luglié *et al.*, 2002) hanno infatti indicato che alcune specie di dinoflagellate (es. *Gymnodinium impudicum*, *Alexandrium catenella*, *A. minutum*) possono essere trovate nelle acque destinate all'allevamento dei molluschi bivalvi e che l'accumulo di ficotossine (PSP, ASP, DSP) i principali gruppi di queste tossine) è uno dei problemi più critici negli impianti di molluschicoltura (Moroño *et al.*, 2003). Inoltre, il rischio di sviluppo di alghe potenzialmente tossiche è più alto in aree confinate (Vila *et al.*, 2001).

Il ciclo vitale delle HABs è molto complesso e presenta, nella maggior parte di esse, stadi di dormienza (cisti) spesso più lunghi rispetto alla fase vegetativa (Wyatt, 2001); diversi fattori possono interagire in modi differenti rendendo imprevedibile il passaggio tra i vari stadi di vita (Silvert, 2001).

Oltre alla possibile presenza di organismi fitoplanctonici tossici,

un altro problema è rappresentato, nelle zone costiere, dalla formazione di mucillagini, fenomeno che quando si verifica (1997, 1998, 2000, 2001 e 2004 i casi più recenti dell'Adriatico centro-settentrionale) comporta notevoli ripercussioni negative sulle attività turistiche e di pesca, e causa seri danni ecologici, soprattutto nei confronti del bentos (Manganelli e Funari, 2003). Nello studio della mucillagine, particolare attenzione viene dedicata alla composizione del fitoplancton, per tentare di identificare le specie (soprattutto Diatomee) che potrebbero essere responsabili, con la produzione di essudati in risposta a cambiamenti ambientali, della formazione di aggregati (Degobbis *et al.*, 1995).

I principali obiettivi di questa ricerca sono stati:

- lo studio del fitoplancton e l'individuazione delle specie potenzialmente tossiche nel Campo Sperimentale, in modo da acquisire le conoscenze di base sullo sviluppo dei popolamenti algali in un'area a barriere artificiali;
- l'analisi delle cisti delle dinoflagellate e la stima dei loro flussi verticali con una valutazione della variabilità temporale;
- il monitoraggio della presenza di ammassi mucilluginosi.

MATERIALI E METODI

Sono state effettuate 15 campagne mensili di campionamento, da novembre 2003 a gennaio 2005. La campagna mensile di giugno 2004 è stata effettuata il 2 luglio. Nel mese di agosto sono stati effettuati 2 campionamenti, precisamente il 2 e il 24 agosto. Non sono stati raccolti campioni nei mesi di ottobre 2003 e gennaio 2004 a causa di condizioni meteo-marine avverse. È stata inoltre effettuata una campagna preliminare al lavoro nel giugno 2003.

Lungo la colonna d'acqua sono stati eseguiti tre prelievi: in superficie, a 5 metri e in prossimità del fondo (circa 14 metri) mediante bottiglie Niskin.

FITOPLANCTON E ALGHE POTENZIALMENTE TOSSICHE

Per questa ricerca è stato studiato il fitoplancton da un punto di vista sia quantitativo (densità cellulare e numero di specie) sia qualitativo (dinamica stagionale ed annuale, individuazione di classi e specie più importanti, detezione delle dinoflagellate potenzialmente pericolose) in relazione alle variabili ambientali. I campioni di fitoplancton sono stati immediatamente fissati con formaldeide neutralizzata con esametilentetramina (Zingone *et al.*, 1990). Sia le analisi qualitative sia i conteggi sono stati

eseguiti mediante microscopio rovesciato a contrasto di fase (Zeiss Axiovert 35) utilizzando camere di sedimentazione di volume da 5 a 25 ml (Utermöhl, 1958); per l'identificazione sono state usate le chiavi di Rampi-Bernard (1978, 1980, 1981), Schiller (1930, 1933, 1937), Huber-Pestalozzi (1938/1983), Tomas (1997).

MUCILLAGINI

Il controllo degli ammassi gelatinosi è avvenuto grazie ad una telecamera subacquea, che ha permesso sia l'osservazione in diretta sia la registrazione della ripresa. La descrizione degli stadi mucilluginosi, basata sulla quantità e sulla consistenza, è stata fatta secondo Giani *et al.* (2005).

CISTI

Sono state condotte sperimentazioni per l'identificazione e la stima dei flussi verticali delle cisti delle dinoflagellate. La raccolta dei sedimenti è avvenuta mediante una trappola in grado di prelevare 12 campioni consecutivi, con una frequenza di campionamento di una settimana. Per le metodologie di ancoraggio si faccia riferimento a Bruno *et al.* (questo volume). Per la raccolta del particellato sono state eseguite tre pose delle trappole, nei periodi: 02/12/2003 - 17/02/2004; 19/05/2004 - 01/10/2004; 23/11/2004 - 01/02/2005.

Le cisti sono state separate dal materiale in deposizione ed analizzate seguendo le tecniche descritte da Matsuoka e Fukuyo (2000).

RISULTATI E DISCUSSIONE

FITOPLANCTON

Dinamiche del fitoplancton

I valori di densità totale più elevati sono relativi a maggio 2004 (7967 x 10³ cell/l la media lungo la colonna, con un massimo assoluto di 8678 x 10³ cell/l a 5 metri), in corrispondenza di un bloom di *Cerataulina pelagica* (Fig. 1). La differenza tra i valori riscontrati in questo campionamento e gli altri è stata marcata, dato che soltanto in agosto 2004 le densità medie hanno superato le 2000 x 10³ cell/l ed in tutte le altre campagne non hanno mai raggiunto le 1000 x 10³ cell/l (Fig. 2).

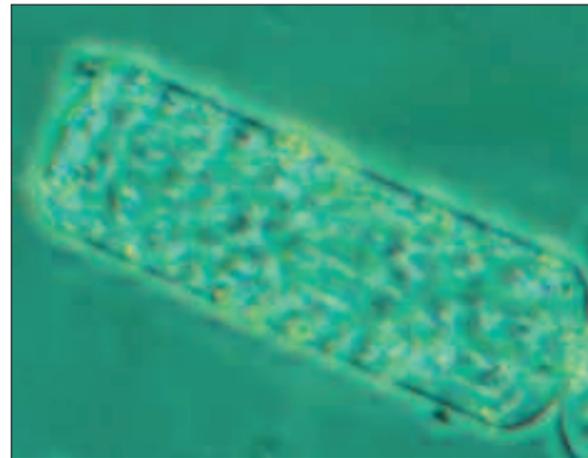


Fig. 1 - *Cerataulina pelagica*.

La densità più bassa è stata riscontrata a novembre 2003 in prossimità del fondo (172 x 10³ cell/l).

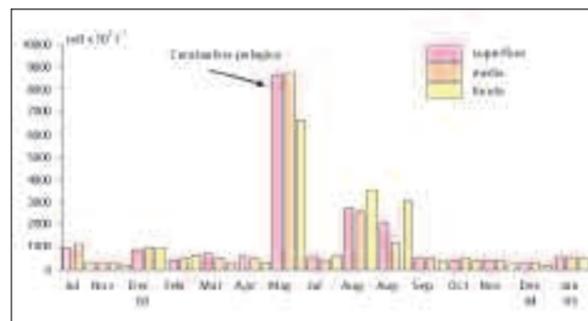


Fig. 2 - Densità totale del fitoplancton.

La dinamica della densità totale ha mostrato un andamento abbastanza regolare con picchi primaverili e tardo estivi, e densità minori durante l'inverno.

Le densità calcolate alle tre profondità non differiscono in modo evidente, ad eccezione di luglio 2003, durante il quale la densità a 5 metri (1083 x 10³ cell/l) è stata circa il triplo di quella sul fondo.

Elenco floristico

Complessivamente, nel Campo Sperimentale sono stati ritrovati 106 taxa, di cui 48 appartenenti alle diatomee, 37 alle dinoflagellate e 9 alle prymnesiophyceae, mentre tutte le altre classi sono state rappresentate al massimo da 3 specie.

In tutti i campionamenti, il numero di taxa è risultato abbastanza simile lungo tutta la colonna d'acqua. La classe per la quale sono

state conteggiate più specie è stata quella delle diatomee (con un massimo di 20 a novembre 2004 nel campione prelevato a 5 metri e il minimo di 3, ad aprile 2004, alla stessa profondità); anche le dinoflagellate (fino a 11 taxa a luglio 2003 nel campione superficiale) e le prymnesiophyceae (5 specie ad agosto e ottobre 2004) hanno assunto importanza rilevante.

La sequenza temporale ha indicato un maggior numero di taxa nel periodo estivo-autunnale (45 a luglio 2003, di cui ben 24 diatomee, e 39 in agosto 2004) e il numero minimo in inverno (20 in febbraio 2004) (Fig. 3).

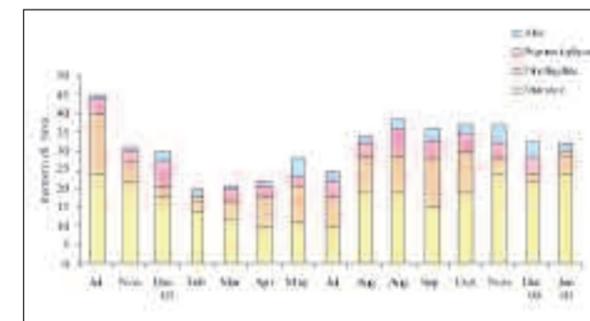


Fig. 3 - Numero di taxa per campionamento (valore medio su tutta la colonna).

Classi e specie principali

Nella maggior parte dei campionamenti, i nanoflagellati hanno rappresentato la componente dominante, raggiungendo percentuali di abbondanza quasi sempre superiori al 40%, con poche eccezioni, coincidenti con alte densità di prymnesiophyceae (dicembre 2003), e di diatomee (95% a maggio 2004 e 80% al primo campionamento di agosto 2004) (Fig. 4).

Oltre che per il numero di specie, le diatomee hanno rappresentato la classe più importante anche in termini di densità, come già evidenziato. Le dinoflagellate, invece, raramente hanno mostrato valori elevati, con un massimo di 59 x 10³ cell/l nella campagna di luglio 2004 in superficie. Le Prymnesiophyceae hanno presentato le maggiori concentrazioni in dicembre 2003 (561 x 10³ cell/l il valore medio in colonna), determinate da *Emiliania huxleyi*, ma sono state costantemente presenti durante tutto il periodo d'indagine, con densità mai inferiori a 3 x 10³ cell/l. Le altre classi hanno raggiunto densità apprezzabili soltanto sporadicamente, come ad esempio le cryptophyceae in aprile 2004.

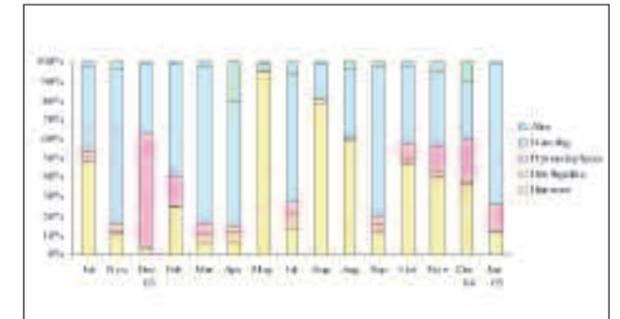


Fig. 4 - Abbondanze relative delle classi fitoplanctoniche principali per campionamento (%).

I taxa fitoplanctonici più abbondanti sono stati *C. pelagica* (8.095 x 10³ cell/l a maggio 2004 a 5 m), *Chaetoceros* spp. (2678 x 10³ cell/l all'inizio di agosto sul fondo), *Pseudo-nitzschia* sp. (*N. seriata* complex) (1995 x 10³ cell/l a luglio 2004 sul fondo) e *E. huxleyi* (617 x 10³ cell/l a dicembre 2003 in superficie); inoltre un'alta densità di *Hillea fusiformis* è stata osservata in maggio 2004 a 5 metri (242 x 10³ cell/l) (Fig. 5).

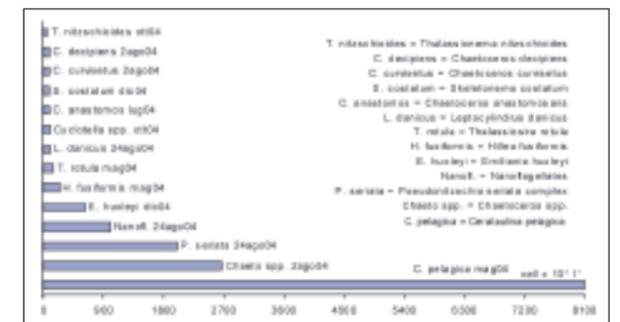


Fig. 5 - Taxa principali e loro abbondanze massime.

ALGHE POTENZIALMENTE TOSSICHE

Sono state identificate più di 75 specie algali produttrici di tossine, di cui le più importanti appartengono principalmente alle Dinoflagellate e alle Diatomee (Ade *et al.*, 2003). In particolare tra le Dinoflagellate i generi *Dinophysis* e *Prorocentrum* rappresentano la causa principale di una delle sindromi da avvelenamento più diffuse: la DSP (Diarrhetic Shellfish Poisoning).

In questo studio, tra le dinoflagellate indicate come potenzialmente tossiche, sono state riscontrate *Dinophysis caudata* (Fig. 6) (a luglio 2003, in prossimità del fondo) e *D. fortii* (Fig. 7) (a dicembre 2003, sempre sul fondo), ma nessuna delle due ha mai raggiunto densità importanti (massimo 80

cell/l); inoltre, è stata segnalata la presenza di *Prorocentrum minimum* in luglio e novembre 2003 e a maggio, luglio e ottobre 2004. Va comunque sottolineato che questa specie, presente frequentemente nel bacino, anche con densità elevate, non ha mai determinato, nel Mar Adriatico, fenomeni di tossicità. Sono state rinvenute discrete abbondanze (max 1995 x 10³ cell/l, agosto 2004) relative al genere *Pseudo-nitzschia*, alcune delle quali note produttrici di acido domoico, tossina appartenente al gruppo delle ASP (Amnesic Shellfish Poisoning); data la difficoltà di identificarle a livello specifico, le specie sono state riunite in un unico gruppo.

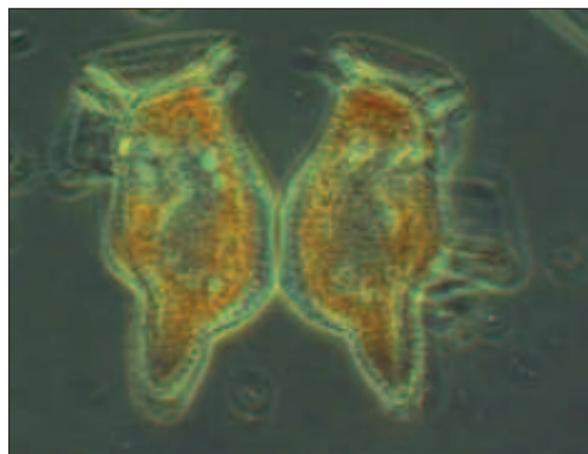


Fig. 6 - *Dinophysis caudata*.



Fig. 7 - *Dinophysis fortii*.

MUCILLAGINI

Nella primavera 2004 si è verificato un evento di formazione di aggregati gelatinosi di notevole intensità esteso su buona parte dell'Alto Adriatico. Tale evento ha interessato anche l'area del Campo Sperimentale con una presenza significativa di fiocchi e macrofiocchi in maggio e giugno 2004. Il fenomeno si è verificato in coincidenza dell'intensa fioritura di *C. pelagica*, oltre che della presenza di alte concentrazioni di DIN e di POC (Bruno *et al.*, questo volume). Va inoltre segnalata la presenza, a fine giugno, perciò durante gli ultimi stadi di sviluppo della mucillagine, di *Gonyaulax fragilis* (Fig. 8) in concentrazioni massime di 21 x 10³ cell/l al fondo. Si ritiene che questa dinoflagellata abbia un ruolo importante nella formazione di materiale organico gelatinoso, come osservato nell'area costiera dell'Emilia Romagna (Pompei *et al.*, 2003), nel Golfo di Trieste (Cabrini *et al.*, 1992) e, più in generale, nell'Adriatico (Honsell *et al.*, 1992; Viviani *et al.*, 1995).

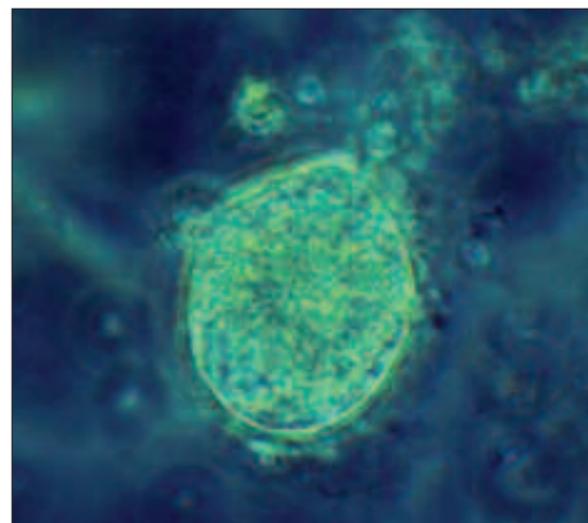


Fig. 8 - *Gonyaulax fragilis*.

CISTI

Lo studio dei flussi verticali di cisti, effettuato per la prima volta in Adriatico, si è concentrato nei mesi estivi quando le dinoflagellate raggiungono i massimi di densità (Fig. 9a). Le prime misure hanno mostrato un'ampia variabilità temporale con picchi isolati e valori medi di flusso molto elevati (Fig. 9b), in generale con una buona corrispondenza con il carbonio organico relativo. Tale relazione indica che queste forme rappresentano una componente non trascurabile del materiale organico in deposizione. Le cisti calcaree sono state il morfotipo dominante (*Scippsiella*-like forms).

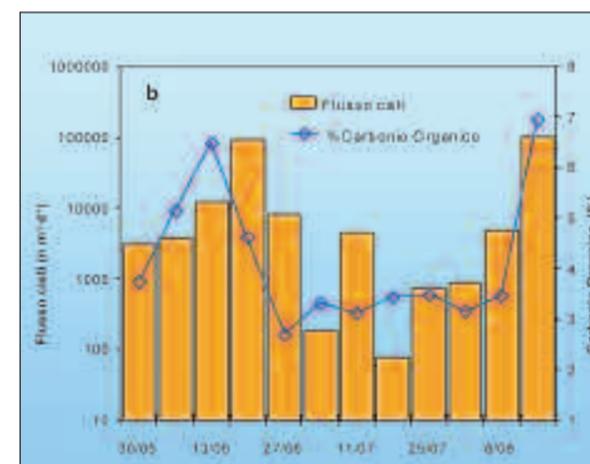
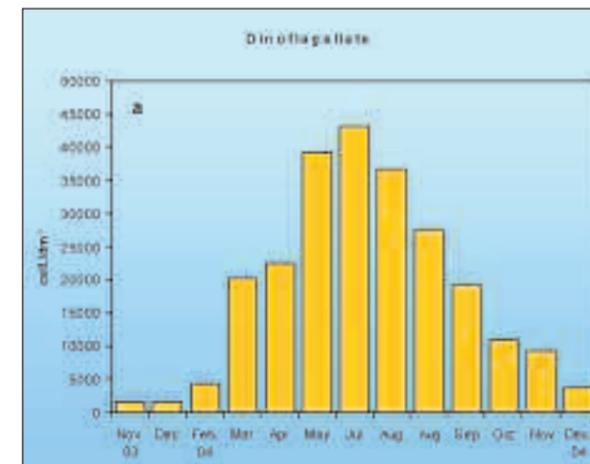


Fig. 9 - Andamento della densità delle dinoflagellate (a) e flussi di cisti in relazione al flusso verticale di carbonio organico (b).

Nel materiale sedimentato sono state rinvenute cisti di *Lingulodinium polyedrum* (Fig. 10), una dinoflagellata produttrice di yessotossina (tossina appartenente al gruppo delle DSP, Draisci *et al.*, 1999) che può dare origine a bloom, talvolta messi in relazione con la morte di organismi marini, anche se non con intossicazioni dell'uomo (Tubaro *et al.*, 1998). Dato lo scopo del lavoro, principalmente di monitoraggio, e data la complessità del ciclo di vita di questa alga (alternanza di riproduzione vegetativa e riproduzione sessuale, con formazione di due diversi tipi di cisti durante la fase sessuale, Figueroa e Bravo, 2005), lo studio risulta del tutto preliminare, ma può porre le basi per approfondimenti futuri.

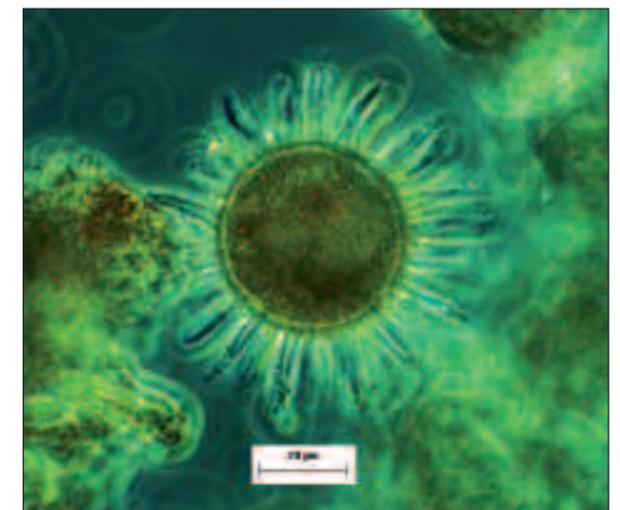


Fig. 10 - Cisti di *Lingulodinium polyedrum*.

CONCLUSIONI

Il quadro generale del fitoplancton del Campo Sperimentale ha messo in evidenza una dinamica confrontabile con quella già descritta per il nord Adriatico (Alberighi *et al.*, 1990; Bernardi Aubry *et al.*, 2004), con densità elevate nei mesi primaverili e tardo-estivi e densità minori durante l'inverno. Le popolazioni sono state generalmente dominate dalle diatomee. Nell'area studiata la densità delle dinoflagellate, in particolare delle specie potenzialmente tossiche, è risultata sempre molto modesta.

La formazione delle mucillagini, cominciata all'inizio della primavera, si è evoluta principalmente con la diatomea *C. pelagica* e ha rilevato la presenza di *G. fragilis*. Durante l'indagine sono state ritrovate, nel materiale sedimentato, alcune cisti di *L. polyedrum*; il ritrovamento nei sedimenti delle forme di resistenza di una specie potenzialmente tossica non osservata in colonna dimostra l'importanza di studiare anche questa matrice; alcune HABs possono infatti dare origine a fenomeni di tossicità anche con abbondanze esigue (Zingone e Enevoldsen, 2000). Le indagini sulla presenza nel sedimento di *pool* di forme che possono innescare la crescita di specie pericolose sono da considerare indispensabili in aree in cui siano presenti impianti di molluschicoltura e dovrebbero essere integrative dei già attivi monitoraggi nella colonna d'acqua.

BIBLIOGRAFIA

ADE P., FUNARI E., POLETTI R., 2003 - Il rischio sanitario associato alle tossine di alghe marine. *Annali dell'Istituto Superiore della Sanità*, **39** (1): 53 - 68.

ALBERIGHI L., BIANCHI F., CIOCE F., DA ROS L., SOCAL G., BERTEGGIA R., BERTI R., PELLIZZATO M., 1990 - Qualità delle acque marine di balneazione nella Regione Veneto. Idrologia, nutrienti disciolti e biomassa fitoplanctonica. *Acqua e Aria*, **5**: 469 - 475.

BERNARDI AUBRY F., BERTON A., BASTIANINI M., SOCAL G., ACRÌ F., 2004 - Phytoplankton succession in a coastal of the NW Adriatic, over a 10-year sampling period (1990 - 1999). *Continental Shelf Research*, **24**: 97 - 115.

BRUNO S., BASTIANINI M., ACRÌ F., CASSIN D., BOLDRIN A. Variabilità temporale delle condizioni idrologiche, idrochimiche e biologiche nella colonna d'acqua (luglio 2003 - febbraio 2005). *Questo volume*.

BURKHOLDER J. M., 1998 - Implications of Harmful Microalgae and Heterotrophic Dinoflagellates in Management of Sustainable Marine Fisheries. *Ecological Application*. In Supplement: Ecosystem Management for Sustainable Marine Fisheries, **8** (1): S37 - S62.

CABRINI M., FONDA UMANI S., HONSELL G., 1992 - Mucilaginous aggregates in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea): analysis of the phytoplankton communities in the period June-August 1989. *Proceedings of an International Conference "Marine Coastal Eutrophication" Science of Total Environment Supplement: 557-568*.

DEGOBBIS D., FONDA-UMANI S., FRANCO P., MALEJ A., PRECALI R., SMODLAKA N., 1995 - Changes in the northern Adriatic ecosystem and hypertrophic appearance of gelatinous aggregates. *The Science of the Total Environment*, **165**: 43 - 58.

DRAISCI R., FERRETTI E., PALLESCI L., MARCHIAFAVA C., POLETTI R., MILANDRI A., CEREDI A., POMPEI M., 1999 - High levels of yessotoxin in mussels and presence of yessotoxin and homoyessotoxin in dinoflagellates of the Adriatic Sea. *Toxicon*, **37**: 1187 - 1193.

FERNANDES T. F., ELEFTHERIOU A., ACKEFORS H., ELEFTHERIOU M., ERVIK A., SANCHEZ-MATA A., SCANLON T., WHITE P., COCHRANE S., PEARSON T. H., READ P. A., 2001 - The scientific principles underlying monitoring of the environmental impacts of aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*, **17**: 181 - 193.

FIGEROA R. I., BRAVO I., 2005 - Sexual reproduction and two different encystment strategies of *Lingulodinium polyedrum* (Dinophyceae) in culture. *Journal of Phycology*, **41**: 370 - 379.

GIANI M., BERTO D., ZANGRANDE V., CASTELLI S., SISTI P., URBANI R., 2005 - Chemical characterisation of different typologies of

mucilaginous aggregates in Northern Adriatic Sea. *Science of Total Environment, Special Issue*, 232-246.

HONSELL G., CABRINI M., DARIN M., 1992 - *Gonyaulax fragilis* (Schutt) Kofoid: a dinoflagellate from gelatinous aggregates of northern Adriatic Sea. *Giornale Botanico*, **126** (6): 749 - 751.

HUBER-PESTALOZZI G., 1938/1983 - *Das phytoplankton des Susswasser*. Teil 1 (1938, 1-342), 2 Teil, 1 Hälfte (1941, 1-365), 2 Teil, 2 Hälfte (1942, 1-549), 3 Teil (1968, 1-322), 4 Teil (1955, 1-606), 5 Teil (1961, 1-744), 6 Teil (1972, 1-116), 7 Teil (1983, 1-1044), 8 Teil (1982, 1-543) - E. Schweizerbart'sche Verlagbuchhahnlung, Stuttgart.

LUGLIÈ A., GIACOBBE M., FIOCCA F., SANNIO A., SECHI N., 2003 - The geographical distribution of *Alexandrium catenella* is extending to Italy! First evidences from the Tyrrhenian Sea. *Proceedings of the 10th International Conference on Harmful Algal Blooms. In stampa*.

MANGANELLI M., FUNARI E., 2003 - Le mucillagini nel Mar Adriatico: ruolo dei possibili agenti causali e dei fattori ambientali. *Annali dell'Istituto Superiore della Sanità*, **39** (1): 77 - 95.

MATSUOKA F., FUKUYO Y., 2000 - Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. *Westpac-hab/westpac/ioc*.

MOROÑO A., ARÉVALO F., FERNANDEZ M. L., MANIERO J., PAZOS Y., SALGANO C., BLANCO J., 2003 - Accumulation and transformation of DSP toxin in mussels *Mytilus galloprovincialis* during a toxic episode caused by *Dinophysis acuminata*. *Aquatic Toxicology*, **62**: 269 - 280.

POMPEI M., MAZZIOTTI C., GUERRINI F., CANGINI M., PIGOZZI S., BENZI M., PALAMIDESI S., BONI L., PISTOCCHI R., 2003 - Correlation between the presence of *Gonyaulax fragilis* (Dinophyceae) and the mucilage phenomena of the Emilia Romagna coast (northern Adriatic Sea). *Harmful Algae*, **2**: 301 - 316.

RAMPI L. & BERNARD M., 1978 - Key for determination of mediterranean pelagic Bacillariophyceae. *CNEN-RT/BIO* (78), **1**: 1-71.

RAMPI L., BERNARD M., 1980 - Chiave per la determinazione delle Peridinee pelagiche mediterranee. *CNEN-RT/BIO* (80), **8**: 1-193.

RAMPI L., BERNARD M., 1981 - Chiave per la determinazione delle coccolitoforidee pelagiche mediterranee. *CNEN-RT/BIO* (81), **13**: 1-98.

SANNIO A., LUGLIÈ A., SECHI N., 1997 - Potentially toxic dinoflagellates in Sardinia. *Plant Biosystems*, **131** (1): 73-78.

SCHILLER J., 1930 - Coccolithineae. In: Kolkwitz R. (ed.), *Flagellatae*. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. *Johnson Reprint Corporation*, New York-London, 89-259.

SCHILLER J., 1933/1937 - Dinoflagellatae (*Peridineae*). In: Kolkwitz R.

(ed.), *Flagellatae*. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. 1 teil (1-617), 2 teil (1-590). *Johnson Reprint Corporation*, New York-London.

SILVERT W., 2001 - Confronting the complexity of HAB dynamics. In: Report of European Workshop "LIFEHAB. Life histories of microalgal species causing harmful blooms", Garcès E., Zingone A., Montresor M., Reguera B., Dale B. (Eds): 109-111.

THIA-ENG C., 1997 - The essential elements of science and management in coastal environmental managements. *Hydrobiologia*, **352**: 159 - 166.

TOMAS C. R., 1997 - Identifying Marine Phytoplankton. Academic Press: 858 pp.

TUBARO A., SIDARI L., DELLA LOGGIA R., YASUMOTO T., 1998 - Occurrence of yessotoxin-like toxins in phytoplankton and mussel from northern Adriatic Sea. In: "*Harmful Algae*", Reguera B., Blanco J., Fernandez M. L., Wyatt T. (Eds). UNESCO, 470 - 472.

UTERMÖHL H., 1958 - Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton - Methodik. *Ver. int. Ver. theor. Angew. Limol.*, **9**: 1-38.

VILA M., CAMP J., GARCÉS E., MASÒ M., DELGADO M., 2001 - High resolution spatio-temporal detection of potentially harmful dinoflagellates in confined waters of NW Mediterranean. *Journal of Plankton Research*, **23** (5): 497 - 514

VIVIANI R., BONI L., CATTANI O., MILANDRI A., POLETTI R., POMPEI M., SANSONI G., 1995 - ASP, DSP, NSP and PSP monitoring in "mucilaginous aggregates" and in mussels in a coastal area of northern Adriatic Sea facing Emilia Romagna in August 1988, 1989 and 1991. *The Science of the Total Environment*, **165**: 201 - 211.

WYATT T., 2001 - How can we combine population dynamic of life history stages?. In: Report of European Workshop "LIFEHAB. Life histories of microalgal species causing harmful blooms", Garcès E., Zingone A., Montresor M., Reguera B., Dale B. (Eds): 112 - 115.

ZINGONE A., ENEVOLDSEN H. O., 2000 - The diversity of harmful algal blooms: a challenge for science and management. *Ocean and Coastal Management*, **43**: 725 - 748.

ZINGONE A., HONSELL G., MARINO D., MONTRESOR M., SOCAL G., 1990 - Fitoplancton. *Nova Thalassia*, **11**: 183-198.

PRODUTTIVITA' PRIMARIA, FLUSSI VERTICALI DI MATERIALE PARTICELLATO ED EXPORT DI CARBONIO ORGANICO NELL'AREA DEL CAMPO SPERIMENTALE

PRIMARY PRODUCTION, DOWNWARD FLUXES OF SUSPENDED MATTER AND ORGANIC CARBON EXPORT IN THE AREA OF "CAMPO SPERIMENTALE"

A. BOLDRIN, A. DE LAZZARI, A. PUGNETTI, A. M. BAZZONI, D. CASSIN, M. TURCHETTO
 CNR-ISMAR ISTITUTO DI SCIENZE MARINE - Sezione di Venezia Castello 1364/A - 30122 Venezia
 e-mail: alfredo.boldrin@ismar.cnr.it

RIASSUNTO

Vengono presentati i valori di produttività primaria, misurata stagionalmente nel 2004 a tre differenti quote, e i flussi verticali di materiale particellato, raccolto nello stesso periodo tramite trappola per sedimenti, in una stazione costiera dell'Adriatico Settentrionale localizzata nell'area a barriere artificiali "Campo Sperimentale". La produttività primaria è risultata generalmente elevata in confronto con altre misure effettuate in alto Adriatico, presentando massimi di $774 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in maggio durante un fioritura a diatomee. Nel periodo estivo prevalgono processi di produzione rigenerata. I massimi valori di flusso totale si sono registrati nel periodo invernale, mentre le maggiori percentuali di materia organica si osservano in estate. L'elevata frazione carbonatica è messa in relazione con apporti fluviali e fenomeni di risospensione dei sedimenti di fondo, che rappresentano processi particolarmente attivi nell'area. Infatti, i materiali provenienti da processi di trasporto advettivo e da risospensione costituiscono circa l'80% del flusso verticale. L'export di carbonio organico rispetto alla produzione primaria è inferiore al 15% nel periodo primaverile-estivo e diminuisce a valori inferiori al 10% in inverno.

ABSTRACT

One year of primary production at three different depths, seasonally measured in 2004, and downward fluxes of suspended matter are analysed in the "Campo Sperimentale", an artificial reefs area located near the coast in Northern Adriatic. Primary production values were generally higher than other Northern Adriatic stations, showing maximum value in May during a diatom bloom ($774 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). In summer, regeneration processes were prevalent. Maximum of total flux was recorded in the winter and higher organic matter percentage was observed in spring-summer. High carbonate flux is correlated with riverine input and resuspension of bottom sediments. The advective transport and resuspension seem to represent important processes in the area, and about 80% of particulate matter in the trap came from these processes. The export of organic carbon (expressed as percentage of primary production) is less than 15% in spring-summer, decreasing to less than 10% in winter.

INTRODUZIONE

Nell'area a barriere artificiali realizzata lungo il litorale veneto, denominata Campo Sperimentale (CS), a completamento degli studi sulla colonna d'acqua (Bazzoni e Bastianini, questo volume; Bruno *et al.*, questo volume) e allo scopo di contribuire alla conoscenza del ciclo biogeochimico del carbonio, sono stati intrapresi studi relativi alla produttività primaria degli organismi fitoplanctonici e ai flussi verticali di materiale particellato.

L'Adriatico Settentrionale è un bacino caratterizzato da una elevata produzione a tutti i livelli della catena trofica. Alti tassi di produzione e consistenti biomasse planctoniche sono stati descritti nelle aree costiere ed in particolare in prossimità della plume dei fiumi (Revelante e Gilmartin, 1976; Smodlaka e Revelante, 1983; Degobbi, 1989; Socal e Bianchi, 1989; Alberighi *et al.*, 1997).

Informazioni sui processi di produzione primaria fitoplanctonica in Adriatico Settentrionale sono disponibili fin dagli anni settanta (Harding *et al.*, 1999) e gli studi si sono intensificati nell'ultimo decennio (Pugnetti *et al.*, in stampa). Nell'Adriatico Settentrionale la variabilità della produzione primaria segue il gradiente trofico e, tipicamente, viene osservata una correlazione negativa fra la produzione e la salinità (Franco, 1984; Harding *et al.*, 1999; Socal *et al.*, 2002). L'ambito di variazione spaziale e temporale della produzione fitoplanctonica è notevole: i valori annuali sono compresi fra 210 e $60 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, rispettivamente per le acque costiere e per quelle al largo (Gilmartin e Revelante, 1983; Pucher-Petkovic e Marasovic, 1988; Degobbi e Gilmartin, 1990; Zoppini *et al.*, 1995; Heilman e Richardson, 1999; Bernardi Aubry *et al.*, 2002). In modo analogo variano anche la produzione oraria e giornaliera: massimi fino a $100 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ e $3 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ sono stati osservati in aree prossime al Delta del Po, valori inferiori a $5 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ e a $0,6 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ caratterizzano le acque al largo (Zoppini *et al.*, 1995; Heilman e Richardson, 1999; Socal *et al.*, 2002; Cantoni *et al.*, 2003; Pugnetti *et al.*, 2003 e 2004).

La produttività primaria planctonica rappresenta la principale sorgente di energia anche per le comunità del fondo, quindi riveste un notevole interesse associare lo studio di questo parametro con quello dei flussi verticali di materiali che dagli strati superiori della colonna d'acqua arrivano al fondo. La stima dell'export rappresenta quindi un elemento rilevante nello studio dei cicli biogeochimici delle sostanze fondamentali ed in particolare del carbonio. Una rappresentazione schematica e semplificata dei principali processi di produzione, di

trasformazione e riciclo della materia organica in ambiente marino è riportata nella **Fig. 1**.

Nei bacini epicontinentali e poco profondi come l'Adriatico Settentrionale il flusso delle particelle presenta una notevole variabilità temporale e spaziale ed è influenzato dagli apporti costieri e atmosferici, dalle reazioni chimico-fisiche che si attivano all'interfaccia acqua salata/acqua dolce, dalla produzione primaria e secondaria, e dalla dinamica idrologica. La misura dei flussi verticali viene generalmente effettuata con l'impiego di trappole per sedimenti fissate al fondo per mezzo di un ancoraggio, o flottanti che seguono liberamente le masse d'acqua.

Nell'area specifica del Campo Sperimentale non sono fino ad ora disponibili studi sui flussi di materiale particellato, mentre vi sono informazioni per l'Adriatico Settentrionale (Giordani e Frignani, 1988; Posedel e Faganeli, 1991; Puskaric *et al.*, 1992, Faganeli *et al.*, 1995, Matteucci e Frascari, 1997; Miquel *et al.*, 1999; Wassmann *et al.*, 1999; Giani *et al.*, 2001) e per l'Adriatico Meridionale (De Lazzari A. *et al.*, 1999; Miserocchi *et al.*, 1999; Boldrin *et al.*, 2002). Le misure dei flussi verticali, rilevati nell'Adriatico Settentrionale, mettono in evidenza la elevata variabilità temporale dei valori e la notevole importanza che, in queste aree a bassa profondità, assumono i processi di risospensione dei sedimenti di fondo e di trasporto ad opera delle correnti (Puskaric *et al.*, 1992; Matteucci e Frascari, 1997; Giani *et al.*, 2001).

In questo lavoro viene analizzata la produzione primaria misurata stagionalmente e presentati i risultati riguardanti lo studio del materiale particellato (natura del materiale e stima dei flussi) campionato mediante le trappole per sedimento nell'area a barriere artificiali del Campo Sperimentale. I flussi di carbonio organico inoltre vengono confrontati con i tassi giornalieri di produzione e viene stimato l'export di carbonio organico dalla colonna d'acqua al fondo.

Le stime sulla produzione primaria e sui flussi verticali nell'area del Campo Sperimentale presentati in questa ricerca sono fondamentali nel calcolo del bilancio del carbonio di questo ecosistema costiero e possono costituire un riferimento utile sia per il confronto con altre aree dell'Adriatico Settentrionale, sia come base per valutare modificazioni che potranno avvenire nel tempo. Tali studi inoltre possono costituire il punto di partenza anche per le stime delle possibilità produttive dell'area a livello bentonico, con notevoli ripercussioni applicative nel campo della maricoltura.

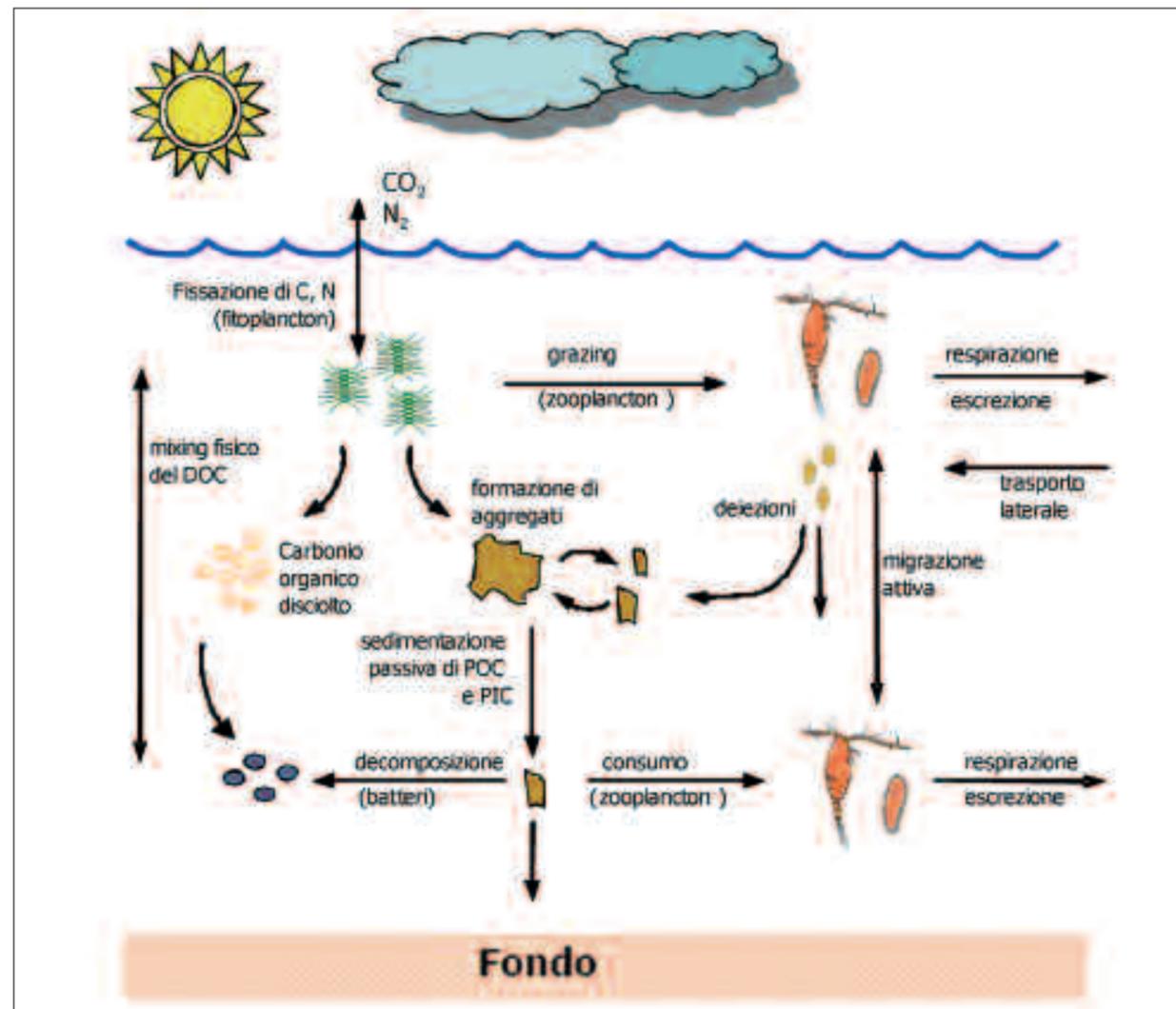


Fig. 1 - Schema semplificato dei processi di produzione, trasformazione e riciclo della materia organica in ambiente marino. DOC = Carbonio organico disciolto; POC = Carbonio organico particellato; PIC = Carbonio inorganico particellato.

MATERIALI E METODI

La produzione primaria è stata misurata, con frequenza stagionale (28 febbraio, 30 maggio, 2 agosto e 19 novembre 2004), mediante incubazioni *in situ*, con il metodo del ¹⁴C (Steeman Nielsen, 1952), a tre profondità nella zona eufotica (cioè la zona compresa tra la superficie e la profondità alla quale si misura l'1% della irradianza PAR superficiale). I campioni (250 ml) sono stati inoculati con 4 µCi di NaH¹⁴CO₃ e lasciati *in situ* per 2 ore. Alla fine dell'incubazione, subcampioni (15 ml) sono stati filtrati su filtri in policarbonato (Nucleopore), con porosità 0,2 µm e poi trattati con 0,5 ml di HCl 6N. La radioattività su

ciascun filtro è stata misurata in laboratorio, dopo l'aggiunta del cocktail di scintillazione, mediante scintillatore Beckman LS 6000. L'irradianza PAR è stata misurata con sensore PAR Biospherical.

Per lo studio dei flussi verticali nell'area del Campo Sperimentale è stato realizzato un ancoraggio fisso con una trappola automatica di tipo cilindro-conica Technicap mod. 4/3 con una superficie di raccolta di 0,05 m² (Fig. 2). La trappola, posta a circa 3 m dal fondo (profondità della stazione 14 m), è in grado di raccogliere 12 campioni consecutivi per periodi programmabili (Fig. 3). L'ancoraggio è stato mantenuto per due periodi, il primo dal 22 dicembre 2003 al 16 febbraio 2004 per 56 giorni,

il secondo di 84 giorni dal 23 maggio al 15 agosto 2004. L'intervallo di campionamento per la raccolta di materiale particellato è stato di 7 giorni.

Nell'ancoraggio erano inoltre presenti un correntometro AANDERAA mod. RCM/7 per misure di velocità e direzione di corrente e un CTD autoregistrante SEA-BIRD mod. SBE16 in grado di fornire dati di temperatura e salinità. I dati relativi a queste misure sono discussi sempre in questo volume (Bruno *et al.*).

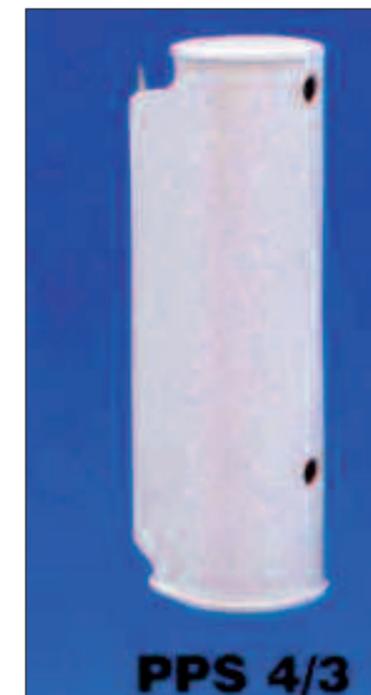


Fig. 2 - Trappola per sedimenti.



Fig. 3 - Motore per l'avanzamento e elettronica per la programmazione (contenitore in metallo) e carousel con bottiglie di campionamento per trappola per sedimenti. Sono mostrati carousel con 12 e 24 bottiglie.

Per prevenire la degradazione dei campioni, le bottiglie di raccolta sono state riempite preventivamente con una soluzione al 5% di formalina, neutralizzata in acqua di mare filtrata (Lee *et al.*, 1990). Una volta recuperati, i campioni sono stati conservati a 4 °C fino al momento dell'analisi. In laboratorio, i campioni sono stati trattati in accordo con quanto descritto da Heussner *et al.* (1990). Inizialmente dal campione sono stati rimossi manualmente, mediante microscopio binoculare, gli organismi in grado di nuotare (swimmers), appartenenti allo zooplankton, e quindi da non considerare nel flusso. Durante tale operazione sono state eseguite osservazioni a basso ingrandimento sulla natura e struttura del materiale sedimentato. Successivamente il campione è stato separato in varie aliquote per le differenti analisi previste, mediante una pompa peristaltica di precisione Jencons mod. Perimatic Premier.

Le analisi condotte sui campioni da trappola sono: il flusso totale (TMF), il carbonio organico (C_{org}), il carbonio totale (C_{tot}) e l'azoto totale (N_{tot}). Ogni determinazione, in relazione alla disponibilità di materiale raccolto, è stata effettuata su 3 repliche.

I subcampioni per l'analisi del flusso totale sono stati filtrati con filtri Millipore HA (in esteri di cellulosa) da 47 mm di diametro e porosità 0,45 µm, prepesati.

Per il C_{org}, C_{tot} e N_{tot} le aliquote del campione sono state filtrate con filtri Wathman GF/F in fibra di vetro diametro 25 mm, porosità nominale 0,7 µm, prepesati. Tutti i filtri dopo la filtrazione sono stati lavati con acqua di purezza grado chimico Milli-Q per eliminare i residui salini e successivamente essiccati a 60°C fino a peso costante e pesati.

Per le analisi del carbonio e dell'azoto è stato utilizzato un analizzatore elementare CHN Perkin Elmer 2400. La standardizzazione è effettuata mediante Acetanilide Standard Reference Material per microanalisi della NIST-National Institute of Standards and Technology del Department of Commerce (US).

Il carbonio organico è stato determinato dopo esposizione dei filtri a vapori di HCl per l'eliminazione del carbonio inorganico (Hedges and Stern, 1984).

La materia organica (MO) è stata ottenuta moltiplicando per un fattore 2 la concentrazione di C_{org}. Il carbonio inorganico è calcolato come differenza fra C_{tot}-C_{org}. I carbonati totali (CARB) sono stati stimati assumendo che tutto il carbonio inorganico sia presente come carbonato di calcio (CaCO₃) e considerando un rapporto carbonato/carbonio inorganico pari a 8.33. La frazione litogenica (LITO) è la parte della materia totale sedimentata di origine totalmente inorganica ed è ottenuta come differenza fra

il TMF e la somma di MO e carbonati totali. In questo calcolo, tuttavia, nella frazione litogenica risulta compresa la silice biogenica, non determinata, e che in alto Adriatico può rappresentare il 2-7% del totale (Puskaric *et al.*, 1992).

RISULTATI E DISCUSSIONE

PRODUZIONE PRIMARIA

La zona eufotica era limitata ai primi 5 m in febbraio, mentre era estesa a tutta la colonna d'acqua negli altri periodi. I massimi tassi di attività fotosintetica oraria sono sempre stati osservati nei primi 5 m della colonna d'acqua: nello strato superficiale in febbraio e in maggio, alla profondità di 5 m in agosto e in novembre.

I tassi di attività fotosintetica oraria sono variati fra 0,5 mg C m⁻³ h⁻¹ (misurati in novembre, ai limiti inferiori della zona eufotica) e 13,5 mg C m⁻³ h⁻¹ (misurati in maggio, nello strato superficiale). I valori di produzione primaria, sia oraria sia giornaliera, sono stati complessivamente inferiori nel periodo autunnale ed invernale rispetto a quello primaverile ed estivo. L'elevata variabilità dell'attività fotosintetica nei quattro periodi di campionamento è stata prevalentemente determinata dalla quantità di fitoplancton presente (espressa come clorofilla *a* in **Tab. 1**). La produzione specifica (P_b, cioè la produzione normalizzata sulla clorofilla *a*) è infatti confrontabile in febbraio, maggio e novembre (Tab. 1). Al contrario, P_b presenta valori nettamente superiori in agosto (Tab. 1), indicando un'elevata efficienza di produzione fotosintetica da parte della comunità fitoplanctonica.

Tab. 1 - Clorofilla *a* (chl *a*), produzione primaria oraria (PP), produzione specifica (P_b) e giornaliera (PP_g).

Data	Profondità (m)	chl <i>a</i> (mg m ⁻³)	PP (mg C m ⁻³ h ⁻¹)	P _b (mg C / (mg chl <i>a</i>) ^h m ⁻³)	PP _g (mg C m ⁻³ d ⁻¹)
28-02-2004	0	1,1	3,1	2,8	48,0
	2	1,3	1,5	1,2	
	5	1,4	1,1	0,8	
30-05-2004	0	7,6	13,5	1,8	774,0
	5	9,5	9,0	1,1	
	11	9,7	1,8	0,2	
2-08-2004	0	1,2	4,2	3,6	360,0
	5	1,4	6,2	4,5	
	10	3,0	3,5	1,2	
19-11-2004	0	1,5	2,6	1,8	120,0
	5	2,5	3,6	1,4	
	10	1,5	0,5	0,3	

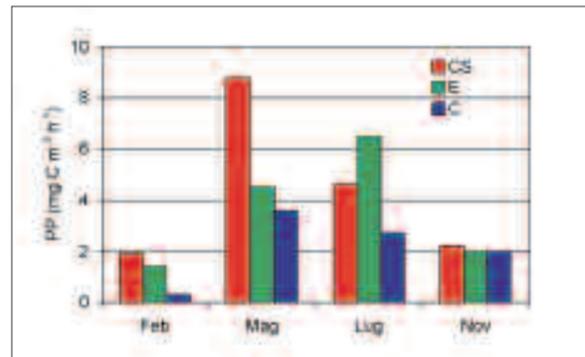


Fig. 4 - Valori di produttività primaria oraria media nella stazione CS, in una stazione a 10 NM dalla foce del Po (E) e in una stazione offshore (C). Misure effettuate negli stessi periodi (anno 2004).

La produzione primaria, media nella colonna d'acqua, della stazione CS è stata inoltre confrontata con quella misurata, negli stessi periodi, in altre due stazioni: una costiera, localizzata a circa 10 NM dalla foce del Po (St. E), e una al largo, approssimativamente al centro del bacino a 20 NM dalla costa (St. C) (**Fig. 4**). L'attività fotosintetica fitoplanctonica nella stazione CS è stata simile a quella della stazione più costiera (E), fatta eccezione per il campionamento di maggio, quando era nettamente superiore.

FLUSSI VERTICALI

Fra gli organismi rinvenuti nei campioni da trappola ma non considerati parte del flusso verticale, i cosiddetti *swimmers*, sono stati rinvenuti principalmente copepodi e anfipodi, larve di policheti e, nei campioni di luglio, numerosi bivalvi, con dimensioni fino ad alcuni millimetri. Dalle analisi microscopiche dei campioni si è osservato come nel periodo estivo, in corrispondenza con la presenza nell'area di aggregati gelatinosi anche in elevata abbondanza (Bazzoni e Bastianini, questo volume), il materiale nelle trappole si presentasse alquanto mucillaginoso, con un numero di *swimmers* ridotto. Nei campioni da trappola, la frazione biogenica era generalmente costituita da organismi planctonici (coccolitoforidi, foraminiferi e diatomee), dai loro frammenti (frustoli di diatomee, coccoliti e gusci di foraminiferi) e da biodetrito derivante dai gusci degli organismi bentonici.

I valori del flusso totale, della materia organica, dei carbonati totali e dell'azoto totale (espressi in mg m⁻² d⁻¹ e in percentuale sul flusso totale) sono riportati in **Tab. 2**, dove è anche indicato il rapporto molare C_{org} / N_{tot}.

Tab. 2 - Flussi totale (TMF), della materia organica (MO), dei carbonati totali (CARB), dell'azoto totale (N-TOT) e rapporto C/N molare, nei due periodi esaminati.

Periodo	Campione		Durata (giorni)	TMF (mg m ⁻² d ⁻¹)	MO (mg m ⁻² d ⁻¹)		CARB (mg m ⁻² d ⁻¹)		N-TOT (mg m ⁻² d ⁻¹)		C/N (mol)
	da	a			%	%	%	%			
1° Periodo	22-12-2003	29-12-2003	7	31814	2736	8,60	7850	24,67	45	0,14	35,8
	29-12-2003	5-01-2004	7	115826	7135	6,16	9052	7,82	182	0,14	25,7
	5-01-2004	12-01-2004	7	10567	294	2,78	5547	52,39	22	0,21	7,7
	12-01-2004	19-01-2004	7	82439	1411	2,26	34504	55,26	75	0,12	11,0
	19-01-2004	26-01-2004	7	147240	4064	2,76	83382	43,03	250	0,17	9,5
	26-01-2004	2-02-2004	7	11195	293	2,62	7341	65,58	16	0,14	10,9
	2-02-2004	9-02-2004	7	12661	382	3,02	8461	51,03	24	0,19	9,3
	9-02-2004	16-02-2004	7	4024	150	3,72	2029	50,41	11	0,28	7,8
	2° Periodo	23-05-2004	30-05-2004	7	11108	834	7,51	4494	40,46	34	0,31
30-05-2004		6-06-2004	7	472	49	10,30	244	51,68	5	0,98	6,1
6-06-2004		13-06-2004	7	655	85	12,99	352	53,69	9	1,38	5,5
13-06-2004		20-06-2004	7	3536	327	9,26	1626	45,99	28	0,79	6,8
20-06-2004		27-06-2004	7	2138	115	5,39	1024	47,91	8	0,35	8,9
27-06-2004		4-07-2004	7	1164	77	6,65	549	47,18	5	0,46	8,4
4-07-2004		11-07-2004	7	5940	370	6,23	2955	49,74	25	0,42	8,7
11-07-2004		18-07-2004	7	23841	1646	6,90	11947	50,11	114	0,48	8,4
18-07-2004		25-07-2004	7	19254	1344	6,98	8573	44,53	104	0,54	7,5
25-07-2004		1-08-2004	7	13116	830	6,33	5378	41,00	63	0,48	7,7
1-08-2004		8-08-2004	7	6588	458	6,94	3078	46,72	37	0,56	7,3
8-08-2004		15-08-2004	7	3309	460	13,91	1476	44,62	47	1,42	5,7

Il flusso totale (TMF) durante il periodo esaminato presenta una marcata variabilità stagionale (**Fig. 5**), con un valore medio pari a 49,5 g m⁻² d⁻¹ nel primo periodo di campionamento, che si riduce a circa un settimo (7,6 g m⁻² d⁻¹) nel secondo periodo di osservazione. I valori più elevati di TMF si sono registrati nel periodo invernale (massimo a gennaio 2004 di 147,2 g m⁻² d⁻¹), il minimo (0,1 g m⁻² d⁻¹) è stato osservato invece nel mese di giugno 2004.

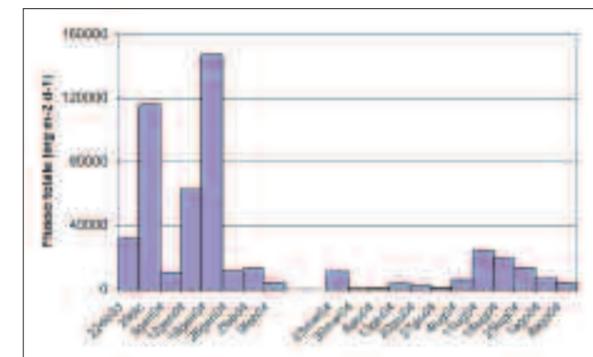


Fig. 5 - Flusso totale espresso in mg m⁻² d⁻¹ nei due periodi esaminati.

Il flusso totale misurato nell'area a barriere artificiali è nel range dei valori riportati per altre aree costiere dell' Adriatico Settentrionale (Giani *et al.*, 2001). La media su tutti i campioni (24,3 g m⁻² d⁻¹) è prossima a quanto trovato nel prodelta dell'Adige (29,0 g m⁻² d⁻¹; Giani *et al.*, 2001). L'aumento del TMF nei mesi invernali osservato nel Campo

Sperimentale è stato descritto anche in altre stazioni costiere ed è stato messo in relazione a eventi di risospensione e trasporto advettivo di sedimenti di fondo (Puskaric *et al.*, 1992). Aumenti nel flusso verticale inoltre sono in relazione alle altezze dell'onda, e quindi alle condizioni meteo-marine, e agli elevati apporti fluviali (Matteucci e Frascari, 1997). I valori minimi di flusso sono invece correlati con le situazioni di calma di vento e mare che si verificano generalmente nei mesi estivi. In queste situazioni il flusso dipende in buona parte dai processi biologici che avvengono nella colonna d'acqua (Giani *et al.*, 2001). I flussi della materia organica e dell'azoto totale (**Fig. 6**) hanno andamenti analoghi al flusso totale, mentre le percentuali rispetto al TMF sono mediamente basse nel primo periodo invernale (MO 4,0%; N_{tot} 0,2%) e aumentano nel secondo periodo (MO 8,3%; N_{tot} 0,7%), con massimi in agosto (MO 13,91 % e N_{tot} 1,42 %). La concentrazione di MO e di N_{tot} riscontrata in questo studio è nei range dei valori già osservati in aree costiere dell'Adriatico Settentrionale, mentre è inferiore a quanto osservato più al largo (Giani *et al.*; 2001). L'elevato flusso della sostanza organica all'inizio dell'estate può essere correlato ai cicli di sviluppo del fitoplancton (Bazzoni e Bastianini, questo volume), come già documentato anche in altre aree dell'Adriatico Settentrionale (Turchetto *et al.*, 2002). Il flusso dei carbonati (**Fig. 6**) presenta una maggiore variabilità nel primo periodo di osservazione, con valori che vanno dal 7,82% al 65,58%. Ad eccezioni dei primi due campioni, i valori della frazione carbonatica sono pressoché costanti (mediamente

49% del totale). Valori percentuali simili sono stati descritti in una stazione in prossimità di Pola (Croazia), mentre in prossimità di Rovigno (Croazia) e in particolare al largo della foce del Po i range di valori riportati sono inferiori (Puskaric *et al.*, 1992). La frazione carbonatica è di origine sia organica sia inorganica. La prima è determinata dai gusci calcarei di organismi planctonici (coccolitoforidi e foraminiferi) e bentonici (bivalvi e gasteropodi) che rappresentano le comunità biologiche più importanti nell'area (Tagliapietra *et al.*, questo volume). I carbonati inorganici derivano dagli apporti di sedimenti di natura carbonatica (calcite e dolomite), il cui contenuto è più alto in vicinanza delle foci dei fiumi provenienti dall'hinterland veneto e dalle Alpi orientali e minore nelle aree di prodelta del Po, nel cui bacino idrico prevalgono rocce silicee (Meischner, 1973; Veniale *et al.*, 1978).

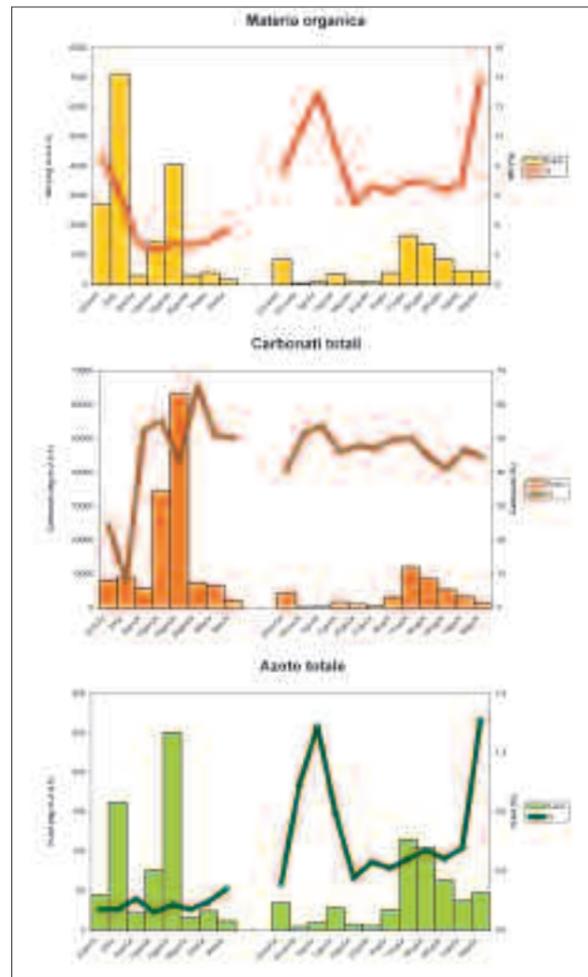


Fig. 6 - Misure dei flussi di Materia Organica (MO), di Carbonati totali e dell'Azoto totale espressi in $mg\ m^{-2}d^{-1}$ e in percentuale rispetto al flusso totale nei due periodi esaminati.

Le frazioni carbonatica e litogenica costituiscono insieme la percentuale predominante che, nel periodo invernale, quando l'attività biologica è fortemente ridotta, è superiore al 95% del totale. L'alta percentuale di tale frazione è da mettere in relazione, oltre che con gli ingenti apporti continentali di origine fluviale, anche con la presenza di fenomeni di risospensione dei sedimenti di fondo che, in alto Adriatico, presentano in generale analoghe percentuali di carbonati (Venzo e Stefanini, 1967; Stefanini, 1968; Brambati, 1987) e che, nei sedimenti del Campo Sperimentale, rappresentano la componente mineralogica prevalente (in media 58%; De Lazzari *et al.*, questo volume).

Il materiale particellato presente nella colonna d'acqua in ogni situazione può avere differenti origini: provenire dall'attività biologica della colonna d'acqua (flusso primario), derivare da processi di risospensione dei sedimenti di fondo a causa di onde e correnti, o provenire da altre aree ed essere interessato da processi di trasporto laterale (Fig. 7).

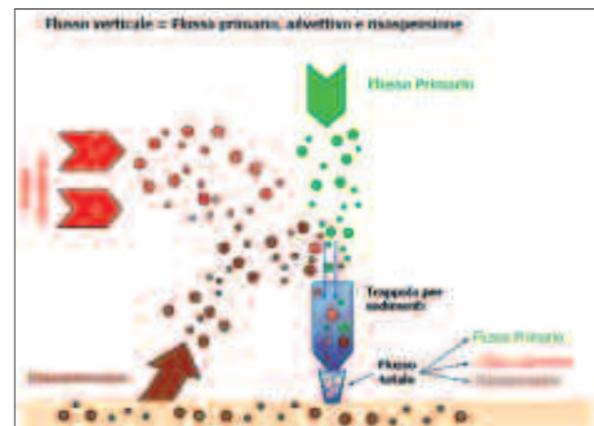


Fig. 7 - Schema semplificato dei processi che influenzano la natura e la concentrazione di materiale particellato nella colonna d'acqua. La trappola per sedimenti raccoglie ed integra i materiali di varia composizione e origine.

Poiché in ambienti costieri a bassa profondità, quali l'area del Campo Sperimentale, la risospensione e l'advezione laterale possono presentarsi con elevata frequenza, risulta di notevole interesse poter valutare i contributi relativi di ogni singolo processo. Per ottenere una stima della frazione ascrivibile alla produzione biologica, alla risospensione e al trasporto, è stato utilizzato un metodo di calcolo proposto da Gasith (1975) e applicato in Adriatico da Mateucci e Frascari (1997) e da Giani *et al.* (2001). In questo caso come tracciante è stato considerato il carbonio organico e la formulazione è stata semplificata

considerando assieme i flussi da risospensione e da advezione (Fig. 8).

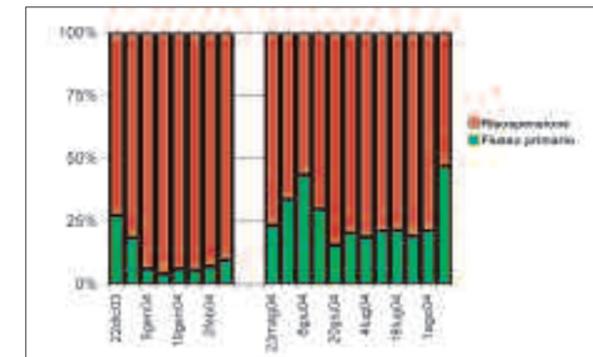


Fig. 8 - Percentuale delle frazioni di flusso primario e risospeso, calcolata dalle concentrazioni di C_{org} nel sedimento e nel particellato. Nel flusso di risospensione è compreso il flusso advettivo.

Per la risospensione/advezione è stata utilizzata la concentrazione di carbonio organico determinata nel sedimento del Campo (media 0,55%, De Lazzari *et al.*, questo volume) e per il flusso primario si è scelto il valore di 14,2%, concentrazione di C organico misurata nel particellato durante un bloom fitoplanctonico verificatosi in maggio nell'area del Campo Sperimentale. I risultati di queste analisi sono presentati in Tab. 3 e confermano l'importanza della risospensione e del trasporto nell'area. Mediamente l'80% del flusso può essere ascrivibile a sedimenti risospesi dal fondo e trasportati dai moti idrodinamici. Questa percentuale nel primo periodo invernale aumenta mediamente sino al 94%. Il flusso primario assume valori relativamente elevati solo nel secondo periodo, dove costituisce in media il 26% del flusso totale, e presenta due massimi relativi in giugno ed in agosto, mese in cui raggiunge il valore massimo di 47%.

I valori trovati sono in accordo con quanto riportato da altri autori. Mateucci e Frascari (1997) attribuiscono alla risospensione e al trasporto circa l'80% del flusso verticale misurato in prossimità della foce del Po, valore confermato da Giani *et al.* (2001) che calcolano, nelle stazioni costiere, un flusso primario compreso tra il 23,4% e 24,0% del totale e un flusso da risospensione in media del 34% - 42,6%. Altri valori di risospensione dei sedimenti di fondo sono stati registrati anche nel Golfo di Trieste (Faganeli, 1989; Puskaric *et al.*, 1992).

Tab. 3 - Tassi giornalieri di produzione primaria PP, flusso verticale di C-org ed export rispetto alla produzione (Export C-org). Sono indicati i valori e la % del flusso primario (Flusso C-prim) e del flusso attribuibile ai processi di risospensione e trasporto (Flusso C-risosp) in febbraio, maggio e agosto 2004. E' inoltre riportato l'export di C organico rispetto alla Produzione, ottenuto considerando esclusivamente il flusso primario (Export C-prim).

Parametro		Febbraio	Maggio	Agosto
PP	$mg\ C_{org}d^{-1}$	48	774	380
Flusso C-org	$mg\ C_{org}d^{-1}$	75	417	229
Flusso C-prim	$mg\ C_{org}d^{-1}$	7	30	43
% su Flusso Totale		9	24	21
Flusso C-risosp.	$mg\ C_{org}d^{-1}$	68	319	186
% su Flusso Totale		91	76	79

PRODUZIONE ED EXPORT DI CARBONIO ORGANICO

I dati ottenuti durante questo studio permettono una valutazione dello stato trofico dell'area in esame e una stima di alcuni elementi utili alla descrizione del bilancio del carbonio. A tale scopo, sono state analizzate in dettaglio quattro situazioni stagionali (febbraio, maggio, agosto e novembre 2004). I valori della concentrazione dei nutrienti, del particellato (Bruno *et al.*, questo volume) e del fitoplancton (Bazzoni e Bastianini, questo volume), integrati sull'intera colonna d'acqua, sono stati confrontati con i tassi giornalieri di produttività primaria e con i flussi verticali misurati mediante la trappola di sedimentazione relativi allo stesso periodo (Tab. 4).

Nel febbraio 2004 le temperature sono intorno a 7°C e i nutrienti disciolti sono presenti in concentrazioni elevate. L'attività biologica e i processi di produzione sono molto ridotti, come indicato dai bassi valori di pigmenti fotosintetici. Nel fitoplancton sono predominanti i flagellati. Nonostante la bassa attività biologica, il contenuto di POC nella colonna d'acqua si mantiene a un livello relativamente elevato. Un flusso al fondo di C_{org} maggiore della produzione e una bassa incidenza del flusso primario (<10% del totale) indicano che sono attivi processi di risospensione e advezione dei sedimenti di fondo. L'importanza di questi processi è messa in evidenza anche dall'elevato contenuto in sospeso totale, dall'elevata torbidità e dalla bassa fluorescenza osservati nella colonna d'acqua.

In maggio, l'aumento della temperatura (>18 °C) e le elevate concentrazioni di tutti i nutrienti inorganici favoriscono lo sviluppo della componente autotrofa e la produzione cosiddetta "nuova" appare prevalente: vengono infatti registrati, in questo periodo, i massimi di attività fotosintetica, accompagnati da un pool rilevante di carbonio organico e azoto particellati e da percentuali di saturazione dell'ossigeno superiori al 110%. In

questo periodo è stato notato un bloom della diatomea *Cerataulina pelagica* (Bazzoni e Bastianini, questo volume). La bassa salinità presente in questa situazione evidenzia il ruolo e l'importanza degli apporti fluviali nell'area.

In agosto, i nutrienti sono estremamente scarsi: il DIN e il silicio sono inferiori di due ordini di grandezza, mentre il fosforo è diminuito di metà rispetto alla situazione primaverile. Il pool di carbonio particellato, la clorofilla *a* e la produzione fitoplanctonica appaiono notevolmente diminuiti, mentre è aumentata l'importanza dei flagellati nel fitoplancton. Queste osservazioni fanno ritenere prevalenti in questo periodo i processi di *produzione rigenerata* e/o di *degradazione microbica* della frazione organica. A conferma di ciò è anche il basso rapporto C/N molare (pari a 5) nel particellato (Bruno *et al.*, questo volume).

In novembre, nonostante le elevate concentrazioni di nutrienti, la produzione è 1/3 di quella misurata ad agosto; il C organico particellato e l'abbondanza del fitoplancton assumono i valori minimi dell'anno.

Sia nella condizione primaverile che in quella estiva, i flussi di carbonio indicano che più della metà del C prodotto viene

esportato verso il fondo: l'export di carbonio organico è, infatti, il 54 % (in maggio) e il 60 % (in agosto) della produzione fitoplanctonica. Tuttavia se si considera esclusivamente il flusso primario senza tener conto dell'apporto della frazione risospesa, l'export di C risulta ridotto al 13% in entrambe le situazioni. Questi valori sono nel range di quanto riportato da altri autori per l'Adriatico Settentrionale, che stimano un export di carbonio organico primario rispetto alla produttività primaria compreso tra 2 e 20%, ed attribuiscono questi valori relativamente bassi ad un elevato riciclo ed utilizzazione della materia organica negli strati superiori della colonna d'acqua (Miquel *et al.*, 1999; Giani *et al.*, 2001; Turchetto *et al.*, 2002). Tale basso apporto di carbonio organico proveniente direttamente dalla produzione non sembra in grado di sostenere l'elevata biomassa che si osserva a livello bentonico (Manini *et al.*, 2002). Tale produzione è quindi sostenibile solo ammettendo la presenza di altre sorgenti di carbonio, quali la produzione del fitobentos e apporti alloctoni provenienti dai processi di risospensione e advezione laterale, apporti che nella stazione in esame danno un rilevante contributo al budget complessivo del carbonio organico (Fig. 9).

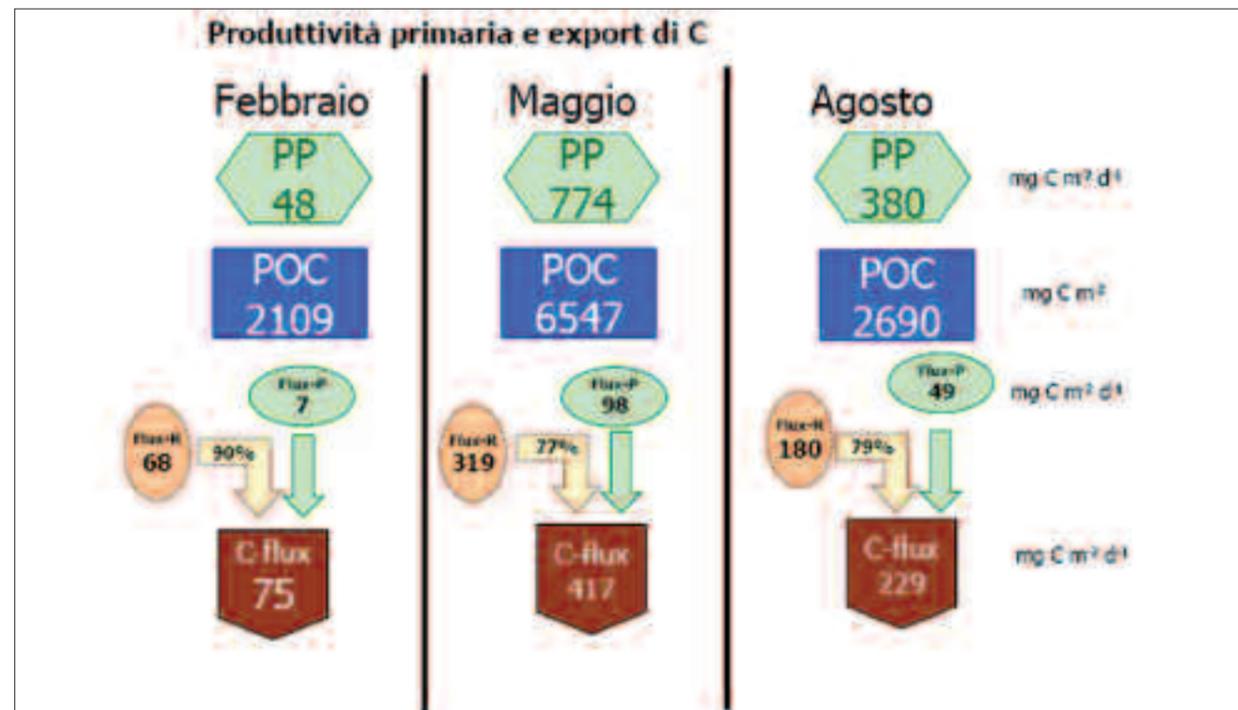


Fig. 9 - Diagramma schematico con riportati i tassi giornalieri di produzione primaria (PP), il carbonio organico particellato integrato sulla colonna (POC in mg C m⁻²) e il flusso verticale di carbonio organico (C-flux). Sono indicati i valori del flusso primario (Flux-P), del flusso da risospensione/advezione (Flux-R) e la percentuale di questo ultimo sul flusso totale. Tutti i flussi sono espressi in mg C m⁻² d⁻¹.

Tab. 4 - Media dei valori integrati sulla colonna dei parametri idrologici (Temperatura, Salinità, Densità, Ossigeno disciolto, Fluorescenza, Torbidità), valori integrati su colonna dei nutrienti (Azoto totale disciolto-DIN, Silicati e Fosfati), del particellato (sospeso totale-TSM, carbonio organico particellato-POC, Azoto totale particellato-PTN, rapporto C/N, Clorofilla *a*-CHL*a*, Fitoplancton totale e percentuale di Diatomee e Flagellati) e tassi giornalieri di produzione primaria PP, flusso verticale di C_{org} e N_{tot} nelle quattro situazioni stagionali esaminate in dettaglio durante il progetto.

Parametro		Febbraio	Maggio	Agosto	Novembre	
media su colonna	TEMPERATURA	°C	7,0	18,1	25,3	14,1
	SALINITA'	psu	35,1	33,6	36,2	34,8
	DENSITA'	kg/m ³	27,5	24,2	24,2	26,0
	OSSIGENO	%	96,7	113,1	103,0	88,9
	FLUORESCENZA	au	0,6	1,2	0,6	0,5
	TORBIDITA'	FTU	4,3	1,9	3,0	4,1
valore integrato su colonna	DIN	mM/m ²	357	246	10	204
	Si-SiO ₄	mM/m ²	103	130	17	139
	P-PO ₄	mM/m ²	1,22	1,32	0,74	1,13
	TSM	g/m ²	38	66	21	25
	POC	mg/m ²	2.109	6.547	2.690	1.540
	TPN	mg/m ²	363	1001	629	303
	C/N	mol	6,8	7,6	5,0	5,9
	CHL <i>a</i>	mg/m ²	15,0	99,4	17,2	21,5
	FITO TOT.	cell x 10 ⁶ /m ²	5.172	89.057	28.468	3.720
	DIATOMEE	% su Fito tot.	23	95	78	38
FLAGELLATI	% su Fito tot.	57	3	20	39	
tasso al giorno	PP	mg C m ⁻² d ⁻¹	48	774	380	120
	FLUX C _{org}	mg C m ⁻² d ⁻¹	75	417	229	===
	FLUX N _{org}	mg N m ⁻² d ⁻¹	11	34	37	===

CONCLUSIONI

Nel Campo Sperimentale è stata osservata una elevata produttività primaria rispetto ai valori generali dell'Adriatico Settentrionale, con una alternanza nei cicli produttivi e con una fase primaverile caratterizzata da produzione primaria favorita da nutrienti inorganici di origine fluviale, a cui segue una fase estiva, in concomitanza alla diminuzione dei nutrienti, in cui prevalgono i processi rigenerativi e la degradazione batterica.

L'analisi dei flussi di sedimentazione ha permesso di evidenziare e quantificare i principali processi che influenzano la produzione e la composizione del materiale particellato nell'area.

Gli apporti di C organico al fondo rispetto alla produzione degli strati superiori della colonna d'acqua sono generalmente inferiori al 15%, valori che confermano il basso apporto verticale di sostanza organica e il suo riciclo ed utilizzo nella colonna d'acqua.

Risospensione dei sedimenti di fondo e trasporto laterale del materiale sospeso sono processi che avvengono con elevata frequenza e che possono essere messi in relazione alla elevata dinamica idrologica dell'area. Gli apporti di carbonio organico, resi disponibili in seguito a questi processi, probabilmente rappresentano una importante fonte energetica per le comunità del fondo.

BIBLIOGRAFIA

ALBERIGHI, L., FRANCO P., BASTIANINI M., SOCAL G., 1997 - Produttività primaria, abbondanza fitoplanctonica e campo di irradianza in due stazioni dell'Adriatico Settentrionale. Crociere Marzo e Giugno 1994. *Biol. Mar. Medit.*, **4**, 1, 17-23.

BAZZONI A.M., BASTIANINI M. Popolamenti fitoplanctonici nell'area a barriere artificiali del Campo Sperimentale. *Questo volume*.

BERNARDI AUBRY F., ACRI F., BASTIANINI M., BERTON A., BIANCHI F., LAZZARINI A., PUGNETTI A., SOCAL G., 2002 - Variazioni stagionali delle comunità fitoplanctoniche e della produttività primaria in Adriatico Settentrionale (luglio 1999-luglio 2000). *Biol. Mar. Medit.*, **9**, (1), 374-382.

BOLDRIN A., MISEROCCHI S., RABITTI S., TURCHETTO M., BALBONI V., SOCAL G., 2002 - Particulate matter in the southern Adriatic and Ionian Sea: characterisation and downward fluxes. *Journal of Marine Systems*, **33-34**, 389-410.

BRAMBATI A., 1987 - Regime, bilancio sedimentologico ed ipotesi di ripascimento dei Lidi di Venezia. *VI Congresso Nazionale dell'ordine dei Geologi, Venezia Fondazione Cini*, 153-209.

BRUNO S., BASTIANINI M., ACRI F., CASSIN D., BOLDRIN A. Variabilità temporale delle condizioni idrologiche, idrochimiche e biologiche nella colonna d'acqua (luglio 2003 - febbraio 2005). *Questo volume*.

CANTONI C., COZZI S., PECCHIAR I., CABRINI M., MOZETIC P., CATALANO G., FONDA UMANI S., 2003 - Short-term variability of primary production and inorganic nitrogen uptake related to the environmental conditions in a shallow coastal area (Gulf of Trieste, N Adriatic Sea). *Oceanologica Acta*, **26**, 565-575.

DEGOBBIS, D., 1989 - Increased eutrophication of the Northern Adriatic Sea. *Mar. Poll. Bull.*, **20**, 652-657.

DEGOBBIS, D., GILMARTIN, M., 1990 - Nitrogen, phosphorus and biogenic silicon budgets for the Northern Adriatic Sea. *Oceanologica Acta*, **13**, 31-45.

DE LAZZARI A., BOLDRIN A., RABITTI S., TURCHETTO M., 1999 - Particulate matter in the Otranto Strait area: variabilità and downward fluxes. *J. Mar. System*, **20**, 399-413.

DE LAZZARI A., BOLDRIN A., CASSIN D. Caratteristiche tessiture e chimiche dei sedimenti superficiali nell'area a barriere artificiali del "Campo Sperimentale". *Questo volume*.

FAGANELI J., 1989 - Sedimentation of Particulate Nitrogen and Amino Acids in Shallow Coastal Waters (Gulf of Trieste, Northern Adriatic). *Marine Chemistry*, **26**, 67-80.

FAGANELI J., KOVAC N., LESKOVEK H., PEZDIC J., 1995 - Sources and fluxes of particulate organic matter in shallow coastal waters characterised by summer macroaggregate formation. *Biogeochemistry*, **29**, 71-88.

FRANCO P., 1984 - Fattori influenti sulla produttività primaria dell'Adriatico Settentrionale. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, **2**, 125-140.

GASITH A., 1975 - Tripton sedimentation in eutrophic lake - simple correction for suspended matter. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, **19**, 116-122.

GIANI M., BOLDRIN A., MATEUCCI G., FRASCARI F., GISMONDI M., RABITTI S., 2001 - Downward fluxes of particulate carbon, nitrogen and phosphorus in the north-western Adriatic Sea. *The Science of the total Environment*, **266**, 125-134.

GILMARTIN, M., REVELANTE, N. 1983 - The phytoplankton of the Adriatic sea: standing crop and primary production. *Thalassia jugosl.*, **19**, 173-188.

GIORDANI P., FRIGNANI M., 1988 - A sediment trap experiment in NW Adriatic coastal waters. *Proceedings of the VIII Italian Oceanology and Limnology Congress*, 445-456.

HARDING L. W., DEGOBBIS D., PRECALI R., 1999 - Production and fate of phytoplankton: annual cycles and interannual variability. In: Malone, T. C., Malej, A., Harding, L. W., Smodlaka, N., and Turner, R. E. (Eds.). *Ecosystems at the land-sea margin: drainage basin to coastal sea. Coastal and Estuarine Studies*, **55**, 131-172.

HEDGES J.I., STERN J.H., 1984 - Carbon and nitrogen determination of carbonate-containing solids. *Limnol. Oceanogr.*, **29**, 657-663.

HEILMAN J. P., RICHARDSON K., 1999 - Phytoplankton distribution and activity in the Northern Adriatic Sea. In: Hopkins, T. S., Artegiani, A., Cauwet, G., Degobbi, D., Malej, A. (Eds.). *The Adriatic Sea. Ecosystem Research Report N. 32. Proceedings of the Workshop "Physical and biogeochemical processes in the Adriatic Sea"*, 347-361.

HEUSSNER, S., RATTI, C., CARBONNE, J., 1990 - The PPS3 time-series sediment trap and the trap sample processing techniques used during the ECOMARGE experiment. *Cont. Shelf Res.*, **10**, 943- 958.

LEE C., HEDGES J. I., WAKEHAM, S. G., 1990 - Technical problems with the use of sediment traps-preservation, swimmers and leaching. In *Wassman, P., Heiskaen, A.S., Ldahl, O. (Eds.), Sediment Trap Studies in the Nordic Countries, Symposium Proceedings, Kristineberg Marine Biological Station, Sweden*, 36-48.

MANINI E., DANOVARO R., FABIANO M., 2002 - Benthic-pelagic coupling in frontal system areas of the Northern Adriatic Sea: analysis of the carbon budgets. *Chemistry and Ecology*, **18**:155-160.

MATTEUCCI G., FRASCARI F. 1997 - Fluxes of suspended materials in the north Adriatic Sea (Po prodelta area). *Water Air Soil Pollut*, **99**, 557-572.

MEISCHNER D. 1973 - Formation processes and dispersal patterns of the sediments along the Istrian coast of the Adriatic. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **21**, 11, 843-846.

MIQUEL J.C., FOWLER S.W., HAMILTON T., HEILMANN J., LAROSA J., CARROL M. 1999 - Carbon fluxes and export in the northern and central Adriatic Sea measured with drifting sediment traps. In: *Hopkins T. S., Artegiani A., Cauwet G., Degobbi D., Malej A., editors. Ecosystems research No. 32. The Adriatic Sea (EUR 18834). European Commission*, 509-524.

MISEROCCHI S., FAGANELI J., BALBONI V., HEUSSNER S., MONACO A., KERHERVE P., 1999 - Characteristics and sources of the settling particulate matter in the South Adriatic basin. *Org. Geochem.*, **30**, 411-421.

POSEDEL N., FAGANELI J., 1991 - Nature and sedimentation particulate matter during density stratification in shallow coastal waters (Gulf of Trieste, northern Adriatic). *Prog. Mar Ecol Ser.* **77**, 135-145.

PUCHER-PETKOVIC, T., MARASOVIC, I. 1988 - Changes of productivity conditions in the open Middle Adriatic - eutrophication indicators. *Pomorski Zbornik*, **26**, 585-593.

PUGNETTI A., ACRI F., BASTIANINI M., BERNARDI AUBRY F., BERTON A., BIANCHI F., NOACK P., SOCAL G., 2003 - Primary production processes in the North-Western Adriatic Sea. *Proc. of the Italian Association of Oceanology and Limnology*, **16**, 15-28.

PUGNETTI A., ACRI F., ALBERIGHI L., BARLETTA D., BASTIANINI M., BERNARDI AUBRY F., BERTON A., BIANCHI F., SOCAL G., TOTTI C., 2004 - Phytoplankton photosynthetic activity and growth rates: observations in the NW Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, **20 (6)**, 399-409.

PUGNETTI A., CAMATTI E., MANGONI O., MORABITO G., OGGIONI A., SAGGIOMO V., In press. Phytoplankton production in Italian freshwater and marine ecosystems: state of the art and perspectives. *Chemistry and Ecology*.

PUSKARIC S., FOWLER S.W., MIQUEL J.C. 1992 - Temporal changes in particulate flux in the northern Adriatic Sea. *Estuary Coastal Shelf Sci.*, **35**, 267-287.

REVELANTE N., GILMARTIN M., 1976 - The effect of Po river discharge on phytoplankton dynamics in the Northern Adriatic Sea. *Mar. Biol.*, **34**, 259-271.

SOCAL, G., BIANCHI F., 1989 - Adriatico Settentrionale in condizioni di stratificazione. 3. Distribuzione della biomassa e dei popolamenti

fitoplanctonici (1983-84). *Boll. Oceanol. Teor. Appl. n.s.*, 93-109.

SOCAL G., PUGNETTI A., ALBERIGHI L., ACRI F., 2002 - Observations on phytoplankton productivity in relation to hydrography in the Northern Adriatic. *Chemistry and Ecology*, **18**, 61-73.

SMODLAKA N., REVELANTE N., 1983 - The trends of phytoplankton production in the Northern Adriatic Sea: A twelve year survey. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **28**, 89-90.

STEFANINI S., 1968 - Distribuzione dei carbonati di calcio e di magnesio nelle sabbie dei fiumi tributari dell'Adriatico Settentrionale tra Venezia e Trieste e dei loro principali affluenti. *Studi Trentini di Scienze Naturali*, Sez. A, XLV, **2**, 100-124.

STEEMAN NIELSEN, E. 1952 - The use of radioactive carbon (¹⁴C) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. perm. int. explor. Mer*, **18**, 117-140.

TAGLIAPIETRA D., ZANON V., FRANGIPANE G., PESSA G., CORDONE P., KEPPEL E. Effetti dell'introduzione di substrati artificiali sulla struttura delle comunità bentoniche di substrato mobile. *Questo volume*.

TURCHETTO M., BOLDRIN A., RABITTI S., ACRI F., COMASCHI A., 2002 - Particulate matter and downward flux in the Northern and Central Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, **18**, 127-141.

VENIALE F., SOGGETTI F., SANTAGOSTINO C., FERRARI G., 1978 - Distribuzione dei minerali Argillosi e dei carbonati nei sedimenti di fondo del Mare Adriatico. *Atti del 2° congresso AIOL*, 92-95.

VENZO G.A., STEFANINI S., 1967 - Distribuzione dei carbonati nei sedimenti di spiaggia e marini dell'Adriatico Settentrionale tra Venezia e Trieste. *Studi Trentini di Scienze Naturali*, Sez. A, XLIV, **2**, 178-201.

WASSMANN P., FONDA UMANI S., YPMA J.E., REIGSTAD M., COK S., SALVI C., CAUWET G., 1999 - Suspended biomass and vertical flux in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) two summer scenarios. *Proceedings of the workshop "Physical and biogeochemical processes in the Adriatic Sea"*. In: *Hopkins T. S., Artegiani A., Cauwet G., Degobbi D., Malej A., editors. Ecosystems research No. 32. The Adriatic Sea (EUR 18834)*, 537-551.

ZOPPINI, A., PETTINE M., TOTTI C., PUDDU A., ARTEGIANI A., PAGNOTTA R., 1995 - Nutrients, standing crop and primary production in the western coastal waters of the Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **41**, 493-513.

3. SEDIMENTI, POPOLAMENTI BENTONICI E PROCESSO DI COLONIZZAZIONE



CARATTERISTICHE TESSITURALI E CHIMICHE DEI SEDIMENTI SUPERFICIALI NELL'AREA A BARRIERE ARTIFICIALI DEL "CAMPO SPERIMENTALE"

TEXTURAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SURFICIAL SEDIMENTS IN THE ARTIFICIAL REEF AREA OF "CAMPO SPERIMENTALE"

A. DE LAZZARI, A. BOLDRIN, D. CASSIN

CNR-ISMAR ISTITUTO DI SCIENZE MARINE - Sezione di Venezia Castello 1364/A - 30122 Venezia

e-mail: amelia.delazzari@ismar.cnr.it

RIASSUNTO

Le caratteristiche dei sedimenti superficiali (granulometria, porosità, carbonio organico, azoto totale e carbonati) sono state descritte in una stazione costiera nell'Adriatico Settentrionale (Campo Sperimentale in Mare) prima e dopo la realizzazione di un'area a barriere artificiali. Il fondale su cui è allestito il Campo è costituito da sedimenti incoerenti fini di tipo silt-sabbioso proveniente dal mescolamento delle sabbie costiere con una componente fine dovuta alla deposizione e rimaneggiamento di materiali fluviali. Non sono emersi effetti significativi dovuti alla presenza delle barriere per un periodo di un anno dalla posa, mentre è stata osservata una variabilità stagionale.

ABSTRACT

The characteristics of surficial sediments (grain size, porosity, organic carbon, total nitrogen and carbonate) have been analysed before and after the realisation of an artificial reef area "Campo Sperimentale in Mare" in Northern Adriatic. Sediment in the area is fine sandy-silt type due to the mixing between coastal sand and a finer fraction came from deposition and reworking of riverine material. No significant differences due to the presence of artificial reef were observed during a year time cycle, moreover a seasonal variability was present.

INTRODUZIONE

Il Campo Sperimentale è stato realizzato mediante la posa di strutture sommerse di varie forme, dimensioni e materiali su un fondale a sedimenti incoerenti. L'introduzione di strutture può modificare in modo notevole la morfologia dei fondali incoerenti circostanti e determinare variazioni locali nella idrodinamica e sui tassi di sedimentazione dell'area con effetti di erosione od accumulo di sedimenti. Le barriere possono interagire con le correnti e le onde, modificando la granulometria dei sedimenti circostanti (Ambrose e Anderson, 1990). Nelle aree prossime alle barriere, inoltre, si accumulano vari materiali biogenici intrappolati dalle strutture e provenienti sia dall'attività biologica presente sui substrati duri sia prodotte al di fuori ed importate, che possono determinare un aumento del carico organico nei sedimenti (Davis *et al.*, 1982; Danovaro *et al.*, 2002). Tutti questi fattori possono modificare la composizione dell'epifauna e dell'infauna insediata nelle immediate vicinanze (Davis *et al.*, 1982, Ambrose e Anderson, 1990; Fabi *et al.*, 2002). Le barriere possono modificare in modo rilevante la densità e la composizione del meiobentos, con potenziali importanti

ripercussioni sulle catene trofiche e sui trasferimenti di energia (Danovaro *et al.*, 2002).

La distribuzione dei sedimenti superficiali nell'area in cui è situato il Campo Sperimentale è stata descritta da vari autori (Brambati e Venzo, 1967; Veniale *et al.*, 1974; Brambati *et al.*, 1983; Donazzolo *et al.*, 1983; Brambati *et al.*, 1988; Albani *et al.*, 1998). Da questi studi il fondale su cui è allestito il Campo risulta costituito da sedimenti classificabili come *fanghi del piano infra e circalitorale*, prevalentemente di tipo pelitico (granulometria <62 µm) con una bassa frazione sabbiosa (Fig. 1). Le caratteristiche deposizionali dell'area sono state descritte da Brambati e Venzo (1967), Favero (1979), Gatto (1984), Stefanon (1984).

Il Campo Sperimentale si trova in prossimità della foce del fiume Sile e a breve distanza dalla foce del Piave, quindi è interessato da processi di sedimentazione di materiali di origine fluviale. In generale, la dispersione dei sedimenti superficiali di origine fluviale lungo il litorale tra la foce del fiume Piave e la bocca di porto del Lido, in cui è ubicato il sito del Campo Sperimentale,

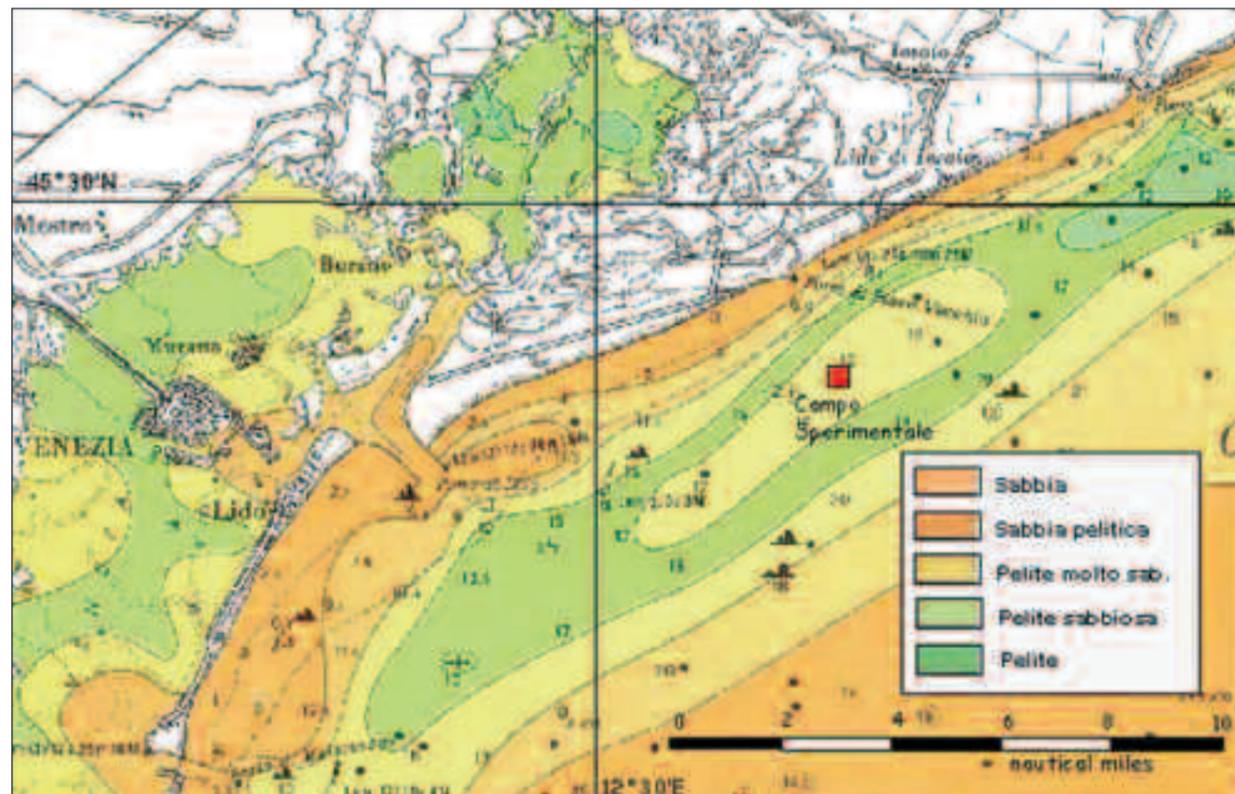


Fig. 1 - Distribuzione dei sedimenti tra Lido e la foce del fiume Piave (modificata, da Brambati *et al.*, 1983); è indicata la posizione del Campo Sperimentale.

avviene secondo fasce longitudinali pressoché parallele alla costa. Le direttrici di dispersione dei sedimenti sono in relazione con la quantità di apporti, l'intensità di distribuzione, di rimaneggiamento e l'elaborazione da parte degli agenti marini, come onde e correnti. Il moto ondoso è in grado di influire direttamente sulla sedimentazione pelitica in prossimità della costa, poiché rimette in sospensione le particelle argillose di minor dimensione che vengono catturate poi dal circuito costiero (Curzi *et al.*, 1985; Veniale *et al.*, 1974). Il trasporto e la dispersione dei sedimenti lungo il litorale sono influenzati principalmente dalla corrente costiera adriatica (Western Adriatic Coastal Current - WAC) che scorre lungo la costa occidentale ed è diretta verso sud. I sedimenti di natura sabbiosa sono limitati a poche centinaia di metri dalla costa e rappresentano la sedimentazione attuale (olocenica) del materiale terrigeno trasportato dai fiumi (Brambati *et al.*, 1983), mentre al largo sono presenti strutture sedimentarie relitte (Stefanon, 1984). I processi erosivi prevalgono approssimativamente a nord dell'area di studio mentre la sedimentazione è più attiva a sud (Gatto, 1984).

In questo studio vengono descritti gli aspetti sedimentologici dell'area in cui è situato il Campo Sperimentale e analizzata la variabilità temporale nel corso di un ciclo annuale, allo scopo di evidenziare eventuali modificazioni sulle caratteristiche del fondale indotte dalla presenza delle barriere artificiali. Queste ricerche, oltre a permettere l'identificazione di eventuali processi di erosione o accumulo dei sedimenti dovuti a variazioni nella dinamica conseguenti alla presenza di manufatti nell'area, potranno rappresentare un indispensabile complemento agli studi ecologici sui popolamenti bentonici di fondo mobile.

MATERIALI E METODI

CAMPIONAMENTO

La posizione dell'area a barriere artificiali, con la distribuzione dei sedimenti superficiali, è riportata in Fig. 1.

Allo scopo di valutare il possibile impatto delle strutture sulle caratteristiche sedimentologiche, le caratteristiche fisico-chimiche del fondo sono state analizzate prima e dopo la posa dei manufatti nel Campo per un periodo di circa un anno. L'area del Campo è stata inoltre confrontata con un sito di controllo localizzato a circa 500 m di distanza. Il campionamento è stato eseguito in stretto accordo e contemporaneamente con il campionamento del macrobentos di fondi mobili.

I campioni all'interno dell'area del Campo sono denominati **D** (=

Dentro), mentre con **F** (= Fuori) sono identificati i campioni raccolti nel sito di controllo.

La prima campagna di prelievo dei sedimenti è stata effettuata nel 28 luglio 2003 prima della posa del Campo (campagna 1); successivamente sono stati effettuati prelievi a cadenza stagionale: 26 gennaio (campagna 2), 3 maggio (campagna 3), 9 agosto (campagna 4) e 9 novembre 2004 (campagna 5), per un totale di 5 campagne di misura.

Il prelievo dei sedimenti superficiali (4-5 cm) è stato eseguito mediante benna Van Veen (Figg. 2, 3). Nella prima campagna sono state effettuate 5 repliche all'interno del Campo Sperimentale e 5 nel sito di riferimento esterno, e nelle restanti campagne, 3 repliche in ogni sito, per un totale di 34 campioni di sedimento. Dopo il prelievo, i campioni sono stati conservati a temperatura ambiente per le analisi granulometriche e a -20°C per le analisi chimiche. Sui campioni sono state effettuate le analisi della granulometria, della porosità e della concentrazione di carbonio organico, carbonio totale ed azoto totale. Dalle analisi delle repliche effettuate in ogni sito per ogni periodo si è infine ottenuto un valore medio rappresentativo di ogni situazione ed area analizzata.



Fig. 2 - Benna per il campionamento del bentos e dei sedimenti.



Fig. 3 - Operazione di prelievo dei campioni di sedimento da benna.

ANALISI GRANULOMETRICHE

Per le analisi granulometriche, il campione di sedimento superficiale è stato preventivamente trattato con acqua demineralizzata per l'eliminazione del sale e sottoposto a ripetuti trattamenti con acqua ossigenata H₂O₂ (a 10 volumi) fino all'eliminazione della materia organica. Successivamente il campione è stato setacciato con maglia da 500 µm per togliere dal sedimento la frazione grossolana. Tale frazione, costituita generalmente da frammenti biogenici, conchiglie e sabbia grossolana, è stata determinata per pesata ed è espressa come percentuale sul totale del sedimento.

Dopo l'eliminazione della componente > 500 µm, il rimanente del sedimento è stato analizzato per determinare le classi granulometriche nelle frazioni sabbiosa (500-64 µm), siltosa (64-4µm) e argillosa (<4 µm). Con il termine pelite inoltre si intende la frazione fine <64µm (silt +argilla).

L'analisi delle sabbie è stata effettuata mediante setacciatura a umido con setacci con maglie da 250, 125 e 64 µm per la stima delle frazioni 500-250 µm (sabbie medie), 250-125 µm (sabbie fini) e 125-64 µm (sabbie finissime). La frazione <64 µm è stata utilizzata per la determinazione delle frazioni fini (silt e argilla). Le analisi della pelite sono state effettuate mediante conteggio elettronico delle particelle per mezzo di un Coulter Counter Multisizer III (Sheldon et al., 1972). Per ogni campione l'analisi è stata condotta mediante 2 tubi con orifizio da 50 e da 100 µm, in 4 repliche per ogni tubo. Dalle analisi associate dei due tubi si sono ottenute le frequenze in 31 classi dimensionali di ampiezza logaritmica che consentono di coprire il range di 0.9 a 68.6 µm.

Per la descrizione sedimentologica è stata usata la scala di Wentworth (1922) ed i limiti dimensionali vengono anche espressi in notazione Φ (Φ = -log₂ mm; Krumbein, 1934), scala comunemente usata in sedimentologia.

Dai valori ottenuti dalle analisi delle sabbie e delle peliti (accorpati in classi di 1 Φ di ampiezza) è stata ottenuta la distribuzione granulometrica in peso percentuale del sedimento nel range 500-1 µm (1-10 Φ). I limiti dimensionali delle varie classi sono presentati in Tab. 1.

Tab. 1 - Scala granulometrica e limiti dimensionali in µm ed in unità Φ.

Nome	Limite superiore e inferiore	
	µm	Φ
Sabbia grossolana	1000 - 500	0 - 1
Sabbia media	500 - 250	1 - 2
Sabbia fine	250 - 125	2 - 3
Sabbia molto fine	125 - 64	3 - 4
Silt	64 - 32	4 - 5
	32 - 16	5 - 6
	16 - 8	6 - 7
	8 - 4	7 - 8
Argilla	4 - 2	8 - 9
	2 - 1	9 - 10

I parametri statistici della distribuzione granulometria (media, classazione o *sorting*, asimmetria o *skewness* e coefficiente di acutezza o *kurtosis*) sono stati calcolati in Φ, con il metodo analitico dei momenti (Inman, 1952; Boldrin e Rabitti, 1981).

ANALISI DELLA POROSITÀ E ANALISI CHIMICHE

La porosità (in volume percentuale) è stata calcolata dal volume dell'acqua interstiziale e dal volume del sedimento, stimati indirettamente da misure ponderali prima e dopo essiccazione (Buchanan, 1984), seguendo la seguente formulazione:

$$\text{Porosità} = \frac{V_{\text{acqua}} \times 100}{V_{\text{acqua}} + V_{\text{sed}}}$$

$$= \frac{P_{\text{acqua}}/D_{\text{acqua}} \times 100}{P_{\text{acqua}}/D_{\text{acqua}} + P_{\text{sed}}/D_{\text{sed}}}$$

Dove V= Volume (cm³), P= Peso (g), D= Densità (g cm⁻³). Per la densità dell'acqua interstiziale è stata utilizzata la densità misurata nella colonna d'acqua immediatamente sovrastante;

per la densità del sedimento è stato utilizzato il valore di 2,65 g cm⁻³ (densità del quarzo).

Le analisi chimiche sui sedimenti hanno riguardato in particolare la determinazione del carbonio organico (C_{org}), del carbonio totale (C_{tot}) e dell'azoto totale (N_{tot}).

Il sedimento superficiale, conservato a -20°C, è stato essiccato in stufa a 60°C e ridotto in polvere mediante macinazione in mortaio di agata. Per ogni campione sono state analizzate tre repliche. I subcampioni (5-15 mg) per la determinazione del carbonio totale sono stati analizzati senza ulteriori trattamenti, mentre, per l'analisi del carbonio organico, è stato eliminato dal campione il carbonio inorganico mediante trattamento con HCl al 10% (Sharp, 1974; Froelich, 1980; Hedges e Stern, 1984). Le analisi sono state effettuate mediante analizzatore elementare CHN Perkin-Elmer mod. 2400 (Scotto, 1987). Come standard è stato utilizzata *Acetanilide - Standard Reference Material* per microanalisi del NIST - National Institute of Standards and Technology del Department of Commerce (USA).

Dalla concentrazione di carbonio inorganico, stimato dalla differenza C_{tot} - C_{org}, si è ottenuto il contenuto in carbonati totali, assumendo che tutto il carbonio inorganico sia rappresentato da CaCO₃ e considerando un rapporto carbonato/carbonio inorganico pari a 8,33.

RISULTATI

ANALISI GRANULOMETRICHE

La frazione detritica (>500 µm, calcolata sul totale del sedimento) è costituita da bio-detrito carbonatico, generalmente

frammenti conchigliari, di varia dimensione e rappresenta mediamente da 0,9% a 3,6% (range 0,2-6,9%) del sedimento totale, con una elevata variabilità all'interno delle repliche, in particolare nei campioni F. Le concentrazioni mediamente più elevate (2,65%) sono state misurate nella stazione F, i valori misurati nella stazione D sono in media più bassi (1,29%) e presentano una minor dispersione fra le repliche (Fig. 4).

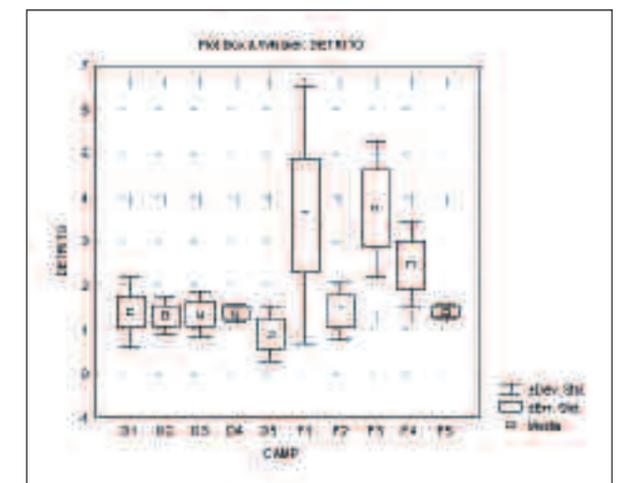


Fig. 4 - Media, deviazione standard e errore standard della frazione detritica in percentuale (plot box & whisker) nelle stazioni D e F nelle 5 campagne.

I dati granulometrici, espressi come medie delle repliche effettuate, suddivisi in classi dimensionali di 1 Φ di ampiezza, sono riportati in Tab. 2, mentre in Tab. 3 sono riportate le percentuali delle frazioni sabbia, silt, argilla e pelite, le percentuali sono calcolate sulla frazione di sedimento >500 µm.

Tab. 2 - Composizione granulometrica dei sedimenti nelle stazioni D e F. I valori sono espressi in percentuale in peso, media delle repliche, suddivisi in classi di 1 Φ di ampiezza.

Staz.	Data	Sabbia			Silt				Argilla	
		µm 500-250 Φ 1-2	250-125 2-3	125-64 3-4	64-32 4-5	32-16 5-6	16-8 6-7	8-4 7-8	4-2 8-9	2-1 9-10
D1	28-07-2003	6,3	8,3	9,5	11,6	23,6	20,5	12,4	5,1	2,6
D2	26-01-2004	7,5	9,7	11,9	18,7	21,0	14,2	9,6	4,6	2,8
D3	3-05-2004	5,0	6,8	8,2	13,8	21,2	21,0	15,2	5,9	2,9
D4	9-08-2004	5,5	6,7	10,1	8,9	21,7	22,5	15,5	6,1	3,0
D5	9-09-2004	8,4	10,2	9,4	15,6	22,0	17,1	11,0	4,3	2,0
F1	28-07-2003	7,8	9,1	9,5	13,0	19,3	18,6	13,6	5,8	3,3
F2	26-01-2004	7,6	10,7	10,6	12,6	18,2	17,3	13,8	5,5	3,6
F3	3-05-2004	9,6	10,7	9,6	10,8	18,3	18,7	13,5	5,8	2,9
F4	9-08-2004	7,1	9,4	8,4	7,9	20,2	21,6	15,7	6,5	3,2
F5	9-09-2004	5,9	7,8	7,4	10,1	19,8	22,7	16,4	6,7	3,1

Tab. 3 - Valori percentuali di Sabbia, Silt, Argilla e Pelite (<64 µm). Sono presentati i valori medi, la deviazione standard (stdev) e il numero di repliche (n) analizzate per le stazioni D e F e per campagna.

Staz.	Data	Sabbia %	Silt %	Argilla %	Pelite %
D1	28-07-2003	n 5	5	5	8
	media	24,1	68,2	7,7	75,9
	stdev	4,50	3,81	1,71	4,53
D2	28-01-2004	n 3	3	3	3
	media	29,2	63,5	7,3	70,8
	stdev	7,16	5,50	4,61	7,18
D3	3-05-2004	n 3	3	3	3
	media	20,0	71,2	6,7	80,0
	stdev	3,26	1,87	2,50	3,28
D4	9-08-2004	n 3	3	3	3
	media	22,3	68,6	8,1	77,7
	stdev	3,87	2,85	1,16	3,81
D5	9-09-2004	n 3	3	3	3
	media	28,0	65,7	6,3	72,0
	stdev	4,02	4,58	0,63	4,03
F1	28-07-2003	n 3	3	3	3
	media	25,4	64,4	9,2	73,6
	stdev	2,81	1,75	1,47	2,81
F2	28-01-2004	n 3	3	3	3
	media	28,8	61,9	9,2	71,1
	stdev	2,57	0,80	2,35	2,67
F3	3-05-2004	n 3	3	3	3
	media	30,0	61,3	8,7	70,1
	stdev	4,58	2,70	1,95	4,58
F4	9-08-2004	n 3	3	3	3
	media	24,9	65,4	9,7	75,1
	stdev	7,67	4,34	1,35	7,67
F5	9-09-2004	n 3	3	3	3
	media	21,2	69,0	9,8	78,8
	stdev	3,11	0,81	1,17	3,11

I sedimenti analizzati nel Campo Sperimentale (campioni D) e nel sito di controllo (campioni F) corrispondono tutti al tipo tessutturale SILT SABBIOSO, secondo la classificazione proposta da Shepard (1954), con percentuali di sabbia generalmente inferiori al 30% e una frazione siltosa predominante (in media tra il 61,3 e il 69,0%, Fig.5). In tutti i campioni la frazione argillosa rappresenta meno del 13% del totale (Fig. 5).

Nei sito F sembra essere presente un ciclo annuale con valori di sabbia più elevati nei periodi invernali e primaverili (sino al 30%); il silt segue un andamento opposto, presentando negli stessi periodi i minimi. L'argilla non mostra in questi campioni un andamento particolare. Il sito D non mostra un analogo andamento stagionale.

La frazione siltosa è generalmente più abbondante nei campioni D rispetto ai campioni F (media 67,54% e 64,40%, rispettivamente), mentre la frazione argillosa prevale nei campioni F (media 9,29% contro 7,82% in D). La componente sabbiosa è compresa nel range 20,01 - 29,95% ed è maggiore nei campioni F rispetto a quelli D (media 26,31% contro 24,64%). In tutti i campioni prevalgono le sabbie fini e molto fini.

Il campione di luglio 2003 (prima della posa del Campo)

presenta una componente sabbiosa minore rispetto al campionamento successivo (gennaio 2004), passando da 25,3% a 29,1%, media dei due siti.

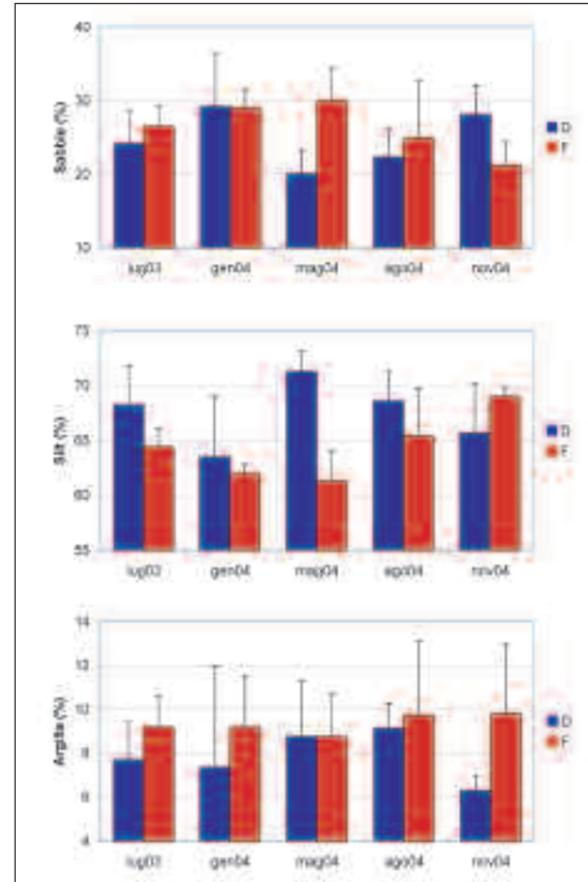


Fig. 5 - Medie e deviazione standard delle percentuali di Sabbia, Silt e Argilla dei campioni di sedimento nelle stazioni D e F nelle 5 campagne.

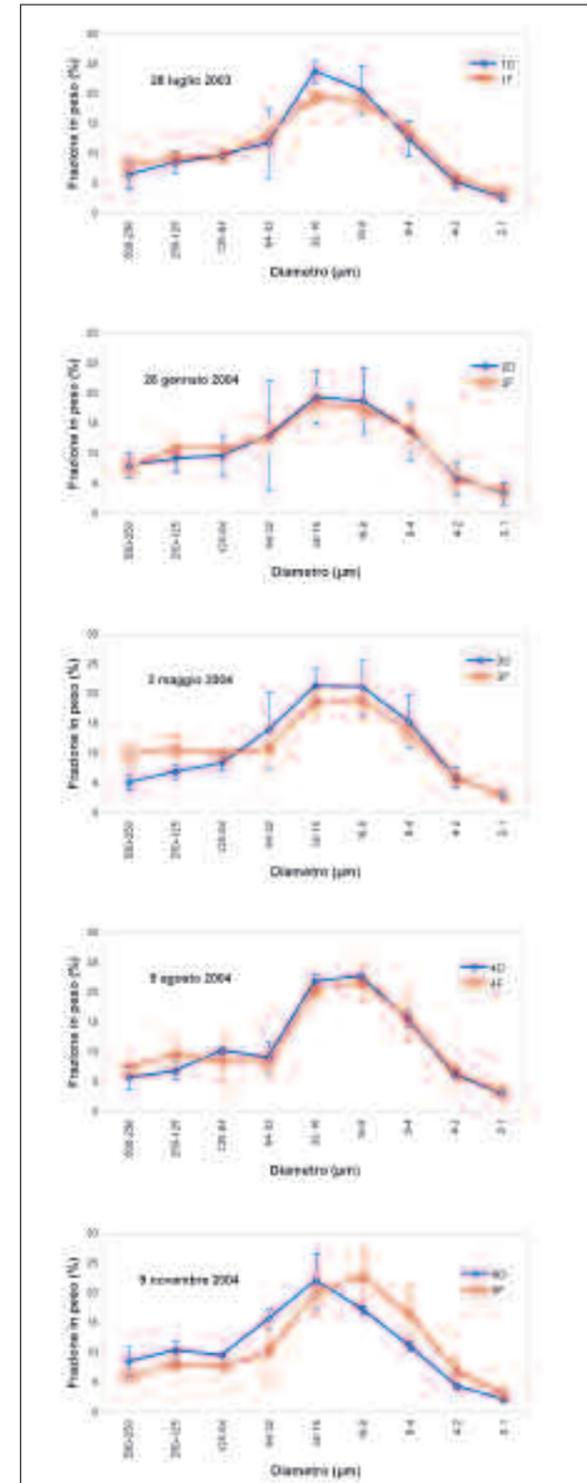


Fig. 6 - Curve granulometriche medie dei campioni D e F suddivisi per data di campionamento. Sono indicate le deviazioni standard delle repliche. In ascissa sono riportati i limiti superiore ed inferiore delle classi granulometriche in µm.

Le curve granulometriche (Fig. 6) presentano una moda principale nella classe dimensionale 32-16 µm (5-6 Φ) o in quella 16-8 µm (6-7 Φ). La granulometria mostra una sostanziale concordanza dentro e fuori del Campo nel campionamento prima dell'installazione, in maggio ed in agosto 2004. E' invece stato osservato un aumento della classe modale nella stazione dentro il campo subito dopo la posa in gennaio e nel novembre 2004.

Tab. 4 - Parametri statistici della distribuzione dimensionale del sedimento.

Stazione	Data	Parametri statistici (Φ)			
		Media	Sorting	Skewness	Kurtosis
D1	28-07-2003	5,40	1,95	-0,24	2,51
D2	28-01-2004	5,07	1,98	0,07	2,47
D3	3-05-2004	5,60	1,92	-0,29	2,60
D4	9-08-2004	5,63	1,98	-0,35	2,55
D5	9-09-2004	5,11	1,99	-0,13	2,38
F1	28-07-2003	5,36	2,08	-0,17	2,28
F2	28-01-2004	5,30	2,12	-0,09	2,19
F3	3-05-2004	5,24	2,16	-0,16	2,13
F4	9-08-2004	5,54	2,08	-0,34	2,33
F5	9-09-2004	5,66	2,03	-0,40	2,51

I parametri statistici, in unità Φ, della distribuzione dimensionale sono presentati in Tab. 4.

La media oscilla fra i 5,07 e 5,66 Φ (20-30 µm). Il sorting è compreso tra 1,92-2,16, indicativo di un sedimento poco selezionato (Folk e Ward, 1957); i campioni F presentano valori di sorting mediamente più elevati. Il coefficiente di asimmetria o skewness, indicativo della omogeneità del sedimento, nei campioni in esame è nel range 0,07 e -0,40, mostrando curve prossime ad una distribuzione normale (valori tra -0,01 e 0,01) o un eccesso nella frazione grossolana (valori negativi), caratteristici di aree ad alta energia. I valori di kurtosis, rapporto tra la dispersione nella parte centrale e nelle code, vanno da 2,13 a 2,60, indicando una curva più acuta (leptocurtica) rispetto alla distribuzione normale.

ANALISI CHIMICHE

In Tab. 5 vengono presentati i valori medi e le deviazioni standard, calcolati sulle repliche effettuate nel Campo (sito D) e nell'area di confronto (sito F), della Porosità, del Carbonio organico (C_{org}), dei Carbonati, dell'Azoto totale (N_{tot}) e del rapporto molare C_{org}/N_{tot} (C/N).

Tab. 5 - Valori di Porosità, Carbonio organico (C_{org}), Carbonati totali, Azoto totale (N_{tot}) e rapporto C/N molare. Sono calcolate le medie, la deviazione standard (stdev) e il numero di repliche (n) analizzate per le stazioni D e F e per campagna.

Staz.	Data	Porosità %	US	C-ORG %	Carboni %	N-TOT %	C/N mol	
D1	25-07-2003	media	70,54	1,25	0,82	57,87	0,067	10,79
		stdev	9,22	0,07	0,07	1,39	0,004	0,51
D2	26-01-2004	media	46,33	1,44	0,58	57,96	0,068	12,11
		stdev	7,33	0,02	0,05	1,44	0,003	1,23
D3	3-04-2004	media	60,22	1,44	0,52	58,48	0,068	6,40
		stdev	7,88	0,02	0,07	0,36	0,001	0,41
D4	9-08-2004	media	71,39	1,44	0,47	58,41	0,067	9,74
		stdev	9,12	0,02	0,06	1,32	0,007	2,23
D6	9-09-2004	media	78,24	1,46	0,61	58,08	0,068	9,83
		stdev	7,14	0,04	0,06	0,87	0,006	0,28
F1	26-07-2003	media	75,33	1,62	0,64	67,90	0,076	10,38
		stdev	3,08	0,08	0,07	0,77	0,006	0,71
F2	26-01-2004	media	53,28	1,50	0,66	58,91	0,072	9,93
		stdev	7,69	0,02	0,07	0,77	0,010	0,54
F3	3-05-2004	media	81,20	1,45	0,52	59,16	0,068	10,27
		stdev	6,89	0,02	0,06	0,35	0,007	1,59
F4	9-08-2004	media	76,89	1,48	0,68	59,02	0,076	9,93
		stdev	8,42	0,03	0,12	2,87	0,019	2,28
F6	9-09-2004	media	76,29	1,50	0,62	58,85	0,068	9,93
		stdev	6,45	0,01	0,07	1,25	0,004	1,24

La porosità presenta valori medi compresi tra 53,39% e 81,30% (Fig. 7). Questo parametro sembra presentare una variabilità stagionale, con minimi nella stagione invernale (gennaio 2004). In generale la porosità ha valori maggiori nei campioni F (media 72,96%) rispetto ai campioni D (media 70,22%), con differenze tra i due siti significative soltanto a gennaio (p<0,05). I campioni raccolti prima dell'allestimento del Campo (luglio 2003) presentano una porosità inferiore in confronto alla stessa situazione stagionale (agosto 2004) dopo l'installazione del Campo.

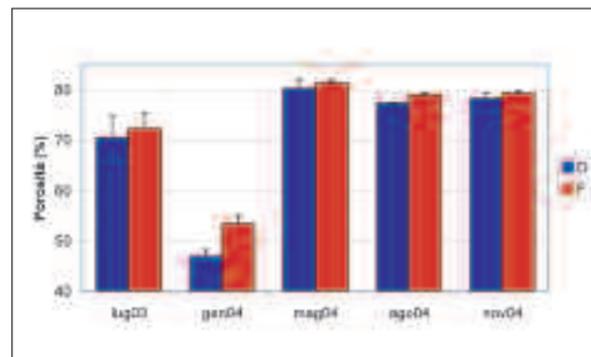


Fig. 7 - Porosità media e deviazione standard in luglio 2003, gennaio, maggio, agosto e novembre 2004, nelle stazioni D e F.

La concentrazione di Carbonio organico nel sedimento (Fig. 8) è compresa tra 0,47 e 0,62% nei campioni D e 0,52-0,66% nei

campioni F. I campioni F presentano una percentuale di C_{org} superiore rispetto ai campioni D (media 0,59% e 0,55%, rispettivamente), con differenze non significative. Concentrazioni analoghe sono state misurate nel Golfo di Trieste da Ogrinc *et al.* (2005). Le due stazioni D e F presentano un andamento stagionale analogo con massimi in luglio 2003 e una tendenza a diminuire nel tempo. La percentuale più bassa di carbonio organico è stata misurata all'interno del Campo in agosto 2004. La concentrazione di azoto totale (Fig. 8) è compresa tra 0,057 e 0,075%, con valori più elevati prima dell'installazione del Campo. In media i campioni F presentano concentrazioni di N_{tot} superiori rispetto ai campioni D (0,070% contro 0,062%). I valori misurati sono inferiori rispetto a quelli ottenuti da Ogrinc *et al.* (2005) per il Golfo di Trieste.

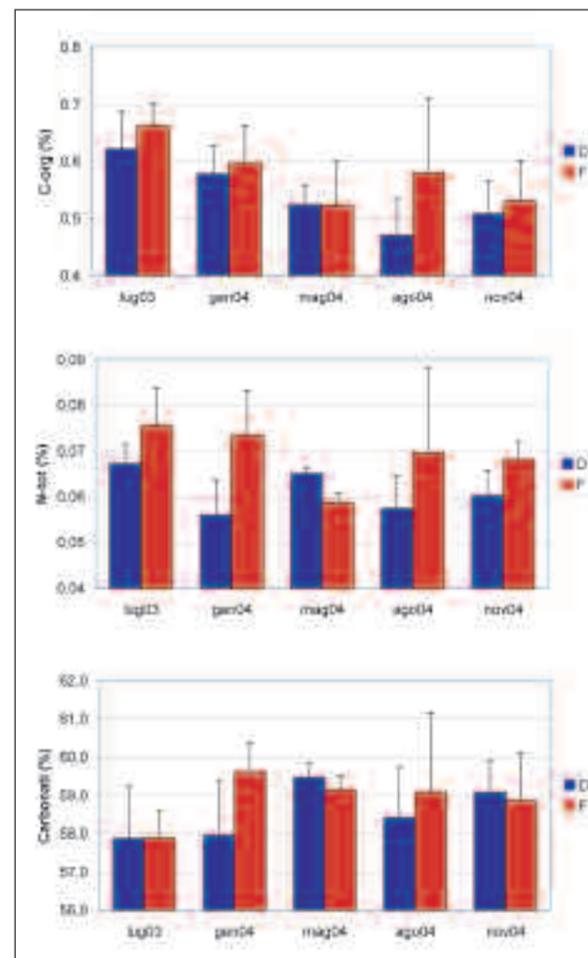


Fig. 8 - Carbonio organico (C-org), Azoto totale (N-tot) e Carbonati nei campioni di sedimento nelle stazioni D e F nelle 5 campagne. Valori medi e deviazione standard, in percentuale in peso.

La frazione carbonatica (Fig. 8) rappresenta il 56,34 - 61,26% del sedimento, confermando la natura prevalentemente calcarea dei sedimenti presenti nell'area costiera nord adriatica (Stefanini, 1968; Jobstraibizer e Salesiani, 1973; Donazzolo *et al.*, 1983). Le concentrazioni medie nei due siti sono molto vicine (58,48% in D, 58,80% in F), i valori minimi sono stati rilevati in luglio 2003.

Il rapporto C/N molare (Fig. 9) ha valori compresi tra 7,2 e 13,1, nel range già noto in letteratura per l'Adriatico Settentrionale (Stefanini, 1969; Ogrinc *et al.*, 2005). Nei campioni D il rapporto C/N ha mostrato un aumento fino a 12,11 dopo la posa del Campo e successivamente valori inferiori a 10. Nei campioni F, il C/N non mostra trend particolari. Elevati valori del rapporto C/N (vicini a 10 o superiori) nei depositi pelitici starebbero ad indicare un'origine continentale della sostanza organica piuttosto che marina e la natura vegetale piuttosto che animale (Stefanini, 1969).

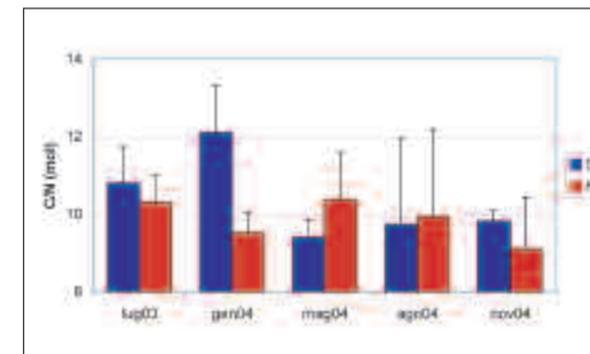


Fig. 9 - Rapporto C/N molare (media e deviazione standard) in luglio 2003, gennaio, maggio, agosto e novembre 2004, nelle stazioni D e F.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il fondale su cui è allestito il Campo è costituito da sedimenti incoerenti di tipo pelitico, con diametri dei granuli prevalenti tra 64 e 8 µm, e con una frazione sabbiosa compresa tra il 20 e 30 %, classificabili come silt sabbioso. Nella composizione mineralogica prevale la frazione carbonatica sempre superiore al 50% del totale, mentre la frazione organica è circa l'1% (corrispondente al 0,5% di carbonio organico).

Il sedimento nel suo complesso si presenta poco classato, quindi eterometrico, e di provenienza multipla, riconducibile al mescolamento delle sabbie costiere con una componente fine siltosa e, in misura subordinata, argillosa, dovuta alla deposizione e rimaneggiamento di materiali fluviali, come anche evidenziato dalla composizione della sostanza organica.

Uno degli scopi di questa ricerca era valutare eventuali variazioni del fondo dovute alla realizzazione del Campo. Da questo studio non è stato possibile evidenziare variazioni chiare e significative nelle condizioni sedimentologiche fisico-chimiche prima e dopo posa delle strutture.

I trend osservati durante il periodo di analisi risultano spesso non costanti e coerenti nel tempo e inoltre possono presentarsi anche nel sito di controllo. Limitate modificazioni sono state messe in evidenza nel periodo immediatamente successivo alla posa sia nella granulometria che nel contenuto organico del sedimento.

Dal punto di vista granulometrico, in gennaio 2004, immediatamente dopo la posa, si è verificato un aumento della sabbia all'interno del Campo ed una parallela diminuzione della frazione siltosa, tuttavia questo aumento è presente anche nel sito di controllo e non è stato confermato nei campionamenti successivi. Una tendenza all'aumento della granulometria è stata notata in prossimità di barriere anche in altri studi (Davis *et al.*, 1982; Ambrose e Anderson, 1990; Danovaro *et al.*, 2002), ed è attribuita all'aumento della frazione di detriti conchigliari (Davis *et al.*, 1982). E' stata inoltre osservata una progressiva diminuzione della percentuale di carbonio organico nel Campo dopo la posa delle strutture, andamento in parte seguito anche nel sito di confronto. In strutture analoghe per contro è stata descritta una generale tendenza all'aumento della frazione organica accompagnata da variazioni significative anche nella concentrazione in alcuni parametri biochimici (Davis *et al.*, 1982; Danovaro *et al.*, 2002), variazioni che sono state correlate a modifiche nelle condizioni idrodinamiche e nella micromorfologia del fondo.

Le differenze osservate fra i campioni raccolti prima e dopo la

realizzazione delle barriere e fra i campioni del Campo e quelli del sito di controllo non raggiungono generalmente un livello di significatività, risultando comprese nel range di variabilità delle repliche effettuate e quindi non distinguibili dalla eterogeneità spaziale del substrato, facendo presumere che le dinamiche stagionali siano dominanti rispetto agli effetti imputabili alla presenza delle opere del Campo Sperimentale. Bisogna peraltro considerare che l'impatto delle barriere sui fondali circostanti potrebbe essere limitato alle immediate vicinanze (spesso solo pochi metri) delle opere, come messo in evidenza da Ambrose e Anderson (1990), e non evidenziabile con la strategia di campionamento seguita nel nostro caso. Inoltre, dato il breve periodo dalla realizzazione delle opere, la situazione sedimentologica dell'area potrebbe essere in una fase non ancora stabilizzata, e quindi non si possono escludere eventuali evoluzioni delle condizioni sedimentologiche nel tempo.

BIBLIOGRAFIA

ALBANI, A. D., FAVERO V.M., SERANDREI BARBERO R., 1998 - Distribution of Sediment and Benthic Foraminifera in the Gulf of Venice, Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **46**, 251-265.

AMBROSE R.F., ANDERSON T.W., 1990 - Influence of an artificial reef on the surrounding infaunal community. *Marine Biology*, **107**, 41-52.

BOLDRIN A., S. RABITTI, 1981 - Utilizzazione del calcolatore tascabile in sedimentologia. *Geologia tecnica*, **1**, 15-19.

BRAMBATI, A., G.A. VENZO, 1967 - Recent sedimentation in the Northern Adriatic Sea between Venice and Trieste. *St. Trent. Sc. Nat. Sez.A*, **XLIV**, 202-274.

BRAMBATI, A., M. CIABATTI, G.P. FANZUTTI, F. MARABINI, R. MAROCCO, 1983 - A new sedimentological textural map of Northern Adriatic Sea. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, **1 (4)**, 267-271.

BRAMBATI, A., M. CIABATTI, G.P. FANZUTTI, F. MARABINI, R. MAROCCO, 1988 - Sedimentological map of the Northern Adriatic Sea. Brambati and Uras Eds. "CNR: Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini". Istituto Geografico De Agostani, Novara.

BUCHANAN, J.B. 1984 - Sediment Analysis. In: *Methods for the study of marine benthos*. Ed.s Holme N.A. e A.D. McIntyre, 387.

CURZI P.V., LANDUZZI V., TOMADIN L., 1985 - Dispersione dei sedimenti pelitici attuali nell'Adriatico Centrale. *Atti Convegno Centro Ricerche Energia Ambiente*, S. Teresa, 97-109.

DANOVARO R., GAMBI C., MAZZOLA A., MIRTO S., 2002 - Influence of artificial reefs on the surrounding in fauna: analysis of meiofauna. *ICES Journal of Marine Science*, **59**: S356-S362.

DONAZZOLO, R., MENEGAZZO VITTURI L., ORIO A.A., B. PAVONI, 1983 - DDT and PCBs in sediments of the Venice gulf. *Environmental Technology Letters*, **4**, 451-462.

DAVIS N., VANBLARICOM G.R., DAYTON P.K., 1982 - Man-made structures on marine sediments: effects on adjacent benthic communities. *Marine Biology*, **70**: 295-303.

FABI G., LUCCARINI F., PANFILI M., SOLUSTRI C., SPAGNOLO A., 2002 - Effects of an artificial reef on the surrounding soft-bottom community (central Adriatic Sea). *ICES Journal of Marine Science*, **59**: S343-S349.

FAVERO, V.M., 1979 - Aspetti dell'evoluzione recente dell'alto Adriatico. In *Convegno Scientifico Nazionale P. F. Oceanografia Fondi Marini*, Roma, 1219-1231.

FOLK, R.L., WARD W. C., 1957 - Brazos river bar: a study in the

significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrology*, **27**, 3-26.

FROELICH, P.N., 1980 - Analysis of organic carbon in marine sediments. *Limnol. Oceanogr.*, **25**, 564-572.

GATTO, P., 1984 - Il cordone litoraneo della laguna di Venezia e le cause del suo degrado. *Progetto Finalizzato Promozione della Qualità dell'Ambiente*, sottoprogetto Acqua (Un. Op. 2,1, 7/a3), 1-32.

HEDGES, J.I., STERN J.H., 1984 - Carbon and nitrogen determination of carbonate-containing solids. *Limnol. Oceanogr.*, **29**: 657-663.

INMAN, D.L., 1952 - Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, **22 (3)**, 125-145.

JOBSTRAIBIZER P., MALESANI P., 1973 - I sedimenti dei fiumi veneti. *Mem. Soc. Geol. It.*, **2**, 411-452.

KRUMBEIN, 1934 - Size frequency distribution of sediments. *Jour. Sed. Petrology*, **4 (2)**:65-77.

OGRINC N., FONTOLAN G., FAGANELI J., COVELLI S., 2005 - Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Marine Chemistry*, **95**, 163-181.

SCOTTO, P., 1987 - PE 2400 CHN Analizzatore elementare per carbonio, idrogeno e azoto. *Strumenti tecniche Metodiche*, **4**, 2, novembre 1987.

SHARP, J. H., 1974 - Improved analysis for "particulate" organic carbon and nitrogen from seawater. *Limnol. Oceanogr.*, **19**, 984-989.

SHELDON, R. W., PRAKASH, A., SUTCLIFFE, W.H., 1972 - The size distribution of particles in the ocean. *Limnol. Oceanogr.*, **17**, 327-340.

SHEPARD, F. P., 1954 - Nomenclature based on sand-silt clay ratios. *J. Sedim. Petrol.* **24 (3)**, 151-158.

STEFANINI S., 1968 - Distribuzione dei carbonati di calcio e di magnesio nelle sabbie dei fiumi tributari dell'Adriatico Settentrionale tra Venezia e Trieste e dei loro principali affluenti. *Studi Trentini di Scienze Naturali*, Sez. A, **XLV**, 2, 100-124.

STEFANINI S., 1969 - Distribuzione del carbonio e dell'azoto organici nei sedimenti recenti dell'Adriatico Settentrionale tra Venezia e Trieste. *Pubblicazione n°10 del Museo Friulano di storia Naturale*, 1-21.

STEFANON, A., 1984 - Sedimentologia del Mare Adriatico: rapporti tra erosione e sedimentazione olocenica. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, **11 (4)**, 281-324.

VENIALE, F., SOGGETTI F., PIGORINI B., DAL NEGRO A., 1974 - "Effetto delle correnti marine sulla dispersione dei minerali argillosi nei

sedimenti di fondo del mare Adriatico. I: area estendentesi dal delta del Po al golfo di Trieste". *Estudios geologicos*, Vol. **XXX**, 389-392.

WENTWORTH, C.K., 1922 - A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journ. of Geol.*, **30**, 377-392.

EFFETTI DELL'INTRODUZIONE DI SUBSTRATI ARTIFICIALI SULLA STRUTTURA DELLE COMUNITÀ BENTONICHE DI SUBSTRATO MOBILE

EFFECTS ON SOFT-BOTTOM BENTHIC COMMUNITIES DUE TO THE INTRODUCTION OF ARTIFICIAL STRUCTURES

D. TAGLIAPIETRA, V. ZANON, G. FRANGIPANE, G. PESSA, P. CORDONE, E. KEPPEL, G.A. FENZI
 CNR-ISMAR ISTITUTO DI SCIENZE MARINE - Sezione di Venezia - Castello 1364/A - 30122 Venezia
 e-mail: davide.tagliapietra@ve.ismar.cnr.it

RIASSUNTO

Nell'area del Campo Sperimentale (CS) sono stati posati blocchi di calcestruzzo, manufatti in metallo di varia tipologia e strutture flottanti per la raccolta di seme di bivalvi e per gli esperimenti di stabulazione di molluschi.

L'introduzione di substrati duri in un ambiente caratterizzato da sedimenti mobili può indurre modifiche di vario genere anche nella struttura delle comunità biologiche di substrato mobile: l'obiettivo del presente studio è stato seguire l'evolvere della comunità macrozoobentonica per un anno dopo la posa in opera dei substrati artificiali.

Da luglio 2003 ad ottobre 2004 sono state eseguite 5 campagne stagionali in due siti collocati uno all'interno ed uno all'esterno del CS.

Nel presente lavoro sono illustrati i dati relativi alle abbondanze numeriche e alla diversità specifica; è stata valutata la similarità tra i due siti tramite analisi univariata e multivariata.

I dati sperimentali evidenziano che le dinamiche delle comunità oggetto di studio risultano più legate all'andamento stagionale piuttosto che a differenze sito-specifiche o all'influenza dei substrati artificiali collocati presso il sito interno.

ABSTRACT

In the area of the "Campo Sperimentale" artificial structures consisting in concrete cubes were placed onto a muddy bottom. The aim of the present study was to follow the evolution of soft-bottom macrobenthic assemblages in order to detect possible changes induced by the presence of the structures; for the purpose two stations were sampled seasonally from Summer 2003 to Autumn 2004. Results suggest that the assemblages were more influenced by seasonal changes than spatial differences or by artificial structures. The nature of benthic assemblages indicates that sedimentary processes are dominant in the area probably driven by the Sile river plume and by the vicinity of a conspicuous mussel farm.

INTRODUZIONE

Il fondale presente nel tratto di mare, nel quale è stato allestito il Campo Sperimentale, è caratterizzato da sedimenti incoerenti quali le peliti sabbiose e, secondo la codifica EUNIS dell'Agenzia Europea per l'Ambiente, è classificabile come A4.3 - Fanghi del piano infra- e circolatorale compresa tra A4.31 - Biocenosi in fanghi marini poco profondi e A4.34 - Biocenosi in fanghi costieri di origine terrestre (Lapresa *et al.*, 2004). Inoltre l'apporto sedimentario di origine fluviale, che genera un fondale caratterizzato da sedimenti terrigeni di prodelta, è probabilmente aumentato dalla presenza dei vicini parchi a mitili.

L'innesto di substrati duri artificiali in un ambiente caratterizzato da sedimenti mobili induce modifiche nella struttura delle comunità biologiche; è probabile quindi che l'influenza diretta ed indiretta delle strutture del campo sperimentale e delle comunità

che andranno a colonizzarle si faccia sentire anche sulle comunità bentoniche di fondo mobile.

L'introduzione di substrati duri artificiali apre problematiche complesse. I substrati duri, ad esempio, possono avvantaggiare gli organismi che li usano come riparo, ma possono al contempo attrarre e concentrare i predatori dagli habitat circostanti.

Strutture complesse nel loro gioco con le correnti possono aumentare il tasso di sedimentazione o di erosione, cambiando la tessitura stessa dei sedimenti. Gli organismi filtratori, che si insediano sui substrati duri del campo sperimentale, possono anche aumentare la biodeposizione di sostanza organica, alterando così i rapporti trofici del reparto bentonico.

L'obiettivo della linea di ricerca del presente studio è stato quello di seguire l'evolvere della comunità macrozoobentonica per un anno dopo la posa in opera dei substrati artificiali.

Per conseguire tale scopo si è deciso di seguire, con cadenza stagionale, l'evoluzione delle comunità di fondo mobile in

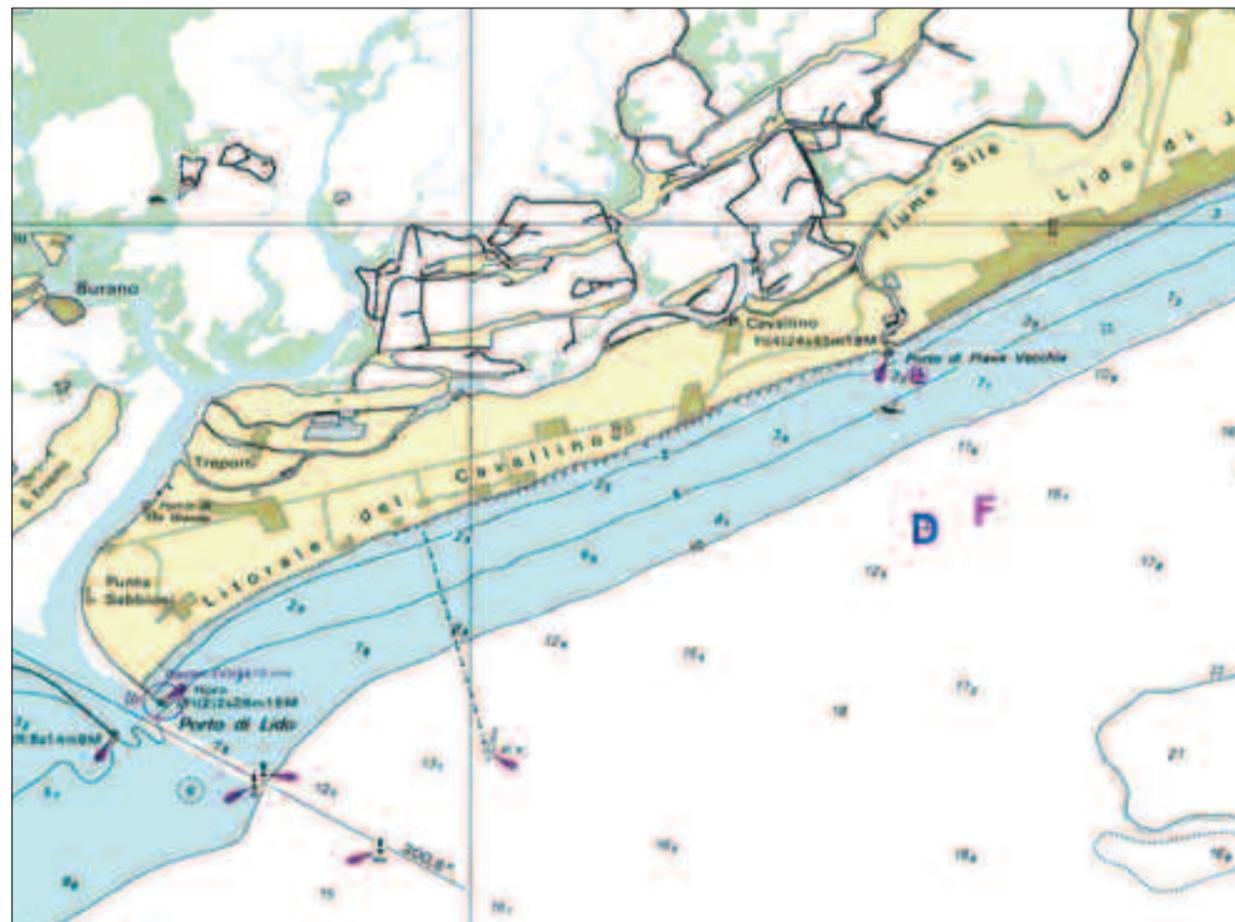


Fig. 1 - Localizzazione dei due siti di campionamento (D= sito interno al Campo Sperimentale e F= sito esterno).

maniera comparativa confrontando due stazioni: una collocata all'interno del campo sperimentale in prossimità dei nuovi substrati artificiali ed una, considerata come sito di controllo esterno, esterna al campo stesso.

Se un effetto delle strutture artificiali è evidenziabile questo dovrebbe essere concretizzato nella differenza tra benthos prossimo a tali substrati e quello che ne è lontano.

MATERIALI E METODI

SCELTA DELLE STAZIONI DI CAMPIONAMENTO

In considerazione del fatto che si debbono valutare gli effetti indotti dalle nuove strutture e dalle modificazioni dell'ambiente, risulta necessario avere un sito di controllo esterno. Tale sito deve possedere le stesse caratteristiche di partenza del sito sul quale vanno posate le strutture artificiali del campo sperimentale, ma esserne sufficientemente lontano da non risentirne l'influenza.

La stazione oggetto di studio è rappresentata da un'area circolare con una superficie pari a circa 100 m²; per rappresentare correttamente la variabilità di tale area nella distribuzione degli animali bentonici sono necessarie, perciò, un certo numero di prese di benna. Ciò è dovuto sia alla microtopografia del luogo, sia alla naturale distribuzione - aggregata e discontinua - della maggioranza delle specie bentoniche, sia alla minore frequenza spaziale delle specie rare. Prima della campagna preliminare è stata effettuata una ricognizione in campo della situazione di partenza. In questa occasione si è definita la collocazione del sito di riferimento. Sono state cioè scelte due stazioni denominate "D" (Dentro il CS), nei pressi delle strutture artificiali, ed "F" (Fuori del CS), il sito di riferimento, distanti tra loro circa 500 m (Fig. 1).

Sulla base delle curve area-specie, 5 repliche (bennate), da 0.1 m² ciascuna, sono state considerate appropriate per descrivere la variabilità interna ad ogni stazione; durante ogni campagna stagionale, perciò, sono stati prelevati due campioni composti ognuno da 5 repliche (10 prese di benna per uscita). Le coordinate delle stazioni rilevate sul campo il 18.07.03 alla data della loro prima fissazione sono indicate in Tab. 1.

Tab. 1 - Localizzazione delle stazioni di campionamento.

Stazione	Latitudine (WGS84)	Longitudine (WGS84)
D (Campo Sperimentale)	45° 27' 4.00"	12° 35' 30.00"
F (Controllo)	45° 27' 7.60"	12° 35' 54.30"

TEMPISTICA

Il progetto ha avuto una durata di diciotto mesi per un totale di cinque campagne, di cui una preliminare e quattro stagionali. Tra la posa delle strutture artificiali e la prima delle quattro campagne stagionali è stato lasciato trascorrere un lasso di tempo tale da consentire un certo assestamento dell'area. Sono state quindi effettuate le Campagne elencate in Tab. 2.

Tab. 2 - Elenco delle cinque campagne.

Campagna	Data	Codice
Preliminare	18.07.03	1
Invernale	26.01.04	2
Primaverile	03.05.04	3
Estiva	09.08.04	4
Autunnale	09.11.04	5

ATTIVITÀ DI CAMPO E DI LABORATORIO

Per le attività di campo e di laboratorio sono state utilizzate le metodiche classiche per lo studio delle comunità bentoniche di fondo mobile, riportate anche nel recente "Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo" (Castelli *et al.*, 2003).

I campioni sono stati prelevati usando una benna Van Veen di 0,1 m², di superficie modificata per l'uso specifico e opportunamente zavorrata con penetrabilità di ca. 10 cm.

Durante il prelievo dei campioni è stato seguito un protocollo operativo standardizzato, in modo da evitare, per quanto possibile, contaminazioni del campione.

Il campione è stato quindi sottoposto a setacciatura allo scopo di eliminare acqua, sedimenti fini e quant'altro non necessario ai fini dell'attività di studio.

Per separare la macrofauna è stato utilizzato un setaccio con una maglia ad aperture quadrate di 1,0 mm.

Il campione è stato fissato con una soluzione di formaldeide al 4% in acqua di mare, tamponata con Borace (Tetraborato di Sodio, Na₂B₄O₇).

Dopo 15 giorni di fissazione i campioni sono stati estratti dalla

soluzione fissante, sciacquati velocemente e fatti sgocciolare. I campioni sono stati poi lavati ponendoli in soluzioni acquose di etanolo a concentrazione progressiva (30%-50%-70%) fino a riporli nella soluzione conservante finale costituita da etanolo 70% e 5% di glicerina.

Gli esemplari sono stati identificati, laddove possibile, sino al livello di specie e contati.

ANALISI DEI DATI

Al fine di identificare analogie e differenze tra la stazione situata nel campo sperimentale (D) ed il controllo esterno (F) e seguire trend temporali si è ricorso all'uso di tecniche univariate, distributive e multivariate.

I principali **descrittori univariati** scelti sono: il numero di specie, l'abbondanza numerica e l'indice di diversità ES(n) (Hurlbert, 1971), quale stima del numero di specie attese in un campione di "n" individui, nel nostro caso 10 (ES(10)). Ai fini della comparazione è stato anche calcolato lo **scostamento** percentuale dei descrittori univariati tra le due stazioni (('valori D'-valori F')/valori F'*100).

Per l'**analisi multivariata** è stata utilizzata come misura della similarità l'indice di Bray-Curtis (Bray e Curtis, 1957) sui dati relativi alle abbondanze numeriche totali dopo trasformazione tramite logaritmo naturale ($\ln(x+1)$).

Il contributo relativo delle singole specie alla similarità tra le stazioni ad ogni evento di campionamento è stato valutato mediante l'applicazione del test SIMPER (Clarke, 1993).

Per l'**analisi della varianza**, i campioni sono stati assoggettati a NP-MANOVA (Anderson, 2001) per valutare separatamente l'effetto spaziale (differenze tra stazioni) e quello temporale (differenze tra stagioni).

Il disegno di campionamento ha incluso 2 fattori: 'stagione' con 2 livelli (D=Dentro e F=Fuori) e 'stagione' con 5 livelli (1=Estate 03, 2=Inverno 04, 3=Primavera 04, 4=Estate 04 e 5=Autunno 04) e 155 variabili (specie). Sono state effettuate 4999 permutazioni dei dati.

La valutazione dell'effetto combinato "stagione x stazione" sarebbe stata possibile solo considerando le repliche, costituenti i campioni, come se queste fossero campioni separati, in quanto la metodica statistica usata impone l'uso di due o più osservazioni per ogni sito per ogni evento di campionamento; per tale linea di ricerca invece è stato raccolto un campione (5 repliche) per ogni stazione (D e F) per ogni stagione. L'uso separato delle repliche, perciò, non è da considerarsi completamente corretto in quanto ognuna di esse descrive solo

parzialmente le caratteristiche della stazione.

L'NP-MANOVA "stagione x stazione" infatti risponderebbe come se ogni replica fosse considerata rappresentativa di una stazione, quindi come se, nel nostro caso, nella stazione F fossero presenti 5 stazioni (le 5 repliche).

Le varie repliche, costituenti un campione, possono essere anche molto diverse tra loro ed essere invece più simili alle repliche di un altro campione; due campioni con repliche altamente simili, perciò, presentano un certo grado di "sovrapponibilità", risultando meno "individuabili".

Per avere una misura di quanto ogni replica appartenente ad un campione assomigli più alle altre repliche appartenenti allo stesso campione piuttosto che alle repliche appartenenti ad altri campioni, è stata condotta un **ANOSIM pairwise tests** (Clarke e Warwick, 1994). Questo test dà quindi una misura della "sovrapponibilità" dei campioni.

È stata cioè prodotta una matrice di similarità (Indice di Bray-Curtis) tra le cinquanta repliche separate; tale matrice è stata poi assoggettata all'analisi della similarità ad una via (one-way ANOSIM) usando come "gruppi a priori" i campioni, ossia impostando il programma in maniera tale che i gruppi di repliche, che dovevano essere confrontate, fossero raggruppati secondo il campione di appartenenza.

ANOSIM è una tecnica basata sulla randomizzazione-permutazione. Considerando l'ipotesi nulla, la similarità esistente tra campioni appartenenti alla stessa stazione (within-group similarities) non dovrebbe superare quella tra campioni appartenenti a stazioni diverse (between-group similarities).

La bontà della correlazione è espressa dal coefficiente di correlazione di Spearman (Spearman rank correlation coefficient -Rho): i coefficienti variano tra -1 e +1; tali estremi corrispondono rispettivamente a completa opposizione e completo accordo dei pattern, mentre lo zero indica l'assenza di ogni correlazione e quindi l'inconsistenza dei raggruppamenti.

Tecniche di **classificazione e ordinamento multivariate** sono state impiegate per rappresentare i rapporti fra comunità di macroinvertebrati presenti nei diversi siti di campionamento attraverso grafici bidimensionali.

I rapporti strutturali tra le specie selezionate sono stati visualizzati tramite l'ausilio di un clustering gerarchico (Hierarchical Cluster Analysis, group average) (Clarke, 1993).

Sono stati quindi prodotti degli ordinamenti multivariati sia 'unconstrained' (non vincolati) come la Non-Metric Multi-Dimensional Scaling (MDS) (Shepard, 1962; Kruskal, 1964; Clarke, 1993) che 'constrained' (vincolati) come la "Canonical Analysis of Principal coordinates" (CAP) (Anderson e Willis, 2003).

La differenza tra ordinamenti 'unconstrained' e 'constrained' risiede nei differenti criteri di generazione degli assi dell'ordinamento: la prima componente principale (asse 1) di un ordinamento "unconstrained", come ad esempio una PCA, è una combinazione lineare delle variabili (nel nostro caso le Specie) che minimizza liberamente lo scarto quadratico medio lungo l'asse 1 senza richiedere alcuna assegnazione degli oggetti (nel nostro caso i Campioni) ad un gruppo a priori. Invece la prima variabile canonica (asse 1) di un ordinamento 'constrained' "forza" la posizione dell'asse in modo da trovare la combinazione di variabili che massimizza differenza tra i gruppi di oggetti individuati a priori (Anderson e Willis, 2003). Tale tipo di analisi permette di visualizzare le potenziali relazioni esistenti tra le variabili o gruppi di variabili e i fattori analizzati.

La CAP è stata condotta sul raggruppamento di campioni (i campioni possono essere raggruppati per stazione o per stagione) che ha mostrato delle differenze significative al test NP-MANOVA. In assenza di differenze significative tra i gruppi una tecnica vincolata risulta ridondante.

Il potere esplorativo della CAP è stato aumentato con la produzione di un **Biplot** (Gabriel, 1971, 1981).

La CAP fornisce anche la correlazione di ogni variabile (Specie) con gli assi dell'ordinamento; tale informazione è utile per costruire un biplot.

Il biplot è una tecnica di visualizzazione per l'analisi delle componenti principali e produce una rappresentazione grafica delle relazioni tra gli oggetti (nel nostro caso i Campioni, F1, D2 ecc) e le variabili (nel nostro caso le Specie).

L'elaborazione del biplot a partire dalla CAP è piuttosto semplice; si tratta infatti di sovrapporre al grafico della CAP un grafico prodotto a partire dal valore delle correlazioni delle varie specie con gli assi della CAP (Anderson e Willis, 2003).

Nella produzione del biplot non sono state utilizzate tutte le specie, ma solamente le specie considerate "più significative" nella generazione del pattern multivariato, in accordo con i seguenti criteri:

- avere una correlazione con il primo asse della CAP superiore allo 0,25 in valore assoluto
- avere raggiunto almeno una volta in un campione la dominanza del 5%
- essere presente in più di cinque campioni (metà) ma avere raggiunto in almeno un campione la dominanza del 2,5%.

L'analisi statistica è stata condotta con l'ausilio della suite di

programmi offerti on-line da M.J. Anderson (<http://www.stat.auckland.ac.nz/~mja/Programs.htm>) e nello specifico PERMANOVA-Permutational Multivariate Analysis of Variance, per la analisi della varianza non parametrica, e CAP Canonical Analysis of Principal coordinates; le routine usate per la produzione della MDS non metrica, vale a dire CLUSTER, SIMPER e ANOSIM, sono incluse nel pacchetto di programmi PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research, primer-e Ltd., Plymouth, UK), (Clarke e Warwick, 2001).

DISCUSSIONE

Nel corso dello studio sono stati riconosciuti 155 taxa, con una media di 70 specie per campagna in entrambe le stazioni, ed un totale di circa 14.000 individui contati, con una media di 2850 ind. m⁻² per la stazione D e 2450 ind. m⁻² per la stazione F.

In ogni stagione le due stazioni condividono mediamente la metà delle specie, tranne l'autunno 2004 nel quale è condiviso il 63,7% delle specie.

La **Fig. 2** mostra i diagrammi a torta relativi alla composizione globale della comunità. Nel grafico 1a si apprezza il diverso contributo dei maggiori gruppi sistematici alla biodiversità: i gruppi più rappresentati sono molluschi e policheti con circa il 30% delle specie, seguiti dai crostacei con circa il 20%. Nel grafico 1b sono rappresentati i contributi dei diversi gruppi alle abbondanze: i policheti ammontano a quasi il 50% degli individui, seguiti dai crostacei con il 35%, mentre i molluschi rappresentano solo il 10%.

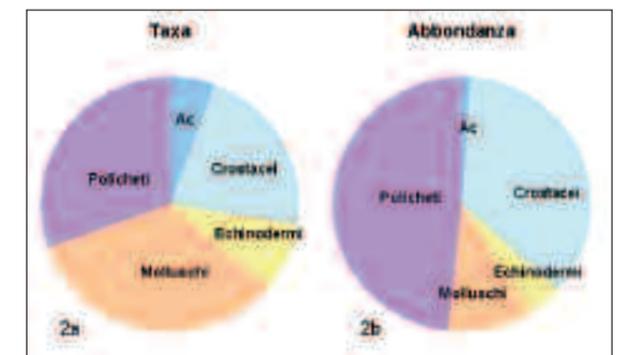


Fig. 2 - Composizione globale della comunità bentonica di fondo mobile (Ac=Animalia cetera).

Nella **Fig. 3**, che riporta l'andamento delle specie nel corso delle cinque campagne, è possibile notare come il numero di specie ha seguito un andamento simile in entrambe le stazioni investigate

con valori in diminuzione a partire dall'estate 2003, epoca della campagna preliminare, fino all'inverno 2004; tale decremento è stato seguito da una ripresa che è culminata nell'estate 2004.

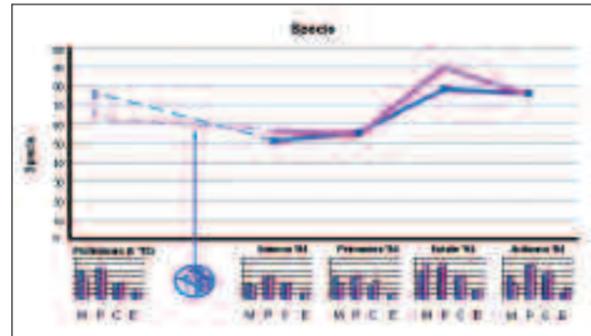


Fig. 3 - Andamento delle Specie riportato per le due stazioni. Gli istogrammi in calce permettono di apprezzare il diverso contributo dei taxa principali; (M= Molluschi, P= Policheti, C= Crostacei e E= Echinodermi).

Le abbondanze numeriche, il cui andamento nel corso dello studio è riportato in Fig. 4, nella stazione D hanno avuto un'evoluzione simile a quello del numero di specie, mentre nella stazione F si è assistito ad un generale aumento dei valori fino all'estate 2004 per poi diminuire nel corso dell'autunno.

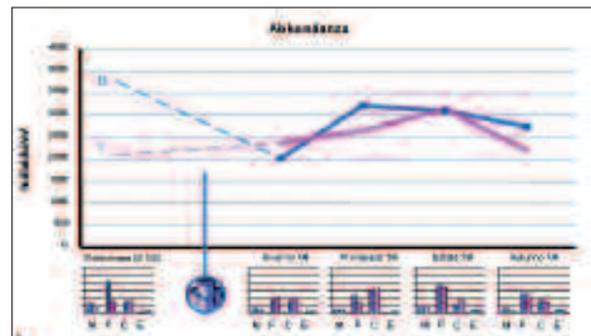


Fig. 4 - Andamento delle Abbondanze [individui*m⁻²] per le due stazioni. Gli istogrammi in calce permettono di apprezzare il diverso contributo dei taxa principali; (M= Molluschi, P= Policheti, C= Crostacei e E= Echinodermi).

L'andamento dell'ES(10), riportato in Fig. 5, si rivela simile per entrambe le stazioni: vi è una leggera diminuzione dei valori fino alla primavera 2004, seguita da un aumento progressivo fino al superamento dei livelli dell'anno precedente.

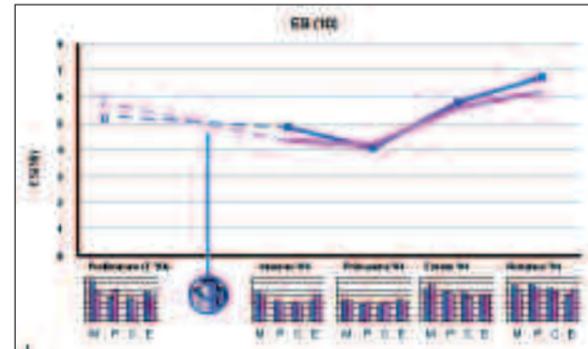


Fig. 5 - Andamento dell'indice di diversità ES(10) per le due stazioni. Gli istogrammi in calce permettono di apprezzare il diverso contributo dei taxa principali; (M= Molluschi, P= Policheti, C= Crostacei e E= Echinodermi).

In Fig. 6 è riportato il grafico degli scostamenti percentuali dei tre descrittori univariati utilizzati; si può notare come la posa in opera delle strutture sia coincisa con una diminuzione relativa del numero di specie e abbondanze nel sito D, situato nei pressi delle strutture, rispetto al sito F. La più spiccata diminuzione delle abbondanze, concentrate in un numero ridotto di specie, si è riflessa in un leggero aumento dell'ES(10).

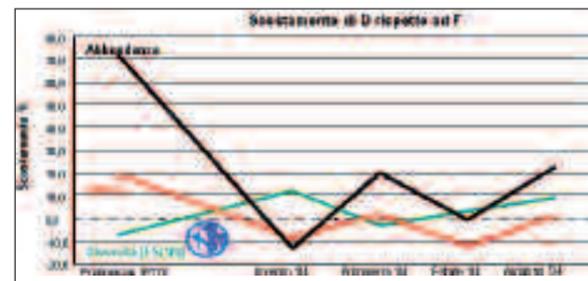


Fig. 6 - Scostamenti percentuali dei descrittori univariati utilizzati.

Il sito esterno (F) può essere considerato come un sito di controllo relativo, in quanto differisce dal sito interno (D) già nelle condizioni di partenza. Lo scostamento iniziale per i tre descrittori univariati è pari al 72,2% per le abbondanze numeriche, 19,4% per il numero di specie e -7,7% per l'ES(10). I Policheti sono i principali responsabili dell'elevato scostamento rispetto al livello 0,0 per quanto riguarda il parametro abbondanza.

In Fig. 7 è riportato l'andamento della similarità tra le due stazioni, che tende ad aumentare nel corso dell'anno; per quanto riguarda le stagioni la similarità media tra esse è alta, oscilla cioè dal 70 al 77,7%.

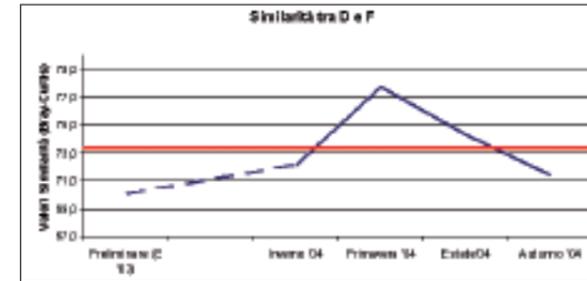


Fig. 7 - Andamento temporale della similarità tra le due stazioni.

Il test SIMPER ha evidenziato come le varie specie contribuiscano individualmente molto poco alla similarità tra le due stazioni nelle varie stagioni (max 7,78% per *Ampelisca diadema* nella primavera 2004); questo risultato, affiancato dall'alto grado di similarità tra i campioni, indica che le specie non condivise sono soprattutto le specie rare, occasionali o quantomeno non comuni.

I risultati dell'analisi della varianza non parametrica sono riportati in Tab. 3.

Tab. 3 - Analisi della varianza non parametrica (Permutational Multivariate Analysis of Variance).

Source	df	SS	MS	F	p
Stazioni	1	490,8871	490,8871	0,6425	0,8446
Residual	8	6198,9998	774,8748		
Total	9	6198,9998			
Source	df	SS	MS	F	p
Stagioni	4	4322,8103	1080,7026	1,8789	0,0014
Residual	5	1877,0168	375,4033		
Total	9	6198,9998			

I risultati non mostrano una significativa differenza tra le stazioni (p= 0,8446) mentre la differenza stagionale è notevole (p=0,0014).

I risultati del test ANOSIM sono riportati in Tab. 4.

Tab. 4 - Risultati dell'ANOSIM.

Groups	Campioni tra cui si misura la R	R Statistic	Significance Level	Groups
Sovrapposizione tra stazioni nelle varie stagioni	Estate 2003	D1-F1	0,044	0,333
	Inverno 2004	D2-F2	0,476	0,008
	Primavera 2004	D3-F3	0,072	0,341
	Estate 2004	D4-F4	0,112	0,183
	Autunno 2004	D5-F5	0,288	0,063
Sovrapposizione stagioni successive nella stazione D	D	D1-D2	0,612	0,008
	D	D2-D3	0,384	0,008
	D	D3-D4	0,988	0,008
	D	D4-D5	0,796	0,008
	D	F1-F2	0,572	0,008
Sovrapposizione stagioni successive nella stazione F	F	F2-F3	0,32	0,024
	F	F3-F4	0,794	0,008
	F	F4-F5	0,252	0,056
	F	F5-F6	0,252	0,056

L'ANOSIM condotto su tutte le 50 repliche (5x10) rivela un alto grado di sovrapposizione generale tra i campioni (Global R: 0,604; p<0,001.): alcune repliche appartenenti ad un dato campione risultano molto simili ad alcune repliche di altri

campioni.

La sovrapposizione spaziale delle repliche, cioè tra le stazioni D e F di una data stagione, è evidente soprattutto per l'estate 2003, la primavera 2004 e l'estate 2004 (R<0,12; p>0,18), ma anche l'inverno 2004 (R=0,48; p=0,008) e l'autunno 2004 (R=0,29; p=6,3) mostrano una forte sovrapposizione.

Mentre la sovrapposizione stagionale è elevata tra le repliche dell'inverno e della primavera 2004 (D2-D3 R=0,384 p=0,008; F2-F3 R=0,32 p=0,024) denotando una bassa differenziazione tra i campioni di questo periodo.

L'evoluzione temporale della similarità è sintetizzata nell'ordinamento MDS di Fig. 8 (stress=0,08), nella quale le frecce collegano i campioni in sequenza temporale.

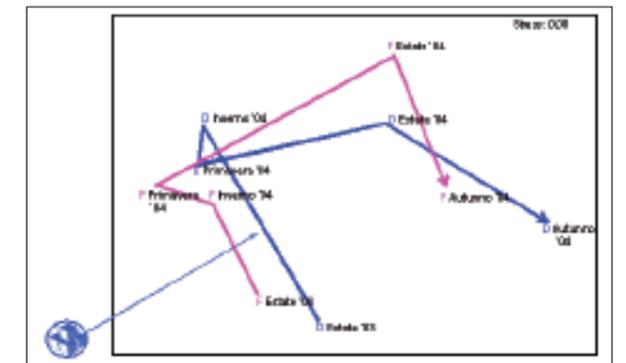


Fig. 8 - Evoluzione temporale della similarità tra le due stazioni.

L'informazione più evidente, che emerge da una prima lettura del grafico, è che le due stazioni dimostrano un andamento temporale accoppiato, ossia che le differenze stagionali tra gli eventi di campionamento sono maggiori (distanza maggiore) delle differenze tra le stazioni nella medesima stagione.

In questa rappresentazione grafica è possibile notare come l'allontanamento tra la campagna preliminare (estate 2003) e quella invernale (inverno 2004), immediatamente successiva alla posa in opera, sia più pronunciato per la stazione D rispetto a quella evidenziabile per la stazione F.

L'inverno e la primavera 2004 presentano un'alta similarità in entrambe le stazioni; anche l'ANOSIM offre le stesse indicazioni in quanto evidenzia un alto grado di 'sovrapposibilità' tra le repliche.

Un tratto caratteristico dell'evoluzione temporale delle comunità è evidenziabile nel discreto allontanamento tra la situazione dell'estate 2003 e quella dell'estate 2004: anziché seguire una ciclicità annuale, che farebbe coincidere le situazioni dei due periodi estivi, l'estate 2004 presenta un aumento nel numero di

specie in entrambe le stazioni.

L'Analisi Canonica delle Coordinate Principali (CAP) è stata condotta usando come vincolo (*constrain*) le stagioni in quanto l'Analisi della Varianza ha mostrato significative differenze tra esse. Tale ordinamento è incluso nel biplot descritto in seguito. Benché i primi due assi spiegino circa il metà della varianza, risultano confermate le evidenze emerse dall'MDS; i campioni appartenenti alla stessa stagione vengono a trovarsi vicini: sono individuabili tre eventi stagionali, quali l'estate 2003 nel quadrante inferiore sinistro, l'inverno-primavera 2004 a cavallo dell'emiassa 1 positivo e l'estate-autunno 2004 nel quadrante inferiore destro.

Il "Leave-one-out Allocation test" (Anderson e Willis, 2003) ha dato una percentuale di allocazioni corrette del 70.0% (Misclassification error = 30.0%).

Le 17 **specie significative**, selezionate secondo i criteri sopra

esposti, sono i policheti *Pseudoleiocapitella fauveli* Harmelin, 1964; *Lumbrineris latreilli* Andouin & Milne-Edwards, 1834; *Aponuphis bilineata* (Baird, 1870); *Ampharete acutifrons* (Grube, 1860); *Micronephtys sphaerocirrata* (Wesenberg-Lund, 1949); *Sigambra tentaculata* (Treadwell, 1941); *Pectinaria auricoma* (O.F. Müller, 1776) e *Levinsenia gracilis* (Tauber, 1879); i bivalvi *Corbula gibba* (Olivi, 1792); *Abra prismatica* (Montagu, 1808) e *Tellina distorta* Poli, 1791; i crostacei *Ampelisca diadema* (A. Costa, 1853); *Stenothoe valida* Dana, 1855; *Leptocheirus mariae* G. Karaman, 1973; *Caprella equilibra* Say, 1818 e *Apeudes latreilli* (Milne-Edwards, 1828); e l'echinoderma *Amphiura chiajei* Forbes, 1843.

Le specie sono elencate in **Tab. 5**, dove sono riportati anche i valori delle correlazioni con i primi due assi della CAP e le abbondanze numeriche [individui m⁻²].

La Figura 9 riporta la classificazione gerarchica dei rapporti

Tab. 5 - Specie selezionate, correlazione con gli assi CAP e individui al m².

Gruppo tassonomico	Specie	Correlazione Assi CAP		Estate 2003		Inverno 2004		Primavera 2004		Estate 2004		Autunno 2004	
		1	2	D1	F1	D2	F2	D3	F3	D4	F4	D5	F5
Policheti Capitellidi	<i>Pseudoleiocapitella fauveli</i>	-0,42	0,18	1382	368	624	826	948	520	748	778	240	388
Policheti Lumbrineridi	<i>Lumbrineris latreilli</i>	0,55	-0,65	292	160	74	90	146	90	588	468	420	294
Policheti Onufriidi	<i>Aponuphis bilineata</i>	0,76	-0,42	2	2	4	0	4	0	18	4	162	14
Policheti Ampharetidi	<i>Ampharete acutifrons</i>	-0,27	-0,63	30	50	2	8	12	6	8	4	72	2
Policheti Nereidi	<i>Micronephtys sphaerocirrata</i>	0,68	-0,47	6	0	0	0	0	2	74	16	16	28
Policheti Pilargidi	<i>Sigambra tentaculata</i>	0,78	-0,25	10	18	18	14	6	6	88	38	28	62
Policheti Pectinariidi	<i>Pectinaria auricoma</i>	0,68	-0,11	18	18	48	42	24	4	26	16	90	92
Policheti Paronidi	<i>Levinsenia gracilis</i>	0,57	-0,04	4	0	6	2	0	4	42	144	4	8
Molluschi Bivalvi	<i>Corbula gibba</i>	0,43	0,08	100	32	60	132	78	74	168	114	100	66
Molluschi Bivalvi	<i>Abra prismatica</i>	-0,74	-0,54	152	180	0	2	4	4	6	0	0	2
Molluschi Bivalvi	<i>Tellina distorta</i>	-0,33	-0,06	58	42	124	16	24	42	16	8	34	34
Crostacei Anfipodi	<i>Ampelisca diadema</i>	-0,74	0,47	462	550	458	688	948	940	172	270	88	392
Crostacei Anfipodi	<i>Stenothoe valida</i>	0,65	-0,42	0	0	0	0	0	0	0	0	206	54
Crostacei Anfipodi	<i>Leptocheirus mariae</i>	-0,39	0,59	108	126	248	110	532	524	234	400	22	76
Crostacei Anfipodi	<i>Caprella equilibra</i>	0,87	-0,29	0	0	2	2	0	0	4	4	308	44
Crostacei Tanaidacei	<i>Apeudes latreilli</i>	0,57	-0,34	12	26	14	10	8	26	30	94	44	40
Echinodermi Ofiuroidei	<i>Amphiura chiajei</i>	0,89	-0,12	30	34	48	30	34	42	72	56	70	70

multivariati tra le specie selezionate. Il primo carattere saliente è il gruppo *Aponuphis*, *Caprella* e *Stenothoe* che si stacca dagli altri attorno al 45% di similarità; dal cluster rimanente si diparte *Abra* che quindi mostra avere dei rapporti poco stretti con tutte le altre specie. All'interno di questo secondo gruppo sono ben individuabili, ad una similarità pari al 75% circa, tre gruppi minori: il primo costituito da *Levinsenia* e *Micronephtys* e gli altri due costituiti da entità che mostrano una più omogenea

distribuzione temporale. Questi ultimi due gruppi mostrano rapporti più stretti tra loro e comprendono da una parte *Lumbrineris*, *Leptocheirus*, *Ampelisca* e *Pseudoleiocapitella*, specie che presentano le più alte abbondanze, dall'altra *Ampharete*, *Apeudes*, *Sigambra*, *Tellina*, *Pectinaria*, *Amphiura* e *Corbula*.

La **Fig. 10** mostra il **biplot** ottenuto con le specie elencate in

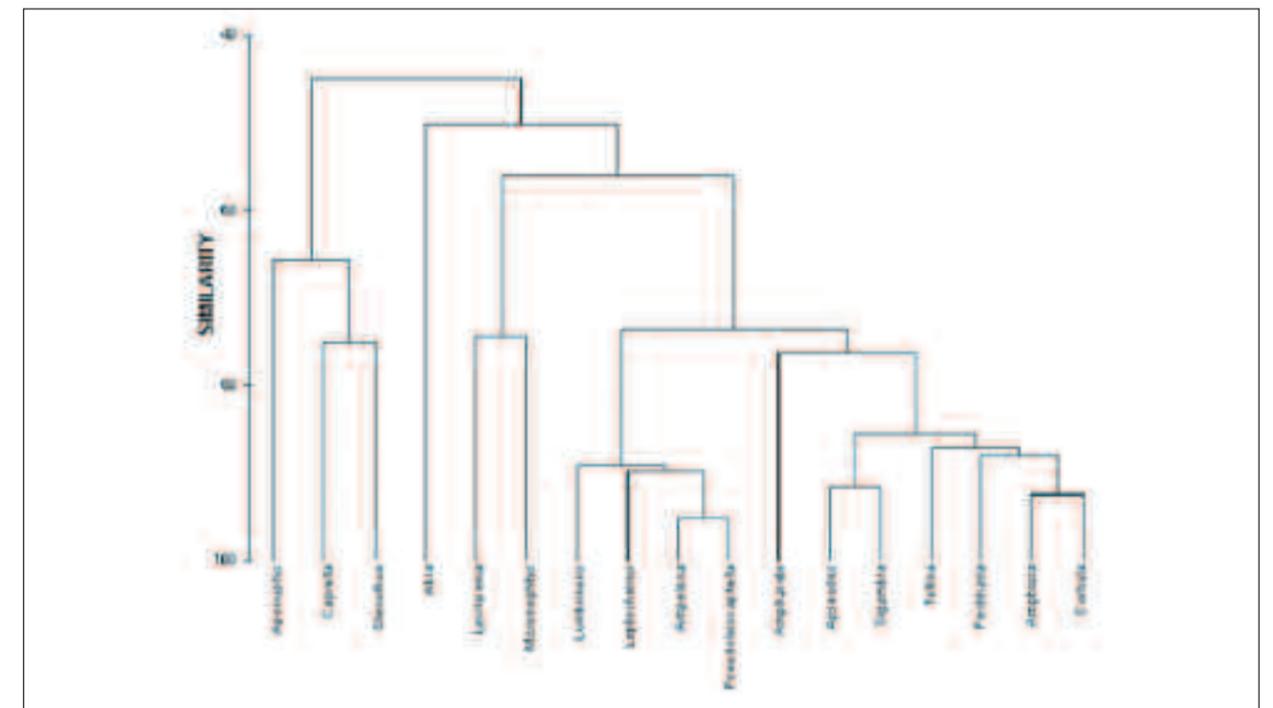


Fig. 9 - Classificazione gerarchica dei rapporti multivariati tra le specie selezionate.

Tab. 5 e le relative correlazioni con i due principali assi.

Per quanto riguarda i rapporti che intercorrono tra le specie selezionate e i campioni, visualizzati appunto nel biplot, si può notare come l'estate 2003 sia influenzata dalla forte presenza di *Abra prismatica*, che scompare praticamente a partire dal campionamento seguente, e *Ampharete acutifrons*, il quale però presenta abbondanze di un ordine di grandezza inferiore.

A partire dall'autunno 2004 si assiste ad un incremento numerico di specie prima scarsamente rappresentate, come *Aponuphis bilineata*, *Caprella equilibra*, *Sigambra tentaculata* e *Stenothoe valida*; quest'ultima specie, inoltre, è presente in gran numero soprattutto nella stazione D.

Gli anfipodi *Ampelisca diadema* e *Leptocheirus mariae*, ben

rappresentati durante tutto lo studio, risultano particolarmente abbondanti in primavera, periodo nel quale *Lumbrineris latreilli* presenta una flessione.

Anche il polichete capitellide *Pseudoleiocapitella fauveli* è molto abbondante durante tutto l'arco dell'anno e accenna a diminuire nell'ultimo evento di campionamento.

Tra i Bivalvi, *Corbula gibba* e *Tellina distorta* sono elementi costanti e caratterizzanti l'area, così come lo sono il crostaceo *Apeudes latreilli*, l'echinoderma *Amphiura chiajei* e il polichete *Pectinaria auricoma* che mostrano però un leggero incremento numerico nel corso degli ultimi campionamenti.

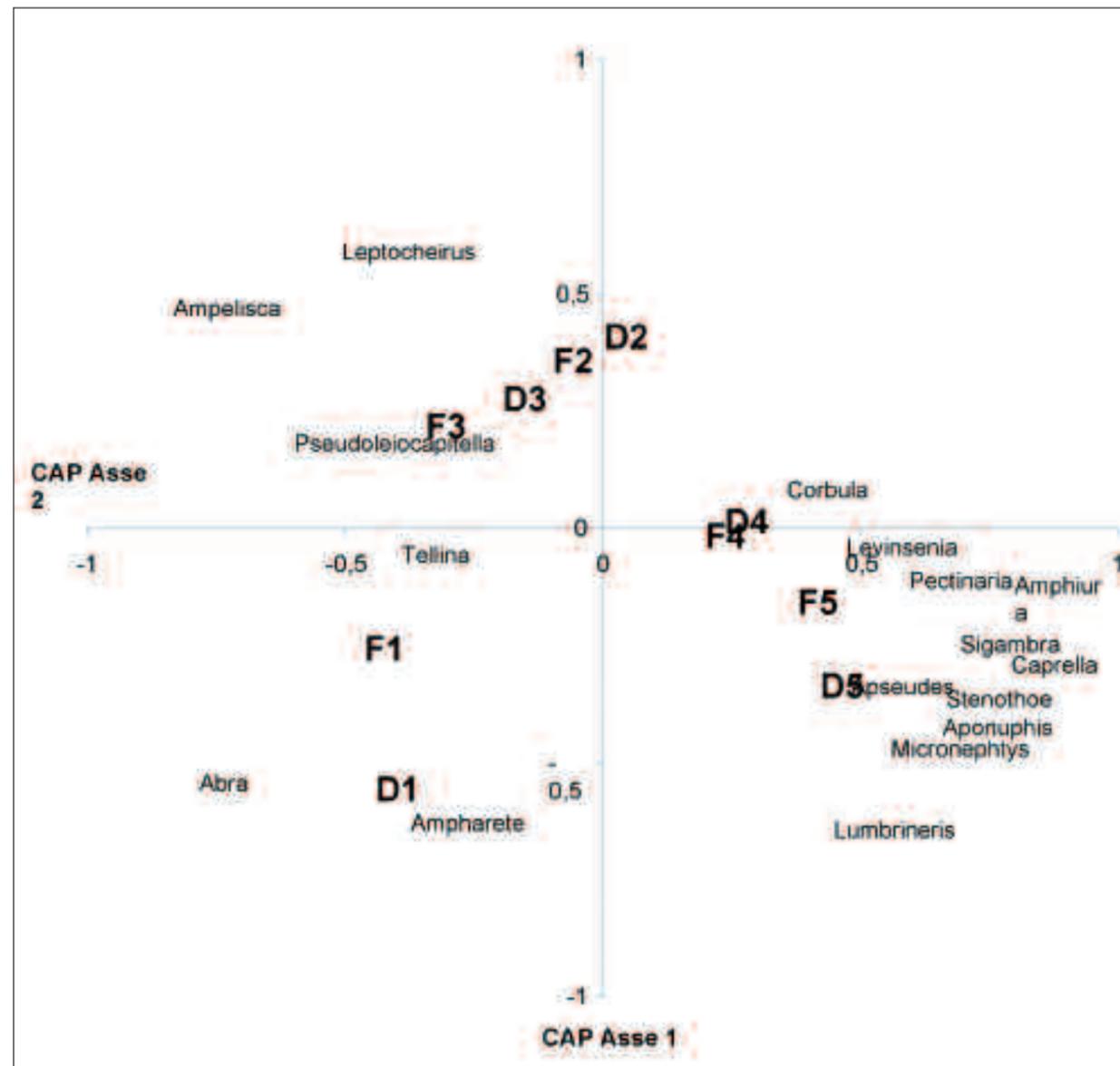


Fig. 10 - Ordinamento (Biplot) che visualizza i rapporti che intercorrono tra le specie selezionate e i campioni.

CONCLUSIONI

Le comunità studiate possono essere inquadrata nella "Biocenose des fonds Meubles Instables (MI)" che può essere considerata come una facies della "Biocenose du Détritique Côtier (DC)", anche se per vari aspetti è assimilabile alla "Biocenose des Vases Terrigenes Côtières (VTC)" (Pères e Picard, 1964) ed è proprio ad una facies di quest'ultima biocenosi (facies a forme sessili) che sembra attribuire la zona Gamulin-Brida (1967), mentre secondo Vatova (1949) questa comunità è stata assegnata alla "Zoocenosi Amphioxus" vicina alla "Zoocenosi Schizaster chiajei".

Le specie sono tipiche di fondi mobili a tessitura fine con forte dominanza di specie che appartengono al gruppo trofico dei filtratori/detritivori di superficie, che si possono cioè nutrire sia filtrando il particolato sia ingerendo detrito superficiale, quali *Ampelisca diadema*, *Leptocheirus mariae*, *Corbula gibba*, *Abra spp.* e *Tellina spp.* Oppure specie appartenenti al gruppo trofico dei detritivori (sia surface deposit feeders che sub-surface deposit feeders) come per esempio *Pseudoleiocardia fauvelii*. Il forte apporto sedimentario dovuto al carico di origine fluviale, che genera un fondale caratterizzato da sedimenti terrigeni del prodelta, è probabilmente aumentato dalla presenza dei vicini parchi a mitili.

Durante il periodo di studio non sono state evidenziate nell'area consistenti riduzioni della biocenosi, che si possono verificare in corrispondenza di crisi distrofiche o ipo/anossiche, benché il carico organico nei sedimenti appaia alto (Bruno *et al.*, questo volume; De Lazzari *et al.*, questo volume).

Un aspetto saliente delle comunità esaminate riguarda infatti le ridotte dimensioni degli individui: sono presenti sia adulti di specie a rapido turnover, che tipicamente presentano individui piccoli anche allo stadio maturo, sia individui giovanili di specie di maggiori dimensioni. Il fenomeno interpretato alla luce della tipologia dei sedimenti suggerisce un disturbo continuo accompagnato da un certo arricchimento organico dei fondali (De Lazzari *et al.*, questo volume).

Le osservazioni riportate suggeriscono come le dinamiche delle comunità oggetto di studio siano più legate all'andamento stagionale che a differenze sito-specifiche o all'influenza dei substrati artificiali collocati presso la Stazione D.

Non è emersa nel corso dello studio una grossa differenza tra le due stazioni e quindi non è evidenziabile, allo stato attuale, alcuna influenza dei substrati artificiali sulle comunità di fondo mobile, se si esclude un possibile impatto su *Abra prismatica*, che, come evidenziato dai risultati, sembra avere un andamento diverso rispetto alle altre specie.

Le dinamiche stagionali appaiono dominanti nei confronti di quelle imputabili alla presenza delle opere del Campo Sperimentale, anche se la limitata durata del periodo di indagine, non permette una valutazione conclusiva.

Ringraziamenti: Si ringrazia L'IMC - International Marine Centre di Oristano per la cortese collaborazione.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON M.J., 2001 - A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, **26**: 32-46.

ANDERSON M.J., WILLIS T.J., 2003 - Canonical Analysis of Principal Coordinates: a useful. *Ecology*, **84** (2): 511-525.

BRAY R.J., CURTIS J.T., 1957 - An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, **27**: 325-349.

BRUNO S., BASTIANINI M., ACRÌ F., CASSIN D., DE LAZZARI A., PUGNETTI A., TURCHETTO M., BOLDRIN A. Variabilità temporale delle condizioni idrologiche, idrochimiche e biologiche nella colonna d'acqua (luglio 2003 - febbraio 2005). *Questo volume*.

CASTELLI A., LARDICCI C. & Tagliapietra D., 2003 - Capitolo 4. Il macrobenthos di fondo molle in Gambi M.C. & Dappiano M. (Eds.), Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. *Biol. Mar. Medit.*, **10** (Suppl.):109-144.

CLARKE K.R., 1993 - Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.*, **18**: 117-143.

CLARKE K.R., WARWICK R.M., 1994 - Similarity-based testing for community pattern: the 2-way layout with no replication. *Mar. Biol.*, **118** (1): 167-176.

CLARKE K.R., WARWICK R.M., 2001 - Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. *PRIMER-E, Plymouth, UK*: 172 pp.

DE LAZZARI A., BOLDRIN A., CASSIN D. Caratteristiche tessiturali e chimiche dei sedimenti superficiali nell'area a barriere artificiali del "Campo Sperimentale" (Adriatico settentrionale). *Questo volume*.

GABRIEL K.R., 1971 - The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, **58**: 453.

GABRIEL K.R., 1981 - Biplot display of multivariate matrices for inspection of data and diagnosis. In: Barnett V. (Ed.), *Interpreting multivariate data*, John Wiley & Sons, London: 147-173.

GAMULIN-BRIDA H., 1967 - The Benthic Fauna Of The Adriatic Sea. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **5**: 535-568.

HURLBERT S.H., 1971 - The non-concept of species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology*, **59**: 577-586.

KRUSKAL J.B., 1964 - Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika*, **29**: 1-27.

LAPRESA A., PIERANGELA A., FESTARI I., 2004 - Gli habitat secondo la nomenclatura eunis: manuale di classificazione per la realtà italiana. APAT- Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Rapporti 39/2004, Roma: 160 pp.

PERES J.M., PICARD J., 1964 - Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. Mar. Endoume*; **31** (47): 137 pp.

SHEPARD R.N., 1962 - The analysis of proximities: multidimensional scaling with an unknown distance function. *Psychometrika*, **27**: 125-140; 219-246.

VATOVA A., 1949 - La fauna bentonica dell'alto e medio Adriatico. *Nova Thalassia* **1** (3): 1-110.

COLONIZZAZIONE SU SUBSTRATO DURO NELL'AREA A BARRIERE ARTIFICIALI DEL CAMPO SPERIMENTALE: UN ANNO DI STUDIO**COLONISATION ON HARD SUBSTRATE IN THE AREA OF ARTIFICIAL REEF OF THE "CAMPO SPERIMENTALE": A YEAR OF STUDY**

F. MAGGIORE, E. KEPPEL

CNR-ISMAR ISTITUTO DI SCIENZE MARINE - Sezione di Venezia - Castello 1364/A - 30122 Venezia

e-mail: francesca.maggiore@ismar.cnr.it

RIASSUNTO

E' stata seguita la colonizzazione della fauna sessile su substrati artificiali nell' arco di tempo di un anno. I risultati hanno messo in evidenza l'assenza di macrofite e la presenza di Idroidi, giovani bivalvi, Policheti Serpulidi, Cirripedi e Briozoi. Le differenze fra i campioni della faccia orizzontale e di quella verticale sono dovuti a variazioni di dominanza; i Molluschi Bivalvi (*Anomia ephippium*, *Hiatella arctica*, *Mytilus galloprovincialis*) sono, in genere, dominanti sulle superfici orizzontali, mentre i Policheti Serpulidi (*Pomatoceros triqueter*) ed i Briozoi (*Smittoidea reticulata*) su quelle verticali. Dallo studio è emersa l'esigenza di approfondire la conoscenza dell'ecologia di tre specie: *Tubularia crocea* (Bryozoa), *Tricellaria inopinata* e *Smittoidea reticulata* (Bryozoa).

ABSTRACT

Colonization of sessile fauna on artificial substrates is followed during a year. Results highlight the absence of macrophytes and presence of Polychaetes Serpulids, young bivalves, barnacles, Hydroids and Bryozoans. Differences between horizontal and vertical surfaces are due to dominance variations; Molluscs Bivalves (*Anomia ephippium*, *Hiatella arctica*, *Mytilus galloprovincialis*) are dominant mainly on the horizontal surfaces, while Polychaetes Serpulids (*Pomatoceros triqueter*) and Bryozoans (*Smittoidea reticulata*) on the vertical ones. It made clear that the ecology of *Tubularia crocea* (Hydrozoa), *Tricellaria inopinata* and *Smittoidea reticulata* (Bryozoa) must be study in depth.

INTRODUZIONE

Le barriere artificiali sono manufatti polifunzionali realizzati in moduli la cui principale finalità è quella di sfruttare le potenzialità naturali attraverso un uso produttivo non distruttivo dell'ambiente; esse vengono, quindi, considerate una "tecnologia morbida che asseconda i processi naturali senza contrastarli né creare inquinamento" (Riggio, 1995).

Le strutture artificiali rappresentano un substrato ideale per lo studio della successione ecologica in mare di substrati duri, seguirne le varie fasi investe vari aspetti di interesse scientifico:

- 1) raccogliere informazioni essenziali sulle fasi ed i tempi di sviluppo degli organismi bentonici; questo tipo di studi produce inventari e considera i modelli di sviluppo di specifici *taxa* (Boero, 1982; Cattaneo, 1982; Pansini, 1982; Balduzzi *et al.*, 1985a; Gravina *et al.*, 1989; Somaschini *et al.*, 1997);
- 2) seguire i processi di colonizzazione: (Riggio, 1995; Riggio *et al.*, 1985; Ardizzone *et al.*, 1989, 2000; Castriota *et al.*, 1996; Kokak e Zamboni, 1998; Relini *et al.*, 1998);
- 3) mettere in relazione le fasi della successione ecologica del bentos con i cambiamenti della composizione della fauna ittica, infatti le popolazioni ittiche che affluiscono nell'area si modificano in funzione degli stadi della successione ecologica del popolamento bentonico (Ardizzone *et al.*, 1995);
- 4) seguire la dinamica di popolazione di mitili (Ardizzone *et al.*, 1996).

Con queste premesse, l'obiettivo di questo lavoro è stato quello di fornire un primo contributo alla comprensione dello studio delle prime fasi della successione ecologica delle comunità bentoniche di fondo duro insediate sulle strutture artificiali del Campo Sperimentale al fine di valutarne l'efficacia per l'insediamento di specie sessili, raccogliere informazioni essenziali sulle fasi ed i tempi di sviluppo degli organismi bentonici e valutare variazioni di biodiversità in funzione dell'orientamento e dell'inclinazione del substrato.

Le prospettive aperte da questo tipo di studio investono due aspetti:

- 1) **Valorizzare il ruolo delle strutture artificiali per promuovere il rilancio delle attività di piccola pesca artigianale.** La conoscenza dei popolamenti che si insedieranno sulle strutture artificiali rappresenta la base per la conoscenza delle reti trofiche che si svilupperanno e di cui

la produzione ittica e di crostacei è una degli step finali. Questo lavoro rappresenta, quindi, una prima tappa in previsione di studi finalizzati a valutare l'interazione fra specie ittiche e crostacei e struttura artificiale come reale risorsa trofica.

- 2) **Tutela naturalistico-ambientale.** "Una struttura artificiale immersa sul fondo mima alcune caratteristiche del substrato naturale" (Baine, 2001). Gli studi sulla colonizzazione di substrati artificiali forniscono la chiave per conoscere fasi e tempi di sviluppo degli organismi, la reciproca relazione con i vicini substrati naturali o forme e materiali più idonei ad una rapida colonizzazione in un determinato ambiente. Il presente studio può, quindi, essere visto nella prospettiva di migliorare le conoscenze sui vicini fondi duri naturali (le "tegnùe") oggetto di recenti provvedimenti di protezione ambientale.

MATERIALI E METODI

L'UNITÀ DI CAMPIONAMENTO

La dimensione dell'unità di campionamento influenza l'accuratezza e l'efficienza del programma di studio; essa dipende dalla natura e dagli obiettivi del programma di indagine ed in particolare dall'entità degli effetti che si ritiene importante rilevare e dalle risorse a disposizione.

Un aspetto particolare del problema della dimensione dell'unità di campionamento riguarda la relazione fra numero di specie ed area campionata, la minima area in grado di contenere un numero rappresentativo di specie di una comunità può essere valutata attraverso l'esame delle curve area-specie, curve che definiscono il numero di specie in funzione dell'area campionata. La dimensione dell'unità di campionamento oltre la quale ulteriori incrementi di superficie non generano incrementi significativi nel numero di specie viene indicata come l'area minima per il popolamento in esame. Il problema dell'area minima è di natura pratica e riguarda l'analisi costi-benefici tra quantità di informazioni ottenuta e sforzo di campionamento. La scelta dell'area minima di campionamento è in ogni caso una soluzione di compromesso: non esiste una dimensione di unità di campionamento che possa essere raccomandata universalmente.

Per quanto concerne il Mediterraneo, lo studio dell'area minima di campionamento su fondo duro è stata affrontata per i popolamenti algali (Boudouresque e Belsher, 1979) con due tipi di metodologie diverse: prelievi su piccole superfici uguali e

contigue e prelievi su superfici embricate via via crescenti.

L'area minima qualitativa esaminata per alcuni gruppi (Alghe, Poriferi, Celenterati e Briozoi) è risultata inferiore a 400 cm² (Balduzzi *et al.*, 1985b; Boudouresque, 1974) ed è stata quella più utilizzata per gli studi di comunità dei fondi duri (Ardizzone *et al.*, 1989, 2000; Boero e Fresi, 1986; Chimenz *et al.*, 1998; Riggio, 1995).

Esperienze condotte su Celenterati Antozoi Ottocoralli (Weinberg, 1978) hanno portato a risultati molto diversi mettendo in luce, per questo gruppo animale, aree minime molto superiori. La dimensione dell'unità di campionamento è in questo caso in relazione alla taglia degli organismi campionati. Relativamente al presente lavoro l'obiettivo primario è stato quello di seguire le fasi di insediamento degli organismi sessili; questo tipo di analisi prevede uno studio temporale prolungato che richiede un forte sforzo in termini di determinazione tassonomica; si è ritenuto quindi adeguato adottare la superficie minima di campionamento di 400 cm² come peraltro già effettuato in studi analoghi in altre aree geografiche (Ardizzone *et al.*, 1989 e 2000; Riggio, 1995).

SCELTA DELLE STAZIONI

I campionamenti sono stati effettuati sulle barriere di tipo A costituite da piramidi di blocchi in calcestruzzo di 2 m di lato (Fig. 1) con 4 blocchi alla base sormontati da un blocco. Le operazioni di campionamento sono state effettuate in immersione; sono state campionate la faccia orizzontale (campioni O) e la faccia verticale (campioni V) del cubo al vertice della piramide orientate in direzione Sud-Ovest. (Fig. 2).

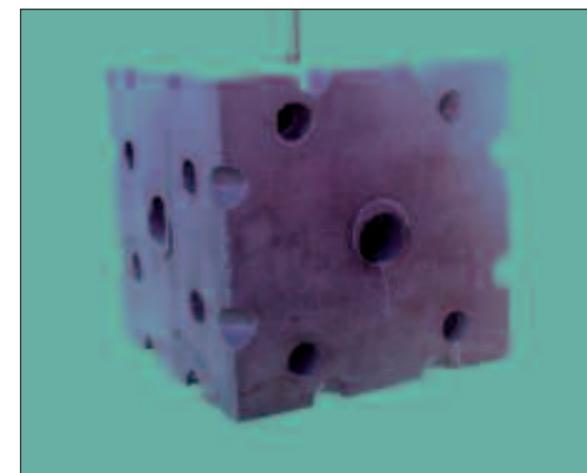


Fig. 1 - Blocco in calcestruzzo dove è stato effettuato il campionamento (foto M. Pellizzato).

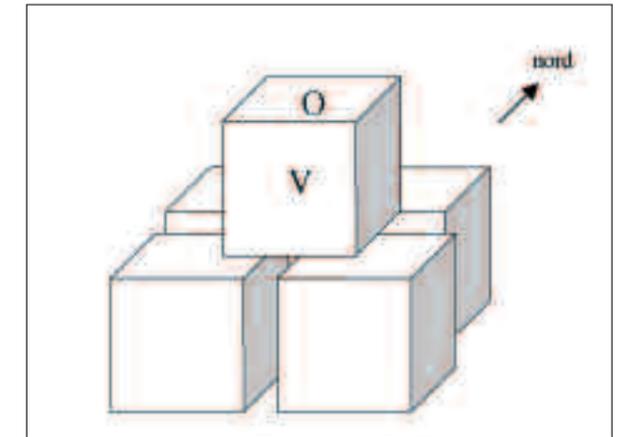


Fig. 2 - Disegno di una piramide di cubi; viene indicato il cubo su cui è stato effettuato il campionamento.

METODI DI PRELIEVO

Il campionamento è stato effettuato tramite grattaggio integrale con spatola e martello e con l'ausilio di una sorbona secondo i seguenti passaggi:

- 1) l'area da campionare è stata delimitata da un quadrato (20x20 cm) di alluminio appoggiato sul substrato orizzontale o tenuto da uno dei due sommozzatori sul substrato verticale; in quest'ultimo caso l'area è stata delimitata visivamente scalpellando attorno al quadrato di alluminio;
- 2) sono stati prelevati a mano gli organismi più grossi, quindi è stato effettuato un prelievo con la sorbona, all'estremità opposta a quella aspirante è stato legato un sacchetto di nylon per raccogliere il materiale biologico aspirato, essenzialmente fauna vagile;
- 3) un sommozzatore ha eseguito il grattaggio completo della copertura biologica dal substrato con una spatola, mentre il secondo ha raccolto il materiale grattato dalla superficie in un sacchetto di tessuto a maglia molto fine (non superiore a 400 µm);
- 4) il campionamento è stato completato con una sorbonata finale.

SEQUENZA TEMPORALE

I campionamenti sono stati effettuati ogni due mesi da gennaio a novembre 2004. Per seguire il processo di colonizzazione, ogni campionamento è stato eseguito su superfici contigue (Fig. 3 A) in modo da non campionare la superficie campionata il mese precedente.

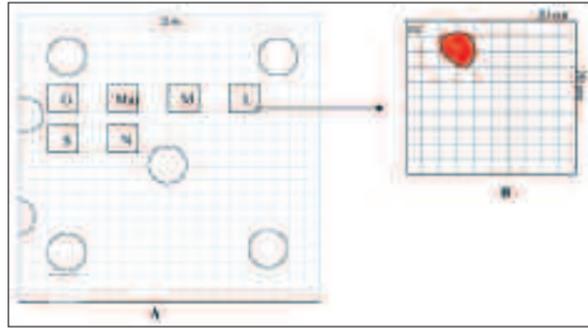


Fig. 3 - Riproduzione, in scala, di una faccia di un blocco di barriera e delle aree campionate (A) e riproduzione della superficie di campionamento (B). La macchia rossa rappresenta l'area di copertura del substrato di un organismo (G: gennaio, Mar: marzo, M: maggio, L: luglio, S: settembre, N: novembre).

TRATTAMENTO DEI CAMPIONI

Una volta sull'imbarcazione, i campioni sono stati trasferiti dai sacchetti in barattoli di plastica e coperti di acqua di mare in modo da permettere agli animali di rilassarsi.

In laboratorio i campioni sono stati posti in vaschette ed è stato effettuato un primo grossolano smistamento separando le forme di più grandi dimensioni; gli organismi sono stati anestetizzati utilizzando una soluzione all'1% di idrato di cloralio in acqua di mare per i policheti e al 5% per i molluschi, ed una soluzione al 7% di cloruro di magnesio per idroidi e briozoi. I campioni sono stati successivamente fissati in formalina al 10% tamponata con carbonato di calcio. Sui prelievi ottenuti è stato completato il sorting degli organismi per taxa; questi sono stati conservati in alcool al 70% e le specie sessili sono state, quindi, determinate al livello tassonomico più basso possibile.

In questo lavoro è stata considerata solo la macrofauna sessile; gli organismi sono stati quantificati tramite ricoprimento percentuale; in **Fig. 3 B** viene riportato un esempio di applicazione del metodo: viene ricostruita l'area di campionamento su cartoncino e suddivisa in tanti quadratini, gli organismi vengono posti sul quadrato e si misura la percentuale di superficie occupata dall'ombra proiettata dall'organismo sul piano, nell'esempio di figura 3 B la macchia rossa (che potrebbe essere un organismo, ad esempio una spugna) occupa all'incirca l'8% dell'area di campionamento.

ANALISI DEI DATI

I dati sono stati elaborati tramite l'analisi delle corrispondenze, (Benzecri, 1973) un metodo di analisi statistica multivariata che consente di rappresentare le specie e le stazioni sul piano cartesiano; i campioni e le specie che appaiono geometricamente vicini indicano campioni caratterizzati da

popolamenti animali molto simili fra di loro, viceversa quelli lontani presentano popolamenti animali diversificati fra di loro. Questo metodo permette anche di evidenziare i campioni e le specie che contribuiscono maggiormente alla formazione degli assi identificando così quelle specie che caratterizzano fortemente quei determinati campioni.

RISULTATI

In tabella 1 viene riportata la lista degli organismi sessili determinati al più basso livello possibile. Nel periodo d'indagine sono state rinvenute 21 specie e 4 generi suddivisi nelle classi degli Idrozoi, Molluschi Bivalvi, Policheti, Crostacei Cirripedi e Briozoi.

Tab. 1 - Lista, in ordine sistematico, degli organismi sessili determinati a livello di genere e specie.

HYDROZOA	
Tubularia crocea Agassiz, 1862	
MOLLUSCA BIVALVIA	
Arca noae Linnaeus, 1758	
Anadara demiri (Piani, 1981)	
Mytilus galloprovincialis Lamarek, 1819	
Modiolus barbatus (Linnaeus, 1758)	
Musculista senhousia (Benson in Cantor, 1842)	
Anomia ephippium (Linnaeus, 1758)	
Ostrea edulis (Linnaeus, 1758)	
Gastrochaena dubia (Pennant, 1777)	
Hiatella arctica (Linnaeus, 1767)	
POLYCHAETA	
Polycirrus ind.	
Sabellaria sp	
Hydroides dianthus (Verril, 1873)	
Hydroides norvegicus Gunnerus, 1768	
Hydroides pseudouncinatus Zibrowius, 1968	
Hydroides ind.	
Pomatoceros triqueter (Linnaeus, 1767)	
Serpula vermicularis Linnaeus, 1767	
Serpula sp.	
Vermiliopsis infundibulum (Philippi, 1844)	
CRUSTACEA CIRRIPIEDIA	
Balanus improvisus Darwin, 1854	
BRYOZOA	
Beania mirabilis Johnston, 1840	
Tricellaria inopinata D'Hondt & Occhipinti Ambrogi, 1985	
Schizoporella errata (Waters, 1878)	
Smittoidea reticulata (MacGillivray, 1841)	

La **Tab. 2** riporta la presenza-assenza delle specie sessili suddivise in quelle che contribuiscono alla colonizzazione primaria (processo di insediamento degli organismi sul substrato vergine) e quelle che contribuiscono alla colonizzazione secondaria (processo di insediamento degli organismi su altri organismi). Due mesi dopo l'installazione del Campo Sperimentale la colonizzazione è iniziata ad opera di *Anomia*

ephippium, *Pomatoceros triqueter*, *Hiatella rugosa*, *Mytilus galloprovincialis* e *Tubularia crocea*; un primo campionamento qualitativo, condotto sui blocchi perimetrali del CS, un mese dopo la loro installazione, aveva messo in evidenza la presenza di *Pomatoceros triqueter* e *Tubularia crocea*; l'epibiosi secondaria inizia in luglio.

Tab. 2 - Presenza-assenza delle specie sessili.

	Gennaio		Marzo		Maggio		Luglio		Settembre		Novembre	
	O1	V1	O1	V1	O1	V1	O1	V1	O1	V1	O1	V1
EPIBIOSI PRIMARIA												
Tubularia crocea	+	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0
Arca noae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+
Anadara demiri	+	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+
Mytilus galloprovincialis	+	0	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+
Modiolus barbatus	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+
Musculista senhousia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0
Anomia ephippium	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ostrea edulis	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+
Gastrochaena dubia	0	0	+	0	0	0	+	0	+	+	+	+
Hiatella arctica	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mollusca ind.	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0
Polycirrus ind.	0	0	0	0	0	0	+	0	+	0	+	+
Sabellaria sp.	0	0	0	0	0	0	+	0	+	0	+	+
Hydroides dianthus	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0
Hydroides norvegicus	0	0	0	0	0	+	0	+	0	0	0	0
Hydroides pseudouncinatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0
Hydroides ind.	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0
Pomatoceros triqueter	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Serpula vermicularis	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0
Serpula sp.	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0
Serpulidae sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	+	0
Vermiliopsis infundibulum	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0
Sabellidae	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0
Balanus improvisus	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tricellaria inopinata	0	0	0	+	0	+	+	0	+	+	+	+
EPIBIOSI SECONDARIA												
Hydroidea ind.	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+
Beania mirabilis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+
Schizoporella errata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	+
Smittoidea reticulata	0	0	0	0	0	0	+	0	+	+	+	+
ASCIDIACEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0
ANTHOZOA	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0	+	+

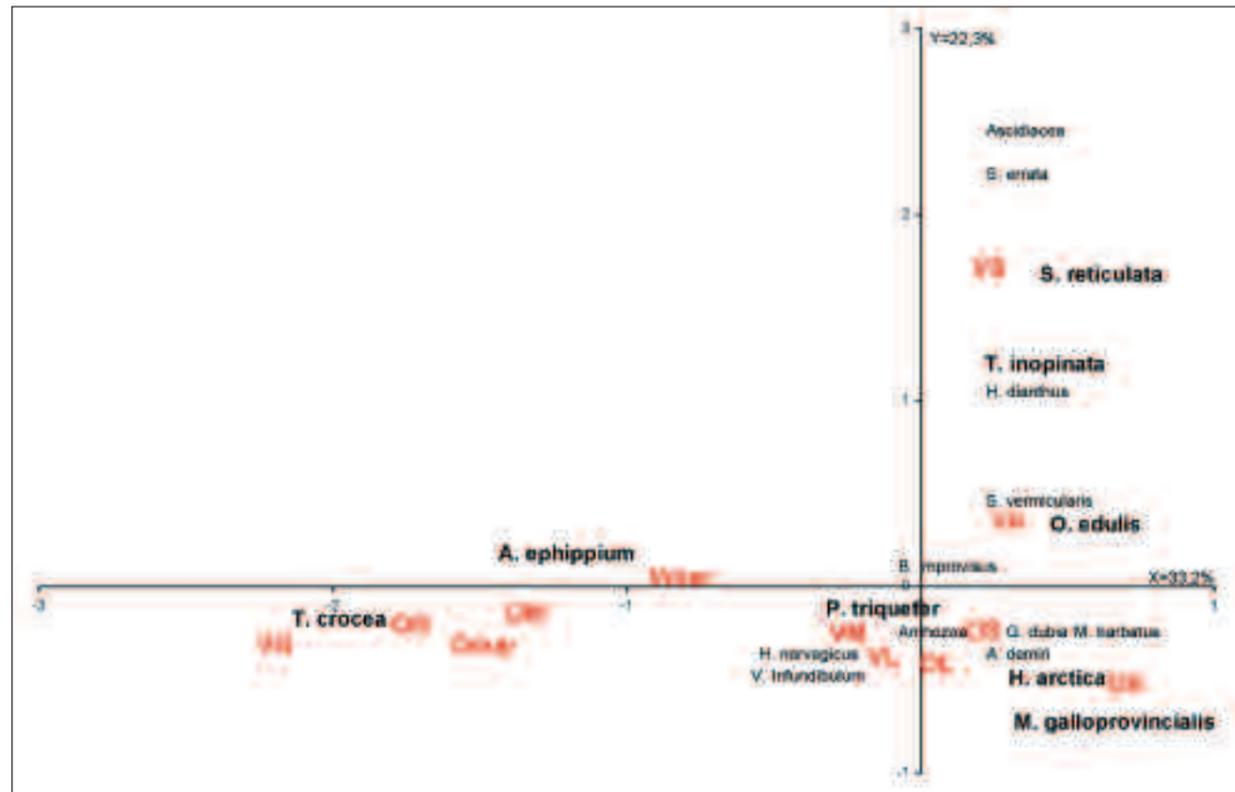


Fig. 4 - Risultato dell'analisi delle corrispondenze. V= faccia verticale, O= faccia orizzontale; G= gennaio, Mar= marzo, M= maggio, L= luglio, S= settembre, N= novembre.

L'analisi delle corrispondenze è stata applicata ad un set di dati depurato delle specie con ricoprimento <0,05%. Il risultato è illustrato in Fig. 4.

Procedendo dalla parte negativa a quella positiva dell'asse X, si osserva la graduale successione dai campioni invernali a quelli autunnali. Fra le specie associate a questi quelle che presentano il maggior contributo alla formazione dell'asse X (in neretto nel grafico) sono *Anomia ephippium* e *Tubularia crocea* che caratterizzano all'estremo negativo i campioni invernali e primaverili e *Hiatella arctica*, *Mytilus galloprovincialis*, *Ostrea edulis*, *Tricellaria inopinata* e *Smittoidea reticulata* che caratterizzano all'estremo positivo i campioni estivi ed autunnali. Procedendo dalla parte negativa a quella positiva dell'asse Y, si osserva la netta separazione dei campioni estivo-autunnali della

faccia orizzontale nella parte negativa dell'asse da quelli autunnali della faccia verticale. Fra le specie associate a queste stazioni quelle che presentano il maggior contributo nella formazione dell'asse sono *Hiatella arctica* e *Mytilus galloprovincialis* che caratterizzano, all'estremo negativo, i campioni estivo-autunnali della faccia orizzontale e *Ostrea edulis*, *Tricellaria inopinata* e *Smittoidea reticulata* che caratterizzano, all'estremo positivo, i campioni tardo estivo-autunnali della faccia verticale.

La Fig. 5 illustra il grafico dell'analisi delle corrispondenze in cui ad ogni campione è stata associata la composizione percentuale delle specie più abbondanti della fauna sessile; questo permette di evidenziare la presenza delle seguenti fasi di colonizzazione:

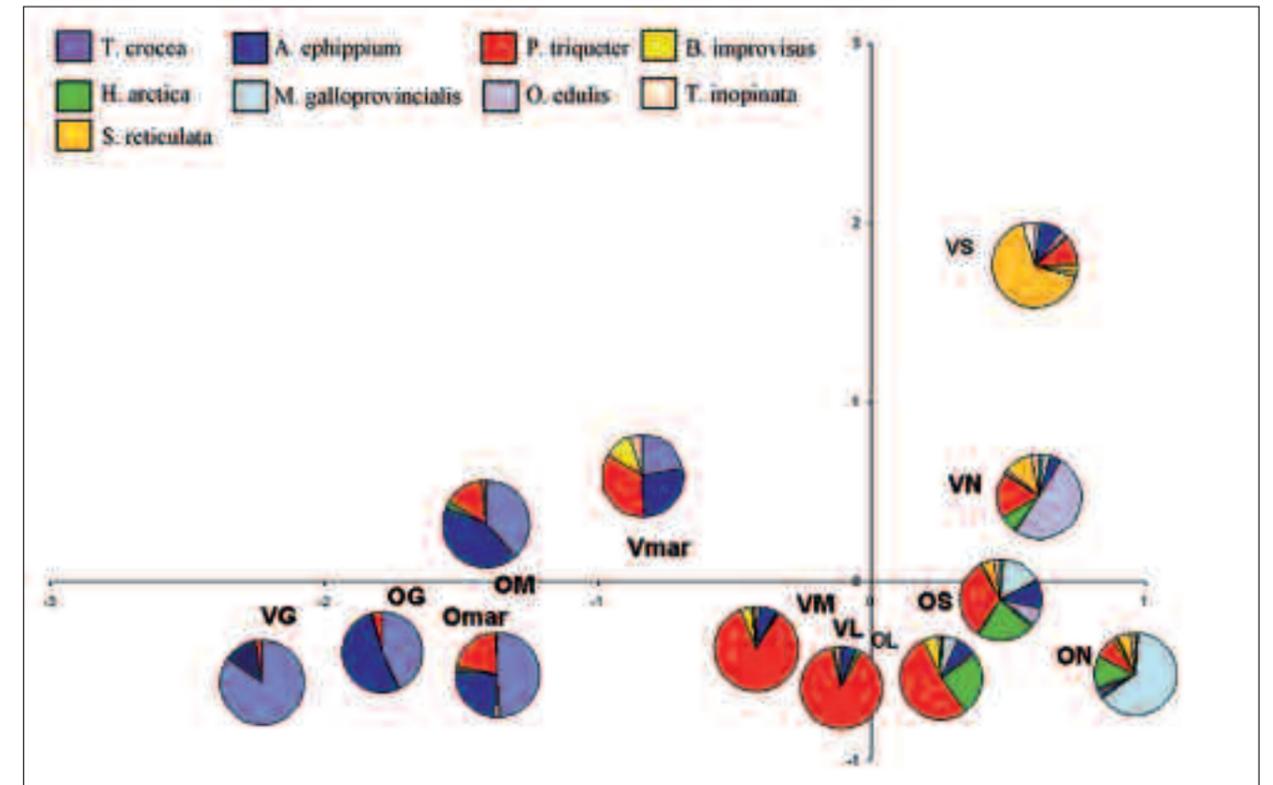


Fig. 5 - Grafico dell'analisi delle corrispondenze in cui ad ogni campione è stata associata la composizione percentuale delle specie più abbondanti della fauna sessile. Lista delle abbreviazioni: T. crocea=*Tubularia crocea*; A. ephippium=*Anomia ephippium*; P. triquetra=*Pomatoceros triquetra*; B. improvisus=*Balanus improvisus*; H. arctica=*Hiatella arctica*; M.galloprovincialis=*Mytilus galloprovincialis*; O. edulis=*Ostrea edulis*; T. inopinata=*Tricellaria inopinata*; S. reticulata=*Smittoidea reticulata*.

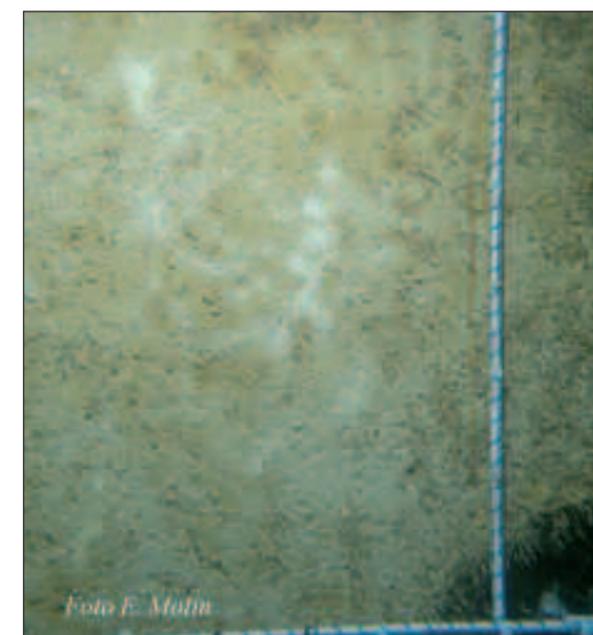


Fig. 6 - Aspetto della faccia orizzontale in febbraio.

Gennaio: le due facce presentano popolamenti simili, i colonizzatori sono su entrambe le facce piccole: colonie di *Tubularia crocea* e stadi giovanili di *Anomia ephippium*. Il ricoprimento del substrato è molto basso; la foto di Fig. 6 mostra l'aspetto della faccia orizzontale in febbraio; le macchie più scure sono le colonie di *Tubularia crocea*, non sono visibili gli esemplari di *Anomia ephippium* perchè troppo piccoli.

Marzo-Maggio: le due facce cominciano a distinguersi per strutture di popolamento diverse imputabili a differenze di dominanza fra le specie:

- a) la faccia orizzontale presenta un popolamento simile a quello invernale con diversa composizione percentuale delle specie presenti; *Tubularia crocea* e *Anomia ephippium*, infatti, diminuiscono, compare *Hiatella arctica*, *Pomatoceros triquetra* subisce un incremento;
- b) sulla faccia verticale la composizione percentuale di *Tubularia crocea* e *Anomia ephippium* decresce, compaiono *Balanus improvisus* e *Tricellaria inopinata*, il ricoprimento di

Pomatoceros triqueter cresce fino a diventare specie dominante in maggio, quando *Tubularia crocea* scompare.

Luglio: la differenza fra i popolamenti delle due facce diventa sempre più marcata. Il mese di luglio è caratterizzato dalla dominanza di *Pomatoceros triqueter*, molto più marcata sulla faccia verticale, mentre su quella orizzontale *Hiatella arctica*, *Anomia ephippium*, *Mytilus galloprovincialis* e *Balanus improvisus* costituiscono circa il 50 % del totale, *Tubularia crocea* scompare del tutto. La foto in **Fig. 7** mostra la differenza di ricoprimento di *Pomatoceros triqueter* sulle due facce nel mese di luglio.

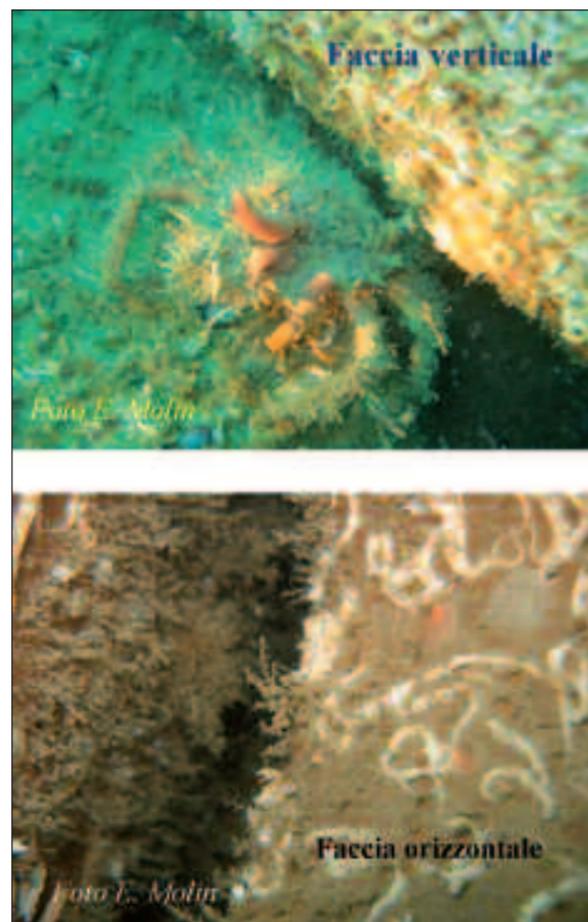


Fig. 7 - Aspetto delle facce orizzontali (sotto) e verticali (sopra) in luglio.

Settembre-Novembre: a partire da settembre il popolamento sulle due facce è completamente diversificato:

- la faccia orizzontale è caratterizzata da *Pomatoceros triqueter*, che va decrescendo, *Hiatella arctica*, *Anomia ephippium*, *Balanus improvisus* e *Mytilus galloprovincialis* che diventa dominante in novembre;
- sulla la faccia verticale compaiono *Smittoidea reticulata* e *Ostrea edulis* che diventano specie dominanti la prima in settembre, la seconda in novembre. E' da sottolineare che *Smittoidea reticulata* risulta presente solo come forma epibionte su altri organismi anche se la colonizzazione del substrato non è stata completata.

La **Fig. 8** illustra l'andamento nel tempo del ricoprimento delle specie più importanti sulla faccia orizzontale (sopra) e su quella verticale (sotto).

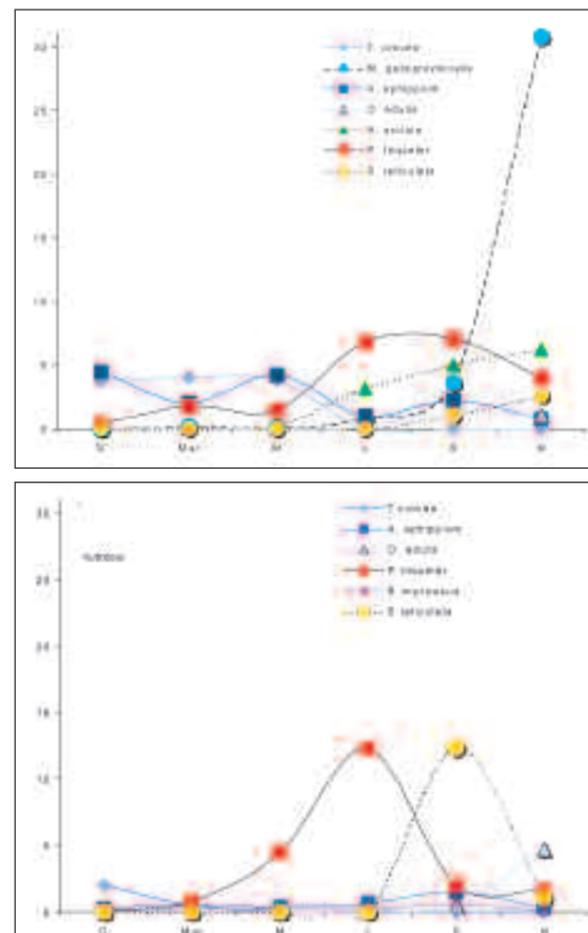


Fig. 8 - Andamento nel tempo del ricoprimento delle specie più importanti sulle facce orizzontale (sopra) e verticale (sotto).

Sulla faccia orizzontale (**Fig. 8 sopra**) si possono riconoscere 3 gruppi di specie:

- Pomatoceros triqueter* che aumenta fino a luglio per decrescere successivamente;
- quelle che aumentano nel periodo in esame (*Mytilus galloprovincialis*, *Hiattella arctica* e *Smittoidea reticulata*);
- quelle che decrescono per tutto il periodo considerato (*Anomia ephippium* e *Tubularia crocea*).

Il grafico di **Fig. 8 sotto** mostra la forte dominanza di *Pomatoceros triqueter* e *Smittoidea reticulata*; per *Pomatoceros triqueter*, l'andamento della curva mostra un rapido incremento fino a luglio seguito da un altrettanto rapido decremento fino a settembre; *Smittoidea reticulata* compare in luglio e presenta un picco in settembre per poi decrescere; *Ostrea edulis* compare in luglio e cresce fino alla fine del periodo di indagine. Le altre specie si mantengono su valori bassi.

DISCUSSIONE

I risultati di questo primo anno di studio forniscono informazioni preliminari sui processi di colonizzazione sulle strutture artificiali. La comprensione di questi processi risiede nella conoscenza dell'ecologia delle specie più significative.

Tubularia crocea (**Fig. 9**): Idroide comune nelle zone costiere, molto tollerante, si riproduce soprattutto dalla primavera all'autunno, l'insediamento può avvenire tutto l'anno ma è strettamente dipendente dalle condizioni idrodinamiche (Morri, 1981). L'insediamento larvale è attivo e le larve scelgono substrati in condizioni di alta turbolenza (Mullineaux e Garland, 1993). Nel Campo Sperimentale ha formato piccole colonie nel periodo da gennaio a maggio per scomparire successivamente. I motivi della sua scomparsa non sono al momento noti, mentre si può ipotizzare che una diminuzione della intensità idrodinamica possa aver impedito l'insediamento di nuove larve.

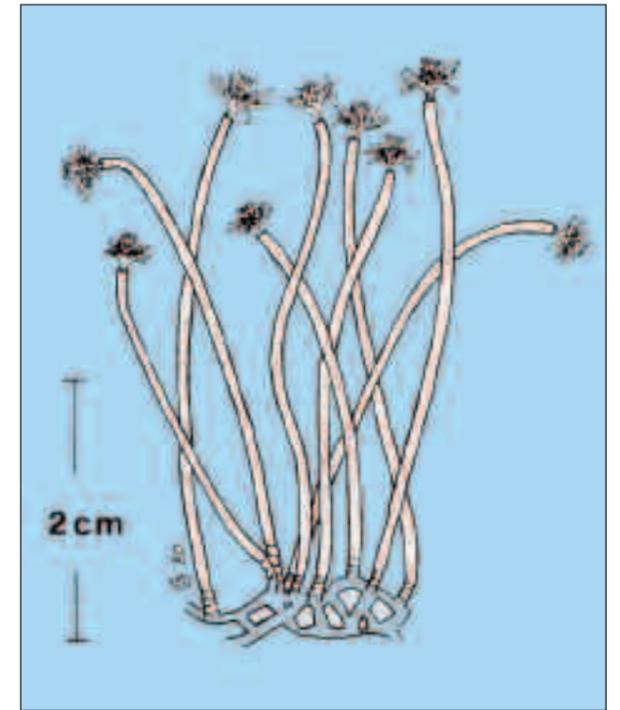


Fig. 9 - *Tubularia crocea* (Agassiz, 1862) (Da Morri, 1981).

Anomia ephippium (**Fig.10**): nei mari nord europei a temperature annue che variano fra 7 e 16° C, lo sviluppo delle gonadi si verifica dalla tarda primavera all'inizio dell'estate, in giugno-luglio vengono deposte le uova (Seed, 1980), la larva viene trovata nel plancton in estate (Rawlinson *et al.*, 2005) e il reclutamento ha luogo in settembre (Maughan e Barnes, 2000). Sembra inoltre preferire i substrati orizzontali (Relini e Ravano, 1971), i motivi di questa preferenza non sono però ben chiari e vanno ulteriormente investigati.



Fig. 10 - *Anomia ephippium* (Linnaeus, 1758) (Da Riedl, 1991).

Nel Campo Sperimentale è presente durante tutto il periodo di indagine ma più abbondante sulla faccia orizzontale e nel periodo invernale e primaverile quando la temperatura va da 7,5°C a 17,8 °C; in questo periodo le popolazioni sono costituite da un gran numero di individui giovanili. E' probabile, quindi, che la riproduzione ed il reclutamento di questa specie avvengano alle basse temperature.

Pomatoceros triqueter (Fig. 11): il metabolismo di *Pomatoceros triqueter* è influenzato dalla temperatura; aumenta infatti fortemente fra 6 e 18 C° con un massimo fra 20 e 24 C° (Klockner, 1978). Anche l'insediamento è avvantaggiato dall'incremento della temperatura (Campbell e Kelly, 2002), raggiungendo il massimo da aprile ad ottobre (Castric-Fey, 1983).

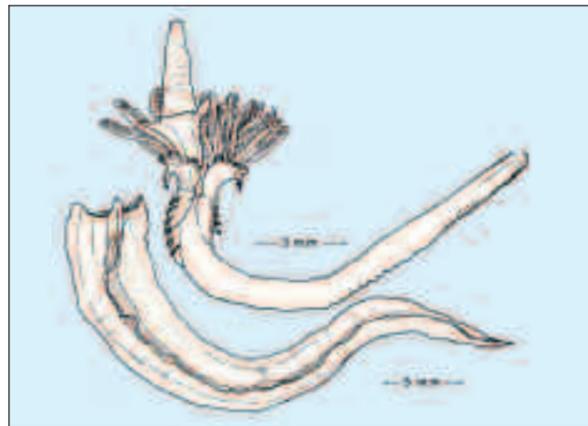


Fig. 11 - *Pomatoceros triqueter* (Linnaeus, 1767) (Da Bianchi, 1981).

Mytilus galloprovincialis (Fig. 12): il periodo di massimo insediamento in Nord Adriatico ed in laguna di Venezia è osservato fra aprile e luglio (Hrs-Brenko, 1980; Pellizzato e Renzoni, 1986); la rapida crescita delle sue popolazioni a partire dall'estate è attribuibile al fatto che le larve di questa specie preferiscono insediarsi su superfici "mature" (Bressan *et al.*, 2002).

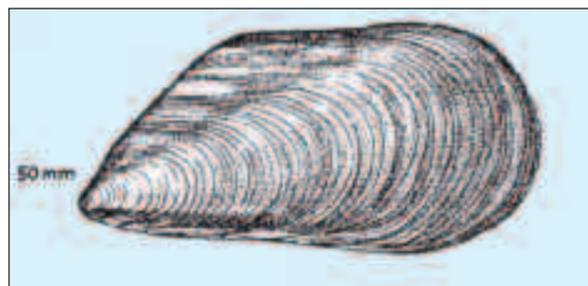


Fig. 12 - *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1818) (Da Riedl, 1991).

Ostrea edulis (Fig. 13): anche il metabolismo di *Ostrea edulis* è strettamente dipendente dalla temperatura; le gonadi maturano a temperature fra 16 e 18 °C, cioè nel periodo maggio-giugno, le larve si insediano fra maggio ed ottobre, su substrati dotati di una certa ruvidezza e liberi da patina algale. (Pellizzato e Renzoni, 1986).



Fig. 13 - *Ostrea edulis* (Linnaeus 1858) (Da Riedl, 1991).

Tricellaria inopinata (Fig. 14): questo Briozoo, pur non essendo molto abbondante, è interessante poiché è una specie nuova, descritta per la prima volta in laguna di Venezia negli anni '80; a partire dalla metà degli anni '80 ha invaso la laguna, ad eccezione delle zone marginali, offuscando le differenti aggregazioni di briozoi che caratterizzavano aree a diversa salinità e a diverso impatto antropico.

Specie generalista, presente su diversi tipi di substrati, tollerante cambiamenti di velocità di corrente, di livello di trofia, di salinità, con alto potenziale riproduttivo; in condizioni di acqua calma, libera larve lecitotrofiche a corta vita e con moderata capacità di dispersione; sembra, invece, influenzata da una eccessiva torbidità (Occhipinti Ambrogi, 2000).



Fig. 14 - *Tricellaria inopinata* D'Hondt & Occhipinti Ambrogi, 1985 (Da D'Hondt e Occhipinti Ambrogi, 1985, modificato).

Smittoidea reticulata (Fig 15): specie dall'ecologia poco conosciuta, rinvenuta spesso epibionte su altri organismi (Hayward e Ryland, 1979). Nel Campo sperimentale è stata trovata con ricoprimento considerevole su altri organismi e specialmente sulle valve dei molluschi sebbene il substrato originale non fosse stato ancora completamente colonizzato. Questo fa supporre che le larve prediligano per l'insediamento substrati dotati di una certa rugosità.

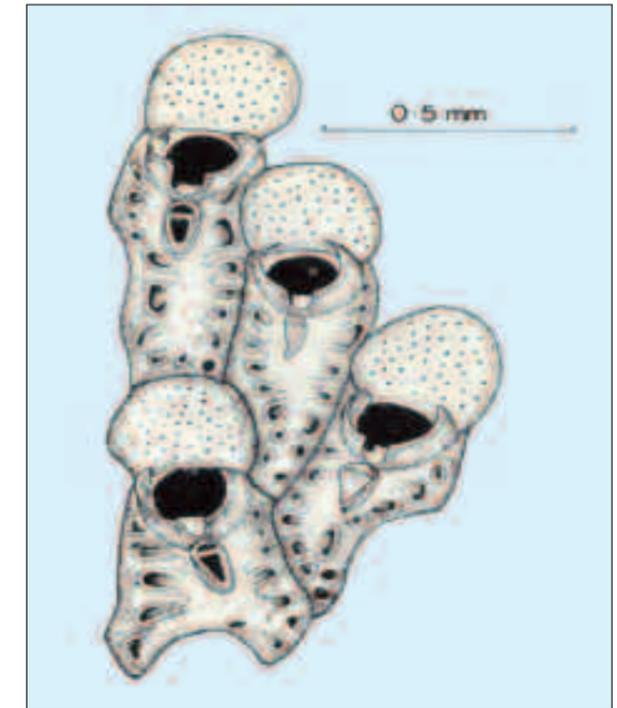


Fig. 15 - *Smittoidea reticulata* (J. Macgillivray, 1842) (Da Hayward e Ryland, 1979).

In sintesi i risultati di questo primo anno di studio possono essere riassunti nei seguenti punti:

- 1) Lungo il primo asse dell'analisi delle corrispondenze si osserva la transizione dai campioni dei mesi invernali verso quelli dei mesi autunnali con un graduale incremento della complessità della fauna sessile ed una sostituzione di specie nel corso dell'anno. La successione delle specie è da attribuire ai diversi periodi di insediamento come confermato dai dati di letteratura.
- 2) Esistono differenze fra i campioni della faccia orizzontale da quelli della faccia verticale; le differenze riscontrate sono da attribuire a variazioni di dominanza. Risultati simili sono stati ottenuti da Glasby e Connel (2001) e da Relini *et al.* (1998). Glasby e Connel (2001) hanno dimostrato che superfici orientate diversamente supportano raggruppamenti di specie diversi, le ragioni di queste differenze non sono chiare e possono coinvolgere la luce, le relazioni preda-predatore, il comportamento larvale, gli effetti dell'idrodinamismo a piccola scala. Relini *et al.* (1998) in esperimenti mirati ad evidenziare l'influenza della sedimentazione sulla colonizzazione di substrati duri, comparano le comunità bentoniche di pannelli orizzontali, sottoposti a diverso

apporto di sedimento, con quelle di pannelli verticali. I pannelli verticali sono caratterizzati da briozoi non incrostanti e serpulidi, le comunità sono più semplici con forte dominanza di poche specie. Le comunità dei pannelli orizzontali sono più ricche e più diversificate, ma quelle sottoposte ad elevato apporto di sedimento risultano meno ricche e dopo due anni subiscono una regressione ed un impoverimento. Un fattore che può influenzare l'insediamento degli organismi ed il successivo sviluppo della comunità può essere attribuito alla sedimentazione; Maughan (2001) dimostra, sperimentalmente, che il variare dell'intensità della luce e del tasso di sedimentazione su superfici orizzontali influenza il reclutamento iniziale ed il conseguente sviluppo delle comunità incrostanti.

3) Dal confronto con i dati di letteratura, sono state riscontrate analogie fra il processo di colonizzazione in atto nel Campo Sperimentale e quello in una barriera artificiale del Tirreno centrale posta di fronte ad una località (Fregene) prossima alla foce del Tevere. Le due aree di studio presentano caratteristiche simili (profondità, vicinanza di una foce fluviale, condizioni idrologiche) e stesse metodologie di indagine. Nella barriera del Tirreno, in uno studio condotto per oltre 5 anni, è stata osservata la successione di 4 fasi (Ardizzone *et al.*, 1989; 2000):

- insediamento dei pionieri* (i primi sei mesi): questa fase è caratterizzata dall'assenza di macrofite e dalla presenza di animali sessili (idroidi, balanidi, policheti, giovani mitili);
- fase di dominanza dei mitili* (due anni): i mitili insieme ai balanidi modificano la struttura del substrato aumentandone l'eterogeneità ed intrappolando sedimento offrendo, così, l'habitat ideale per la fauna vagile tanto di fondo duro che di fondo mobile e nuovo substrato per la fauna sessile costituita da idroidi e briozoi;
- periodo regressivo* (quarto e quinto anno): caratterizzato da un'ipersedimentazione; in questo periodo si osserva una progressiva scomparsa di mitili ed un incremento del numero di specie;
- climax*: caratterizzato dalla dominanza di detritivori e carnivori.

Tale successione è stata messa in relazione al grado di trofia della colonna d'acqua; d'altra parte i processi di colonizzazione su barriere artificiali hanno messo in evidenza una stretta relazione colonizzazione-trofia (Ardizzone *et al.*, 2000; Riggio, 1995).

CONCLUSIONI

In questo primo anno di studio i risultati, benché preliminari data la brevità della sperimentazione, hanno evidenziato alcuni aspetti di interesse scientifico su cui è necessario indagare ulteriormente:

- **la colonizzazione del substrato duro** del Campo Sperimentale può essere ricondotta alla fase di insediamento dei pionieri con presenza di policheti serpulidi, giovani mitili, cirripedi, bivalvi del genere *Anomia* e idroidi; sono assenti le macrofite probabilmente a causa della forte torbidità dell'acqua che limita la penetrazione della luce;
- **l'inclinazione del substrato** è stato un fattore discriminante per l'insediamento e l'espansione delle specie che hanno mostrato netta preferenza per l'una o l'altra faccia;
- **la scabrosità del substrato** ha favorito l'insediamento e l'espansione di specie come *Smittoidea reticulata*.

La prosecuzione della ricerca permetterà di comprendere l'evoluzione dei fenomeni descritti.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Dr. Taroni per l'elaborazione statistica dei dati, il Dr. Pessa e la Dr.ssa Zanon per l'esecuzione dei campionamenti.

BIBLIOGRAFIA

ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A., GRAVINA M.F., SOMASCHINI A., 1996 - Colonization and disappearance of *Mytilus galloprovincialis* Lam. on an artificial habitat in the Mediterranean sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **43**: 665-676.

ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A., SOMASCHINI A., 1995 - Fish colonization and feeding habits on a Mediterranean artificial habitat. *Proceeding of the 30° European Marine Biological Symposium, Southampton, U.K.*: 265-273.

ARDIZZONE G.D., GRAVINA M.F., BELLUSCIO A., 1989 - Temporal development of epibenthic communities on artificial reefs in the Central Mediterranean Sea. *Bull. Mar. Sc.* **44** (2): 592-608.

ARDIZZONE G.D., SOMASCHINI A., BELLUSCIO A., 2000 - Prediction of benthic and fish colonization on the Fregene and other Mediterranean Artificial reefs. IN: A.C. Jensen et al. (eds), *Artificial Reef in European Seas, Kluwer Academic Publ.*: 113-128.

BAINÉ M., 2001- Artificial reef: a review of their design, application, management and performance. *Ocean & Coastal Management*, **44**: 241-259.

BALDUZZI A., BOERO F., CATTANEO R., PANSINI M., PRONZATO R., 1985a - Etude du benthos sur les structures immergées dans la Réserve de Monaco. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, n. special. **4**: 163-165.

BALDUZZI A., BOERO F., FRESI E., LATETS A., PANSINI M., PESSANI D., PRONZATO R., 1985b - Area minima di campionamento di alcune componenti dello zoobenthos fisso di substrato duro. *Atti S.I.T.E.*: 5.

BENZECRI J.P., 1973 - L'analyse des données. V.2. Dunod Paris, 619 pp.

BIANCHI C.N., 1981 - Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque lagunari e costiere italiane. AQ/1/96. 5. Policheti serpuloidi. *CNR-Collana Promozione della qualità dell'ambiente*: 190 pp.

BOERO F., 1982 - The benthic populations of the submarine reserve of Monaco : 2. Hydroids *Journée d'Etude Récif artificiel et Mariculture suspend.* Cannes C.I.E.S.M.: 85-86.

BOERO F., FRESI E., 1986 - Zonation and evolution of a rocky bottom Hydroid community. *P.S.Z.N.I. Mar. Ecol.* **7**(2): 123-150.

BOUDOURESQUE C.F., 1974 - Aire minima et peuplements algaux marins. *Soc. Phycol. France*, **19**: 141-157.

BOUDOURESQUE C.F., BELSHER T., 1979 - Une méthode de détermination de l'aire minimal qualitative. *Rapp. Comm. Intern. Mer Médit.* **25-26**: 273-275.

BRESSAN M., BARICHELLO B., GATTO T., STELLATO M., ZAMPIERI S., PELLIZZATO M., 2002 - Insediamento larvale di molluschi bivalvi di interesse commerciale in laguna di Venezia. *Biol. Mar. Medit.* **9** (1): 244-246.

CAMPBELL D.A., KELLY M.S., 2002 - Settlement of *Pomatoceros triqueter* (L.) in two Scottish lochs and factors determining its abundance on mussels grown in suspended culture. *J. Shellfish Res.* **21**(2): 519-527.

CASTRIC-FEY A., 1983 - Recrutement, croissance et longévité de *Pomatoceros triqueter* et de *Pomatoceros lamarckii* sur plaques expérimentales, en baie de Concarneau (Sud-Finistère) *Ann. Inst. océanogr, Paris*. Nouvelle serie. **59** (1): 69-91.

CASTRIOTA L., FABI G., SPAGNOLO A., 1996 - Evoluzione del popolamento bentonico insediato su substrati in calcestruzzo immersi in medio Adriatico. *Biol. Mar. Medit.* **3** (1): 120-127.

CATTANEO R., 1982 - The benthic populations of the submarine reserve of Monaco: 3 Opisthobranch Molluscs. *Journée d'Etude Récif artificiel et Mariculture suspend.* Cannes C.I.E.S.M.: 87-88.

CHIMENZ C., NICOLETTI L., GRAVINA F., ARDIZZONE G., 1998 - Modalità di colonizzazione della fauna sessile su strutture artificiali in acque oligotrofiche (Isola di Ponza): Bryozoa. *Biol. Mar. Medit.* **4** (1): 331-335.

D'HONDT J.L., OCCHIPINTI AMBROGI A., 1985 - *Tricellaria inopinata* n.sp., un nouveau Bryozoaire Cheilostome de la faune méditerranéenne. *P.S.Z.N.I. Mar. Ecol.* **6** (1): 35-46.

GLASBY T.M., CONNELL S.D., 2001 - Orientation and position of substrata have large effects on epibiotic assemblages. *Mar Ecol Progr Ser* **214**:127-135.

GRAVINA M.F., ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A., 1989 - Polychaetes of an artificial reef in the central Mediterranean sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **28**:161-172.

HAYWARD P.J. E RYLAND J.S., 1979 - British Ascophoran Bryozoans. Synopses of the British Fauna (New Series), n°14. Kermack D.M. & Barnes R.S.K. Ed., *Academic Press*: 312 pp.

HRS-BRENKO M., 1980 - The settlement of mussels and oysters in the Northern Adriatic Sea. *Nova Thalassia* **4 Suppl.**: 67-85.

KLOCKNER K., 1978 - Zur Oekologie von *Pomatoceros triqueter* (Serpulidae, Polychaeta) 2. Einflüsse der Temperatur und Toleranz, Tubusregeneration, Sauerstoffverbrauch und Filtrierleistung. *Helgol. Wiss. Meeresunters.* **31**(3): 257-284.

KOKAK F., ZAMBONI N., 1998 - Settlement and seasonal changes of

sessile macrobenthic communities of the panels in the Loano artificial reef (Ligurian sea, NW Mediterranean). *Oebalia* **24**: 17-37.

MAUGHAN B.C., 2001 - The effects of sedimentation and light on recruitment and development of a temperate, subtidal, epifaunal community. *J. Exper. Mar. Biol. Ecol.* **256**: 59-71.

MAUGHAN B.C., BARNES D.K.A., 2000 - Seasonality of competition in early development of subtidal encrusting communities. *P.S.Z.N.I. Mar. Ecol.* **21 (3-4)**: 205-220.

MORRI C., 1981 - Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque lagunari e costiere italiane. AQ/1/94. 6: Idrozoi lagunari. *CNR-Collana Promozione della qualità dell'ambiente*: 109 pp.

MULLINEAUX L.S., GARLAND E.D., 1993 - Larval recruitment in response to manipulated field flows. *Mar. Biol.* **116**: 667-683.

OCCHIPINTI AMBROGI A., 2000 - Biotic invasions in a Mediterranean Lagoon. *Biological Invasions* **2**: 165-176.

PANSINI M., 1982 - The benthic populations of the submarine reserve of Monaco: 1 Spongiaires. *Journée d'Etude Récif artificiel et Mariculture suspend.* *Cannes C.I.E.S.M.*: 83-84.

PELLIZZATO M., RENZONI A., 1986 - Raccolta di seme di *Mytilus galloprovincialis* LMK, *Ostrea edulis* L. e *Crassostrea gigas* (Thunberg) e loro allevamento in Laguna di Venezia. *Nova Thalassia* **8 (suppl.3)**: 381-392.

RAWLINSON K.A., DAVENPORT J., BARNES D.K.A., 2005 - Tidal exchange of zooplankton between Lough Hyne and the adjacent coast. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **62**: 205-215.

RELINI G., MERELLO S.E., TORCHIA G., 1998 - Influenza della sedimentazione sulla colonizzazione e successione ecologica di substrati duri. *Biol. Mar. Medit.* **5 (1)**: 154-163.

RELINI G., RAVANO D., 1971 - Aspects of the ecology of molluscs in Ligurian Sea fouling. *Atti Soc. Ital. Sci. Nat. Mus. Civ. Stor. Nat.* **112(3)**: 301-315.

RIEDL R., 1991 - Fauna e Flora del Mediterraneo. *Franco Muzzio editore*: 777 pp.

RIGGIO S., 1995 - Le barriere artificiali e l'uso conservativo della fascia costiera: risultati dei "reefs" nella Sicilia N/O. *Biol. Mar. Medit.* **2 (1)**: 129-164.

RIGGIO S., GIACCONE G., BADALAMENTI F., GRISTINA M., 1985 - An eighteen months survey of the artificial reef off Terrasini (NW Sicily): the invertebrates. *Oebalia* **11 (n.s.)**: 427-437.

SEED R., 1980 - Reproduction and growth in *Anomia ephippium* (L.) (Bivalvia: Anomiidae) in Strangford Lough, Northern Ireland. *J. Conchol.* **30 (4)**: 239-245.

SOMASCHINI A., ARDIZZONE G. D., GRAVINA M. F., 1997 - Long-term changes in the structure of a polychaete community on artificial habitat. *Bull. Mar. Sc.* **60 (2)**: 460-466.

WEINBERG S., 1978 - The minimal area problem in invertebrate communities of Mediterranean rocky substrata. *Mar. Biol.* **49**: 33-40.

MONITORAGGIO FOTOGRAFICO DELLA COMUNITÀ BENTONICA NEL CAMPO SPERIMENTALE PHOTOGRAPHIC MONITORING OF BENTHIC COMMUNITIES IN THE "CAMPO SPERIMENTALE"

E. MOLIN *, M. GOMIERO, M. ZANELLA
* THETIS SPA, Castello 2737/f - 30122 Venezia
e-mail: molin.e@thetis.it

RIASSUNTO

Nell'ambito del progetto: "PROGRAMMA TRIENNALE PER LA TUTELA AMBIENTALE 1994 - 1996 Intervento n.72, "CAMPO SPERIMENTALE IN MARE", è stata effettuata una serie di rilievi fotografici della comunità bentonica di un'area a substrato duro artificiale per verificare la produttività del sito e documentare il processo di colonizzazione della fauna bentonica e neotonica. Per alcune specie presenti quali l'idrozoo *Tubularia crocea* (Agassiz, 1862), il bivalve *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) e il tunicato *Styela plicata* (Lesueur, 1823) dalle fotografie è stato possibile ricavare, tramite opportune conversioni, delle stime di biomassa e/o abbondanza; durante le campagne di monitoraggio sono state effettuate osservazioni qualitative sulla componente bentonica e neotonica, della quale è stata raccolta un'ampia documentazione fotografica.

ABSTRACT

During the project "Intervento n.72, Campo Sperimentale in mare", some photographic samples of the benthic community were carried out in an artificial outcrops to verify the secondary production of the site. By the photographic sample for some species, with opportunity conversions' coefficients, has been possible to estimate the biomass of the organism or the abundance. The species studied were the Idrozoa *Tubularia crocea* (Agassiz, 1862), the Bivalva *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) and the tunicates *Styela plicata* (Lesueur, 1823). During the survey some qualitative observations of the benthos and of the nekton and some photographic documentation were carried out.

INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto Intervento n.72, "Campo Sperimentale in mare", all'interno della linea di ricerca: "Studi sulle comunità dei substrati artificiali", la sottolinea "Monitoraggio fotografico di comunità bentoniche di substrato duro per la raccolta di dati sulla produttività del sito" ha previsto una serie di attività di ricerca finalizzate alla comprensione dell'efficacia delle strutture sommerse del "Campo" nell'aumentare la produttività dell'ecosistema. Lo studio è stato effettuato principalmente con tecniche di fotografia subacquea ed è stato focalizzato sulla fauna bentonica di substrato duro che ha colonizzato nel tempo i substrati artificiali.

La presenza di una barriera sommersa rappresenta l'opportunità per lo sviluppo di nuovi habitat che si rendono disponibili come *nursery zone* per il reclutamento di forme larvali di organismi bentonici, proteggendole dalla predazione e fornendo un substrato adatto alla loro colonizzazione, determinando l'innescio di nuove catene trofiche.

Lo studio del benthos si basa principalmente sulla raccolta di organismi con strumenti diversi a seconda della tipologia del substrato: benna su fondi molli, *grattage* (raschiamenti del benthos) su superfici dure, sorbona su praterie a fanerogame.

Da alcuni decenni però, alla classica raccolta di organismi sul campo, sono state affiancate, in esperienze condotte sia in Adriatico che in altre regioni europee e nord americane, tecniche di fotografia subacquea (Pronzato, 1996; Fedra *et al.*, 1979), di stereofotografia (Lundalv, 1971; Christi, 1980; Green, 1980) e di rilievo tramite R.O.V.- Remotely Operated Vehicle (Balduzzi *et al.*, 1992).

Risale ormai al 1991 la definizione data da Gage e Tyler di "megabenthos" che, secondo gli autori, rappresenta la frazione bentonica operativamente definita dagli organismi che vengono determinati su fotografie del fondale. Secondo altri autori (Lampitt *et al.* 1986), inoltre, tale frazione rappresenta una componente distinta dell'ecosistema rispetto alla macrofauna e alla meiofauna.

Spesso dalle fotografie è possibile ottenere stime della densità e della percentuale di ricoprimento degli organismi in modo rapido ed efficace. E' possibile inoltre, utilizzando degli indici di conversione appositamente ricavati da organismi raccolti in loco, ottenere delle stime volumetriche e di biomassa degli organismi o delle colonie presenti (Bohnsack, 1979; Molin *et al.*, 2003).

MATERIALI E METODI

Le barriere artificiali sulle quale è stato condotto il monitoraggio sono state posizionate nel campo sperimentale nel mese di novembre 2003. La struttura indagata è una barriera di tipo A che consiste in una piramide formata da 5 cubi di cemento con il lato di 2 m; quattro di essi fungono da base, mentre il quinto è posizionato al di sopra degli altri in posizione di vertice, ogni cubo di cemento presenta dei fori sulle facce verticali. La stazione monitorata era sita in posizione orizzontale sul cubo più superficiale (Fig. 1).

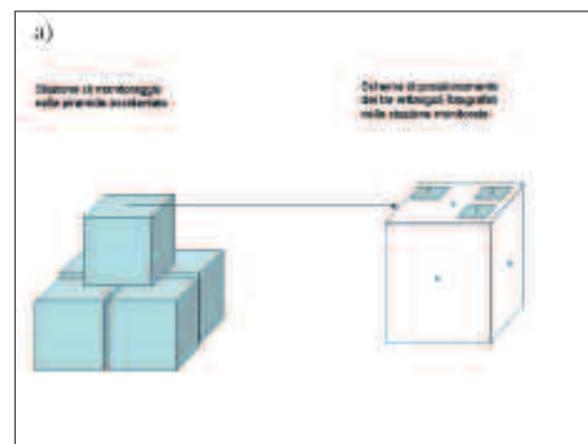


Fig. 1 - a) Schema della piramide e della stazione campionata, b) fotografia del cubo superiore della piramide (Febbraio 2004).

Il processo di colonizzazione del substrato è stato seguito mediante rilievo fotografico di tre aree utilizzando una macchina fotografica subacquea Nikonos V, con distanziatore metallico (Fig. 2); con tale tecnica è possibile inquadrare un'area di circa 1500 cm². Nella campagna di ottobre 2004, sono stati fatti dei rilievi fotografici nella parete verticale rivolta a sud.

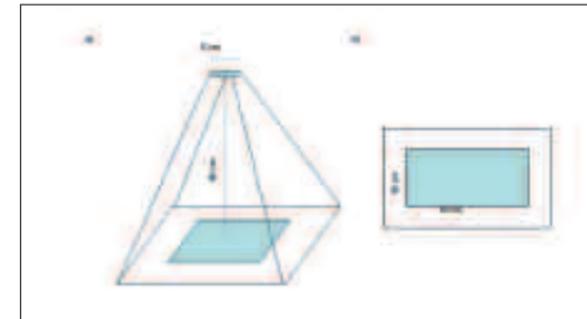


Fig. 2 - Distanziatore metallico per il posizionamento della macchina fotografica.

L'attività di campionamento ha previsto tre campagne di misura:

- Febbraio 2004: monitoraggio della stazione (tre repliche) (Fig. 3); osservazioni e fotografie degli organismi dell'intera struttura;
- Luglio 2004: monitoraggio della stazione (tre repliche), osservazioni e fotografie degli organismi dell'intera struttura;
- Ottobre 2004: monitoraggio di una parete verticale del cubo superiore, osservazioni e fotografie degli organismi dell'intera struttura.

Nelle tre aree della stazione di monitoraggio fotografate in febbraio e luglio, sono state osservate alcune colonie di Idrozoi (Fig. 3) e alcuni Bivalvi durante la prima campagna; mentre, durante la seconda, sono stati osservati dei mitili (Fig. 4).

Ad ottobre, campagna dedicata al monitoraggio di una delle quattro pareti verticali del cubo superiore, di superficie totale pari a 4 m², sono stati fotografati, oltre ai mitili, alcuni esemplari di Ascidia (Fig. 5) e alcune colonie di Briozoi.

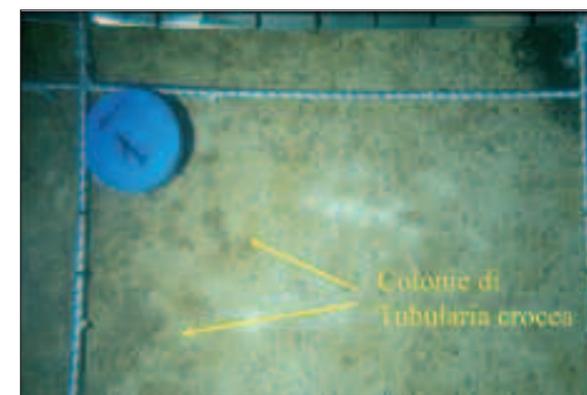


Fig. 3 - Esempio di immagine ricavata dalle fotografie scattate nella stazione su uno dei tre punti scelti per il monitoraggio nel mese di Febbraio 2004.

Durante i campionamenti sono stati raccolti manualmente alcuni degli organismi fotografati nella stazione dalle aree limitrofe per permettere una loro più facile determinazione in laboratorio; gli organismi sono stati fissati in formalina al 7% ed acqua di mare.

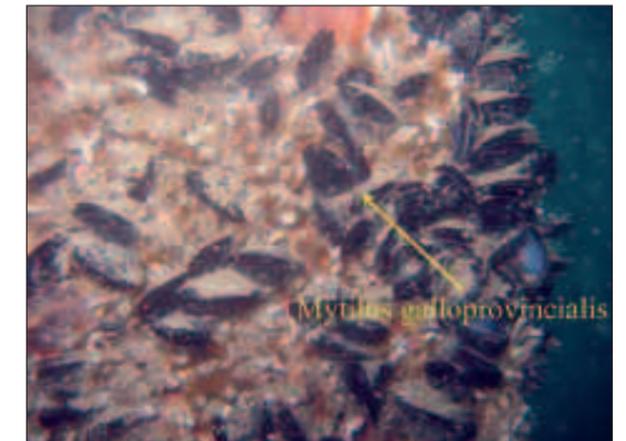


Fig. 4 - Mitili fotografati nella parete verticale sud in Ottobre 2004.

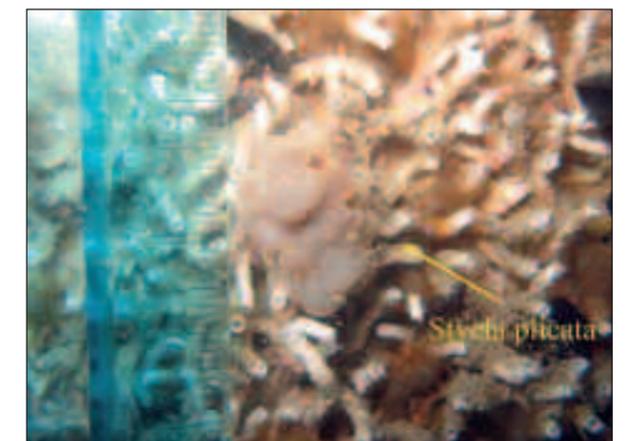


Fig. 5 - Fotografia eseguita sull'ascidiaceo *Styela plicata* nel mese di Ottobre 2004.

Le fotografie scattate, digitalizzate ed analizzate con il software AutoCad 2004, hanno permesso di determinare la copertura percentuale delle colonie di Idrozoi, degli esemplari di ascidia e dei briozoi ed il conteggio dei bivalvi (fotografati a febbraio) e dei mitili (fotografati in luglio).

In laboratorio si è proceduto alla determinazione tassonomica e all'esecuzione di alcune misure biometriche sugli organismi raccolti. Sui polipi delle colonie di idrozoi, dopo averli staccati dall'Idroriza basale e separati, si sono ricavate le misure di lunghezza dei polipi, il diametro della corolla tentacolare esterna, la profondità della corolla, la lunghezza dei tentacoli, il peso umido e il peso secco. Dai mitili raccolti sono stati ricavati i

valori del diametro antero - posteriore (D a-p), di quello umbo - ventrale (D u-v), del peso umido (p.u.) e del peso secco (p.s.). Sono state ricavate inoltre le distribuzioni dimensionali dei polipi di idrozoi analizzati e dei mitili raccolti suddividendoli per classi di peso secco.

Sulle ascidie raccolte (n = 10) sono state determinate la superficie di copertura (Sup.), il volume (V), il peso umido (p.u.), il peso secco (p.s.) ed il peso secco meno ceneri (p.s.-c.).

Per correlare i valori di copertura delle colonie di Idrozoi con la biomassa, dalle porzioni di colonia raccolte si è messa in relazione la superficie con il numero dei polipi presenti per stimare la densità delle colonie (Thetis, 2004).

A complemento di questo studio, durante le campagne di campionamento sono stati effettuati osservazioni e rilievi in immersione sulla comunità animale presente nell'area. A tale scopo sono state eseguite ricognizioni in tutta l'area della piramide al fine di censire le specie incontrate, quando possibile, documentare fotograficamente la presenza di ictiofauna neotonica e demersale, per verificare l'efficacia delle strutture sommerse come polo di attrazione per specie ittiche e bentoniche di pregio.

RISULTATI

Durante le tre campagne di misura è stato possibile osservare la presenza sulle strutture della piramide di una bassa copertura di organismi sessili e di una loro lenta colonizzazione, se si eccettua la forte presenza di Serpulidi su tutte le superfici della piramide (Fig. 6).

Tab. 1 - Elenco delle specie osservate durante le campagne di monitoraggio nell'area della piramide.

Phylum:	CNIDARIA <i>Tubularia crocea</i> (Agassiz, 1862)
Phylum:	ANNELIDA SERPULIDAE
Phylum:	MOLLUSCA <i>Chamae sp.</i> (Linnaeus, 1758) <i>Anomia ephippium</i> (Linnaeus, 1758) <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819) <i>Chlamys sp.</i> (Linnaeus, 1758) <i>Zelotes sp.</i> Lamarck, 1798
Phylum:	ARTHROPODA <i>Maya squarreda</i> (Edwards, 1834) <i>Maya verrucosa</i> (Edwards, 1834) <i>Macropodia sp.</i> (Linnaeus, 1791)
Phylum:	BRYOZOA <i>Schizobranchella sanguinea</i> (Norman, 1888)
Phylum:	TUNICATA <i>Phallusia mamillata</i> (Cuvier, 1815) <i>Styela plicata</i> (Lesueur, 1823)
Phylum:	CORDATA <i>Conger conger</i> (Linnaeus, 1758) Gobiidae <i>Soleana urebra</i> (Linnaeus, 1758) <i>Gadus sp.</i>

Ancora nel mese di luglio la colonizzazione si presentava scarsa e con poche specie. Anche se le forme sessili hanno presentato un lento grado di colonizzazione, è stato possibile individuare nelle forme vagili un arricchimento specifico di notevole entità ed interesse, documentato in parte dalle fotografie di seguito riportate. Nella **Tab. 1** sono riportati i Taxa osservati durante le tre campagne, mentre nelle **Fig. 7** sono riportate le fotografie di alcune specie osservate nei pressi della piramide nel mese di luglio 2004.



Fig. 6 - Individui di *Phallusia mamillata* (Cuvier, 1815), ovature di *Loligo sp.* Lamarck, 1798 e copertura a Serpulidi presente nei fori delle pareti verticali nel mese di luglio 2004.

Per ciò che concerne le forme sessili, quelle osservate in febbraio, a tre mesi dal posizionamento del Campo Sperimentale, erano costituite in prevalenza dal Bivalve *Anomia ephippium* (Linnaeus, 1758) (Fig. 8) e dall'idrozoa *Tubularia crocea* (Agassiz, 1862), piuttosto comune per la laguna di Venezia e per il litorale veneziano. Entrambe le specie sono spesso presenti durante i primi stadi della colonizzazione del substrato duro (Bramanti et al., 2003; Mizzan et al., 1992). Le superfici fotografate presentavano una bassa copertura e il numero medio di individui di *Anomia ephippium*, ricavato dalle fotografie, è risultato pari a 46.9 ind./m² (Quadrato 1 = 60.1 ind/m²; Quadrato 2 = 39.5 ind/m²; Quadrato 3 = 41.2 ind/m²).

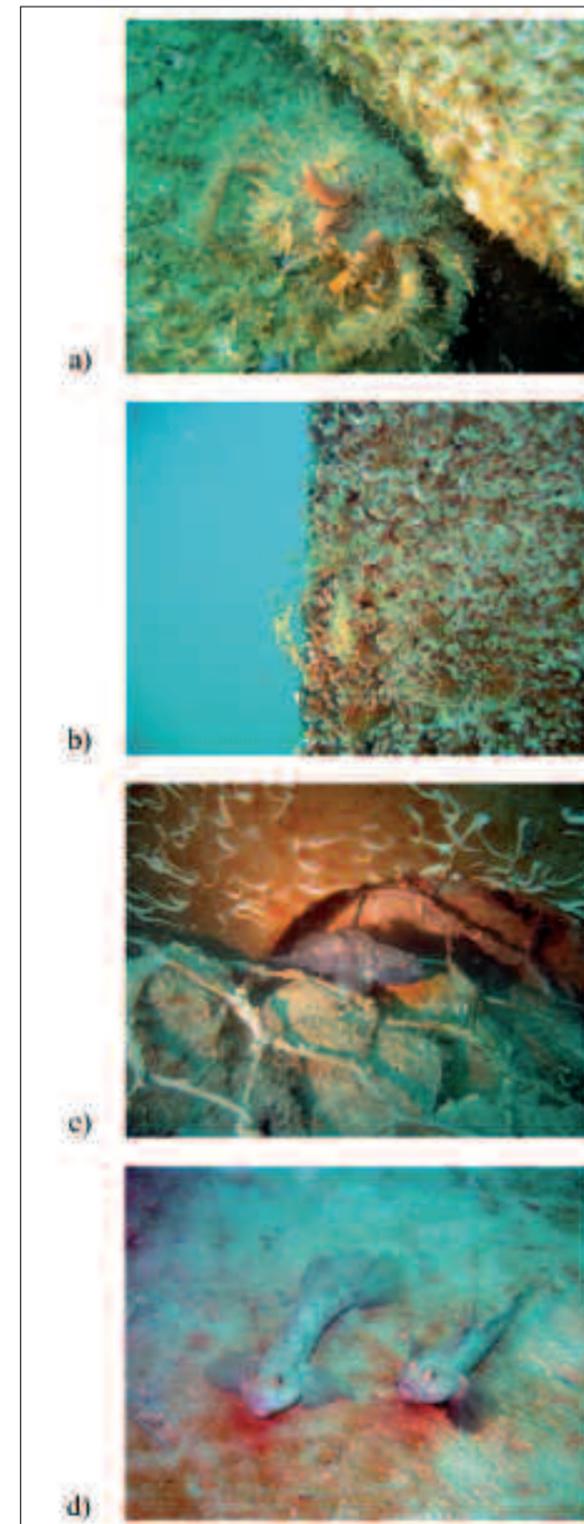


Fig. 7 - Esempi di *Maya sp.*(a) e di *Macropodia sp.* (b) e di Gobiidae (c, d) fotografati nel Campo Sperimentale nel mese di Luglio 2004.

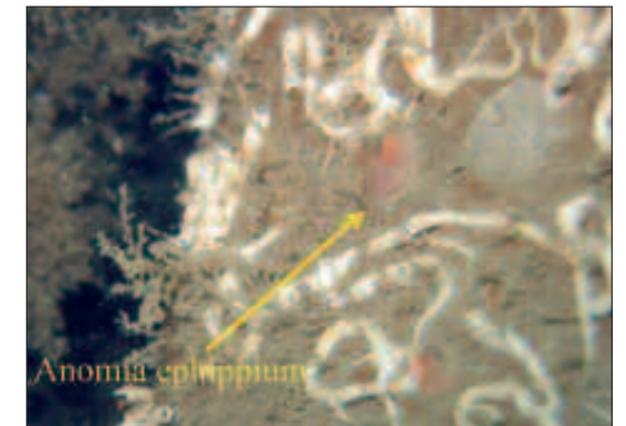


Fig. 8 - Individuo appartenente alla specie *Anomia ephippium* (Linnaeus, 1758) fotografato nella parete verticale della piramide (Luglio 2004).

Tubularia crocea (Agassiz, 1862) è un Idrozoa coloniale; la colonia potenzialmente può raggiungere i 10 centimetri di altezza e consiste di un ciuffo di idrocauli tubulari che si innalzano da idrorize filiformi. I gonofori, disposti in grappoli corti tra le due corone di tentacoli, producono larve libere dette actinule, che si fissano al substrato ed originano nuove colonie (Fig. 9).

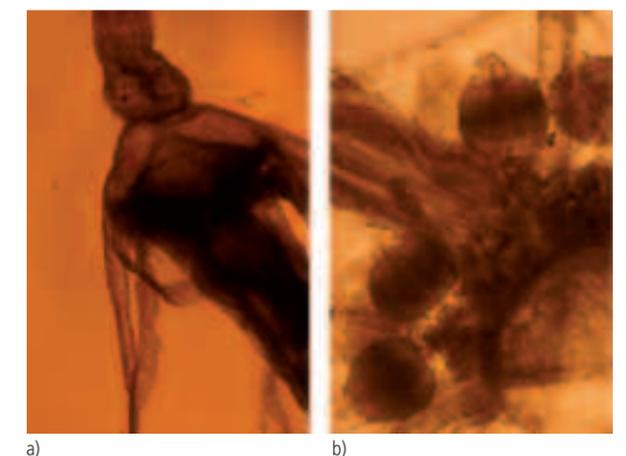


Fig. 9 - *Tubularia crocea*: a) corolla tentacolare e b) gonofori di individuo raccolto a Febbraio 2004.

Le colonie di *T. crocea* hanno raggiunto un valore medio di copertura sulla faccia orizzontale della struttura pari al 17.8 % (Quadrato 1= 21.1% pari a 317 cm², Quadrato 2= 17.3% pari a 259 cm², Quadrato 3=15.1% pari a 226 cm²). I valori statistici dei parametri analizzati in laboratorio sono riportati in **Tab. 2**.

Tab. 2 - Statistica delle analisi biometriche effettuate in laboratorio sui polipi di *T. crocea*.

Polipo	Lung. animale	Diametro corolla	d	Tentacolo	p.u.	p.s.
	mm	mm	mm	mm	mg	mg
media	28.46	2.08	0.80	3.38	6.94	1.08
St.Dev.	10.91	0.87	0.20	0.69	5.52	0.89
mediana	26.07	2.06	0.78	3.33	4.84	0.76
n.	27	27	27	27	49	49

Lung. Animale = lunghezza idrocaule + idranle
 Tentacolo = lunghezza del tentacolo esterno
 diametro corolla = diametro della corolla tentacolare esterna
 d = profondità della corolla
 p.u. = peso umido
 p.s. = peso secco

Utilizzando la relazione tra l'area delle colonie raccolte e il numero di polipi presenti (Thetis, 2004), è stato possibile stimare una presenza media, sui tre quadrati fotografati di 167.341 Polipi su m², assumendo la distribuzione dimensionale dei polipi fotografati comparabile con quella degli animali raccolti e analizzati in laboratorio. Essendo essi appartenenti alle stesse colonie sviluppatesi nel medesimo periodo è stato possibile stimare una biomassa media pari a 184.8 g/m².

La distribuzione dimensionale dei polipi raccolti ed analizzati è riportata in **Fig. 10**, essa evidenzia come il 45 % abbia una biomassa in p.s. compresa tra 0.67 e 1.20 mg, mentre il range di variazione totale è compreso tra 0.14 e 3.86 mg.

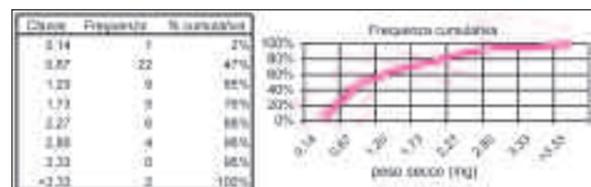


Fig. 10 - Distribuzione di frequenza in classi di peso dei polipi analizzati in laboratorio (n=49).

Nel mese di luglio 2004, a nove mesi dalla messa in opera delle strutture, la stazione era ancora caratterizzata da una bassa copertura; era presente il Bivalve *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), mentre erano scomparse le colonie di Tubularia fotografate in Febbraio; gli esemplari di *M. galloprovincialis* osservati sulla faccia orizzontale avevano dimensioni inferiori rispetto a quelli presenti sulle facce verticali. Negli anfratti formati dal reticolato posto come sostegno alla base della piramide e nei buchi centrali delle facce dei cubi, in zone perciò

meno esposte ai tassi di sedimentazione, si è potuta osservare la presenza di alcuni esemplari dell'ascidiaceo Phallusia mamillata (Cuvier, 1815) (**Fig. 6**), mentre in una delle quattro pareti verticali (parete rivolta a sud) è stata osservata la presenza di una colonia del Briozoo *Schizobrachiella sanguinae* (Norman, 1868).

Il numero di individui di *M. galloprovincialis* fotografati durante la campagna, riportato in **Tab. 3**, è stato mediamente pari a 388 ind./m².

Tab. 3 - Risultati del conteggio effettuato su *M. galloprovincialis* nelle tre aree fotografate della stazione di monitoraggio.

Conteggio di <i>Mytilus galloprovincialis</i>				
	cm ²	m ²	n. ind.	Ind/m ²
Area q1	1742	0,17	59	338
Area q2	1125	0,11	65	578
Area q3	1085	0,11	27	249
media	1317	0,13	50	388
st.dev.	368	0,04	20	170

I Mitili raccolti nei pressi della stazione di misura, su di un'area comparabile a quella fotografata (1500 cm², n=39), presentano una dimensione media del diametro antero - posteriore pari a 9.6 mm (**Tab. 4**); ben il 18 % dei Mitili è risultato avere un D. a-p inferiore a 5 mm.

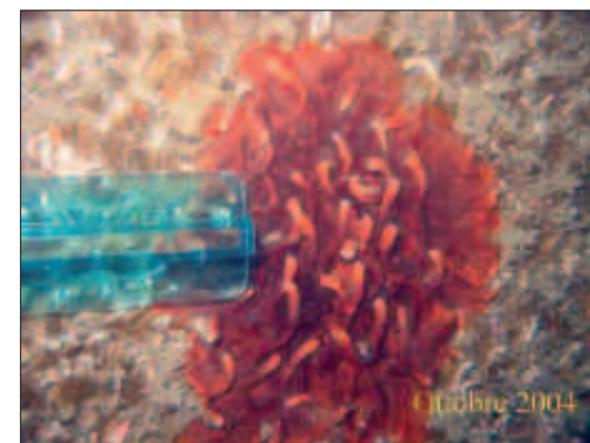
Tab. 4 - Statistica delle analisi biometriche effettuate in laboratorio sugli individui di *M. galloprovincialis* raccolti.

n°	D.a.v	D.a.p	p.u. (g)	p.s. (g)	p.s. (mg)	a. coostriglio	p.s. (mg)
	mm	mm	g	g	mg	mm	mg
Media	17,5	9,8	1,157	0,575	614,5	581,5	33,1
Mediana	15,5	9,8	0,530	0,239	210,4	250,4	16,2
Dev. St.	7,3	4,8	1,256	0,693	644,3	610,3	31,8
Min	6,5	3,8	0,054	0,007	43,2	41,4	1,9
Max	34,0	16,0	4,310	2,390	2460,0	2384,9	124,2
n	39	39	39	39	39	39	39

Nel mese di ottobre 2004, a quasi un anno dal posizionamento della piramide, mentre sulle superfici orizzontali della stazione di monitoraggio non sono state osservate nuove specie oltre a quelle già presenti nei campionamenti precedenti, su una delle pareti verticali del cubo superiore sono state osservate alcune Ascidie appartenenti alla specie *Styela plicata* (Lesueur, 1823) (**Fig. 5**), mentre l'unica colonia del Briozoo *Schizobrachiella sanguinae* (Norman, 1868) presente sulla faccia verticale a luglio è aumentata considerevolmente di dimensioni (**Fig. 11**) e altre colonie, non presenti nel mese di luglio, sono state rinvenute; è stato inoltre possibile osservare la presenza del Pectinidae *Clamys* (Linneo, 1758), (**Fig. 12**).



a)



b)

Fig. 11 - Colonia di *S. sanguinea* fotografata in Luglio 2004 (a) e in Ottobre 2004 (b).

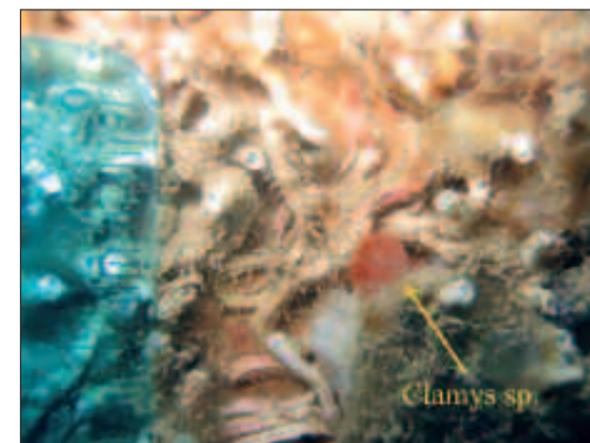


Fig. 12 - Individuo di *Clamys* sp. (Linneo, 1758) fotografato ad ottobre nella parete verticale.

Styela plicata è un'ascidia semplice, appartiene all'Ordine Stolidobranchiata, Famiglia Styelidae; essa presenta una forma a patata o a bulbo, è molto comune nelle acque superficiali. Ha una colorazione bianco sporco o brunoastro, raggiunge dimensioni non superiori a 5-7 centimetri.

L'area della parete verticale sud, su cui si è eseguita l'indagine, ha una superficie complessiva di 4 m²; in essa è stato possibile osservare la presenza di 21 individui, a cui corrisponde una copertura di 5.25 ind/m². Per quanto riguarda i parametri relativi alla biomassa, tenendo conto sia dei valori ricavati dagli individui raccolti e analizzati in laboratorio, sia di quelli stimati partendo dalle fotografie, calcolati partendo dalla superficie di copertura (Thetis, 2004), è stato possibile stimare una biomassa pari a 12.09 g/m² come p.u., a 1.05 g/m² in p.s. e a 472.5 mg/m² in p.s.-c (**Tab. 5**).

Tab. 5 - Valori di biomassa ricavati da tutti gli organismi della parete verticale, sia raccolti che solamente fotografati *Styela plicata*.

	Superficie	Peso umido	Volume	Peso secco	Peso secco meno cenere
	cm ²	g	ml	mg	mg
Somma	84,07	48,372	58,9	4196,5	1689,9
Media	4,00	2,303	2,8	199,8	90,0
Mediana	3,84	2,160	2,6	181,6	85,8
Dev. st.	1,52	0,771	1,1	70,6	28,6
Min	1,90	1,043	1,2	81,6	37,3
Max	6,50	3,632	5,0	314,4	146,5
Su m ²	21,02	12,093	14,7	1049,1	472,5

I Briozoi fotografati appartengono alla specie *Schizobrachiella sanguinae* (Norman, 1868), all'Ordine dei Cheilostomata: briozoi con cistidi a forma di scatola vescica o tubo e apertura mai completamente terminale e chiusa da un opercolo membranoso o calcificato (Riedl, 1991).

Nella parete verticale monitorata nella campagna di ottobre sono state individuate 7 colonie di questa specie già osservata e fotografata nel mese di luglio; in **Fig. 11** sono riportate le fotografie della stessa colonia in luglio 2004 e ad ottobre 2004. La dimensione delle colonie presenti in termini di superficie di copertura è stata mediamente di 33 cm² con un valore massimo di 80 cm² e uno minimo di 14 cm². In termini di percentuale di copertura la specie ha raggiunto complessivamente valori pari a 0.6 % rispetto al totale (**Fig. 13**).

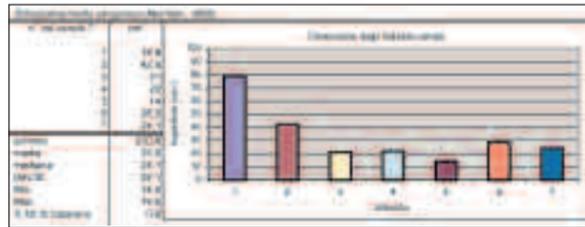


Fig. 13 - Dimensione delle colonie individuate e fotografate in una delle quattro pareti verticali della piramide occidentale ad Ottobre 2004.

Il confronto dimensionale tra l'unica colonia presente anche in luglio ha mostrato un incremento in superficie pari a 51.3 cm² a cui corrisponde un tasso medio di crescita giornaliera pari a 0.5 cm² (Tab. 6).

Tab. 6 - Valori di copertura e di incremento dell'unica colonia fotografata di *S. sanguinea* a luglio 2004 e a ottobre 2004.

sup. al 23/07/2004	cm ²	27,6
sup. al 26/10/2004	cm ²	78,9
incremento totale	cm ²	51,3
intervallo temporale	gg	95
incremento giornaliero	cm ² /gg	0,5

DISCUSSIONE

L'approccio sperimentale di tipo fotografico, sviluppato nell'ambito di questa ricerca, è stato applicato in un'area prossima alla costa e sottoposta ad un controllo periodico per la presenza di attività di mitilicoltura. L'area, facilmente raggiungibile, è vicina, inoltre, ad alcune *Tegnùe*, siti di notevole importanza naturalistica. Per tali motivi l'approccio fotografico ha rappresentato un'importante opportunità per la comprensione delle dinamiche delle biocenosi macrobentoniche di substrato duro in mare durante le loro prime fasi successionali. L'area del Campo Sperimentale è prossima alle *Tegnùe* "D'Ancona", "Cavo", "Buranella", "Sponchia", tutti nomi, spesso dialettali, tuttora utilizzati dai pescatori subacquei. L'analisi qualitativa della comunità animale nell'area del Campo ha permesso di osservare l'assenza di alcuni organismi bentonici relativamente comuni negli affioramenti naturali, quali gli ascidiacei *Aplidium conicum* (Olivi, 1792), *Polycitor adriaticus* (von Drasche, 1883) (Fig. 14), *Cisodites dellechiajei* (Della Valle, 1877) e alcuni poriferi come *Aplysina aerophoba* (Schmidt, 1862), *Thetya citrina* (Sarà e Melone, 1965), *Dysidea avara* (Schmidt, 1862); è ipotizzabile che alcuni di questi organismi siano sensibili agli alti tassi di concentrazione di particellato

sospeso nell'area del campo, per altri, l'assenza potrebbe essere messa in relazione alla precoce fase di colonizzazione in cui sono avvenuti i campionamenti.

La posizione del Campo Sperimentale, prossima alla foce del fiume Sile, favorisce la presenza di quantità rilevanti di particellato sospeso nella colonna d'acqua che, se rappresenta per molti organismi una fonte di energia, per altri come i poriferi, più sensibili ai tassi di sedimentazione ed ai danni meccanici che questi possono apportare agli apparati di filtrazione, può rappresentare un fattore limitante (Molin *et al.*, 2003; Turon e Becerro, 1992).

Durante questo anno e mezzo le aree monitorate sulla superficie orizzontale sono state sottoposte ad un processo di colonizzazione degli organismi molto lento, se confrontato con quello osservato sulle pareti verticali dello stesso cubo, meno soggette alla sedimentazione del particellato, sia in termini di specie che di abbondanze.

Nel mese di luglio è stato possibile osservare la presenza di una notevole quantità di particellato sedimentato sulla superficie della stazione, probabilmente di origine organica, di natura mucillaginosa; erano inoltre presenti alcuni esemplari di *Anomia ephippium* morti ed altri in sofferenza. E' possibile che la presenza di mucillagine, documentata nel mese di giugno (Bazzoni e Bastianini, questo volume), abbia rallentato il già lento processo di colonizzazione della fauna sessile.

L'ipotesi che le comunità animali delle *tegnùe* siano il frutto di lunghi e complessi meccanismi inter- ed intraspecifici che coinvolgono l'autoecologia delle specie presenti e la sinecologia dell'intero ecosistema, sembra essere confermata dall'assenza di queste specie nelle prime fasi della successione nell'area studiata. I rapporti trofici tra produttori primari e secondari e tra questi e gli altri anelli della catena e quelli di competizione tra specie sono ad oggi poco conosciuti se si eccettuano i pochi lavori di questo tipo effettuati (Gabriele *et al.*, 1999).

Durante le ricognizioni attorno alla piramide, in particolare in quella eseguita nel mese di luglio, è stato possibile individuare la presenza di molti degli organismi elencati nella Tab. 1; le osservazioni hanno evidenziato la presenza di alcune specie di elevato valore dal punto di vista naturalistico e scientifico, oltre che economico, quali la Grancevola, la Corvina, il Grongo (Fig. 15); alcune di esse sono inserite nell'elenco delle specie marine e salmastre protette d'Italia: "*Marine and brackish species protected in Italy*" tratto dall'Annesso II dell'ASPIM.

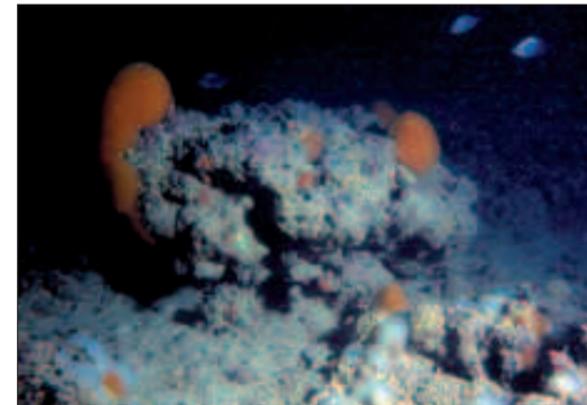


Fig. 14 - Esempio di ascidiacei presenti in un affioramento roccioso di origine naturale (Tegnù) posto a poche miglia dal campo sperimentale: *Aplidium conicum* e *Polycitor adriaticus*.

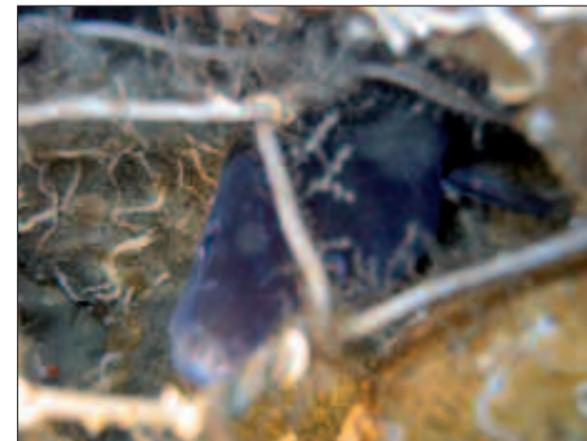


Fig. 15 - Esemplare di grongo (*Conger conger*) fotografato nell'area della piramide a Luglio 2004.

CONCLUSIONI

Lo sviluppo di tecniche di analisi della comunità di tipo non invasivo, quali il monitoraggio fotografico, ha prodotto risultati interessanti che richiedono ulteriori approfondimenti al fine di perfezionare l'utilizzo di tale tecnica anche per il censimento di altre specie di macrobenthos, assenti nelle prime fasi successionali delle biocenosi. L'utilizzo del Campo Sperimentale per lo sviluppo di tale metodica ha rappresentato e può rappresentare un'importante opportunità che può essere sfruttata, ottimizzando tale tecnica per il monitoraggio biologico di aree rocciose sottoposte a vincolo di tutela quali le *Tegnùe*. E' auspicabile che tali metodologie di ricerca siano ulteriormente sviluppate ed applicate in un quadro più generale di comprensione delle dinamiche di popolazione delle comunità bentoniche.

Ringraziamenti:

Un particolare ringraziamento al Dott. Andrea Berton per l'assistenza data ai campionamenti in immersione e al Sig. Mauro Penzo per l'assistenza durante le attività in mare.

BIBLIOGRAFIA

BALDUZZI A., BIANCHI C.N., CATTANEO-VIETTI R., CERRANO C., COCITO S., COTTA S., DEGL'INNOCENTI F., DOVIACCO G., MORGIGNI M., MORRI C., PANSINI M., SALVATORI L., SENES L., SGORBINI S., TUNESI L., 1992 - Primi lineamenti di binomia bentica dell'Isola Gallinara (Mar Ligure). *Atti del 10° congresso A.I.O.L.*, Alassio, 4-6 Novembre 1992, pp. 603-617.

BAZZONI A.M., BASTIANINI M. Popolamenti fitoplanctonici nell'area a barriere artificiali del Campo Sperimentale. *Questo volume*.

BOHNSACK A.J., 1979 - Photographic quantitative sampling of hard-bottom benthic communities. *Bull. Mar. Science*, **29(2)**, 242- 252

BRAMANTI L., MAGAGNINI G., SANT'ANGELO G., 2003 - Settlement and recruitment: the first stages in the life cycle of two epibenthic suspension feeders *Corallium rubrum* and *Anomia ephippium*). *Ital. J. Zool.*, **70**, 175 - 178.

CHRISTI H., 1980 - Methods for ecological monitoring: biological interactions in a rocky subtidal community. *Helgoland Meeresunters*, **33**, 473-483.

FEDRA K., MACHAN R., 1979 - A Self-Contained Underwater Time-Lapse Camera for in situ Long-Term Observations. *Marine Biology*, **55**, 239-246.

GABRIELE M., BELLOT A., GALLOTTI D., BRUNETTI R., 1999 - Sublittoral hard substrate communities of the northern Adriatic Sea. *Cah. Biol. Mar.*, **40**, 65-76.

GAGE J.D., TYLER P.A., 1991 - Deep sea biology: a natural history of organisms at the deep sea floor. Cambridge University Press, Cambridge.

GREEN N.W., 1980 - Underwater stereophotography applied in ecological monitoring. Report 1. Methods and preliminary evaluation. Norwegian Institute for Water Research . Report OF-80613, pp. 99.

LAMPITT R.S., BILLET D.S.M., RICE A.L., 1986 - Biomass of the invertebrate megabenthos from 500 to 4100 m in the Northeast Atlantic. *Mar. Biol.*, **93**, 69-81.

LUNDALV T., 1971 - Quantitative studies on a rocky-bottom biocenoses by underwater photogrammetry: a methodological study. *Thalassia Jugosl.*, **7**, 201-208.

MIZZAN L., MORETTI G., 1992 - Dati sull'insediamento e sull'accrescimento del macrofouling su pannelli metallici nel porto canale di S.Nicolò. (Laguna di Venezia). *Boll. Mus. civ. St. nat. Venezia*, **41**, 55-89.

MOLIN E., GABRIELE M., BRUNETTI R., 2003 - Further news on hard substrate communities of the northern Adriatic sea with data on growth and reproduction in *Polycitor adriaticus* (von Drasche, 1883). *Boll. Mus. Civ. Nat. Ve.*, **54**, 19 - 28

PRONZATO R., 1996 - Underwater photographic techniques for field-research in shallow marine environments. In *European Artificial Reef Research*, ed. Jensen, A.C., Proceedings of the 1st EARRN Conference, Ancona, Italy, March 1996, 337-346.

REGIONE VENETO, 1996 - Programma Triennale per la Tutela Ambientale 1994-1996. Intervento n. 72-"Campo Sperimentale in mare" Disciplina Tecnica delle Sperimentazioni e delle Attività di Gestione del Campo.

RIEDL R., 1991 - Fauna e flora del Mediterraneo. Muzio Editore, Padova: pp. 777.

THETIS SpA, 2004 - Linea 3.2 - Studi sulle comunità dei substrati artificiali. Sottolinea 3.2.B - Monitoraggio fotografico di comunità bentoniche di substrato duro per la raccolta di dati sulla produttività del sito. 2° rapporto semestrale.

TURON X., BECERRO M. A., 1992 - Growth and survival of several ascidian species from the northwestern Mediterranean. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **82**, 235-247.

4. ASPETTI PRODUTTIVI, QUALITÀ DELL'AMBIENTE E GENETICA DEI POPOLAMENTI



ACCRESIMENTO DI MITILO NEL "CAMPO SPERIMENTALE": ALCUNI ASPETTI GENETICI MUSSEL GROWTH IN THE "CAMPO SPERIMENTALE": SOME GENETIC ASPECTS

M. CERVELLI

CNR-ISMAR ISTITUTO DI SCIENZE MARINE - Sezione di Venezia - Castello 1364/A - 30122 Venezia

e-mail: massimiliano.cervelli@ismar.cnr.it

RIASSUNTO

Sono state eseguite nell'area del "Campo Sperimentale in Mare" delle prove di accrescimento di mitili (*Mytilus galloprovincialis*) reclutati sul posto. Sono stati campionati mitili allo stadio giovanile e dopo un periodo di accrescimento fino alla fine della stagione autunnale alle profondità di 1 m e 11 m. I diversi gruppi sono stati analizzati con il metodo dell'elettroforesi degli isoenzimi per sette loci polimorfi.

Le frequenze alleliche e genotipiche hanno presentato minime differenze tra campioni, suggerendo il mantenimento di una condizione di omogeneità genetica sia nel periodo della riproduzione, sia nell'accrescimento a diverse profondità. Da ciò si può desumere che il popolamento di mitilo studiato nel Campo Sperimentale è un gruppo geneticamente omogeneo, per cui i risultati ottenuti per questa specie, nelle prove sperimentali parallele sia biologiche che fisiologiche, non sono da attribuirsi mediamente a differenze tra gli individui, ma all'ambiente stesso.

ABSTRACT

A population of Mytilus galloprovincialis from an experimental area of Northern Adriatic sea was studied. Seven polymorphic enzymatic loci were analysed electrophoretically to verify the genetic variability both during time from recruitment to sexual maturity, and in the space at depths of 1 m and 11 m. The allelic frequencies did not varied among samples so that a condition of genetic homogeneity has been hypothesized.

INTRODUZIONE

Tra le diverse attività espletate nel Campo Sperimentale in mare è stato compreso anche uno studio sulle interazioni tra l'ambiente e la biologia dei molluschi bivalvi. Sono stati esaminati diversi aspetti del rapporto ambiente-mollusco: da un lato la fase di insediamento degli individui nel passaggio dalla fase larvale planctonica a quella sessile; da un altro la risposta fisiologica di individui adulti in relazione alle variazioni dei parametri ambientali.

Entrambi questi processi, però, possono essere influenzati dal profilo genetico insito nei singoli individui o negli stock; infatti, a differenti caratteristiche genetiche possono corrispondere caratteristiche fisiologiche e, in ultima analisi, capacità di adattabilità ambientale diverse.

Da ciò deriva l'opportunità di controllare l'esistenza o meno di una condizione di omogeneità genetica del popolamento di molluschi nell'area considerata, tenendo presente che l'insediamento di questi organismi è prolungato nel tempo durante tutta la stagione calda e che possono sussistere differenze tra individui che attecchiscono alle diverse quote della colonna d'acqua. Non verificandosi tale condizione di omogeneità occorrerebbe mettere in conto, nelle prove di attecchimento e fisiologiche, fenomeni di selezione nell'insediamento alle diverse quote e/o di sopravvivenza differenziale in correlazione con le condizioni ambientali.

Questa ricerca si è proposta, perciò, di analizzare le caratteristiche genetiche di un popolamento di mitili reclutato nel sito stesso del Campo Sperimentale tramite strutture appositamente predisposte. La verifica è estesa sia nel tempo che nello spazio: nel tempo in quanto viene analizzata la variabilità genetica, in un certo numero di loci enzimatici, dapprima allo stadio giovanile più precoce possibile e quindi, alla fine del periodo di sperimentazione in campo, nella fase di individui già sessualmente maturi, di dimensioni tra 34 e 56 mm di lunghezza; nello spazio in quanto vengono confrontati individui provenienti dai livelli di profondità -1 e -11, un livello quest'ultimo il più profondo possibile che consenta, tuttavia, un accrescimento senza eccessive interferenze del fondale sottostante posto a circa -14 m (anosia, risospensione del sedimento, ecc.). Delle specie utilizzate nelle varie sperimentazioni si è scelto di verificare la genetica del mitilo (*Mytilus galloprovincialis*) per molte ragioni. Prima di tutto perchè appartiene ad un genere la cui genetica è stata ampiamente studiata da molti decenni (Tracey *et al.*, 1975; Koehn *et al.*, 1976; Zouros e Foltz, 1987) anche a livello locale

(Rodinò, 1978) ed in funzione del monitoraggio della qualità ambientale (Battaglia *et al.*, 1980a, 1980b). Poi perchè questa specie è stata utilizzata, in questo progetto, sia nelle prove di insediamento che in quelle di fisiologia, andando a completare l'informazione fornita da entrambe. Inoltre perchè colonizza naturalmente in tutta la colonna d'acqua e non solamente sul fondale, a differenza di altri bivalvi come Pectinidae e Tapetinae studiati anch'essi nelle prove di insediamento e di fisiologia, prestandosi così a verificare tutte le quote di profondità. Infine perchè è stato utilizzato recentemente in questo laboratorio per monitorare le diverse condizioni ambientali nei canali urbani di Venezia (Dabalà *et al.*, 2005) dando buoni risultati alle analisi.

MATERIALI E METODI

ATTIVITÀ IN CAMPO

L'attività di questa linea di ricerca ha previsto la messa in opera di manufatti costruiti ad hoc per la captazione delle larve di mitilo e la stabulazione degli esemplari nella fase sessile.

Sono state allestite, a questo scopo delle strutture utilizzando un grosso cavo sintetico da 70 mm di diametro con la superficie sfilacciata per tutta l'altezza della colonna d'acqua dalla superficie al fondo (Fig. 1).

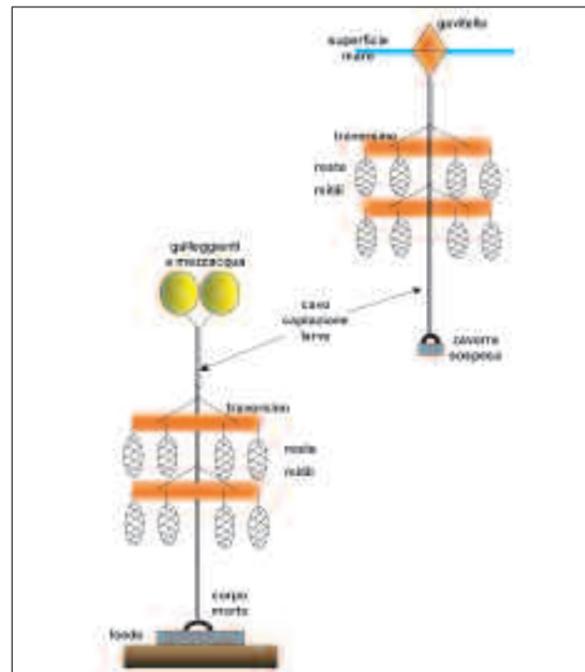


Fig. 1 - Schema delle strutture di captazione e stabulazione dei mitili. Gli elementi raffigurati non sono in scala.

Il cavo è stato diviso in due parti: la prima, di circa 4 metri di lunghezza, occupante lo strato superiore d'acqua, è stata appesa ad un gavitello in superficie e zavorrata all'estremità inferiore per assicurarne l'assetto verticale; la seconda, di circa 8 metri di lunghezza, è stata assicurata alla base ad uno dei corpi morti perimetrali del Campo Sperimentale e collegata all'estremità superiore a dei galleggianti di profondità per fornire una sufficiente trazione verso l'alto. Lo scopo della divisione in due parti della tratta tra la superficie ed il fondo del mare è quello di permettere che la parte vincolata alla superficie del mare (e quindi alle sue variazioni anche brusche come livello di marea, onde, spostamenti per la corrente) non si trasmettano fino alla parte vincolata al fondale causando strappi che potrebbero compromettere l'adesione dei mitili e le loro condizioni.

Al cavo sono stati fissati dei traversini orizzontali destinati a tenere in sospensione delle piccole reste di mitili alle diverse quote. È stato previsto, infatti, di staccare il novellame dal cavo centrale e di sospenderlo ai traversini in sacchetti di retino con larghezza di maglia di mm 4 adeguata sia a trattenere il novellame sia ad assicurare un sufficiente ricambio di acqua.

In tutto sono stati installati due tratti superficiali e due di fondo, così come sono stati descritti, per motivi di sicurezza, prevedendo possibili perdite, nelle seguenti posizioni: 1) collettore galleggiante AS, collegato al traversino perimetrale sullo spigolo NW del Campo; 2) collettore di fondo AF, collegato al secondo corpo morto verso Sud del lato occidentale del Campo; 3) collettore galleggiante BS, collegato al traversino perimetrale sullo spigolo NE del Campo; 4) collettore di fondo BF collegato al secondo corpo morto verso Sud del lato orientale del Campo.

Nel maggio 2004 è stata condotta una prima campagna di raccolta del novellame e confezionamento delle reste. Poiché la primavera era stata piuttosto fredda, i mitili adesi al cavo collettore avevano raggiunto una dimensione insufficiente per iniziare l'esperimento (circa 4-5 mm). È stato utilizzato, perciò, del novellame proveniente da un cavo orizzontale delle strutture del Campo Sperimentale sito appena sotto la superficie; si è stimato che gli individui (dai 10 mm in su) fossero stati originati nel periodo tardo autunnale dell'anno precedente. Parte del novellame è stato portato in laboratorio come campione di partenza della fase di accrescimento; qui ciascun individuo è stato preparato col metodo descritto più avanti.

In occasione di un'uscita di controllo di metà giugno, prevista per la manutenzione e pulizia delle reste, è stata riscontrata la seguente situazione: perdita completa della struttura BS dovuta

probabilmente alle mareggiate dei giorni poco precedenti; perdita di tutte le reste appese alla struttura AS dovuta alla stessa ragione o forse ad intervento umano (sono stati trovati più volte nel Campo Sperimentale resti di reti intrappolate tra le strutture e la strumentazione presente); le strutture di fondo AF e BF non hanno subito perdite.

Essendosi reso necessario il ripristino delle reste di novellame di superficie nonché la revisione del materiale restante, è stata eseguita una nuova uscita in giugno. In questa occasione sono state eseguite le seguenti operazioni: raccolta di seme dal cavo collettore centrale (la taglia raggiunta dai mitili era già di almeno 11 mm) alla quota superficiale di -1; costruzione e messa in opera di nuove restine alla quota di -1 m; riordino delle reste delle strutture di fondo con sostituzione dei tubolari a maglia stretta con altri a maglia leggermente più larga (6 mm) e sottile per evitare l'intasamento della rete dovuto al depositarsi di materiale sospeso.

Nella stessa occasione si è provveduto alla raccolta di individui della quota -1 (n° 120 individui tra 12 e 16 mm) da analizzare come campione di partenza del lotto di superficie; i piccoli mitili sono stati trattati come il campione raccolto in maggio.

Nel mese di novembre 2004 si è provveduto alla raccolta dei campioni di mitili dopo alcuni mesi di accrescimento, sia dalla quota -1 m che dalla quota -11 m. I mitili raccolti sono stati portati in laboratorio per le successive fasi di selezione, misurazione ed analisi.

PREPARAZIONE DEI CAMPIONI

La preparazione dei mitili adulti è consistita nel prelievo da ciascun individuo della ghiandola digestiva e dei muscoli adduttori; questi tessuti sono stati tritati finemente ed omogenati utilizzando un tampone estraente composto da TRIS g/l 1,2114, EDTA g/l 0,3722, βNADP g/l 0,0425 il tutto portato a pH 8,0 con HCl; alla fine è stata aggiunta una piccola quantità di bromofenolo, colorante che funge da marcatore della corsa elettroforetica.

Gli omogenati sono stati centrifugati per 5 minuti a 9000 g; il supernatante ottenuto è stato trasferito in provette Eppendorf pulite e posto nuovamente a -80°C fino al momento delle analisi elettroforetiche.

La preparazione di mitili giovanili ha previsto il lavaggio di ogni esemplare con acqua deionizzata, asciugatura con carta assorbente, quindi triturazione dell'intero corpo, comprensivo della conchiglia, centrifugazione e conservazione come descritto precedentemente.

ANALISI ELETTROFORETICHE

In ogni singolo individuo, adulto o giovanile, sono stati analizzati i seguenti sistemi enzimatici: fosfoglucomutasi (PGM), glucosio deidrogenasi (GDH), glucosofosfato isomerasi (GPI), isocitrato deidrogenasi mitocondriale (ICD-m), octopina deidrogenasi (ODH), peptidasi con substrato glicil-leucina (PEP), peptidasi con substrato leucil- β naftilamide (LAP).

I mitili analizzati sono stati: 59 individui per il campione "Seme 1", corrispondente ai giovanili prelevati in maggio e da cui ha avuto origine il lotto accresciuto in profondità, e per il campione "Quota -11", stadio finale del precedente, 60 individui per il campione "Seme 2", costituito dagli individui prelevati in giugno, e per il campione "Quota -1" originato dal precedente ed accresciuto a bassa profondità.

Sono state utilizzate le tecniche di corsa orizzontale su substrato di gel di amido utilizzando i seguenti tamponi di corsa e di preparazione per il gel di amido:

- 1) TEB (pH 8,7); tampone elettrodo: TRIS g/l 30,0, Acido Borico g/l 10,0, EDTA g/l 1,0
tampone gel: tampone elettrodo diluito 1:10.
- 2) TC (pH 7,0); tampone elettrodo: TRIS g/l 16,353, Acido Citrico g/l 9,056, EDTA g/l 0,4467
tampone gel: tampone elettrodo diluito 1:15.

In **Tab. 1** sono riportati i tessuti ed i tamponi utilizzati per ciascun enzima.

Per evidenziare le bande enzimatiche, alla fine della corsa elettroforetica, sono state usate le tecniche di colorazione descritte da Shaw e Prasad (1970).

L'elaborazione statistica dei dati ottenuti è stata sviluppata con diversi test utilizzando anche dei programmi informatici dedicati; per questo scopo sono stati usati principalmente il programma BYOSIS-1 Release 1.7 (Swofford e Selander, 1989) e GDA Version 1 (d16c) (Lewis e Zaykin, 2001).

Tab. 1 - Sistemi enzimatici analizzati, acronimi, codice E.C., sistema tampone utilizzato per la separazione elettroforetica, tessuto da cui è estratto (Muscolo: muscolo adduttore; Gh. Digestiva: ghiandola digestiva).

Nome	Abbr.	E.C.	Sistema tampone	Tessuto
Fosfoglucomutasi	PGM	2.7.5.1	TC*	Muscolo
Glucosio deidrogenasi	GDH	1.1.1.47	TC	Muscolo
Glucosofosfato isomerasi	GPI	5.3.1.9	TC	Muscolo
Isocitrato deidrogenasi	ICD-m	1.1.1.42	TC	Muscolo
Octopina deidrogenasi	ODH	1.5.1.11	TEB	Muscolo
Peptidasi (glicil-leucina)	AP	3.4.11.*	TEB	Muscolo
Peptidasi (leucil- β naftilamide)	LAP	3.4.11.*	TC	Gh. Digestiva

RISULTATI

E' stata intrapresa nel periodo invernale un'attività preliminare volta a definire la taglia minima di mitilo utilizzabile per le analisi elettroforetiche. Ciò è necessario per rendere più precoce possibile lo studio delle caratteristiche genetiche della popolazione di mitilo studiata, con lo scopo da un lato di individuare meglio possibile gli eventuali fenomeni di selezione dei primi stadi di sviluppo, dall'altro di ottenere un'esposizione alle condizioni ambientali il più possibile protratta nel tempo per verificare gli eventuali fenomeni di selezione avvenuti nel periodo di accrescimento degli individui tra inizio e fine della sperimentazione.

A questo scopo è stato utilizzato del novellame di mitilo compreso tra 14 e 24 mm di lunghezza delle valve per costruire una correlazione tra lunghezza delle valve stesse (dato di facile riscontro) e la quantità di tessuto analizzabile definito come peso della ghiandola digestiva e del rimanente tessuto molle comprensivo del muscolo bianco adduttore. Dall'insieme dei dati ottenuti sono state costruite due curve esponenziali (**Fig. 2**), una per la ghiandola ed una per il muscolo; dall'estrapolazione delle curve si è potuto verificare che la dimensione minima che assicura almeno 3 mg di tessuto (limite minimo per le analisi) corrisponde ad una lunghezza di 12 mm di valve. Questa è stata, dunque, la misura del novellame raccolto per formare gli stock di accrescimento e per misurare la variabilità genetica di partenza.

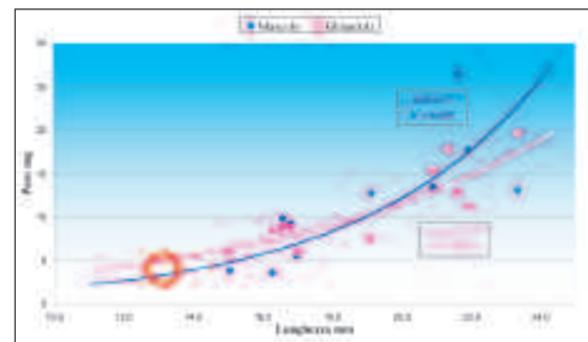


Fig. 2 - Rapporto tra lunghezza (in mm) delle valve dei giovanili di mitilo ed il peso (in mg) della ghiandola digestiva e del rimanente tessuto molle.

Gli estratti degli individui giovanili ed adulti, corrispondenti ai quattro campioni ottenuti, sono stati analizzati, tramite elettroforesi, per i sette enzimi polimorfi.

In **Fig. 3** sono riportate le immagini di alcune piastre elettroforetiche per i diversi sistemi enzimatici. Nelle immagini più grandi sono riprodotti i ferogrammi di un enzima a struttura

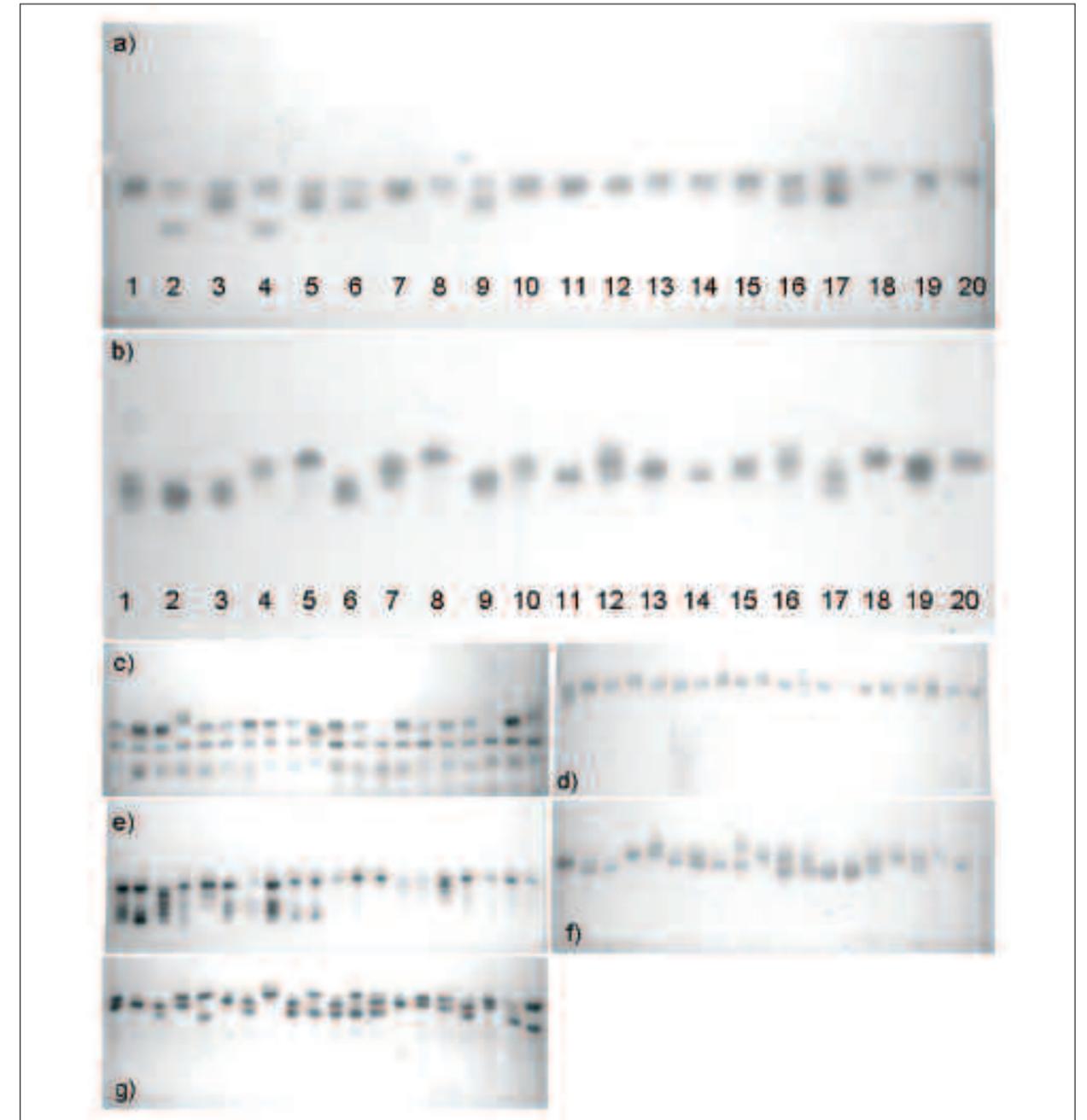


Fig. 3 - Esempi di piastre ottenute da corse elettroforetiche per i diversi sistemi enzimatici.

- a) Esempio di isoenzima a struttura monomera (eterozigoti a 2 bande): ODH da 1 a 10 "Seme 1" da 11 a 20 "Seme 2"; genotipi: 1=A/A, 2=A/C, 3=A/B, 4=A/C, 5 e 6=A/B, 7 e 8=A/A, 9=A/B, da 10 a 15=A/A, 16 e 17=A/B, da 18 a 20=A/A.
- b) Esempio di isoenzima a struttura dimerica (eterozigoti a 3 bande): PEP-2 da 1 a 10 "Quota -1" da 11 a 20 "Quota -11"; genotipi: 1=B/D, 2 e 3=C/D, 4=B/C, 5=B/B; 6=D/E, 7=B/D, 8=B/B, 9=D/E, 10=C/D, 11=D/D, 12=B/D, 13=C/D, 14=D/D, 15=C/D, 16=B/D, 17=C/E, 18=C/C, 19=C/D, 20=C/C.
- c) Piastra di GDH: da 1 a 10 "Seme 1" da 11 a 20 "Seme 2".
- d) Piastra di GPI: da 1 a 20 "Quota -1".
- e) Piastra di ICD: da 1 a 10 "Seme 2" da 11 a 20 "Quota -1".
- f) Piastra di LAP: da 1 a 10 "Seme 1" da 11 a 20 "Seme 2".
- g) Piastra di PGM: da 1 a 10 "Quota -1" da 11 a 20 "Quota -11".

monomera, che mostra eterozigoti a due bande (Figura 3a: locus ODH), ed un enzima a struttura dimerica con eterozigoti a tre bande (Figura 3b: locus PEP-2); per questi loci, in didascalia della figura, è riportata anche l'interpretazione genotipica di ciascun individuo.

Per l'interpretazione dei dati, e delle successive tabelle, si fa presente che, nella convenzione della rappresentazione dei dati elettroforetici, i diversi alleli vengono simboleggiati da lettere ove la A rappresenta l'allele più veloce nella corsa catodica e gli altri con le lettere successive secondo velocità man mano inferiori. Il pozzetto di partenza dei campioni è alla base delle immagini, quindi gli alleli posti più in alto corrispondono a velocità relative maggiori.

In **Tab. 2** sono riassunti tutti i dati delle frequenze alleliche ottenute nei loci enzimatici dei quattro campioni, nonché il livello di eterozigosi sia osservata che attesa secondo l'equilibrio di Hardy-Weinberg.

Tab. 2 - Frequenze alleliche, eterozigosi attesa (He) ed eterozigosi osservata (Ho) riscontrate nel campione "Seme 1" (a), "Seme 2" (b), "Quota -1" (c), "Quota -11" (d). (N): numero di repliche analizzate.

a) Locus								
Allele	GDH	GPI	ICD-m	LAP	PEP-2	ODH	PGM	
A	0,669	0,017	0,808	0,060	0,017	0,068	0,000	
B	0,855	0,195	0,808	0,579	0,164	0,695	0,025	
C	0,669	0,744	0,824	0,543	0,259	0,178	0,144	
D	0,010	0,042	0,859	0,017	0,483	0,179	0,902	
E	0,000	0,000	0,800	0,000	0,078	0,000	0,212	
F	0,000	0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,017	
He	0,266	0,407	0,344	0,562	0,673	0,475	0,576	
Ho	0,255	0,424	0,319	0,414	0,621	0,492	0,441	

b) Locus								
Allele	GDH	GPI	ICD-m	LAP	PEP-2	ODH	PGM	
A	0,382	0,017	0,800	0,042	0,008	0,000	0,000	
B	0,805	0,117	0,808	0,417	0,100	0,717	0,000	
C	0,095	0,825	0,808	0,533	0,325	0,192	0,108	
D	0,000	0,042	0,875	0,008	0,475	0,092	0,725	
E	0,000	0,000	0,800	0,000	0,092	0,000	0,150	
F	0,000	0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,017	
He	0,336	0,306	0,371	0,545	0,656	0,445	0,444	
Ho	0,305	0,517	0,385	0,483	0,683	0,283	0,350	

c) Locus								
Allele	GDH	GPI	ICD-m	LAP	PEP-2	ODH	PGM	
A	0,043	0,025	0,800	0,067	0,017	0,000	0,000	
B	0,845	0,083	0,808	0,480	0,167	0,750	0,000	
C	0,095	0,867	0,800	0,580	0,342	0,192	0,267	
D	0,017	0,017	0,875	0,033	0,383	0,090	0,558	
E	0,000	0,000	0,817	0,000	0,092	0,000	0,175	
He	0,278	0,243	0,386	0,589	0,706	0,482	0,591	
Ho	0,241	0,217	0,300	0,517	0,667	0,150	0,500	

d) Locus								
Allele	GDH	GPI	ICD-m	LAP	PEP-2	ODH	PGM	
A	0,051	0,000	0,800	0,025	0,042	0,000	0,000	
B	0,859	0,127	0,808	0,381	0,220	0,688	0,000	
C	0,095	0,834	0,824	0,568	0,263	0,217	0,345	
D	0,017	0,034	0,851	0,025	0,398	0,066	0,500	
E	0,000	0,000	0,817	0,000	0,076	0,000	0,129	
F	0,000	0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,000	
He	0,287	0,280	0,345	0,525	0,722	0,465	0,613	
Ho	0,230	0,288	0,319	0,434	0,678	0,415	0,603	

In **Tab. 3**, invece, sono riportati i valori di eterozigosi media attesa ed osservata all'interno di ciascun campione; è interessante notare come, in tutti e quattro i casi, l'eterozigosi media osservata è sempre inferiore all'eterozigosi teorica attesa seppure entro i limiti dell'errore standard.

Tab. 3 - Valori di eterozigosi media tra tutti i loci osservata ed attesa (Nei, 1978). In parentesi il valore di errore standard.

Campione	Eterozigosi media	
	Osservata	Attesa
Seme 1	0,395 (.062)	0,443 (.070)
Seme 2	0,358 (.051)	0,414 (.061)
Quota -1	0,384 (.068)	0,428 (.077)
Quota -11	0,392 (.076)	0,435 (.078)

Per verificare se nelle frequenze genotipiche (cioè nelle combinazioni di ciascuna coppia di alleli in ogni individuo) viene rispettato l'equilibrio teorico di Hardy-Weinberg è possibile applicare il test X²; si sono ottenuti valori significativi di scostamento dall'equilibrio (confrontando l'allele più frequente contro tutti gli altri raggruppati assieme) in LAP e PGM di "Seme 1", in ODH di "Seme 2", in GDH e LAP di "Quota -11". Un test per verificare la tendenza di una popolazione verso la condizione di omozigosi prevede l'uso dell'indice di fissazione *f*. Analizzando indipendentemente ciascun campione, è risultato che vi è un valore significativo di fissazione (P<0.01) solo nel locus ODH del campione "Seme 2". Un livello più avanzato nello studio degli indici di fissazione è costituito dalle Statistiche F che permettono di scomporre l'indice generale F_{IS} nelle componenti F_{IT} e F_{ST} (Nei, 1987): in questo modo è possibile distinguere con F_{IT} la tendenza di ciascuna subpopolazione, rappresentata nel nostro caso da ogni singolo campione, all'incrocio (cioè alla ricombinazione degli alleli all'interno di ciascun campione), e con F_{ST} alla deriva genetica (cioè la capacità della subpopolazione di evolvere indipendentemente dalla altre) indicativa della differenziazione tra un campione e l'altro.

In **Tab. 4** sono riportati i valori delle statistiche F calcolate per ciascun locus come media dei diversi campioni; si può notare che vi sono livelli significativi degli indici di fissazione per LAP, ODH e PGM, ma, in tutti i casi, la componente significativa è rappresentata dalla tendenza all'incrocio (F_{IT}) e non dalla differenziazione tra campioni rappresentata da valori di F_{ST} sempre molto bassi.

Tab. 4 - Valori medi di fissazione per tutti i loci (*: P<0,05; **: P<0,01).

Locus	F _{IS}	F _{IT}	F _{ST}
GDH	0,116	0,119	0,003
GPI	-0,015	-0,002	0,012
ICD-m	0,030	0,032	0,002
LAP	0,170**	0,171**	0,002
ODH	0,131*	0,134*	0,003
PEP-2	0,068	0,075	0,008
PGM	0,140*	0,165*	0,029
Media	0,103	0,112	0,010

Anche confrontando l'indice F_{ST} tra coppie di campioni (**Tab. 5**) si evidenzia che in nessun caso vi sono differenze significative.

Tab. 5 - Confronto tra coppie di campioni dei valori di F_{ST}.

	Seme 1	Seme 2	Quota -1
Seme 2	-0,0012		
Quota -1	0,0033	0,0044	
Quota -11	0,0048	0,0137	-0,0034

Un altro strumento statistico per calcolare il grado di omogeneità tra i campioni è costituito dal calcolo della distanza genetica che intercorre tra di essi. Esistono numerosi algoritmi per rilevare la distanza genetica, per questa ricerca ne sono stati utilizzati tre (**Fig. 4**): quello elaborato da Nei (1978), quello di Reynolds (1983) ed infine quello di Rogers modificato da Wright (1978).

I risultati della distanza genetica di Nei (Fig. 4 a) e di Reynolds (Fig. 4 b) praticamente si equivalgono, come si può notare sia dal disegno dei fenogrammi sia dai valori espressi per i confronti tra coppie di campioni e dai valori di distanza ai nodi: in ogni caso vi è differenza 0 tra "Seme 1" e "Seme 2" così come è praticamente 0 quella tra "Quota -1" e "Quota -11". Una leggera differenza si rileva tra i due campioni di giovanili ed i due campioni di adulti.

Il terzo algoritmo (Fig. 4 c) evidenzia in modo leggermente maggiore le differenze tra campioni sia col fenogramma che con i valori numerici, comunque i rapporti tra campioni rimangono invariati rispetto alle due distanze genetiche precedenti,

rimanendo sempre più simili tra di loro i campioni di giovanili da una parte ed i campioni di adulti dall'altra.

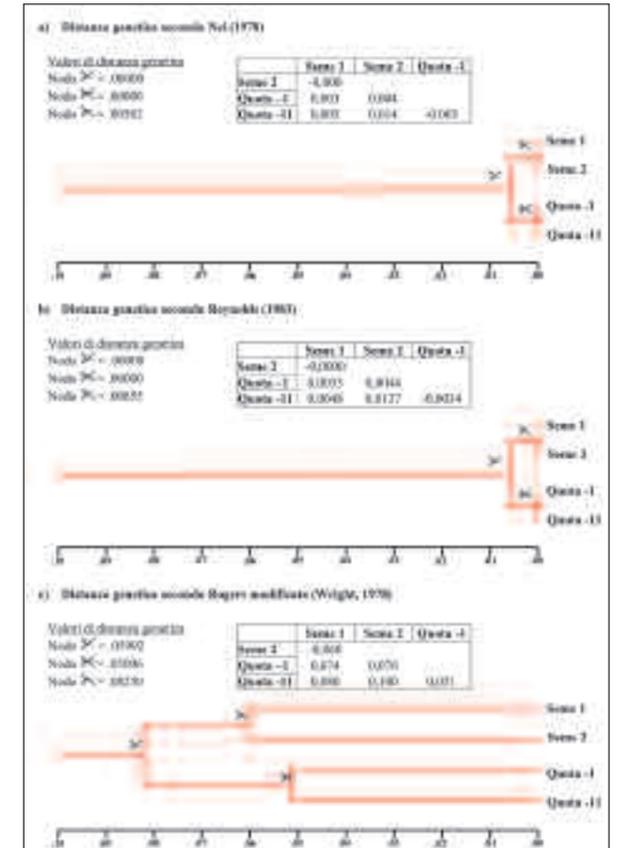


Fig. 4 - Grafici di distanza genetica tra i campioni di mitilo del Campo Sperimentale calcolata secondo diversi algoritmi. Per ciascun grafico sono riportate la matrice delle distanze genetiche tra coppie di campioni e la tabella delle distanze ai nodi di diramazione.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Come già ricordato nell'introduzione, lo scopo di questo lavoro consiste nell'approfondimento del significato delle linee di ricerca che si occupano di studiare i meccanismi di reclutamento e di risposta fisiologica del mitilo nelle condizioni ambientali presenti nell'area di studio.

Infatti, quando si studiano gli adattamenti e le reazioni di una specie ad un determinato habitat, bisogna considerare che le relazioni che intercorrono tra ambiente ed organismo sono determinate sia da un lato dall'insieme dei parametri ecologici, ma anche, dal lato opposto, dalle caratteristiche biologiche insite nell'organismo stesso. Queste possono essere variabili in dipendenza dalla variabilità delle caratteristiche genetiche che l'individuo, o la popolazione nel suo insieme, può presentare; se

il genoma degli stock di nuovi individui muta nel decorso della stagione riproduttiva, oppure se vi sono fenomeni di selezione per cui a differenti livelli di profondità attecchiscono o sopravvivono gruppi di mitili particolarmente adatti alle diverse condizioni, la risposta all'ambiente può essere definita più dall'organismo stesso che dall'ambiente che lo circonda.

Da ciò l'importanza di verificare se le caratteristiche genetiche del novellame di mitilo si mantengono o no costanti nel tempo della sperimentazione e nella tridimensionalità del sito di studio. Gli eventi succedutisi nel periodo di tempo di attività in mare nel Campo non hanno permesso lo sviluppo del disegno sperimentale progettato a priori. Dapprincipio, l'eccessivo protrarsi della stagione fredda non ha favorito l'attecchimento e lo sviluppo precoce dei mitili sul collettore a tutte le profondità, costringendo alla soluzione di ripiego della raccolta di novellame da un cavo a pelo d'acqua. Più tardi si è verificata la perdita di tutte le restine di superficie, il che ha portato a dover raccogliere un secondo stock di partenza per l'accrescimento alla profondità di un metro ed ha reso impossibile il confronto diretto (possibile solo con l'uso di un gruppo di individui omogeneo di partenza) tra popolamento di superficie e quello di profondità.

Ciononostante si è riusciti a conseguire i risultati previsti anche utilizzando i quattro campioni ottenuti. Le analisi hanno dato risultati chiari e le elaborazioni statistiche hanno portato a conclusioni non contraddittorie.

In base ai dati si possono fare le seguenti considerazioni.

In primo luogo i campioni "Seme 1" e "Seme 2" non evidenziano alcuna differenza genetica tra loro: ciò è confortato sia da quantità simili di varianti genetiche presenti nei quattro popolamenti rappresentati nelle tabelle come "eterozigosi media" (Tab. 3), sia dal mancato differenziamento tra popolamenti per motivi casuali o adattativi qualificabile come "deriva genetica" e testimoniato dall'indice F_{ST} (Tab. 4, Tab. 5), infine dal livello bassissimo o praticamente nullo di differenziamento tra i quattro campioni su basi genetiche definito come "distanza genetica" ed evidenziato dai grafici ottenuti con tre algoritmi diversi (Fig. 4).

Si può, quindi, affermare che le emissioni gametiche delle popolazioni naturali Nord-Adriatiche ed i conseguenti reclutamenti sulle superfici esposte si sono mantenuti geneticamente omogenei per il tempo di sperimentazione di questo progetto. Tale condizione è sicuramente favorita dalla numerosità dei mitili presenti nel bacino Nord-Adriatico (si ricorda che l'area è ampiamente utilizzata per mitilicoltura) e dalla biologia della specie, che prevede un periodo larvale di diversi giorni durante il quale gli individui, ancora microscopici,

fluttuano nell'acqua con conseguente rimescolamento degli stock. E' comunque da ricordare che la lunghezza della fase planctonica ed il regime prevalente delle correnti nel Nord-Adriatico fanno escludere la possibilità che il novellame raccolto sia originato dalla riproduzione dei molluschi delle adiacenti impianti produttivi; è probabile che la provenienza sia da far risalire piuttosto ad aree più nord-orientali, eventualmente fino al golfo di Trieste.

In secondo luogo, le stesse similitudini osservate nel confronto tra i campioni di giovanili si riscontrano anche tra i campioni di mitili dopo il periodo di accrescimento, confortate dagli stessi risultati statistici evidenti nelle Tab. 3, 4 e 5 e nella Fig. 4. Anche per i campioni di adulti valgono le stesse considerazioni: "Quota -1" e "Quota -11" appaiono geneticamente omogenee, non sembra perciò esserci un effetto di selezione genetica in risposta alla differenza ambientale costituita dalla stabulazione a profondità diverse.

Infine, si può notare che l'unica leggera differenza, testimoniata dal grafico di Fig. 4c, sembra insorgere durante il periodo di accrescimento che intercorre tra giovanili ed adulti nei quattro campioni; questo porta a supporre un possibile effetto di selezioni differenziale conseguente al diverso stadio di sviluppo nei mitili. D'altronde il fatto che, durante l'accrescimento, possono avvenire cambiamenti nelle frequenze alleliche nei molluschi bivalvi era già stato notato precedentemente da altri autori (Gaffney *et al.*, 1990; Zouros e Foltz, 1984) e più specificamente nel genere *Mytilus* (KoeHN *et al.*, 1976; Tracey *et al.*, 1975). Sono state avanzate diverse spiegazioni a questo fenomeno (cfr. in particolare Zouros e Foltz, 1984), ma nessuna di esse pare essere conclusiva.

Alla luce di questi risultati si può affermare che il popolamento di mitilo studiato nel Campo Sperimentale è un gruppo che si è mantenuto geneticamente omogeneo sia nel tempo che nello spazio, per cui i risultati ottenuti per questa specie, sia nelle prove sperimentali biologiche che fisiologiche condotte dalle relative linee di ricerca e riportate da Chinellato *et al.* e Meneghetti *et al.* in questo volume, non sono da attribuirsi alle caratteristiche insite nella popolazione locale, ma sono conseguenza delle variazioni dei parametri dell'ambiente stesso.

BIBLIOGRAFIA

BATTAGLIA B., BISOL P. M., FOSSATO V. U. and RODINÒ E., 1980a - Studies on the genetic effects of pollution in the sea. *Rapp. P.-v. Réunion. Cons. Int. Explor. Mer.*, **179**: 267-274.

BATTAGLIA B., BISOL P., RODINÒ E., 1980b - Experimental studies on some genetic effects of marine pollution. *Helgoländer Meeresunters*, **33**: 587-595.

CHINELLATO A., BRESSAN M., PELLIZZATO M. Insestamento, reclutamento ed accrescimento dei bivalvi eduli su strutture in sospensione nell'area del Campo Sperimentale. *Questo volume*.

DABALÀ C., N. CALACE, P. CAMPOSTRINI, M. CERVELLI, F. COLLAVINI, L. DA ROS, A. LIBERTINI, A. MARCOMINI, C. NASCI, D. PAMPANIN, B.M. PETRONIO, M. PIETROLETTI, G. POJANA, R. TRISOLINI, L. ZAGGIA, R. ZONTA, 2005 - Water quality in the channels of Venice: results of a recent survey. In "Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon: State of Knowledge", edited by C.A. Fletcher and T. Spencer. Cambridge University Press: 617-630.

GAFFNEY P.M., SCOTT T.M., KOEHN R.K., DIEHL W.J., 1990 - Interrelationships of heterozygosity, growth rate and heterozygote deficiencies in the coot clam, *Mulinia lateralis*. *Genetics*, **124**: 687-699.

KOEHN R. W., MILKMAN R., MITTON J. B., 1976 - Population genetics of marine pelecypods. IV. Selection, migration and genetic differentiation in the blue mussel *Mytilus edulis*. *Evolution*, **30**: 2-32.

LEWIS P. O., ZAYKIN D., 2001 - Genetic Data Analysis: Computer program for the analysis of allelic data. Version 1.0 (d16c). Free program distributed by the authors over the internet from <http://lewis.eeb.uconn.edu/lewishome/software.html>

MENEGHETTI F., MOSCHINO V., DA ROS L. "Interazioni tra molluschi bivalvi eduli e habitat nell'area a barriere artificiali del campo sperimentale: risposte biologiche di *Mytilus galloprovincialis* e *Tapes philippinarum*. *Questo volume*.

NEI M., 1978 - Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*, **89**: 583-590.

NEI M., 1987 - Molecular evolutionary genetics. Columbia University Press, New York.

REYNOLDS J., WEIR B. S., COCKERAM C. C., 1983 - Estimation for the coancestry coefficient: basis for a short-term genetic distance. *Genetics*, **105**: 767-779.

RODINÒ E., 1978 - Variabilità di *Mytilus galloprovincialis* della laguna di Venezia. Analisi biometrica e di polimorfismi enzimatici. *Archo Oceanogr. Limnol.*, **18 suppl. 3**: 541-542.

SHAW C. R., PRASAD R., 1970 - Starch gel electrophoresis of enzymes - A compilation of recipes. *Biochemical Genetics*: 297-320.

SWOFFORD D.L., SELANDER R.B., 1989 - BYOSYS-1 A computer program for the analysis of allelic variation in population genetics and biochemical systematics (ver. 1.7). Illinois Natural History Survey, Champaign, Illinois.

TRACEY M.L., BELLET N.F., GRAVEM C.D., 1975 - Excess allozyme homozygosity and breeding population structure in the mussel *Mytilus californianus*. *Mar. Biol.*, **32**: 303-311.

WRIGHT S., 1978 - Evolution and the genetics of populations, vol. 4. Variability within and among natural populations. University of Chicago Press, Chicago.

ZOUROS E, FOLTZ D. W., 1984 - Possible explanations of heterozygote deficiency in bivalve molluscs. *Malacologia*, **25**: 583-591.

ZOUROS E, FOLTZ D. W., 1987 - The use of allelic isozyme variation for the study of heterosis. *Isozymes*, **13**: 1-59.

INSEDIAMENTO, RECLUTAMENTO ED ACCRESCIMENTO DEI BIVALVI EDULI SU STRUTTURE IN SOSPENSIONE NELL'AREA DEL CAMPO SPERIMENTALE

SETTLEMENT, RECRUITMENT AND GROWTH OF BIVALVE SPAT ON SUSPENDED COLLECTORS IN THE AREA OF THE "CAMPO SPERIMENTALE"

A. CHINELLATO, M. BRESSAN*, M. PELLIZZATO

* UNIVERSITÀ DI PADOVA - DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA - Via Colombo, 3 - 30121 Padova

e-mail: monica.bressan@unipd.it

RIASSUNTO

Da Dicembre 2003 a Novembre 2004 è stata condotta nel Campo Sperimentale una ricerca sperimentale sulla captazione di larve di molluschi bivalvi, utilizzando tre tipi di collettori artificiali: "pioli", "cappelli cinesi" e "sacchetti".

Ad una corda portante, legata ad un'apposita long-line di superficie, sono state appese a 2 e 10 m di profondità due serie di collettori, costituite ciascuna da 10 cappelli, 10 pioli e 4 sacchetti; in totale, quindi, ogni serie sperimentale constava di 48 collettori. Da dicembre 2003 a novembre 2004, sono state immerse 10 serie di collettori che sono state recuperate dopo un mese circa, e 4 serie di collettori recuperate dopo tre mesi.

Il periodo di massimo insediamento si è registrato in primavera-estate, fatta eccezione per alcune famiglie ad insediamento tipicamente invernale, come Anomidæ e Hiatellidæ. Per tutti i taxa di interesse commerciale, ascrivibili alle famiglie Mytilidæ, Pectinidæ e Veneridæ, il picco di insediamento è stato in agosto. Per la famiglia Mytilidæ tale picco (188 ind/m²/giorno di immersione sui cappelli a 10 m) è riconducibile ad un insediamento particolarmente elevato di specie senza valore commerciale, come *Modiolarca subpicta* (Contraîne, 1835) e *Modiolula phaseolina* (Philippi, 1844), mentre l'insediamento di *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) è avvenuto, seppur con valori più bassi, tra aprile e luglio, soprattutto sui pioli e sacchetti più superficiali. I Pectinidæ, appartenenti alle specie *Chlamys varia* (Linnaeus, 1758), *Proteopecten glabra* (Linnaeus, 1758) ed *Aequipecten opercularis* (Linnaeus, 1758), sono arrivati in agosto a circa 250 ind/m²/giorno di immersione su cappelli a 2m e sacchetti a 10 m. Per i Veneridæ, rappresentati soprattutto da *Paphia* spp., i valori di insediamento sono molto più bassi (max 36 ind/m²/giorno di immersione sui cappelli a 2 m). *M. galloprovincialis* e i Veneridæ hanno mostrato una netta preferenza per i collettori più superficiali, i Pectinidæ per quelli più profondi; negli altri casi la preferenza tra i due livelli non è stata costante.

Per razionalizzare la raccolta del "seme" utilizzando i collettori

testati, sulla base dei dati raccolti, si propone ai molluschicoltori un calendario d'immersione, consigliando anche la profondità più idonea a cui posizionare i substrati.

ABSTRACT

From December 2003 to November 2004 a research project on the larval settlement of bivalves was carried out in the "Campo Sperimentale". Each sample consisted of two sets of artificial collectors, consisting each of ten "chinese caps", ten "pegs" and four "bags", were tied to a suitable surface long-line system and suspended at -2 and -10 m depth. So each sample consisted of 48 collectors. From December 2003 to November 2004 ten samples were plunged and recovered after about a month, and four after three months.

The peak of settlement was in spring-summer period, mostly in August for families Mytilidæ, Pectinidæ and Veneridæ, although some families, as Anomidæ and Hiatellidæ, settled mainly during the winter season. In August some species of worthless Mytilidæ, as *Modiolarca subpicta* (Contraîne, 1835) and *Modiolula phaseolina* (Philippi, 1844), were rather abundant (188 ind/m²/day on "caps" at 10 m), whereas *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) settled between April and July with lower abundance values, mainly on "pegs" and "bags" at 2 m depth. Pectinidæ species, *Chlamys varia* (Linnaeus, 1758), *Proteopecten glabra* (Linnaeus, 1758) and *Aequipecten opercularis* (Linnaeus, 1758), present during the whole study period, were mostly abundant in summer (up to 267 ind m⁻² day⁻¹) and showed a higher settlement on "bags" and "chinese caps" at 10 m depth. Veneridæ, mostly *Paphia* spp., were rather low (max 36 ind/m²/day on "caps" at 2 m). *M. galloprovincialis* and Veneridæ clearly preferred the most surface collectors, whereas Pectinidæ preferred the deepest ones.

Moreover, in order to define a suitable spat harvesting strategy throughout the different year periods, a calendar of the settlement, which may be useful for the shellfish producers, was assessed.

INTRODUZIONE

L'allevamento dei mitili in mare, praticato in impianti in sospensione con il sistema "long-line" lungo la costa veneta, è un'attività ormai da tempo consolidata. In quest'ultimo decennio, infatti, le tecniche di produzione sono state affinate e gli impianti, ormai affidabili anche in caso di condizioni meteorologiche avverse, permettono produzioni ben oltre i 10 kg di mitili/mq/anno. Purtroppo, la penuria di seme di mitilo che a volte si registra in alcune annate, rischia di compromettere il normale ciclo produttivo, ed espone gli allevatori locali ai rischi connessi alla forzata importazione di giovanili (la cosiddetta "mezzacozza") da altre aree geografiche, con rischi elevati di epizoozie, introduzione di nuove specie ed un aggravio dei costi. Potenziare le strutture atte alla raccolta di seme naturale (collettori) renderebbe gli impianti autosufficienti anche nei periodi di penuria e si otterrebbe una produzione sicura da poter certificare sia nella qualità che nella provenienza.

Alcune attività sperimentali, effettuate nell'ambito del progetto del Campo Sperimentale in mare, sono state rivolte allo studio della capacità produttiva naturale del sito ed all'efficacia di strutture flottanti costituite da collettori posti lungo la colonna d'acqua per la captazione di organismi sessili.

Queste indagini hanno riguardato non solo tematiche di interesse specifico nel settore della biologia marina, ma anche argomenti di notevole interesse applicativo. Tali ricerche sono propedeutiche allo sviluppo di nuove filiere produttive nel settore della molluschicoltura, con il fine di diversificare gli impianti di allevamento per bivalvi in mare ed alleggerire lo sfruttamento dei banchi naturali, causa di depauperamento delle risorse demersali.

In particolare, gli obiettivi specifici di questa attività sono stati quelli di valutare i tempi, le profondità ed i sistemi più idonei per la raccolta del "seme" di bivalvi (giovani esemplari con cui iniziare gli allevamenti), con il risultato di mettere a punto un "calendario marino" che fornisca indicazioni sulla diversa presenza di forme giovanili delle varie specie di molluschi bivalvi presenti lungo la fascia costiera veneta. Parallelamente si è proceduto a misurare l'accrescimento di giovani mitili raccolti direttamente *in loco* per mezzo di substrati per disporre di molluschi bivalvi di età e provenienza certa per il loro utilizzo nell'ambito di ricerche applicate al biomonitoraggio marino-costiero (Cervelli, questo volume; Da Ros *et al.*, questo volume).

MATERIALI E METODI

L'attività 2004 è stata condotta secondo un programma di campionamenti mensili (M) e trimestrali (T), cui è seguita l'attività di laboratorio (analisi dei campioni) e l'elaborazione dei dati acquisiti. Da dicembre 2003 a novembre 2004, sono state immerse 10 serie di collettori con cadenza mensile e 4 serie di collettori con cadenza trimestrale (Tab. 1). I collettori impiegati sono stati di tre tipi: "pioli", "cappelli cinesi" e "sacchetti", che rappresentano tipologie di substrato preferenziali, atte all'insediamento e reclutamento di varie specie di bivalvi appena metamorfosati (Fig. 1).

Tab. 1 - Calendario dell'immersione e del recupero delle serie di collettori. M = campioni mensili; T = campioni trimestrali.

Campione	Immersione	Recupero	Giorni di immersione
M1	18/12/2003	29/01/2004	42
M2	29/01/2004	19/03/2004	50
M3	19/03/2004	24/04/2004	36
M4	24/04/2004	28/05/2004	34
M5	28/05/2004	26/06/2004	29
M6	26/06/2004	23/07/2004	27
M7	23/07/2004	01/09/2004	40
M8	01/09/2004	01/10/2004	30
M9	01/10/2004	28/10/2004	27
M10	28/10/2004	25/11/2004	28
T1	18/12/2003	19/03/2004	92
T2	19/03/2004	26/06/2004	92
T3	26/06/2004	perduto	----
T4	01/10/2004	25/11/2004	55

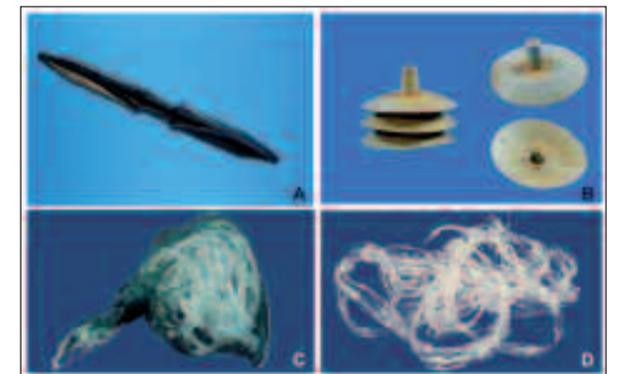


Fig. 1 - Collettori. A: piolo. B: cappelli cinesi. C: sacchetto con filler interno. D: filler del sacchetto.

I "pioli" (Fig. 1A) sono collettori in polietilene, lunghi 22 cm e larghi circa 1,5 cm con scanalature longitudinali, adatti all'insediamento ed allevamento dei mitili, grazie alla loro superficie molto complessa. I "cappelli cinesi" (Fig. 1B) sono dei dischi in polietilene di circa 14 cm di diametro, a concavità inferiore; il loro nome deriva dalla forma, simile appunto al tradizionale cappello dei cinesi. L'intera superficie di tale collettore è percorsa da una serie di rilievi radiali e circolari. In questo modo il cappello fornisce un substrato ruvido, adatto all'insediamento soprattutto degli ostreidi. La superficie superiore presenta un cilindro con al centro un foro per il passaggio di una cima che funge da sostegno ai cappelli. I "sacchetti" (Fig. 1C) sono costituiti da una rete esterna (nota come "onion-bag") di dimensioni 28x53 cm, con maglia quadrata di 4 mm, e da una rete interna di tipo tubolare (indicata come "filler", Fig. 1D), solitamente usata per l'allevamento dei mitili, lunga circa 5 m. L'onion-bag è annodata ad un'estremità per impedire la fuoriuscita del filler, conferendo così volume al collettore. Questa tipologia di collettore fornisce un substrato ideale all'insediamento soprattutto di pectinidi.

Per valutare come la profondità influenzasse la capacità produttiva dell'habitat, i collettori sono stati organizzati in due serie poste, su una struttura portante a forma di V, a due livelli: la prima serie a circa 2 m dalla superficie e la seconda a circa 10 m di profondità (che corrispondeva ad una distanza di circa 4 m dal fondale). La struttura portante a V era costituita da una cima in polietilene di 14 mm di diametro, legata ad una long-line di superficie in due punti tra loro distanti 4 m, e tesa verso il fondale con un peso di circa 12 Kg posizionato al vertice della V, in modo tale da avere due gruppi sperimentali di collettori, posti sui due bracci della V. Per ognuno dei due livelli di profondità uno dei bracci della struttura portava 10 cappelli e 10 pioli distribuiti su 1,5 m di lunghezza, l'altro braccio portava invece 4 sacchetti, distribuiti sulla stessa lunghezza (Fig. 2). In totale, quindi, ogni struttura a V constava di 48 collettori.

I collettori, dopo il periodo programmato di permanenza in acqua, erano recuperati e trasportati in laboratorio dove erano congelati e successivamente analizzati. Dopo lo scongelamento, ogni singolo collettore è stato lavato con acqua di mare filtrata. Gli organismi così staccati dal substrato sono stati raccolti su un filtro da 100 µm di vuoto di maglia ed osservati al microscopio binoculare. Anche i collettori, dopo il lavaggio, sono stati controllati al binoculare per individuare i bivalvi eventualmente ancora aderenti ai substrati.

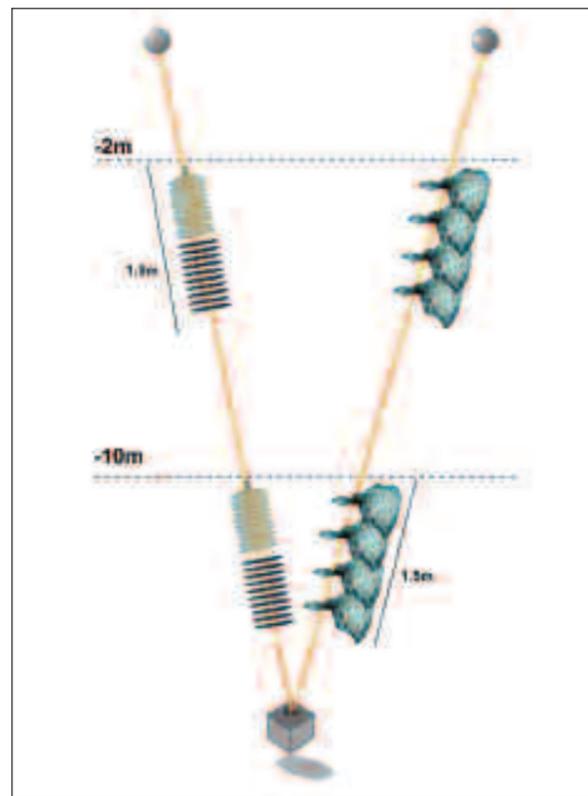


Fig. 2 - Campioni mensili e trimestrali: struttura portante a V con i 48 collettori.



Fig. 3 - Misurazione della lunghezza di campioni di *M. galloprovincialis* insediatisi spontaneamente sulle cime portanti della long-line.

La determinazione è stata spesso problematica, sia per motivi dimensionali che per mancanza di chiavi di riconoscimento adeguate per tutte le specie. Gli individui al di sotto dei 200 µm non sono mai stati identificati perché troppo piccoli e mancanti di caratteri morfologici discriminanti. Con cadenza mensile a partire da maggio 2004 sono stati inoltre raccolti campioni di *Mytilus galloprovincialis* insediatisi spontaneamente sulle cime portanti (travi) della long-line, immerse tra la superficie e 3 m di profondità; di tali individui è stata misurata la lunghezza dell'asse maggiore, in modo da seguire l'accrescimento della popolazione nel tempo (Fig. 3).

RISULTATI

Nell'intero periodo di studio sono stati identificate 13 famiglie: Anomidae, Arcidae, Cardiidae, Donacidae, Hiatellidae, Limidae, Mactridae, Mytilidae, Ostreidae, Pectinidae, Solenidae, Tellinidae, Veneridae. Non tutte le famiglie sono state rinvenute con valori comparabili di abbondanza e frequenza. Mytilidae e Pectinidae sono stati presenti durante tutto il periodo di studio, seguite dagli Anomidae, presenti in 9 campioni su 10; le altre famiglie sono state rinvenute meno frequentemente, fino ad arrivare a Solenidae e Mactridae, rinvenute una sola volta (Tab. 2).

Tab. 2 - Campioni mensili: abbondanza media di insediamento (ind m⁻² giorno⁻¹), calcolata su tutti i collettori ad entrambe le profondità, e frequenza di rinvenimento (freq.) dei diversi taxa di Bivalvi. Gli individui al di sotto dei 200 µm non sono mai stati identificati, perché troppo piccoli e mancanti di caratteri morfologici discriminanti; tali esemplari sono stati indicati nelle tabelle e nelle figure come "ni (non identificati) <200 µm". Quando non è stato possibile identificare esemplari di dimensioni superiori essi sono stati indicati come "ni >200 µm".

famiglie	specie	campioni mensili										freq
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
biv ni < 200 µm		2,78	25,68	0,24	9,77	2,06	0,43	69,61	5,03	10,51	3,53	1,0
biv ni > 200 µm			3,53		0,13	8,57		1,28	0,13	1,19	0,18	0,6
Anomidae	<i>Anomia ephippium</i>	13,33	3,59	0,10		0,29	0,57	1,40	1,21	1,17	1,25	0,9
Arcidae							0,50	53,34	3,71	1,75	0,09	0,5
Cardiidae					0,95		0,17		0,05	0,06		0,4
Donacidae					0,10		0,26	3,42	0,25	2,93		0,4
Hiatellidae	<i>Hiatella arctica</i>	7,56	0,92	0,01	0,01						1,85	0,6
Limidae					0,03		0,02	1,17	0,14	0,02	0,04	0,6
Mactridae					0,14							0,1
Mytilidae	Mytilidae ni	9,13	14,99	11,91	51,05	1,72	0,63	20,30	3,86	4,82	13,44	1,0
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>				2,26		0,10		0,08	0,12	1,69	0,6
	<i>Modiolarca subpicta</i>				0,05	1,86	2,35	65,19	26,82	4,79	11,55	0,7
	<i>Modiolula phaseolina</i>							45,49	0,16			0,2
	<i>Musculista senhousia</i>							0,92				0,2
Ostreidae	<i>Ostrea edulis</i>							0,73	0,02			0,2
	<i>Crassostrea gigas</i>							4,17	0,01	0,02		0,3
Pectinidae		0,54	1,27	0,53	1,08	2,39	11,07	151,12	0,81	1,14	0,76	1,0
Solenidae					0,04							0,1
Tellinidae					0,11			0,94				0,2
Veneridae					1,73	0,69	0,04	12,33				0,4
Totale		33,34	49,98	12,79	67,44	17,58	16,12	431,43	42,28	28,53	34,39	

I dati di insediamento delle famiglie sono stati elaborati secondo il loro potenziale valore economico; sono state quindi indicate con il termine "commerciali" le famiglie presenti con una certa frequenza e con valori piuttosto elevati di abbondanza, che presentassero al proprio interno specie di interesse commerciale, cioè Mytilidae, Pectinidae e Veneridae.

Tra i Mytilidae sono state determinate 4 specie: *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), *Modiolarca subpicta* (Cantraine, 1835), *Modiolula phaseolina* (Philippi, 1844), *Musculista senhousia* (Benson in Cantor, 1842). Solo *M. galloprovincialis* ha valore commerciale; le altre specie raggiungono dimensioni molto ridotte (ad es. 10-25 mm di lunghezza, fino a 12 mm di larghezza per *M. senhousia*) e non vengono sfruttate commercialmente. Per le quattro specie di Mytilidae i valori di abbondanza vengono riportati separatamente, ovviamente solo quando le dimensioni degli esemplari hanno reso possibile una determinazione certa. In caso contrario sono stati identificati come Mytilidae non

identificati ("ni"). Per poter confrontare le tre famiglie tra loro, le diverse specie di Mytilidae sono state considerate anche nel loro insieme.

Tra i Pectinidae si sono rinvenuti esemplari di *Aequipecten opercularis* (Linnaeus, 1758), *Chlamys varia* (Linnaeus, 1758), *Proteopecten glabra* (Linnaeus, 1758), ma non sono stati distinti tra loro e quindi non ci sono dati di insediamento per le singole specie.

Tra i Veneridae si sono rinvenuti esemplari di *Paphia rhomboides* (Pennant, 1777) e *Paphia aurea* (Gmelin, 1791), indicati complessivamente come Veneridae.

Campioni mensili

I Bivalvi totali (Fig. 4) hanno mostrato un andamento stagionale con un massimo in agosto. I collettore dove si sono registrati i valori più alti di insediamento sono i cappelli (fino a 705 ind m⁻² giorno⁻¹), seguiti dai sacchetti (fino a 501 ind m⁻² giorno⁻¹); sui pioli, soprattutto su quelli più superficiali, si sono registrati i

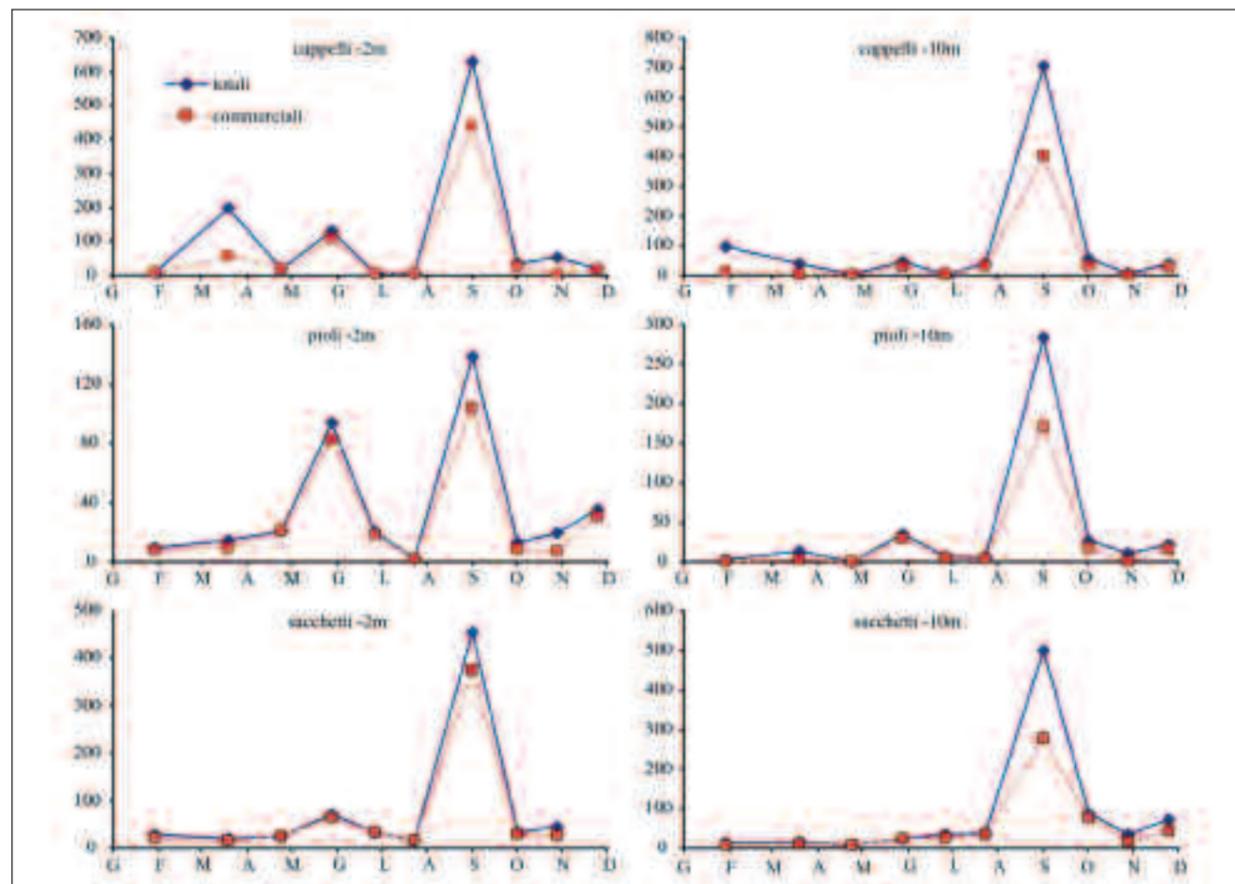


Fig. 4 - Campioni mensili: andamenti dell'insediamento medio (ind m⁻² giorno⁻¹) dei Bivalvi totali e dell'insieme delle tre famiglie considerate "commerciali" (Mytilidae, Pectinidae, Veneridae) sui tre collettore alle due profondità. In ascissa i mesi.

valori più bassi (max 284 ind m⁻² giorno⁻¹ sui pioli a -10 m). L'andamento del totale delle famiglie "commerciali" (Fig. 4) ha seguito quello dei Bivalvi totali; le differenze tra i valori di insediamento del totale e dei commerciali sono dovute principalmente ad individui di piccole dimensioni, sotto i 200 µm, e non identificati.

A parte le famiglie più rare, che non si sono insediate su una o più categorie di collettore (soprattutto i pioli a -10 m), tutti gli altri taxa sono stati rinvenuti su tutti i collettore, anche se con valori di abbondanza molto diversi.

Di seguito vengono presentati i risultati relativi all'insediamento delle tre famiglie "commerciali", raggruppati per singola tipologia di collettore.

Cappelli cinesi

Si sono dimostrati collettore "generalisti", su cui si sono insediati tutti i taxa. L'insediamento dei diversi taxa (Fig. 5 e 6) ha presentato un chiaro andamento stagionale che talvolta può essere anche stato diverso tra le due profondità. Durante l'inverno (da M1 a M3) ha prevalso a -10 m *A. ephippium*, mentre in superficie sono stati più presenti i Mytilidae "ni". A partire da M4 tra i Mytilidae è stato possibile identificare *M. galloprovincialis*, che ha mostrato una netta preferenza per i cappelli più superficiali, mentre a -10 m fino alla fine di giugno (M5) ha continuato ad essere presente *A. ephippium* e hanno iniziato ad essere abbondanti i Pectinidae. Quest'ultima famiglia è diventata prevalente ad entrambe le profondità per tutto luglio ed agosto (M6 e M7); nello stesso periodo tra i Mytilidae è diventata abbondante *M. subpicta*, dominante in M8 e M10, mentre fanno la loro comparsa *M. phaseolina* e *M. senhousia*. Da agosto fino alla fine di ottobre sono stati rinvenuti in percentuali elevate gli Arcidae, presenti con varie specie; in ottobre è ricomparsa *H. arctica*. Tra agosto ed ottobre si sono rinvenute percentuali elevate di individui molto piccoli, <200 µm, ed in novembre molti piccoli Mytilidae, non identificati. La presenza di individui piccoli è un chiaro segno di insediamento continuo, avvenuto soprattutto durante gli ultimi giorni di immersione dei collettore.

L'andamento dell'insediamento per le tre famiglie "commerciali" (Fig. 7) segue quello già visto in generale in Fig. 4. I Mytilidae hanno raggiunto il massimo (188 ind m⁻² giorno⁻¹) in agosto, ma tra marzo e giugno sono comunque stati presenti con valori consistenti, anche se altalenanti, indice di un insediamento discontinuo. Si sono insediati preferenzialmente sui cappelli a -2 m fino alla fine di giugno, poi l'insediamento è stato o distribuito uniformemente tra le due profondità o

addirittura più elevato a -10 m (M7). Il confronto statistico tra gli insediamenti a 2 e 10 m ha dimostrato che le differenze di insediamento sono state significative, ad eccezione dei campioni M1, M7, M8 e M10.

I Pectinidae sono stati la famiglia di Bivalvi che sui cappelli ha presentato i valori di abbondanza più elevati (max 267 ind m⁻² giorno⁻¹); hanno mostrato in generale una preferenza ad insediarsi più vicini al fondo, ad eccezione di M7 (agosto), con

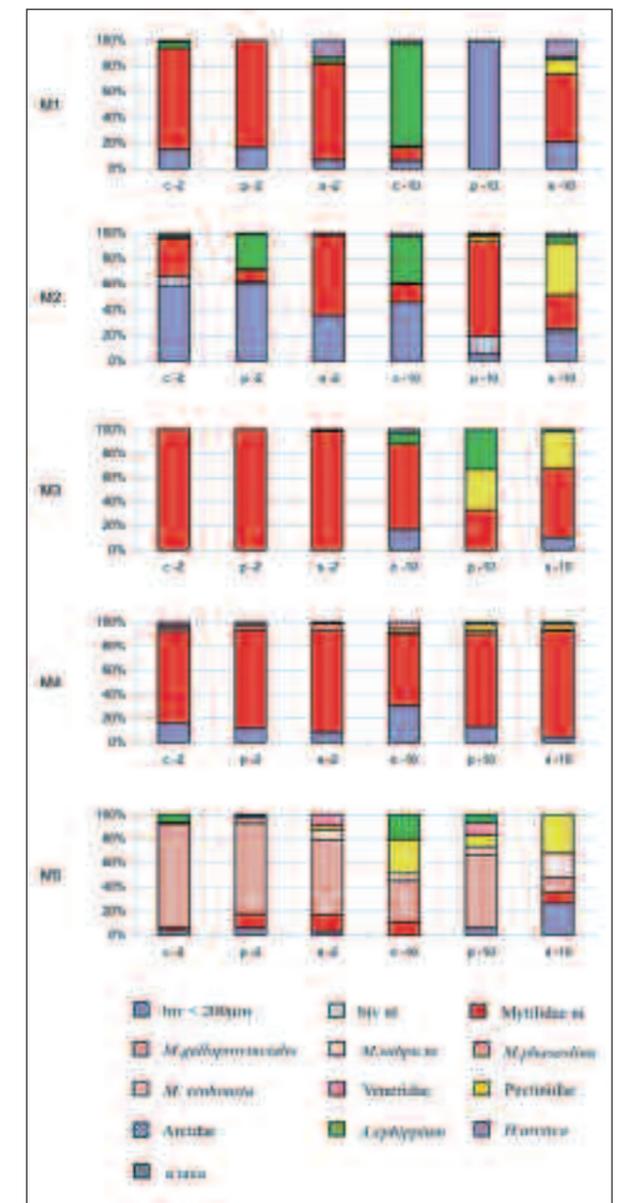


Fig. 5 - Campioni mensili M1-M5: percentuali medie di insediamento dei diversi taxa rinvenuti sui tre tipi di collettore alle due profondità. C = cappelli; p = pioli; s = sacchetti; 2 = 2m di profondità; 10 = 10 m di profondità.

una differenza tra le due profondità statisticamente significativa nei campioni tra giugno e settembre.

In generale l'insediamento dei Veneridae è stato molto meno prolungato e meno abbondante (max 36 ind m⁻² giorno⁻¹) rispetto alle altre famiglie "commerciali"; infatti questo taxon è stato rinvenuto solo tra maggio e settembre (M4-M8). La preferenza è stata per i cappelli a -2m, anche se la differenza è stata statisticamente significativa solo in agosto.

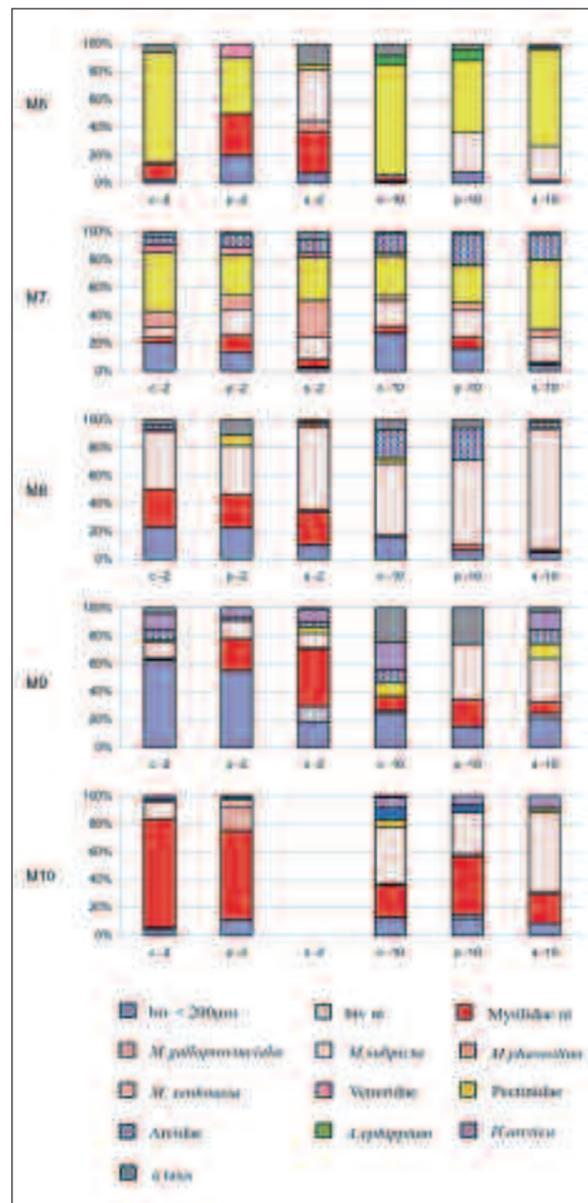


Fig. 6 - Campioni mensili M6-M10: percentuali medie di insediamento dei diversi taxa rinvenuti sui tre tipi di collettori alle due profondità. c = cappelli; p = pioli; s = sacchetti; 2 = 2m di profondità; 10 = 10 m di profondità.

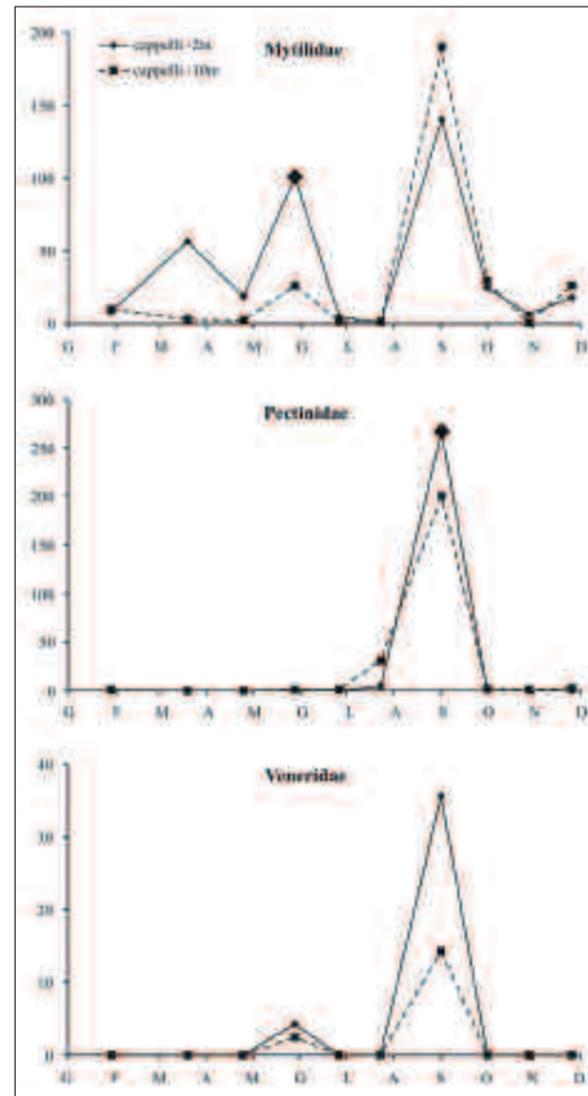


Fig. 7 - Campioni mensili: andamenti dell'insediamento medio (ind m⁻² giorno⁻¹) di Mytilidae, Pectinidae, Veneridae sui "cappelli cinesi" alle due profondità. In ascissa i mesi.

Pioli

I taxa rinvenuti sui pioli (Fig. 5 e 6) hanno mostrato una variabilità stagionale che è ovviamente molto simile a quella descritta per i cappelli, essendo soprattutto legata al ciclo biologico dei diversi organismi. Le principali differenze tra i pioli e gli altri collettori, oltre al numero più basso di individui insediati, è stata la minor percentuale di Pectinidae in luglio e la presenza di *M. galloprovincialis* in novembre a -2 m.

L'andamento dell'insediamento dei Mytilidae (Fig. 8) ha mostrato due picchi: uno in giugno a -2 m (80 ind m⁻² giorno⁻¹) ed uno in agosto a -10 m (93 ind m⁻² giorno⁻¹). La differenza di

insediamento tra le due profondità è sempre stata statisticamente significativa, ad eccezione di M6 e M9.

Per i Pectinidae il picco di insediamento si è registrato in agosto a -10 m (76 ind m⁻² giorno⁻¹); in questo campione (M7) si è anche registrata l'unica differenza statisticamente significativa tra i due livelli di profondità.

I Veneridae sono stati molto poco abbondanti sui pioli, avendo raggiunto un massimo di 8 ind m⁻² giorno⁻¹ in agosto, quando si è registrata una differenza statisticamente significativa tra i due livelli di profondità. Sono sempre stati più rari a -10 m.

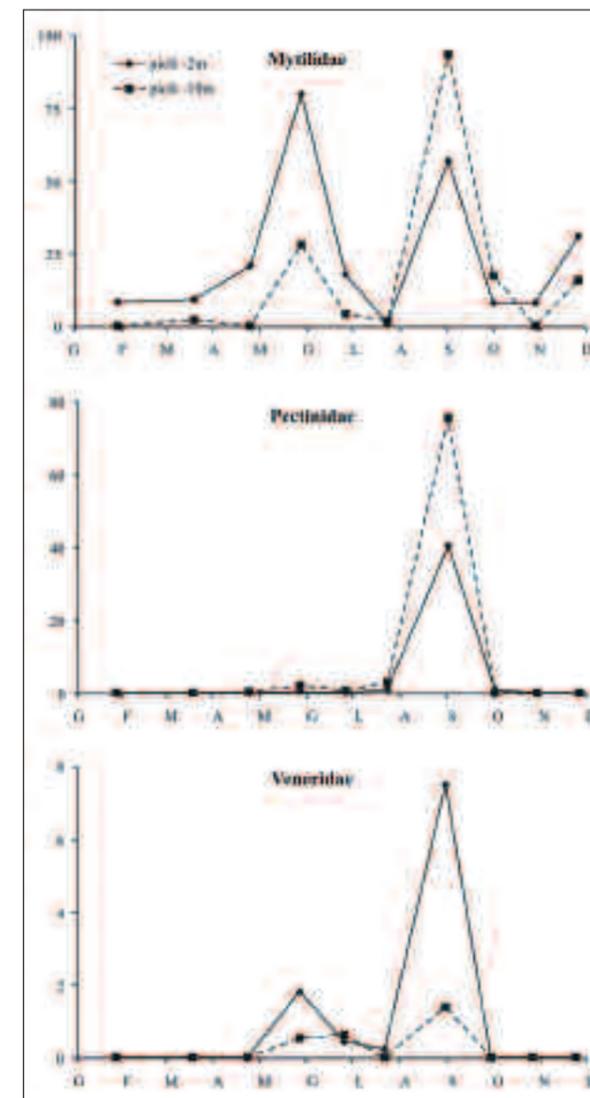


Fig. 8 - Campioni mensili: andamenti dell'insediamento medio (ind m⁻² giorno⁻¹) di Mytilidae, Pectinidae, Veneridae sui pioli alle due profondità. In ascissa i mesi.

Sacchetti

Sui sacchetti (Fig. 5 e 6) si può notare una maggiore presenza di Pectinidae anche nei mesi invernali (M1 e M2); risulta anche evidente che tali percentuali sono sempre maggiori a -10 m. L'andamento dell'insediamento dei Mytilidae (Fig. 9) ha mostrato valori piuttosto elevati e sempre maggiori a -2 m; il picco si è registrato in agosto con un valore di 220 ind m⁻² giorno⁻¹. Le differenze di insediamento tra le due profondità sono risultate statisticamente significative nei campioni M1, M3, M4, M8 e M9.

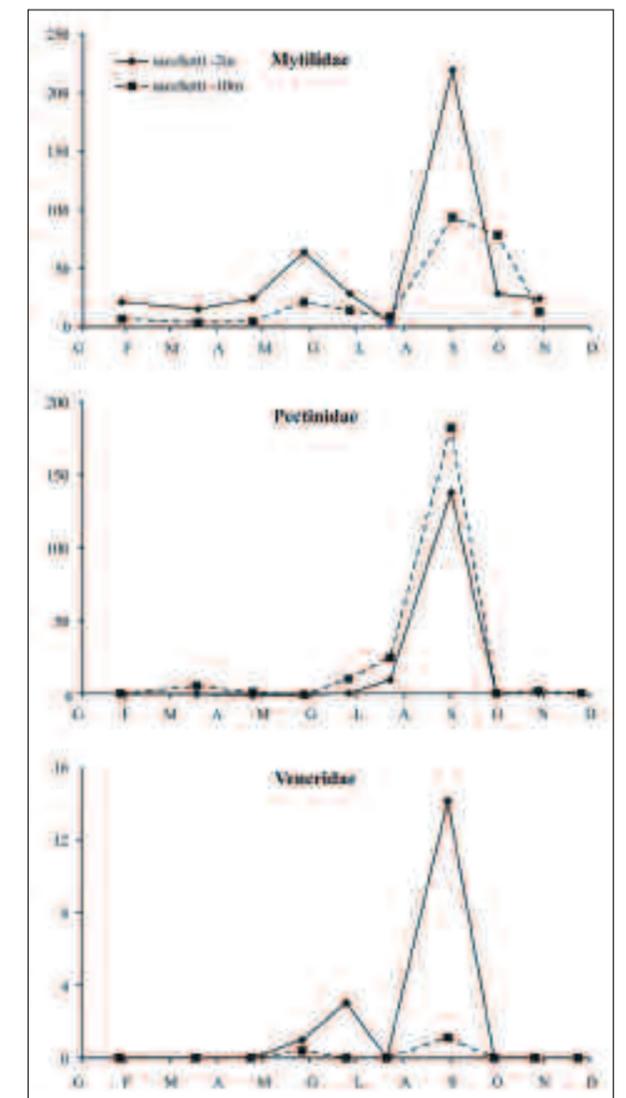


Fig. 9 - Campioni mensili: andamenti dell'insediamento (ind m⁻² giorno⁻¹) di Mytilidae, Pectinidae, Veneridae sui sacchetti alle due profondità.

L'insediamento dei Pectinidae è stato sempre più elevato a -10 m; il picco si è registrato in agosto, quando ha raggiunto 184 ind m⁻² giorno⁻¹. Le differenze sono state statisticamente significative nei campioni tra M2 e M7, cioè nel periodo tra febbraio e agosto.

L'insediamento dei Veneridae sui sacchetti è stato piuttosto scarso, con un massimo in agosto (M7) a -2 m (14 ind m⁻² giorno⁻¹); le differenze d'insediamento tra le due profondità non sono mai state statisticamente significative.

Mytilus galloprovincialis: insediamento sui tre tipi di collettore nei campioni mensili

Poiché nella famiglia Mytilidae, che, come precedentemente detto, è stata considerata commerciale, è stata rinvenuta un'unica specie sfruttabile economicamente, è stato studiato l'insediamento di *M. galloprovincialis* e confrontato con quello delle specie non commerciali (*M. subpicata*, *M. phaseolina*, *M.*

senhousia) e dei Mytilidae non identificati (Fig. 10). Dal confronto appare chiaramente che anche se l'insediamento della famiglia Mytilidae sui diversi collettori (Figg. 7, 8 e 9) presenta un picco molto elevato in agosto, *M. galloprovincialis* si insedia fino alla fine di giugno e poi riappare in autunno (M8-M10). La maggior parte dei Mytilidae non identificati rinvenuti tra gennaio e maggio (M1-M4) sono quindi probabilmente piccoli individui di *M. galloprovincialis* (vedi campioni trimestrali). Il picco di agosto è attribuibile soprattutto a *M. subpicata* (131 max ind m⁻² giorno⁻¹ sui cappelli a -10 m).

Campioni trimestrali

Campione T1: 18/12/03-19/03/04

L'insediamento (Fig. 11; Tab. 3) è avvenuto preferenzialmente sui cappelli, soprattutto in quelli più profondi (249 ind m⁻² giorno⁻¹); la differenza di insediamento tra i cappelli alle due

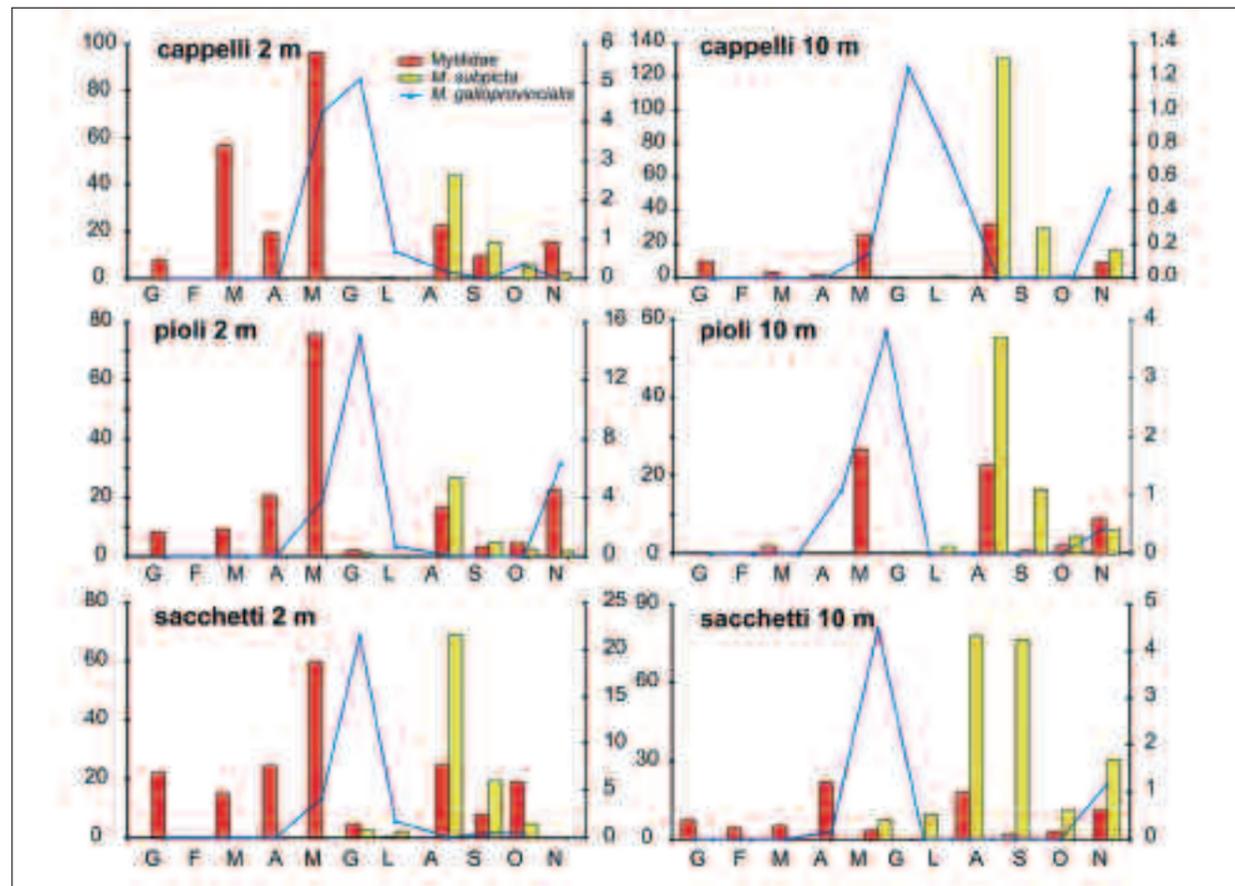


Fig. 10 - Campioni mensili: andamenti dell'insediamento medio (ind m⁻² giorno⁻¹) di *M. galloprovincialis*, Mytilidae non identificati (ni) e Mytilidae non commerciali (nc) sui tre collettori alle due profondità. Gli istogrammi e la scala di sinistra sono relative ai Mytilidae non identificati e non commerciali; la linea e la scala di destra sono relative a *M. galloprovincialis*.

profondità è dovuta soprattutto ad una consistente presenza a -10 m di *A. ehippium* (47 ind m⁻² giorno⁻¹) e di individui <200µm, appena metamorfosati e quindi non identificabili (99 ind m⁻² giorno⁻¹). Rispetto ai campioni mensili corrispondenti (M1 e M2) si assiste ad un maggior insediamento di *M. galloprovincialis*, abbondante soprattutto sui cappelli a -2 m (90 ind m⁻² giorno⁻¹), che risulta in assoluto il taxon più abbondante (147 ind m⁻² giorno⁻¹), seguito dai Mytilidae non identificati (113 ind m⁻² giorno⁻¹), risultati percentualmente importanti soprattutto su pioli e sacchetti. Su tutti i collettori e ad entrambe le profondità è risultato inoltre insediato *M. subpicata* (fino a 16 ind m⁻² giorno⁻¹) che in m1 e m2 non è stato rilevato. Il confronto tra gli insediamenti a -2 m e a -10 m si dimostra statisticamente significativo per l'intera famiglia Mytilidae solo su pioli e sacchetti.

Su tutti i collettori a -10 m e sui sacchetti a -2 m sono inoltre presenti, anche se non abbondanti, i Pectinidae; rari i Veneridae, che mancano totalmente sui pioli. La differenza tra gli insediamenti alle due profondità è risultata statisticamente significativa per i Pectinidae su cappelli e pioli e per i Veneridae

solo sui cappelli. *M. galloprovincialis* prevale solo sui cappelli a -2 m (77%) (Fig. 11); in tutti gli altri casi l'insediamento è costituito in massima parte da individui <200 µm, Mytilidae non identificati e, a -10 m, *A. ehippium*.

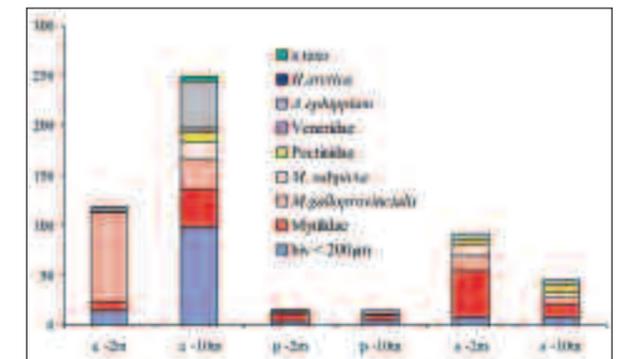


Fig. 11 - Campione trimestrale T1 (18/12/03-19/03/04): insediamento medio (ind m⁻² giorno⁻¹) dei diversi taxa identificati sui tre tipi di collettore alle due profondità. c = cappelli; p = pioli; s = sacchetti; 2 = 2m di profondità; 10 = 10 m di profondità.

Tab. 3 - Campioni trimestrali: abbondanza media di insediamento (m) (ind m⁻² giorno⁻¹) e deviazione standard (sd) dei taxa rinvenuti sui collettori alle due profondità (2m e 10m) nel campione T1, nel periodo 18/12/03-19/03/04. Legenda: c = cappelli; p = pioli; s = sacchetti.

		c -2m	c -10m	p -2m	p -10m	s -2m	s -10m	tot taxon
biv < 200µm	m	15,13	99,01	3,65	5,12	8,12	8,00	139,02
	sd	7,83	29,33	2,04	3,57	5,78	3,35	
biv n.i.	m	0,00	0,15	0,00	0,00	0,03	0,18	0,35
	sd	0,00	0,31	0,00	0,00	0,06	0,23	
Mytilidae	m	7,28	36,81	6,91	3,65	45,34	12,76	112,75
	sd	3,07	12,38	2,77	4,12	9,88	3,81	
<i>M. galloprovincialis</i>	m	90,30	30,77	3,06	0,00	16,20	6,64	146,97
	sd	44,52	14,65	1,63	0,00	7,54	2,23	
<i>M. subpicata</i>	m	0,65	16,19	1,00	0,47	10,97	5,12	34,39
	sd	0,78	11,51	1,10	0,83	3,25	1,98	
Pectinidae	m	0,33	11,04	0,00	1,20	5,23	7,44	25,24
	sd	0,53	3,59	0,00	1,03	2,15	1,00	
Veneridae	m	0,41	3,75	0,00	0,00	0,06	0,06	4,28
	sd	1,23	3,26	0,00	0,00	0,12	0,12	
<i>A. ehippium</i>	m	2,86	46,67	0,60	5,12	5,56	5,79	66,60
	sd	1,78	15,62	0,80	4,32	1,55	1,83	
a taxa	m	1,23	4,64	0,00	0,00	0,00	0,15	6,01
	sd							
tot collettore	m	118,19	249,03	15,22	15,55	91,50	46,13	
	sd							

Campione T2: 19/03/04-26/06/04

L'insediamento è stato maggiore del trimestre precedente (Fig. 12; Tab. 4), passando da un massimo di 249 ind m⁻² giorno⁻¹, registrato in T1, ad un massimo di 821 ind m⁻² giorno⁻¹ in T2, ed è avvenuto principalmente sui cappelli a -2 m, seguiti dai cappelli a -10 m, dai pioli ed infine dai sacchetti. Il taxon più abbondante è stato quello dei Veneridae (588 ind m⁻² giorno⁻¹), seguito da *M. galloprovincialis* (520 ind m⁻² giorno⁻¹); entrambe i taxa sono stati particolarmente abbondanti sui cappelli superficiali. I Pectinidae, presenti soprattutto a -10 m, sono il terzo taxon in ordine di abbondanza (276 ind m⁻² giorno⁻¹). Rispetto al trimestre precedente è aumentato l'insediamento di *M. subpicta*, sensibilmente più abbondante a -10 m. Scarso è stato l'insediamento di *A. ehippium* e *H. arctica*.

Rispetto ai collettori mensili del periodo corrispondente i taxa sono presenti con valori sensibilmente diversi; infatti in T2, come già detto, prevalgono i Veneridae, mentre in M3, M4 e M5, prevalgono i Mytilidae n.i e *M. galloprovincialis* (Fig. 4).

Le differenze tra gli insediamenti a -2 m e a -10 m sono risultate statisticamente significative su tutti i collettori per Pectinidae e Veneridae, solo su cappelli e pioli per l'intera famiglia dei

Mytilidae. I Veneridae, insieme a piccoli Mytilidae, dominano su cappelli e pioli a -2 m (Fig. 12); sui sacchetti a -2 m c'è la dominanza totale di questi ultimi (77% del totale), con piccole percentuali di Pectinidae e Veneridae. In profondità tendono invece a prevalere Pectinidae e *M. subpicta*, insieme, soprattutto sui cappelli, ai Veneridae.

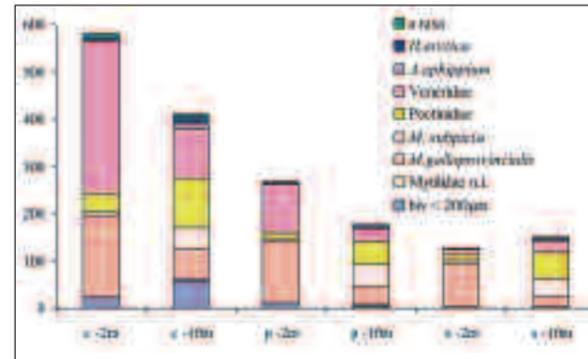


Fig. 12 - Campione trimestrale T2 (19/03/04-26/06/04): insediamento medio (ind m⁻² giorno⁻¹) dei diversi taxa identificati sui tre tipi di collettore alle due profondità. c = cappelli; p = pioli; s = sacchetti; 2 = 2m di profondità; 10 = 10 m di profondità

Tab. 4 - Campioni trimestrali: abbondanza media di insediamento (m) (ind m⁻² giorno⁻¹) e deviazione standard (sd) dei taxa rinvenuti sui collettori alle due profondità (2m e 10m) nel campione T2, nel periodo 19/03/04-26/06/04. Legenda: c = cappelli; p = pioli; s = sacchetti.

		c -2m	c -10m	p -2m	p -10m	s -2m	s -10m	tot taxon
biv < 200µm	m	23,05	58,65	10,25	4,82	0,87	0,87	98,51
	sd	18,53	40,02	5,34	3,50	1,01	1,01	
biv n.i.	m	0,00	25,72	0,00	0,19	0,00	0,00	25,91
	sd	0,00	14,25	0,00	0,42	0,00	0,00	
Mytilidae n. i.	m	1,58	2,14	1,05	0,68	1,31	0,44	7,20
	sd	57,96	24,89	31,75	14,79	20,61	6,14	
<i>M. galloprovincialis</i>	m	172,04	64,59	130,29	39,83	92,24	21,86	520,84
	sd	2,66	2,47	1,54	0,79	1,67	0,87	
<i>M. subpicta</i>	m	7,58	43,55	4,45	47,24	6,89	38,91	148,60
	sd	6,20	18,72	1,67	11,20	3,58	16,86	
Pectinidae n. i.	m	38,89	107,28	13,46	47,67	12,68	56,83	276,82
	sd	23,11	35,69	5,25	15,06	6,12	14,73	
Veneridae n. i.	m	322,68	102,65	103,74	27,17	10,49	21,42	588,16
	sd	127,26	43,71	22,86	12,89	5,15	3,61	
<i>A. ehippium</i>	m	0,54	11,67	0,06	4,38	0,44	4,92	22,01
	sd	0,76	5,18	0,20	3,29	0,87	4,56	
<i>H. arctica</i>	m	5,78	14,05	1,17	4,08	0,44	3,50	29,02
	sd	3,83	5,27	1,11	3,82	0,87	3,19	
a taxa	m	8,41	6,16	1,30	0,74	2,19	2,19	20,97
tot collettore	m	820,83	626,68	335,46	242,55	167,43	201,91	

Campione T3: 26/06/04-01/10/04

Al momento del recupero il campione non è stato ritrovato.

Campione T4: 01/10/04-25/11/04

L'insediamento (Fig. 13; Tab. 5) è avvenuto preferenzialmente sui cappelli, soprattutto in quelli più profondi (418 ind m⁻² giorno⁻¹); la differenza di insediamento tra i cappelli alle due profondità è dovuta soprattutto ad una consistente presenza a -10 m di individui <200 µm (117 ind m⁻² giorno⁻¹). Il taxon più abbondante è stato quello dei Mytilidae, con un massimo di 188 ind m⁻² giorno⁻¹ sui cappelli a -10 m.

I Pectinidae sono stati rinvenuti, anche se con abbondanze scarse (da 10 a 14 ind m⁻² giorno⁻¹), soprattutto su cappelli e sacchetti a -10 m; la differenza tra gli insediamenti alle due profondità è risultata statisticamente significativa. Da notare la ricomparsa di *H. arctica* sui cappelli ad entrambe le profondità e, in misura minore, sui sacchetti superficiali. Sui cappelli a -10 m sono stati rinvenuti un discreto numero di Arcidae (fino a 43 ind

m⁻² giorno⁻¹), inclusi in questo caso nella categoria "altri taxa" (Fig. 13). Rispetto ai campioni mensili corrispondenti (M9 e M10) i valori totali di insediamento sono superiori di un ordine di grandezza (cfr. Tab. 2 e Tab. 5).

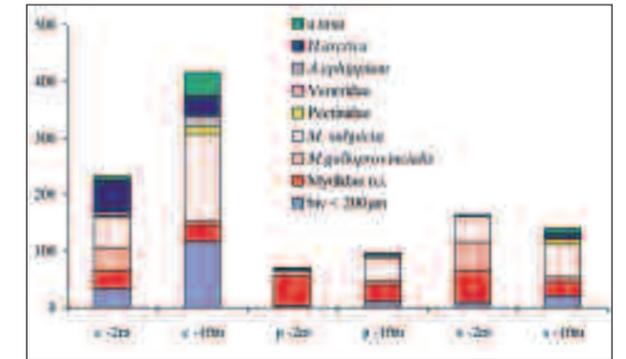


Fig. 13 - Campione trimestrale T4 (01/10/04 - 25/11/04): insediamento medio (ind m⁻² giorno⁻¹) dei diversi taxa identificati sui tre tipi di collettore alle due profondità. c = cappelli; p = pioli; s = sacchetti; 2 = 2m di profondità; 10 = 10 m di profondità.

Tab. 5 - Campioni trimestrali: abbondanza media di insediamento (m) (ind m⁻² giorno⁻¹) e deviazione standard (sd) dei taxa rinvenuti sui collettori alle due profondità (2m e 10m) nel campione T4, nel periodo 01/10/04-25/11/04. Legenda: c = cappelli; p = pioli; s = sacchetti.

		c -2m	c -10m	p -2m	p -10m	s -2m	s -10m	tot taxon
biv < 200µm	m	33,44	116,50	4,00	10,67	8,85	21,84	195,30
	sd	22,84	81,95	3,79	11,08	5,94	11,78	
biv n.i.	m	1,40	2,75	0,56	0,11	0,00	0,00	4,81
	sd	1,77	3,77	0,79	0,35	0,00	0,00	
Mytilidae	m	30,98	28,67	52,13	28,56	53,71	24,15	218,20
	sd	7,37	17,17	22,40	16,65	41,31	11,82	
<i>M. galloprovincialis</i>	m	41,63	8,82	0,00	6,89	51,54	9,25	118,13
	sd	24,16	5,06	0,00	5,26	34,61	3,11	
<i>M. subpicta</i>	m	52,86	150,76	8,34	42,24	47,80	56,66	358,65
	sd	32,84	63,91	7,63	20,66	36,76	16,54	
Pectinidae	m	2,02	13,73	0,56	1,67	0,39	9,64	28,01
	sd	1,67	8,18	0,94	2,78	0,79	4,28	
Veneridae	m	0,10	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11
	sd	0,30	1,64	0,00	0,00	0,00	0,00	
<i>A. ehippium</i>	m	8,19	19,42	0,89	4,56	0,79	2,95	36,79
	sd	4,93	7,05	1,26	5,28	1,11	2,44	
<i>H. arctica</i>	m	54,59	33,15	3,22	1,22	13,97	7,48	113,63
	sd	40,35	16,65	3,29	1,11	11,96	4,83	
a taxa	m	8,14	40,09	0,44	1,44	1,38	8,46	59,96
tot collettore	m	233,34	414,89	70,13	97,36	178,43	140,41	

Mytilidae e *Mytilus galloprovincialis*: insediamento sui tre tipi di collettore nei campioni trimestrali

L'insediamento della famiglia Mytilidae è stato più elevato in T2 e T4, andando da un massimo di 98,23 ind m⁻² giorno⁻¹ in T1 a massimi di 181,19 ind m⁻² giorno⁻¹ in T2 e di 204,07 in T4 (Fig. 14). In T1 sono ancora abbondanti i Mytilidae di piccole dimensioni e quindi non identificati, mentre in T2 le specie sono state quasi sempre identificabili, date le maggiori dimensioni degli individui, per effetto di una crescita più rapida legata alle temperature stagionali più elevate. In T4 non solo per effetto del raffreddamento autunnale dell'acqua ed il conseguente rallentamento della crescita, ma anche in seguito a nuove e ripetute emissioni, aumenta la presenza di Mytilidae non identificati.

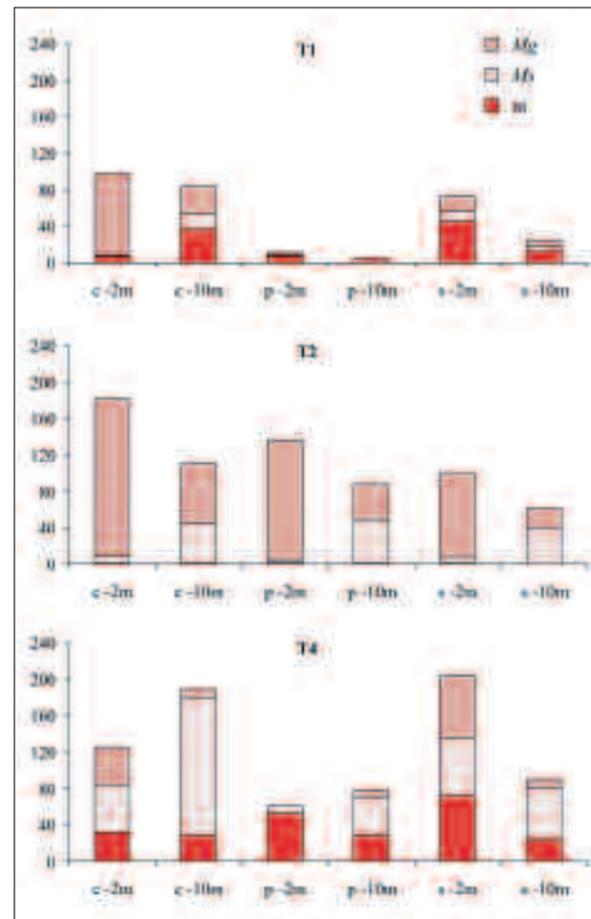


Fig. 14 - Campioni trimestrali: insediamento medio (ind m⁻² giorno⁻¹) di Mytilidae non identificati (ni), *M. subpicta* (Ms) e *M. galloprovincialis* (Mg) sui tre collettori alle due profondità. c = cappelli; p = pioli; s = sacchetti; 2 = 2m di profondità; 10 = 10m di profondità.

In T2 la percentuale di *M. galloprovincialis* sul totale dei Mytilidae è stata molto elevata, comunque sempre superiore al 90% sui collettori superficiali. *M. galloprovincialis* si è insediato maggiormente sui cappelli (172 ind m⁻² giorno⁻¹), poi sui pioli (130 ind m⁻² giorno⁻¹) ed infine sui sacchetti (92 ind m⁻² giorno⁻¹).

In T4 *M. subpicta* è stata rinvenuta su tutti i collettori e ad entrambe le profondità (151 ind m⁻² giorno⁻¹); sui cappelli a -10 m ha rappresentato l'80% del totale dei Mytilidae presenti. *M. galloprovincialis* è stato abbondante solo su cappelli (42 ind m⁻² giorno⁻¹) e sacchetti superficiali (52 ind m⁻² giorno⁻¹), ma con valori percentualmente meno importanti (intorno al 33%) rispetto all'insediamento primaverile (T2). Da segnalare l'assenza totale di questa specie sui pioli a -2 m.

Risulta chiara la preferenza di *M. galloprovincialis* per i collettori di qualsiasi tipologia purché posti alla quota più superficiale, ma soprattutto quella di *M. subpicta* per i collettori a maggiore profondità.

Biometria e accrescimento di *M. galloprovincialis*

A partire da maggio 2004 nel corso delle operazioni di sostituzione dei collettori, sono stati prelevati sette campioni di *M. galloprovincialis* ottenuti ripulendo circa 1 m lineare di cima portante (trave) della long-line, immersa a circa 2 m all'interno del campo sperimentale da novembre 2003. Al fine di seguire l'accrescimento della popolazione dei mitili insediatisi naturalmente, è stato misurato con calibro di precisione (precisione 0,1 mm) l'asse maggiore (lunghezza) di tutti i mitili raccolti (da 146 a 350 individui).

Dai dati elaborati (Tab. 6; Fig. 15) si ricava che l'accrescimento è stato continuo e che alla fine di novembre la lunghezza media supera i 40 mm. In Fig. 16, attraverso la distribuzione percentuale delle taglie degli individui giovanili, fino a 20 mm di lunghezza, si evidenzia l'andamento su base mensile del reclutamento nella popolazione. I due picchi di maggio, uno a 6 mm (9,75%) e uno a 14 mm (11,44%), indicano un probabile reclutamento avvenuto in due fasi successive (cfr. cappelli a -2 m in Fig. 10); a giugno, invece, la distribuzione delle lunghezze dei giovanili appare unimodale, con il massimo alla taglia di 11 mm (12,56%). A luglio si registra un nuovo picco di reclutamento, dimostrato dall'abbondanza delle taglie comprese tra 4 e 6 mm, che superano complessivamente il 40% della popolazione. In agosto l'accrescimento della popolazione porta ad un'ampia distribuzione unimodale spostata verso taglie maggiori, con il massimo a 15 mm.

Tab. 6 - *M. galloprovincialis*: lunghezza media dell'asse maggiore con deviazione standard, lunghezza minima e massima e numero di individui misurati nel periodo maggio-novembre 2004.

	28/5/04	26/6/04	23/7/04	1/9/04	1/10/04	28/10/04	25/11/04
media (mm)	10,29	12,36	15,80	22,44	27,06	35,64	42,47
s.d.	4,56	5,07	10,30	8,61	5,02	6,23	8,24
minima	2,2	1,7	1,9	5,3	9,8	14,3	19,8
massima	24,7	26,0	37,2	41,3	41,7	50,4	54,6
n° ind.	237	245	350	300	312	279	146

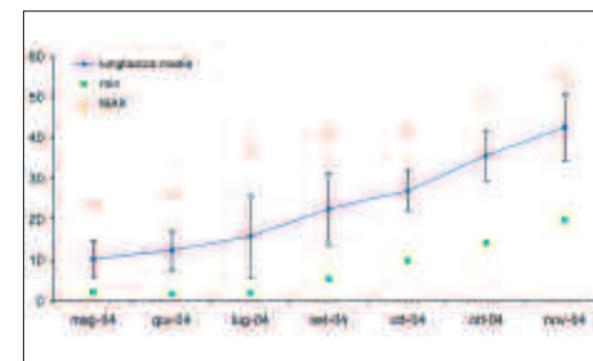


Fig. 15 - *M. galloprovincialis*: lunghezza media dell'asse maggiore (mm), lunghezza minima e massima degli individui misurati nel periodo maggio-novembre 2004. Le barre verticali indicano la deviazione standard.

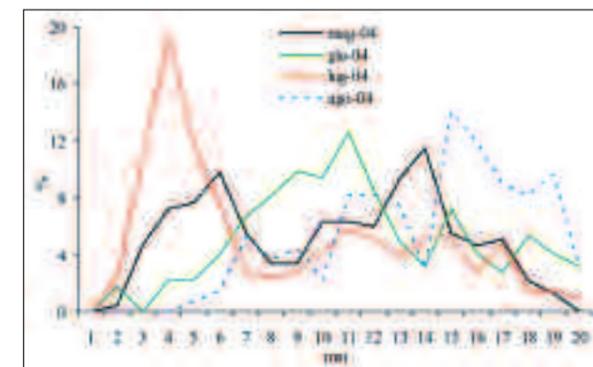


Fig. 16 - *M. galloprovincialis*: distribuzione percentuale delle taglie (lunghezza dell'asse maggiore in mm) degli individui giovanili fino a 20 mm di lunghezza nel periodo maggio-novembre 2004.

- la diversa tipologia del substrato: cappelli, pioli e sacchetti;
- la diversa profondità di immersione dei collettori: -2 e -10 m.

1. I dati presentati in questa relazione dimostrano che la diversa durata del periodo di immersione determina delle differenze talvolta sostanziali nella composizione in specie e nelle abbondanze della comunità dei bivalvi insediatisi sui collettori. Infatti, la maggior durata del periodo di immersione determina la presenza di una comunità *fouling* più abbondante e ricca che può consentire ad alcune specie di trovare un maggior riparo al suo interno. Inoltre le maggiori dimensioni raggiunte dagli individui insediatisi da più tempo permettono all'osservatore al binoculare di identificare le specie in base a caratteri morfologici maggiormente discriminanti. A dimostrazione di quanto è stato detto vengono di seguito riportati due esempi relativi a Mytilidae e Veneridae.

I Mytilidae insediatisi nei campioni invernali (18/12/03-19/03/04) sono stati identificati in parte solo nel campione trimestrale; con le basse temperature del periodo, infatti, la velocità di accrescimento è stata così bassa da non permettere di raggiungere, nel periodo di un mese, una dimensione che consentisse l'identificazione della specie. Solo a partire da maggio (M4) le dimensioni degli individui di questa famiglia sono state spesso sufficienti a permetterne l'identificazione a livello di specie. Nel campione trimestrale T1, corrispondente al periodo invernale (18/12/03-19/03/04) che presentava individui di età e dimensioni più avanzate, è stato quindi possibile identificare specie che nei campioni mensili non erano discriminabili prima di maggio. Bisogna tener conto che, almeno per *M. galloprovincialis*, è nota la preferenza per superfici "mature"; l'insediamento tende quindi a verificarsi dopo un certo periodo di immersione e, soprattutto nel caso dei campioni mensili invernali, negli ultimi giorni di permanenza del collettore in acqua.

I Veneridae sono stati il taxon più abbondante nel secondo

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

In questa sperimentazione è stata studiata l'influenza di tre variabili sull'insediamento delle post-larve dei Bivalvi:

- la diversa durata del periodo di immersione: un mese o tre mesi;

campione trimestrale (T2, 19/03-26/06/04) corrispondente al periodo primaverile, mentre sui mensili del periodo corrispondente (M3-M5) si sono limitati a poche unità (4 ind m^{-2} giorno $^{-1}$ in M4). Questa differenza tra gli insediamenti sui collettori immersi uno o tre mesi potrebbe essere legata, come nel caso dei Mytilidae, ad un fattore dimensionale; i Veneridae identificati in T2 potrebbero infatti corrispondere, almeno in parte, alla frazione non identificata $<200 \mu m$, che è stata particolarmente abbondante nel campione raccolto il 28/05 (M4), e che per la fine di giugno ha raggiunto dimensioni tali da permetterne l'identificazione. L'elevata abbondanza di Veneridae rinvenuta in T2 potrebbe però essere legata anche ad un effetto "rifugio" offerto dai collettori più maturi. Sui collettori trimestrali del periodo aprile-giugno, infatti, era presente un *fouling* più abbondante e rappresentato da organismi anche di maggiori dimensioni (soprattutto colonie di idrozoi); sulla superficie dei collettori, in particolare sui cappelli, era inoltre più abbondante il sedimento, caratteristica che può aver favorito l'insediamento e la sopravvivenza dei primi stadi giovanili degli individui di



Fig. 17 - Cappelli e sacchetti del campione M7, particolarmente ricchi di idrozoi.

Veneridae che prediligono i substrati mobili, sabbiosi o fangosi che siano. Nei campioni mensili estivi la temperatura più elevata dell'acqua ha permesso un accrescimento più rapido degli organismi, consentendo da una parte una più agevole identificazione e, dall'altra, l'instaurarsi di una più complessa comunità *fouling* (Fig. 17). Le caratteristiche delle comunità *fouling*, discusse in vari lavori scientifici, sono ben conosciute dai ricercatori che, a vario titolo, hanno condotto sperimentazioni sulla stagionalità del *fouling* e sui substrati preferiti dai differenti organismi che lo compongono (Barbaro e Francescon, 1976; Relini, 1974).

2. Dalla letteratura sono note le preferenze di alcune specie di Bivalvi per substrati di forma e materiali diversi. Per i mitili sono stati testati: pannelli (De Block e Geelen, 1960; Ravano e Relini, 1970; Hrs-Brenko, 1980; Pastore, 1980; Pellizzato e Renzoni, 1986), reti tubulari in nylon (Pellizzato e Renzoni, 1986), corde e fibre tessili (De Block e Geelen, 1960; Pastore, 1980; Fabi *et al.*, 1985). Per le ostriche sono stati testati: pannelli (Ravano e Relini, 1970; Pastore, 1980; Hrs-Brenko, 1982; Pellizzato, 1984; Pellizzato e Renzoni, 1986) e valve di ostrica (Pellizzato, 1984; Pellizzato e Renzoni, 1986). Per i Pectinidae sono stati testati: reti contenenti al proprio interno altri tipi di materiali, soprattutto di natura filamentosa (Brand *et al.*, 1980; Mattei e Pellizzato, 1993; Pearce e Bourget, 1996) o conchiglie di Pectinidae adulti (Pearce e Bourget, 1996).

Dagli studi citati è emerso che per alcuni bivalvi (es. mitili e Pectinidae) i substrati di tipo filamentoso sono particolarmente idonei, almeno per quanto concerne l'insediamento primario; al termine di questa fase i giovani neometamorfosati si staccano e, lasciandosi trasportare dalle correnti, raggiungono substrati a loro più confacenti per l'insediamento definitivo. I materiali filamentosi sono particolarmente adatti per l'insediamento poiché sono strutturalmente simili a Idroidi, Briozoi eretti e alghe, organismi colonizzati in gran numero dalle larve dei vari invertebrati marini bentonici (De Block e Geelen, 1960; Brand *et al.*, 1980; Harvey e Bourget, 1997).

I tre tipi di collettore impiegati nella sperimentazione avevano proprio lo scopo di fornire substrati adatti a mitili, ostriche e Pectinidae; per la raccolta delle larve di vongole, il discorso è un po' diverso poiché non è stato possibile impiegare un tipo di collettore (tubi di polietilene forato con filler di geotessile) che aveva fornito buoni risultati in laguna di Venezia, nel corso di uno studio sull'insediamento di *Tapes philippinarum* (Bressan *et al.*, 2002; Caberlotto *et al.*, 2003).

I cappelli sono usati già da diversi anni come collettori di ostriche

in vari paesi europei, soprattutto in Francia e Spagna; in Italia sono stati importati una ventina di anni fa ed utilizzati a scopo soprattutto sperimentale nelle lagune e negli impianti di mitilicoltura long-line in Nord Adriatico (Pellizzato, com. pers.; Paesanti *et al.*, 1997). Anche i pioli sono conosciuti da diversi anni in Alto Adriatico, dove sono stati utilizzati in sostituzione di pezzi di legno e di plastica grezza da inserire nelle reste di mitili, dividendole in più livelli, al fine di ridurre le perdite di prodotto, per distacco dalla corda, nel corso di mareggiate; successivamente si è pensato ad un loro utilizzo per l'insediamento dei bivalvi e si sono dimostrati un substrato ottimale per l'insediamento di *M. galloprovincialis* in laguna di Venezia (Bressan *et al.*, 2002). Per i Pectinidae i sacchetti erano già stati testati positivamente in Adriatico (Mattei e Pellizzato, 1993).

Nel campo sperimentale, nel periodo dicembre 2003 - novembre 2004, il massimo insediamento di bivalvi totali si è registrato sui cappelli (max 705 ind m^{-2} giorno $^{-1}$), seguiti da sacchetti (max 501 ind m^{-2} giorno $^{-1}$) e pioli (max 284 ind m^{-2} giorno $^{-1}$). La diversa forma e dimensione di cappelli e sacchetti offrono probabilmente un maggior riparo ai giovanili neo-insediati e possono spiegare perché sono preferiti rispetto ai pioli, che, al contrario, hanno dimensioni più ridotte e superfici più esposte alle correnti.

I Mytilidae si insediano sui cappelli con frequenze e abbondanze maggiori (Fig. 10); il valore più elevato di insediamento si è registrato in realtà sui sacchetti, ma è costituito da un valore puntiforme, presente solo in agosto e legato ad elevate abbondanze di *M. subpicta*. I pioli sono stati un buon substrato per *M. galloprovincialis* che li ha selettivamente preferiti ai cappelli (Fig. 10) e sicuramente potrebbero essere utilizzati per il reperimento massivo del seme di tale specie, anche rispetto ai sacchetti che, pur presentando un insediamento dello stesso ordine di grandezza, risulterebbero di difficile gestione per la presenza di sedimento e per il successivo recupero degli individui.

I Pectinidae hanno preferito cappelli e sacchetti, con valori di insediamento dello stesso ordine di grandezza. Tuttavia i sacchetti, che sono i collettori indicati dalla letteratura come i più idonei al reperimento del seme di questa famiglia, permettono di trattenere all'interno i Pectinidae anche nella fase dell'insediamento definitivo; nel caso dei cappelli, che sono collettori aperti, è possibile che una parte dei Pectinidae venga persa nelle fasi successive all'insediamento primario.

I Veneridae hanno preferito i cappelli e ciò è da imputare probabilmente alla già citata particolare abbondanza di *fouling*

presente su tali collettori. Data la loro forma sembra comunque difficile il loro utilizzo per la successiva raccolta di seme di questa famiglia.

3. Il terzo fattore da considerare è la profondità. I dati raccolti e presentati in questo stesso volume da Bruno *et al.* evidenziano le scarse differenze tra i due livelli di profondità testati per quanto riguarda i parametri chimico-fisici.

Nel sito, infatti, non si sono riscontrate grandi differenze di temperatura tra i due livelli, arrivando al massimo a 3°C in aprile e a 4°C in novembre, con una differenza media di 0,13°C (Fig. 18 A). Fino a marzo la temperatura più superficiale si mantiene più elevata di quella a -10m, poi il rapporto si inverte fino a settembre, poi si ritorna alla situazione invernale, con temperature più elevate in profondità.

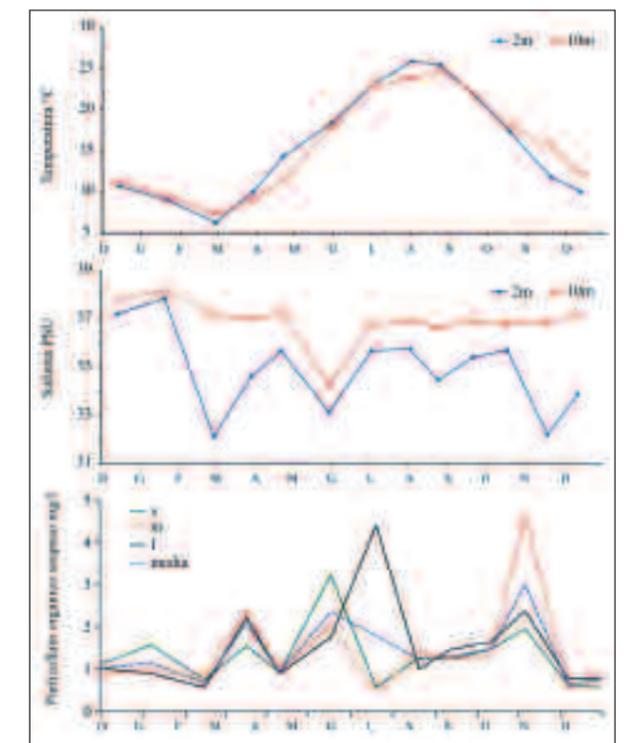


Fig. 18 - Andamenti di temperatura, salinità e particolato organico sospeso nel periodo dicembre 2003 - dicembre 2004 a 2 e 10 m di profondità; per il particolato organico sospeso i valori sono relativi a tre profondità: s = superficie, m = intermedia, f = fondo.

Più variabile è stata la salinità, data anche la vicinanza della foce del Sile; si nota che la salinità a -10 m è sempre più elevata e meno variabile che a -2 m e (Fig. 18 B). Questa differenza di salinità tra le due profondità, che mediamente è circa 2 psu, ha raggiunto il massimo tra febbraio e marzo, in un periodo successivo a piogge molto intense, e poi a novembre.

Il particolato organico sospeso può essere considerato un buon indice complessivo di tutto quello che può rappresentare una risorsa trofica per le larve dei bivalvi, sotto forma di materia organica sia viva (fitoplancton) che morta (detrito organico); il suo andamento a tre profondità (superficiale, media, fondo) è altalenante, con una tendenza ad aumentare verso l'estate (**Fig. 18 C**). Il picco registrato in gennaio, per altro di bassa intensità era presente principalmente in superficie; a marzo la componente organica era maggiore in prossimità del fondo e negli strati intermedi; a maggio la tendenza si è invertita e i valori sono stati maggiori in superficie; a luglio si è registrata una netta separazione tra le acque superficiali e intermedie, poco ricche di sostanza organica, e quelle di fondo molto più ricche. Il picco di particolato organico registrato a luglio in prossimità del fondo non corrisponde ad un picco di fitoplancton (M. Bastianini, com. pers.) ed è quindi probabilmente composto in prevalenza da materiale organica proveniente da processi di risospensione (Boldrin et al., questo volume).

In base ai valori dei parametri chimico-fisici ed alle risorse disponibili non sembra possibile caratterizzare le due profondità testate come due habitat nettamente differenziati; le diverse specie di bivalvi, però, hanno spesso mostrato una netta preferenza per l'una o l'altra profondità. *M. galloprovincialis* preferisce la profondità di 2 m, mentre *M. subpicta*, che è l'altra specie di Mytilidae molto abbondante, si insedia prevalentemente a -10 m. *M. subpicta* mantiene questa sua preferenza anche quando manca *M. galloprovincialis* (es. M7), il che dimostra che questo comportamento non è dovuto ad una forma di competizione tra le due specie.

I Pectinidae hanno mostrato una netta preferenza per i collettori più profondi. Studi compiuti nel Nord Adriatico hanno dimostrato che varie specie di questa famiglia, nelle zone lontane dall'area litorale e dove la profondità lo consenta, si distribuiscono selettivamente tra 15 m ed il fondo (Hardy e Walford, 1994; Aquaculture Support, 1992-1995; ASALM, 1994). Ciò conferma i dati di letteratura rilevati in altre zone (McKay, 1976; Minchin, 1976; Ventilla, 1977; Buestel et al., 1979).

I Veneridae preferiscono i collettori più superficiali, soprattutto cappelli, dove per altro è stato anche sempre più abbondante la copertura di *fouling*.

L'intera sperimentazione ha anche permesso di confermare il periodo di insediamento delle diverse specie, in alcuni casi già noti dalla letteratura. *M. galloprovincialis* si insedia soprattutto tra aprile e luglio, come del resto già osservato da altri autori sia nel Nord Adriatico che in laguna di Venezia (Hrs-Brenko, 1980, 1982; Pellizzato e Renzoni, 1986; Bressan et al., 2002). Durante

il periodo autunnale (M9-M10 e T4) si assiste ad un nuovo insediamento, che fa seguito alla ripresa della gametogenesi che in questa zona è successiva all'estate (Da Ros et al., 1985), in contemporanea con quello di *M. subpicta*.

Altre specie della famiglia Mytilidae prive di valore commerciale, ma che a livello di seme potrebbero essere confuse con i mitili, mostrano periodi di insediamento soprattutto estivi, anche se *M. subpicta* è stato presente su tutti i collettori trimestrali, ad indicare un periodo di insediamento distribuito durante tutto l'anno, anche se con picchi estivi ed autunnali. È quindi durante l'autunno che c'è il maggior rischio di confondere il seme delle due specie, che però sembrano prediligere profondità diverse.

I Pectinidae hanno mostrato preferenze estive, anche se sono stati presenti durante tutto l'anno. Ciò può essere spiegato dalla letteratura, che riporta, almeno per *A. opercularis*, l'estensione della maturità sessuale per l'intero arco dell'anno, anche se con un accentuato picco estivo (Castagnolo et al., 1990). Il massimo estivo di insediamento concorda con i dati di letteratura per *P. glabra* e *C. varia* (Latrouite, 1981), e *A. opercularis* (Castagnolo et al., 1990). Da ricerche più accurate si potrebbe forse appurare se la presenza invernale di individui di questa famiglia può essere associata anche alla presenza di post-larve di *Pecten jacobaeus* L., che dalla letteratura mostra un periodo di insediamento legato alle basse temperature invernali (Mattei e Pellizzato, 1993; ASALM, 1994).

Il periodo di insediamento dei Veneridae, tra cui sono state identificati esemplari di *Paphia* spp., sembrerebbe limitato al periodo maggio-agosto; l'elevata abbondanza nel trimestrale primaverile (T2) suggerisce inoltre che in questa stagione i Veneridae possano accrescersi con buone possibilità di successo. Tra i Veneridae non è mai stata identificata *Chamelea gallina* (L.), indice che probabilmente le larve di questa specie non sono arrivate al sito sperimentale e sono rimaste confinate più sotto costa, dove vive la popolazione naturale (Pellizzato et al., 1998; Pellizzato e Vendramini, 2002; Pellizzato et al., in stampa).

Infine un breve discorso merita l'insediamento degli Ostreidi, fin qui mai citati, dati i loro bassi valori di frequenza e abbondanza; le ostriche, soprattutto *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), si sono insediate tra agosto e ottobre (Tab. 2). I bassi valori di insediamento non fanno pensare che il sito sia adatto a raccogliere il seme di questi bivalvi.

Al termine della sperimentazione, tenendo presenti i dati di insediamento sia sui campioni mensili che trimestrali anche in relazione alla profondità, è stato possibile stilare un calendario di immersione dei collettori, al fine di ottimizzare il recupero del seme a scopo di allevamento (**Fig. 19**). Il dettaglio delle

informazioni è ovviamente relativo al sito del campo sperimentale ed all'anno 2004; spostamenti spaziali e/o variazioni temporali delle condizioni climatiche possono far slittare il calendario in un senso o in un altro. Tuttavia le informazioni deducibili dalla Fig. 19 sono in accordo con quanto riportato dalla letteratura sia per *M. galloprovincialis* (Hrs-Brenko, 1980, 1982; Pellizzato e Renzoni, 1986; Bressan et al., 2002), che per *P. glabra* e *C. varia* (Latrouite, 1981), e *A. opercularis* (Castagnolo et al., 1990). La necessità di un substrato "maturo" per l'insediamento delle larve di *M. galloprovincialis* rende consigliabile anticipare l'immersione dei collettori rispetto al periodo presunto di insediamento: ciò permetterebbe di aumentare la probabilità di captare maggiori quantità di larve di mitilo.

Per la tipologia di collettore consigliata (Fig. 19) si è tenuto conto di tutte le variabili discusse precedentemente: per i

Veneridae si è preferito non indicare nessuno dei tre collettori testati, in quanto non ritenuti ottimali per trattenere i giovanili di questi Bivalvi (Bressan et al., 2002; Pellizzato et al., 2005).

La scelta di predisporre negli impianti collettori per altre specie eduli da coltivare o affinare in periodi dell'anno favorevoli consentirebbe di introdurre nell'impianto di allevamento, *tout court* o con modeste modifiche, l'auspicato differenziamento della produzione, limitando i rischi connessi all'attuale monocoltura a mitili e portando allo sviluppo nuovi settori innovativi e il relativo indotto. Specie candidate potrebbero essere sia le ostriche, che i Pectinidae e forse qualche Veneridae. Una continuazione delle ricerche sull'insediamento e lo sviluppo di tali bivalvi nel campo sperimentale potranno chiarire le potenzialità di tale sito in termini di differenziamento della molluschicoltura nel Nord Adriatico.

	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
<i>M. galloprovincialis</i>			P 2	P 2	P 2	P 2				P 2	P 2	
Pectinidae					S 10	S 10	S 10	S 2-S 10				
Veneridae				?	?	?						
Ostreidae								C 2	C 2	C 2		

Fig. 19 - Calendario proposto per l'immersione dei collettori per l'insediamento di bivalvi di interesse commerciale. La lettera indica il tipo di collettore consigliato (C: cappelli cinesi; P: pioli; S: sacchetti; ?: collettore da mettere a punto), il numero la profondità più indicata per l'immersione (2 m o 10 m). L'intensità dei colori indica la quantità di seme recuperabile; più il colore è intenso, maggiore è la presenza ipotizzata di seme. In particolare per *M. galloprovincialis*, data la necessità di un substrato "maturo", si consiglia l'immersione anticipata a marzo dei collettori.

BIBLIOGRAFIA

AQUACULTURE SUPPORT, 1992-1995 - Scallop aquaculture trials: Northern Adriatic. *Tecnical report*.

ASALM, 1994 - Attività di reclutamento del seme e di allevamento della cappasanta (*Pecten jacobaeus*) nell'area costiera del Friuli-Venezia-Giulia. *Programma Integrato Mediterraneo, Misura 4. Rapporto tecnico*.

BARBARO A., FRANCESCON A., 1976 - Periodi di insediamento dei principali organismi del fouling nelle acque di Venezia. *Archo Oceanogr. Limnol.*, **18** (3): 195-216.

BOLDRIN A., DE LAZZARI A., PUGNETTI A., BAZZONI A. M., CASSIN D., TURCHETTO M. Produttività primaria, flussi verticali di materiale particolato ed export di carbonio organico nell'area del Campo Sperimentale. *Questo volume*.

BRAND A.R., PAUL J.D., HOOGESTEGER J.N., 1980 - Spat settlement of the scallops *Chlamys opercularis* (L.) and *Pecten maximus* (L.) on artificial collectors. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **60**: 379-390.

BRESSAN M., BARICHELLO B., GATTO T., STELLATO M., ZAMPIERI S., PELLIZZATO M., 2002 - Insediamento larvale di molluschi bivalvi di interesse commerciale in Laguna di Venezia. *Biol. Mar. Medit.*, **9** (1): 244-246.

BRUNO S., BASTIANINI M., ACRI F., CASSIN D., BOLDRIN A. Variabilità temporale delle condizioni idrologiche, idrochimiche e biologiche nella colonna d'acqua (luglio 2003 - febbraio 2005). *Questo volume*.

BUESTEL D., DAO J.C. e LAMARIE G., 1979 - Collecte de naissan de pectinides en Bretagne. *Rapp. P. V. Reün Cons. Int. Explor. Mer*, **175**: 80-84.

CABERLOTTO S., PELLIZZATO M., BRESSAN M., 2003 - Successful method of collecting manila clam spat (*Tapes philippinarum*) in Venice Lagoon. *Biol.Mar. Medit.*, **10** (2): 415-417.

CASTAGNOLO L., ARATA G. e CASTELLI M., 1990 - *Pecten jacobaeus* (L) e *Chlamys opercularis* (L) nell'alto Adriatico: un anno di osservazioni sul ciclo biologico. *Lavori della Società Italiana di Malacologia*, **23**: 389-391.

CERVELLI M. Accrescimento di mitilo nel "Campo Sperimentale": alcuni aspetti genetici. *Questo volume*.

DA ROS L., BRESSAN M., MARIN M.G., 1985 - Reproductive cycle of the mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) in Venice Lagoon (North Adriatic). *BOLL. ZOOL.*, **52**: 223-229

DE BLOK J.W., GEELEN J.F.M., 1960 - The substratum required for the settling of mussels (*Mytilus edulis* L.). *Arch. Neer. Zool.*, **13**: 446-476.

FABI G., FIORENTINI L., GIANNINI S., 1985 - Osservazioni sull'insediamento e sull'accrescimento di *Mytilus galloprovincialis* LAMK su di un modulo sperimentale per miticoltura immerso nella baia di Portonovo (promontorio del Conero, medio Adriatico). *Oebalia*, **XI** (N.S.): 681-692.

HARDY D., WALFORD A., 1994 - The biology of scallop farming. *Aquaculture support Ed. Erbusaig, Kyle of Lochalsh, Scotland, U.K.*: 159-180.

HARVEY, M., BOURGET, E., 1997 - Recruitment of marine invertebrates onto arborescent epibenthic structures: active and passive processes acting at different spatial scales. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **153**: 203-215.

HRS-BRENKO M., 1980 - The settlement of mussels and oysters in the Northern Adriatic Sea. *Nova Thalassia*, **4** (Suppl.): 67-85.

HRS-BRENKO M., 1982 - *Ostrea edulis* (Linnaeus) and *Crassostrea gigas* (Thunberg) larvae in the plankton of Limski Kanal in the Northern Adriatic Sea. *Acta Adriat.*, **23** (1/2): 399-407.

LATROUITE D., 1981 - L'aquaculture des Pétoncles état présent et perspectives. Journées d'étude "Acquaculture extensive et repuplement" Brest, 29-31 Mai. Publication du CNEXO, Série: Actes de Colloques, **12**: 43-50.

MCKAY G., 1976 - Larval settlement of *Pecten maximus* and *Chlamys opercularis* in sea lochs around the Isle of Mull, Scotland. 1st International scallop workshop, Baltimore, Ireland 11-16 May 1976.

MATTEI M., PELLIZZATO M., 1993 - Sperimentazione di collettori artificiali per la raccolta di pettini, allo stadio bentonico-sessile (spat), in alto Adriatico. *Biologia Marina, Suppl. Notiz. S.I.B.M.*, **1**: 239-244.

MENEGHETTI F., MOSCHINO V., DA ROS L. Interazioni tra molluschi bivalvi eduli e habitat nell'area a barriere artificiali del campo sperimentale: risposte biologiche di *Mytilus galloprovincialis* e *Tapes philippinarum*. *Questo volume*.

MINCHIN D., 1976 - Pectinid settlement. 1st International scallop workshop, Baltimore, Ireland 11-16 May 1976.

PAESANTI F., PIVA P., PRIOLI G., MAFFEI M., 1997 - Reclutamento di novellame selvatico mediante sistemi di reclutamento di larve di molluschi bivalvi di interesse commerciale. *Biol. Mar. Medit.*, **4** (1): 335-338.

PASTORE M., 1980 - Riproduzione di *Mytilus galloprovincialis* Lmk ed *Ostrea edulis* L. nei mari di Taranto: collettori usuali e collettori sperimentali per l'attecchimento delle larve. I - Nota preliminare. *Mem. Biol. Mar. e Oceanogr.*, **10** (Suppl.): 247-254.

PEARCE C.M., BOURGET E., 1996 - Settlement of larvae of the giant

scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin), on various artificial and natural substrata under hatchery-type conditions. *Aquaculture*, **141**: 201-221.

PELLIZZATO M., 1984 - Monitoraggio dell'insediamento su substrati artificiali dei bivalvi *Ostrea edulis* L. e *Crassostrea gigas* (Thunberg) nella Laguna di Venezia. *Lavori Soc. Ven. Sc. Nat.*, **9**: 219-223.

PELLIZZATO M., RENZONI A., 1986 - Raccolta di seme di *Mytilus galloprovincialis* LMK, *Ostrea edulis* L., e *Crassostrea gigas* (Thunberg) e loro allevamento in Laguna di Venezia. *Nova Thalassia*, **8** (suppl. 3): 381-392.

PELLIZZATO M., PENZO P., GALVAN T., BRESSAN M., 2005 - Insediamento e reclutamento di *Tapes philippinarum*. In: "La filiera della vongola. *Tapes philippinarum* in Italia", V. Boatto, M. Pellizzato, Franco Angeli (Eds), Milano 2005: 89-99.

PELLIZZATO M., CORNELLO M., FOLIN D., GRIM F., LIBRALATO M., NESTO N., ROCCO R., TRIGG R. E., VENDRAMINI A., 1998 - Sperimentazione della gestione dei banchi naturali di molluschi bivalvi della specie *Chamelea gallina* (L.) nei compartimenti marittimi di

Venezia e Monfalcone (Nord Adriatico) (Periodo Novembre 1997 - Aprile 1998). *Biol. Mar. Medit.*, **5** (3): 385-394.

PELLIZZATO M., VENDRAMINI A., 2002 - Experimental management of *Chamelea gallina* (L.) in Venice and Monfalcone Boxes (1997-2000). *Biol. Mar. Medit.*, **9** (1):121-128.

PELLIZZATO M., VENDRAMINI A., GALVAN T., PENZO P., in stampa - Monitoraggio delle risorse *Chamelea gallina* (L.) dal Tagliamento al Brenta (Nord Adriatico - autunno 2003). *35° Congresso S.I.B.M. Genova, 2004, Biol. Mar. Medit.*

RAVANO D., RELINI G., 1970 - Insediamento su pannelli atossici immersi nella Rada di Vado Ligure (Savona): I Molluschi. *Pubbl. Staz. Zool. Napoli*, **38** (suppl.): 52- 70.

RELINI G., 1974 - La colonizzazione dei substrati duri in mare. *Mem. Biol. Marina e Oceanogr.*, **4**: 201-261.

VENTILLA R. F., 1977 - A scallop spat collector trial off the northern Ardamurcharn coast. *White fish authority, field report n° 485*, February 1977: 16 pp.

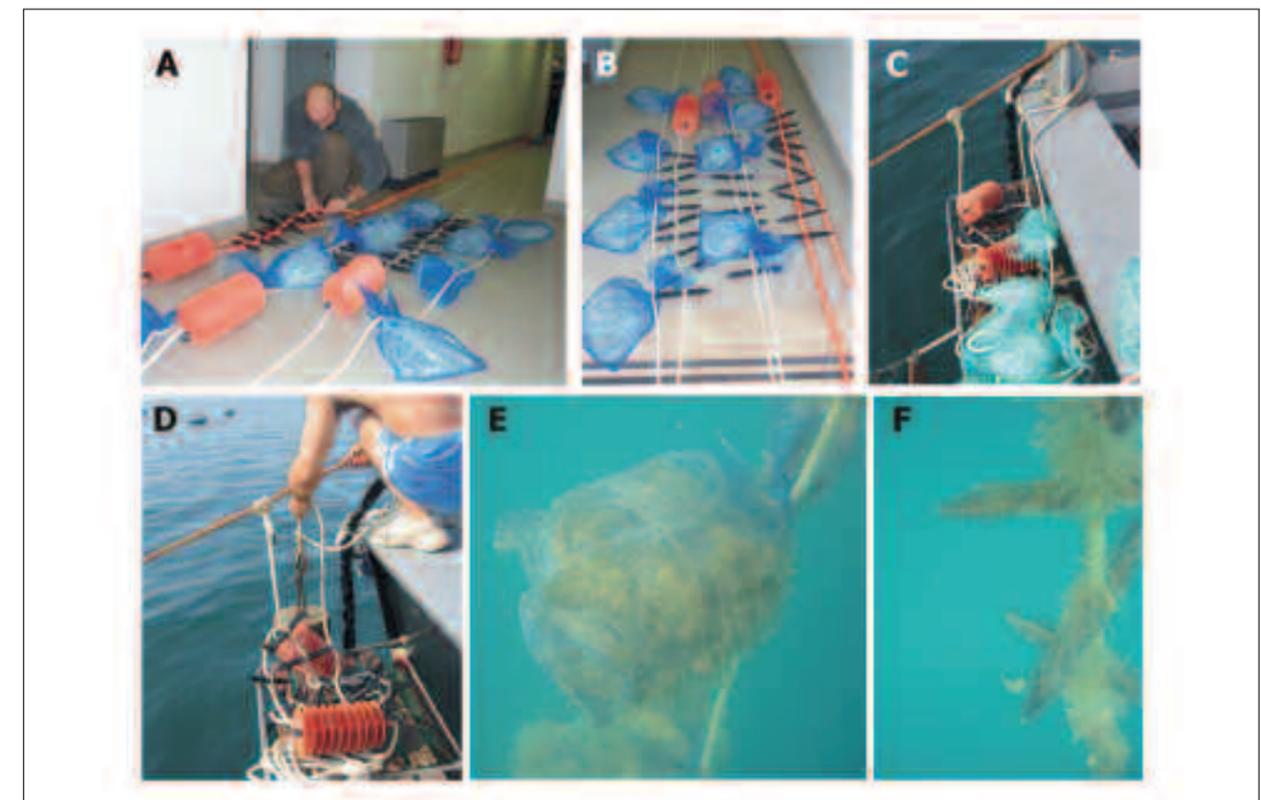


Tavola 1 - Collettori. A e B: allestimento a terra delle serie sperimentali. C e D: immersione dei collettori nel campo sperimentale. E: sacchetti in immersione. F: pioli in immersione.

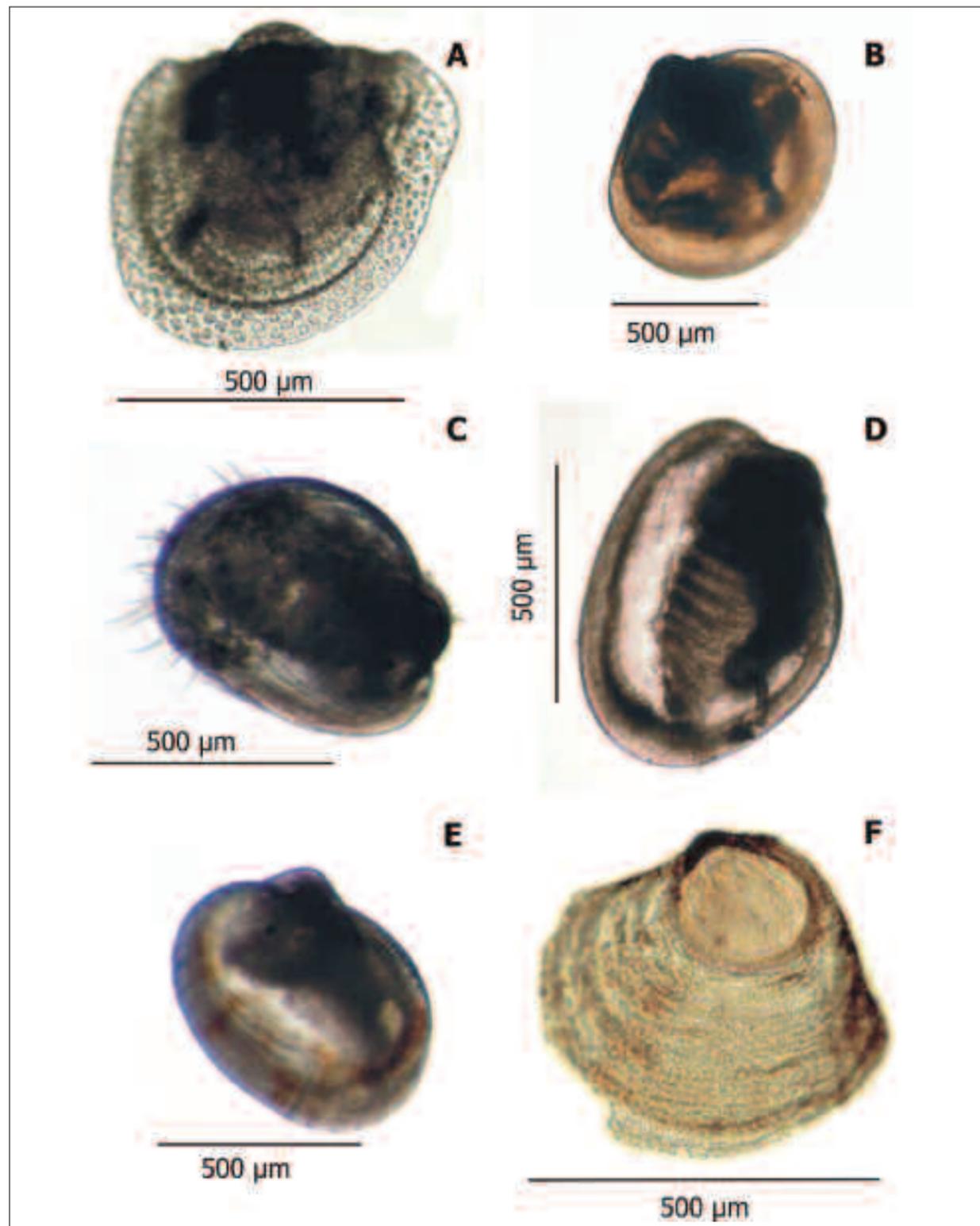


Tavola 2 - A: larva di Pectinidae. B: giovane neoinsegiato di *Paphia* spp.. C: giovane neoinsegiato di *Modiolula phaseolina*. D: giovane neoinsegiato di *Mytilus galloprovincialis*. E: giovane neoinsegiato di *Modiolarca subpicta*. F: giovane neoinsegiato di *Crassostrea* spp.

INTERAZIONI TRA MOLLUSCHI BIVALVI EDULI E HABITAT NELL'AREA A BARRIERE ARTIFICIALI DEL CAMPO SPERIMENTALE: RISPOSTE BIOLOGICHE DI *Mytilus galloprovincialis* e *Tapes philippinarum*
INTERACTION BETWEEN MUSSELS AND HABITAT IN THE EXPERIMENTAL AREA OF THE "CAMPO SPERIMENTALE": EVALUATION OF THE BIOLOGICAL RESPONSE OF *Mytilus galloprovincialis* AND *Tapes philippinarum*

F. MENEGHETTI, V. MOSCHINO, L. DA ROS

CNR-ISMAR ISTITUTO DI SCIENZE MARINE-Sezione di Venezia Castello 1364/A - 30122 Venezia

e-mail: luisa.daros@ismar.cnr.it

RIASSUNTO

L'obiettivo di questo lavoro è l'applicazione di alcuni biomarker in *Mytilus galloprovincialis* allo scopo di integrare la valutazione chimico-fisica della qualità ambientale dell'area sperimentale a barriere artificiali "Campo Sperimentale in Mare", individuando eventuali correlazioni tra effetti biologici e variazioni dei parametri ambientali. Inoltre, si è voluto valutare le potenzialità depurative di quest'ambiente marino nelle vongole lagunari, *Tapes philippinarum*. I mitili sono stati mantenuti a due profondità e campionati stagionalmente. I biomarker applicati (test di ritenzione del rosso neutro, frequenza di micronuclei, indice di condizione, sopravvivenza in aria, istochimica della ghiandola digestiva) sono risultati più efficaci nell'evidenziare variazioni correlate al ciclo riproduttivo piuttosto che alla profondità di stabulazione. Le vongole, stabulate per 3 settimane nell'area del Campo Sperimentale, hanno mostrato una buona capacità depurativa in relazione al disaccumulo di microinquinanti (Idrocarburi Policiclici Aromatici, IPA e metalli pesanti), che è stata confermata dal biomarker usato come tracciante biologico della detossificazione di composti organici (attività della benzo(a)pirene idrossilasi, BPH).

ABSTRACT

In the experimental area of the "Campo Sperimentale" a biomarker approach has been applied both to study the environmental effects on mussels, *Mytilus galloprovincialis* and to evaluate the depuration efficiency in clams, *Tapes philippinarum*. Mussels were maintained at two depth and sampled seasonally. The suite of the applied stress biomarkers (neutral red retention time, micronuclei frequency, condition index, survival in air, digestive gland histochemistry) showed similar conditions at the two study depth and indicated the influence of the biological cycle on responses. The clams, left to purge for 3 weeks in the same marine area, showed an acceptable depuration efficiency, through monitoring by both micropollutants (PAH and heavy metals) and biomarkers benzo(a)pyrene hydroxylase, BPH and metallothioneins).

INTRODUZIONE

Nell'approccio alla valutazione biologica degli ambienti marino-costieri è particolarmente importante poter disporre con continuità di adeguate aree di riferimento non solo caratterizzate da limitati apporti di inquinanti di origine terrigena, ma anche esenti dall'impatto antropico causato dalle azioni di pesca commerciale. In tale contesto, risulta di grande interesse valutare le potenzialità dell'area marina allestita secondo il modello previsto dal Progetto "Campo Sperimentale in Mare" a costituire un possibile "sito santuario", cioè un'area adeguatamente monitorata e controllata, e con caratteristiche ambientali tali da rendervi realizzabili ricerche di tipo applicativo.

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di integrare la valutazione chimico-fisica della qualità ambientale dell'area oggetto di studio con ulteriori descrittori di tipo biologico, individuando eventuali correlazioni tra effetti biologici e variazioni dei parametri ambientali.

Come possibili "indicatori" di qualità ambientale sono stati quindi utilizzati molluschi bivalvi, introdotti sperimentalmente nel Campo e mantenuti "in situ" in apposite strutture per tutta la durata dell'esperimento. Questi organismi sono ampiamente utilizzati nei programmi di biomonitoraggio ambientale proprio per le loro capacità di segnalare precocemente variazioni di parametri ambientali attraverso alterazioni metaboliche e/o fisiologiche facilmente quantificabili (Goldberg, 1980; Viarengo e Canesi, 1991). Tali risposte biologiche, altresì note come biomarker, contribuiscono a definire gli effetti dovuti alla presenza di determinate classi di inquinanti (biomarker specifici) o più in generale alla presenza di stress ambientali diversi (biomarker generici) (Bayne *et al.*, 1986; McCarthy e Shugart, 1990; Moore, 1985).

In questo studio si sono utilizzate due specie di bivalvi estuarini, il mitilo *Mytilus galloprovincialis* e la vongola *Tapes philippinarum*, che per caratteristiche fisiologiche ed ecologiche risultano utilizzabili come organismi bioindicatori, essendo stati negli ultimi anni positivamente sperimentati nel monitoraggio della laguna di Venezia (Da Ros *et al.*, 2000; Da Ros *et al.*, 2002; Matozzo *et al.*, 2003; Nasci *et al.*, 2002; Nesto *et al.*, 2004). Attraverso l'impiego dei mitili sono stati valutati sia gli effetti della profondità che di eventuali variazioni stagionali di parametri chimico-fisici dell'acqua, mentre con le vongole, specie tipicamente lagunare, è stata studiata la risposta fisiologica all'ambiente marino, al fine di valutarne la capacità detossificante.

In *M. galloprovincialis* sono stati analizzati biomarker di tipo

citologico (test di ritenzione del rosso neutro e dei micronuclei), fisiologico (test della sopravvivenza in aria e indice di condizione) ed istochimico (accumulo di lipidi neutri) (Eertman *et al.*, 1993; Lowe *et al.*, 1995; Lowe, 1988; Lucas e Beninger, 1985; Mersch *et al.*, 1996; Venier *et al.*, 1997), ed è stato condotto uno studio istologico della ghiandola digestiva e della gonade.

Nelle vongole *T. philippinarum* è stato valutato il bioaccumulo nei tessuti (metalli pesanti e idrocarburi policiclici aromatici, IPA) e sono stati investigati due biomarker indotti rispettivamente dalla presenza ambientale di microinquinanti organici ed inorganici: la benzopirene idrossilasi, BPH (Livingstone, 1985; Livingstone e Nasci, 2000) e le metallotioneine (Viarengo e Nott, 1993).

MATERIALI E METODI

Mytilus galloprovincialis

In gennaio 2004, mitili (lunghezza > 45 mm) provenienti da un allevamento commerciale contiguo all'area di studio sono stati suddivisi in 16 subcampioni (reste) posizionate successivamente all'interno del Campo Sperimentale alle due diverse profondità (-2 m, campione di superficie; -12 m, campione di fondo). Oltre al campione iniziale prelevato al momento del trapianto (T0), sono stati eseguiti campionamenti stagionali (aprile, luglio e novembre) alle due profondità e contemporaneamente nella piattaforma oceanografica del CNR "Acqua Alta", situata a circa 8 miglia dalla bocca di porto del Lido di Venezia, sono stati campionati mitili intertidali da utilizzare come ulteriore confronto. I valori di temperatura e salinità dell'acqua sono stati registrati alle due profondità di stabulazione ed in ogni resta campionata è stato determinato il tasso di mortalità degli organismi.

Il test di ritenzione del rosso neutro è stato eseguito *in vivo* su 10 organismi per campione (Lowe e Pipe, 1994; modificato). Dal muscolo adduttore posteriore è stato prelevato 1 ml di emolinfia diluita in rapporto 1:1 con una soluzione di L-cisteina 10 mM. Un'aliquota di questa sospensione cellulare è stata incubata per 30 minuti al buio per permettere l'adesione degli emociti alla superficie dei vetrini che sono stati quindi posti a contatto con una soluzione di rosso neutro. Il tempo medio di ritenzione è stato determinato valutando per ogni individuo il momento in cui oltre il 50% delle cellule mostrano lisosomi destabilizzati, che rilasciano cioè colorante nel citoplasma.

Il test dei micronuclei è stato effettuato su un sub-campione di 5 animali. L'emolinfia di ogni individuo è stata prelevata dal

muscolo adduttore posteriore con una siringa contenente Alsever (soluzione salina al 33%: NaCl 4,2 gr/l, Na citrato x2H₂O 8 gr/l, acido citrico x1H₂O 0,55 gr/l, D-glucosio 20,5 gr/l, pH 7,5). La sospensione cellulare è stata fissata in metanolo/acido acetico, centrifugata ed il pellet risospeso in fissativo. Nei risultanti vetrini, colorati con Giemsa, è stata determinata la frequenza di micronuclei su un totale di 2000 emociti per individuo (UNEP, 1999).

L'indice di condizione è stato determinato su 30 mitili per campione. Le parti molli e la conchiglia di ogni singolo individuo sono state essiccate separatamente in stufa a 90 °C per 48 ore. Si è quindi determinato l'indice di condizione (I.C.) calcolando il rapporto tra peso secco delle parti molli e peso secco della conchiglia x 100 (Walne, 1976).

Il test della sopravvivenza in aria è stato eseguito su 30 mitili per campione che sono stati esposti all'aria a temperatura costante (18°C) e tasso di umidità a saturazione. La mortalità veniva registrata giornalmente fino ad esaurimento del campione (Eertman *et al.*, 1993).

Il contenuto di lipidi neutri è stato valutato nelle ghiandole digestive di 10 mitili per campione, congelate tramite esano precongelato in azoto liquido e opportunamente conservate a -80 °C. Le sezioni ottenute al criostato (10 µm) sono state fissate in calcio-formolo di Baker's a 4°C, risciacquate, poste in trietilfosfato 60%, colorate con una soluzione di Oil Red in trietilfosfato, quindi lavate in trietilfosfato 60%, risciacquate in acqua distillata e montate con un medium acquoso (Bancroft, 1967). La quantificazione dell'area di accumulo dei lipidi neutri insaturi nelle cellule digestive è stata effettuata tramite analisi di immagine (Image-Pro Plus -versione 4.0.0.9).

Per lo studio istologico della gonade e della ghiandola digestiva sono state dissezionati 15-20 mitili per campione, e i relativi tessuti, fissati in calcio-formolo di Baker's per 24h e a 4 °C sono stati successivamente inclusi in Paraplast. Le sezioni, di spessore 5-6 µm, sono state colorate secondo Papanicolaou e quindi osservate al microscopio ottico (Moore e Lowe, 1986).

Tapes philippinarum

In gennaio 2005, alcune centinaia di esemplari di *T. philippinarum* di taglia commerciale (lunghezza > 25 mm) pescati nella zona antistante l'area industriale di Porto Marghera, sono stati trasferiti all'interno del Campo Sperimentale, allestendo con essi 6 reste che sono state mantenute in sospensione alla profondità di circa 4 metri. Oltre ad un campione di vongole effettuato al momento della pesca (T0), sono stati eseguiti dei prelievi a tempi successivi, dopo 2,

9 e 22 giorni (rispettivamente T2, T9, T22).

Sulle parti molli degli organismi si sono determinate la concentrazione di metalli pesanti (Hg, Cd, Pd, Cr, Cu, Ni, Zn) e di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) eseguite tramite i protocolli standard di riferimento (ICRAM, 2001).

La valutazione dell'attività della BPH è stata condotta sulla frazione microsomiale di ghiandole digestive precedentemente congelate in azoto liquido. Per ogni campione (20-30 individui) sono stati ottenuti 5 pool di omogenato da cui è stata separata la frazione microsomiale dalla citosolica secondo una procedura standardizzata (Livingstone, 1988). L'attività della BPH è stata valutata spettrofluorimetricamente, determinando il contenuto di 3-idrossibenzo(a)pirene ottenuto come prodotto della reazione di idrossilazione del Benzo(a)pirene da parte del sistema enzimatico Benzo(a)pirene idrossilasi (Livingstone *et al.*, 1985). I risultati sono espressi in unità arbitrarie di fluorescenza/min/mg di proteina.

Il contenuto di metallotioneine è stato determinato sulla ghiandola digestiva di 20-30 animali. Dalla frazione citosolica si è successivamente ottenuta, mediante estrazione con etanolo-cloroformio, la parte parzialmente purificata contenente le metallotioneine. La concentrazione di metallotioneine (espressa in µg/g di tessuto) è stata quindi determinata valutando spettrofotometricamente il contenuto residuo di gruppi -SH usando reagente di Ellman (DTNB: 5,5 dithiobis 2 nitrobenzoic acid) e il glutatione ridotto come standard di riferimento (Viarengo *et al.*, 1997).

Analisi statistica

I risultati relativi ai parametri citologici, fisiologici ed istochimici sono stati confrontati statisticamente dopo aver testato la normalità della distribuzione dei dati applicando o il test U di Mann-Whitney (ritenzione del rosso neutro, frequenza dei micronuclei e contenuto di lipidi neutri) o l'ANOVA di Kruskal-Wallis (indice di condizione). Per il test di sopravvivenza in aria, i valori di LT₅₀ sono stati determinati secondo il metodo di Kaplan e Meier (1958) e per i confronti tra curve è stato usato il test di Gehan-Wilcoxon (Sokal e Rohlf, 1981).

RISULTATI

Mytilus galloprovincialis

I valori di temperatura e salinità dell'acqua registrati alle due profondità di stabulazione e durante i campionamenti dei mitili intertidali sono riportati nelle **Tab. 1 e 2**.

Tab. 1 - Temperatura dell'acqua registrata nel periodo di campionamento.

	Superficie	Fondo	Intertidale
Gennaio	9,00	9,52	9,86
Aprile	14,56	11,19	13,66
Luglio	23,13	22,98	24,89
Novembre	12,10	12,30	-

Tab. 2 - Salinità dell'acqua registrata nel periodo di campionamento.

	Superficie	Fondo
Gennaio	37,76	38,29
Aprile	35,04	37,61
Luglio	35,53	36,85
Novembre	-	-

Tab. 3 - Principali statistiche descrittive delle lunghezze (esprese in mm) registrate sui campioni di mitili provenienti in gennaio dal vivaio al momento zero (T0), in aprile, luglio e novembre dal campo sperimentale, in superficie (-2m) e in fondo (-12m), e dalla piattaforma CNR (intertidali).

	Gennaio	Aprile			Luglio			Novembre	
	T0	Superficie	Fondo	Intertidale	Superficie	Fondo	Intertidale	Superficie	Intertidale
N	85	70	70	88	98	114	90	70	70
Mortalità	/	12%	10%	/	5%	8%	/	/	/
Media (± err. st.)	53,52±0,44	54,06±0,51	54,56±0,53	54,28±0,44	55,95±0,41	58,03±0,43	52,98±0,53	48,04±0,28	54,59±0,59
Mediana	53,50	53,65	54,15	53,65	55,55	57,90	52,05	48,00	54,50
Minimo	47,00	47,20	45,00	46,60	46,40	49,00	45,00	44,20	45,50
Massimo	61,40	67,30	69,50	67,30	66,80	68,60	67,40	53,40	65,00

Per quanto riguarda gli indici biologici, nella Fig. 1 vengono riportati i risultati relativi al test di ritenzione del rosso neutro. Confrontando i campioni di superficie e di fondo, tempi simili sono stati osservati sia ad aprile che luglio. Rispetto al riferimento intertidale, i tempi medi osservati nei campioni del Campo sono sempre inferiori (significativamente solo in luglio; $p < 0,05$). Per quanto riguarda il confronto stagionale, in luglio nei mitili del Campo sono stati registrati i minimi assoluti (33 min in superficie e 36 min in quello di fondo), mentre in quelli intertidali si è osservato il valore massimo (99 min). Il T0 è risultato significativamente superiore (75 min; $p < 0,05$) solo rispetto ai campioni superficiale e di fondo di luglio.

La percentuale di mortalità totale registrata nelle reste è risultata complessivamente bassa ad entrambe le profondità (rispettivamente 17% e 18%) riflettendo valori di mortalità istantanea piuttosto contenuti: in aprile 12% nel campione di superficie e 10% in quello di fondo, in luglio rispettivamente 5% e 8%. In entrambi i campionamenti i valori percentuali registrati alle due profondità non sono risultati tra loro staticamente differenti (test Chi-quadro: $p > 0,05$; Tab. 3).

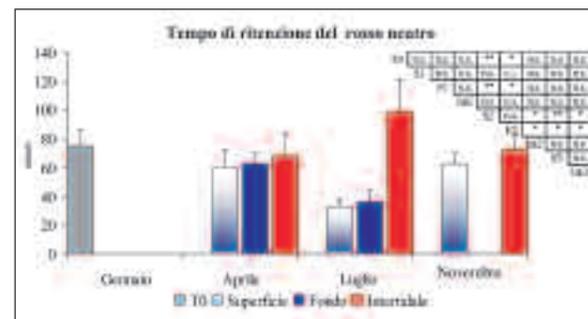


Fig. 1 - Tempi di ritenzione del rosso neutro (media ± errore standard) nei campioni di mitili provenienti in gennaio dal vivaio al momento zero (T0), in aprile (1), luglio (2) e novembre (3) dal campo sperimentale, in superficie (S) e in fondo (F), e dalla piattaforma CNR (Int.). Confronti statistici eseguiti con il Test U di Mann-Whitney - n.s.: $p > 0,05$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$ (N=10).

In Fig. 2 vengono mostrati i risultati relativi alla frequenza dei micronuclei valutata negli emociti. Tra i campioni superficiali e di fondo del Campo sia in aprile (rispettivamente 1,5‰ e 1,2‰) che in luglio (2,3‰ e 2,5‰) non è stata evidenziata nessuna differenza significativa. Le frequenze minori sono sempre state registrate nei mitili intertidali, variando da un minimo di 0,8‰, in luglio (significativamente inferiore ai valori osservati nel Campo nello stesso mese) a 1,3‰ in aprile. Nel confronto stagionale i valori registrati in entrambe le profondità sono risultati più elevati a luglio. I mitili del campione iniziale T0 hanno evidenziato frequenze basse (1,0 ‰), che si differenziano statisticamente solo da quelle dei mitili del Campo in luglio ($p < 0,05$).

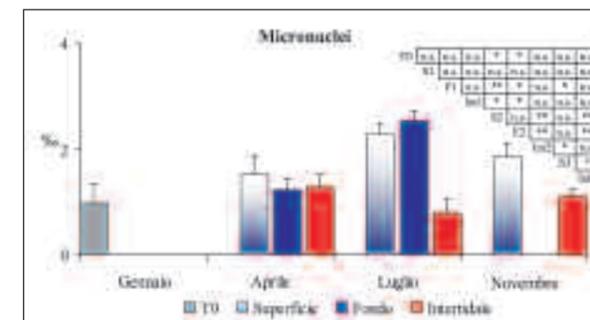


Fig. 2 - Frequenza (%) di micronuclei negli emociti dei mitili provenienti in gennaio dal vivaio al momento zero (T0), in aprile (1), luglio (2) e novembre (3) dal campo sperimentale, in superficie (S) e in fondo (F), e dalla piattaforma CNR (Int.). Confronti statistici eseguiti con il Test U di Mann-Whitney - n.s.: $p > 0,05$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; (N=5).

Le curve di sopravvivenza in aria registrate nei campioni del Campo e nei corrispondenti controlli intertidali sono riportate in Fig. 3. Gli andamenti sono simili nei campioni alle due profondità in luglio (LT₅₀ di 7 giorni in superficie e di 8 giorni in fondo) mentre in aprile è stata osservata una differenza significativa ($p < 0,05$). Le curve dei mitili intertidali sono sempre significativamente superiori ($p < 0,001$) a quelle dei mitili del Campo (luglio: LT₅₀ di 10 giorni; novembre: LT₅₀ di 5 giorni) eccetto in aprile, quando presentano un valore di LT₅₀ di 4 giorni.

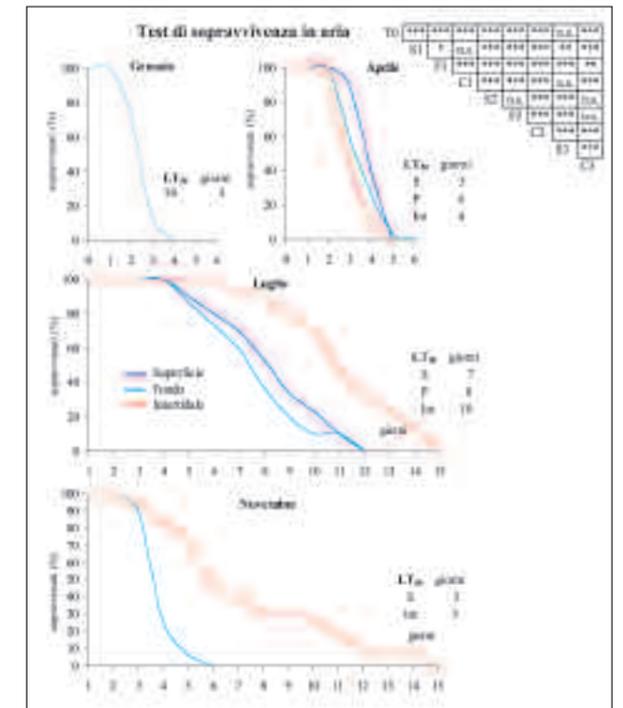


Fig. 3 - Curve di sopravvivenza dei mitili provenienti in gennaio dal vivaio al momento zero (T0), in aprile (1), luglio (2) e novembre (3) dal campo sperimentale, in superficie (S) e in fondo (F), e dalla piattaforma CNR (Int.). Valori di LT₅₀, espressi in giorni, determinati tramite il prodotto limite di Kaplan e Mayer. Confronti statistici tra curve eseguiti con il Test Wilcoxon di Gehan - n.s.: $p > 0,05$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,001$ (N=30).

Nella Fig. 4 vengono riportati i risultati dell'indice di condizione. I confronti fra le due profondità rivelano che solo in aprile i mitili superficiali presentano un valore significativamente diverso da quelli di fondo (12,1 vs 15,5, $p < 0,001$). Inoltre, i mitili intertidali presentano valori alternativamente simili a quelli di fondo (aprile) e superficie (luglio e novembre). Il minimo assoluto è stato registrato nel campione T0.

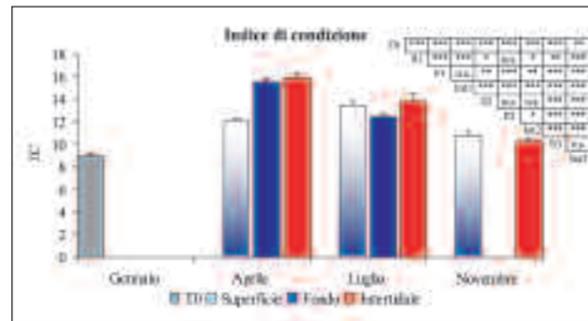


Fig. 4 - Indice di condizione (I.C.) dei campioni di mitili provenienti in gennaio dal vivaio al momento zero (T0), in aprile (1), luglio (2) e novembre (3) dal campo sperimentale, in superficie (S) e in fondo (F), e dalla piattaforma CNR (Int.). Confronti statistici eseguiti con il test di Kruskal-Wallis ANOVA - n.s.: p>0,05; *: p<0,05; **: p<0,01; ***: p<0,001 (N=30).

Per quanto riguarda il contenuto di lipidi neutri (**Fig. 5**), il confronto tra superficie e fondo mostra differenze significative (p<0,05) in aprile (rispettivamente 1455,40 μm^2 e 5583,28 μm^2), mentre valori simili e meno elevati sono stati registrati in luglio (144,36 μm^2 nei campioni di superficie e 237,69 μm^2 in quelli di fondo). I mitili intertidali presentano valori superiori, con differenze sempre significative sia in luglio che novembre (p<0,05). L'andamento stagionale mostra una marcata fluttuazione con valori minimi in estate e massimi in primavera.

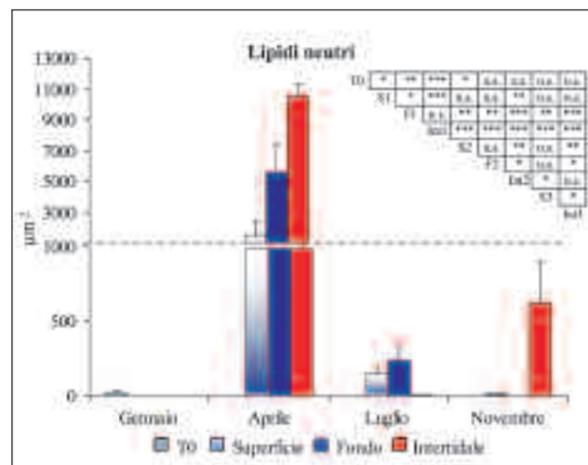


Fig. 5 - Contenuto (μm^2) di lipidi neutri nella ghiandola digestiva dei mitili provenienti in gennaio dal vivaio al momento zero (T0), in aprile (1), luglio (2) e novembre (3) dal campo sperimentale, in superficie (S) e in fondo (F), e dalla piattaforma CNR (Int.). Confronti statistici eseguiti con il test U di Mann-Whitney - n.s.: p>0,05; *: p<0,05; **: p<0,01; ***: p<0,001 (N=10).

Le osservazioni istologiche sul tessuto riproduttivo hanno messo in evidenza uno sviluppo gametogenetico simile in tutti gli organismi esaminati, tipico di questa specie a queste latitudini. L'unica differenza tra mitili superficiali e di fondo è rappresentata da un probabile lieve sfasamento temporale nelle emissioni, che sono risultate più precoci nei primi. Anche le osservazioni qualitative eseguite sul tessuto digestivo non hanno evidenziato condizioni patologiche particolari, come ad esempio parassitosi e neoplasie.

Tapes philippinarum

La percentuale di mortalità totale registrata all'interno delle reste è risultata complessivamente limitata (17%) con valori di mortalità istantanea crescenti dal 2% nel T2, al 5% nel T9 e 10% nel T22.

Il contenuto di metalli è riportato in **Tab. 4** e in **Fig. 6**. Fino a 9 giorni il contenuto di metalli nelle vongole allevate nel Campo è rimasto invariato rispetto a quello registrato al momento del loro trapianto (T0), fatta eccezione per Cr e Cd che hanno mostrato un incremento passando da 0,6 e 1,0 $\mu\text{g/g}$ a da 0,79 a 1,05 $\mu\text{g/g}$ rispettivamente. Nei successivi 12 giorni la concentrazione di Cr si è mantenuta invariata mentre per Cd e Pb, Cu, e Zn è stata osservata una diminuzione con decrementi percentuali compresi tra il 45% (Pb) e il 16% (Zn). I livelli di As e Hg sono rimasti sostanzialmente invariati.

Tab. 4 - Concentrazione di metalli pesanti nei tessuti molli di *T. philippinarum* al momento del trapianto (T0) e dopo 2, 9 e 22 giorni (T2, T9 e T22) di permanenza nel Campo Sperimentale. Dati espressi in $\mu\text{g/g}$ peso secco. Nell'ultima colonna è riportata la variazione percentuale tra i campioni T22 e T0.

Metalli	T0	T2	T9	T22	Variaz. % (T22-T0)
Piombo	1,1	1,0	1,0	0,6	-45
Zinco	80,3	82,7	79,8	67,5	-16
Nichel	3,7	4,1	3,5	2,6	-30
Arsenico	27	26,5	27,2	28,7	6
Mercurio	0,574	0,607	0,566	0,619	8
Cromo	0,6	0,7	1,0	1,1	83
Rame	15,8	16,5	14,2	9,7	-39
Cadmio	0,79	0,822	1,05	0,651	-18

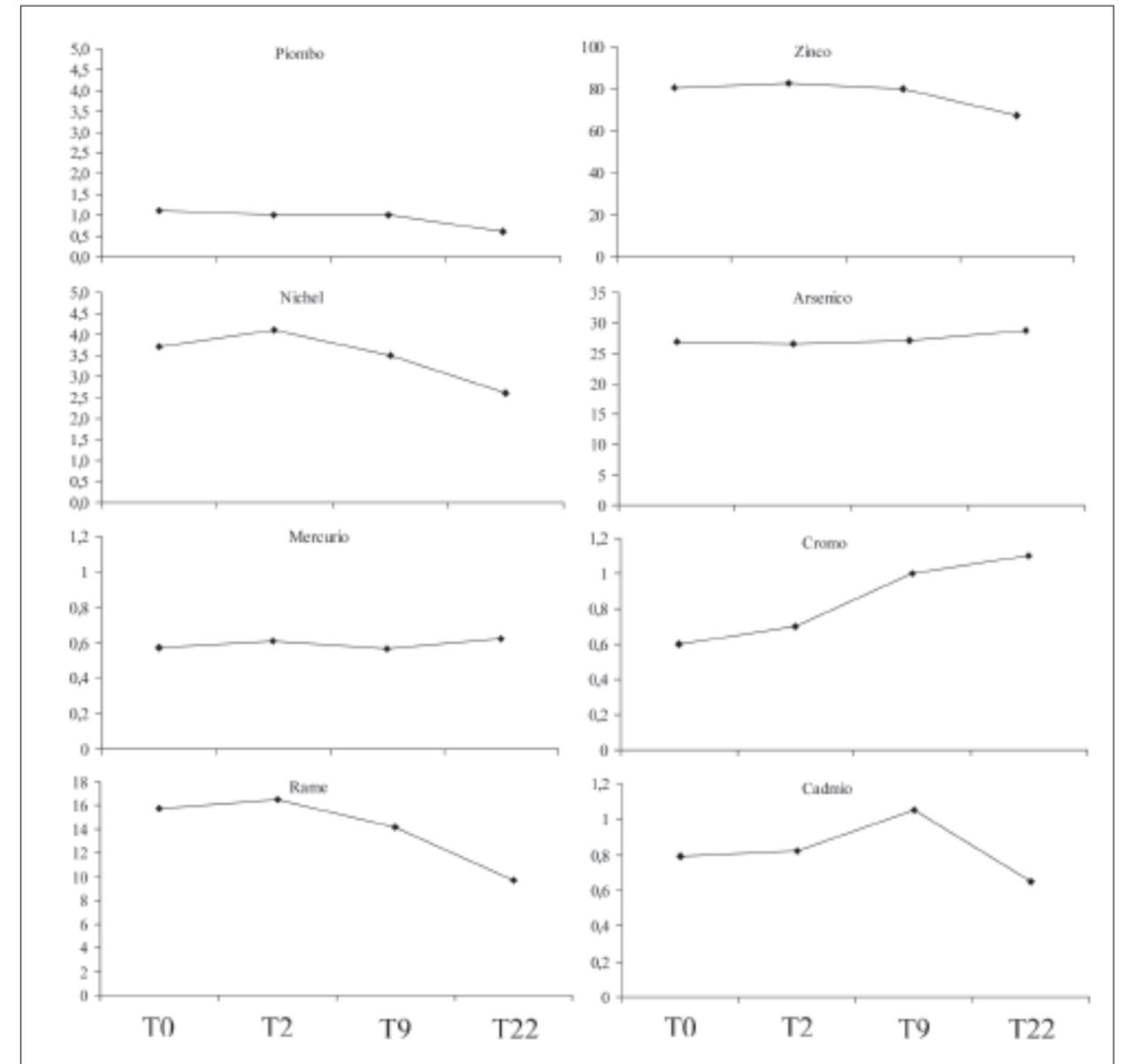


Fig. 6 - Concentrazione di metalli pesanti nei tessuti molli di *T. philippinarum* al momento del trapianto (T0) e dopo 2, 9 e 22 giorni (T2, T9 e T22) di permanenza nel Campo Sperimentale. Dati espressi in $\mu\text{g/g}$ peso secco.

I valori di bioaccumulo dei principali IPA vengono riportati in **Tab. 5** e in **Fig. 7**. La loro concentrazione (espressa come sommatoria totale di 16 composti principali) presenta una diminuzione nel tempo dopo i primi 9 giorni di permanenza nel Campo, rivelando successivamente una sostanziale stabilità (da 46,2 ng/g nelle vongole lagunari a 17 ng/g, valore medio dei tre campioni successivi, con una riduzione complessiva del 37,2%). Gli andamenti delle concentrazioni assolute dei diversi composti

mostrano generalmente una diminuzione nel tempo, mentre le variazioni delle loro percentuali relative indicano per alcuni una tendenza alla diminuzione (fluorantene, pirene), per altri all'aumento (antracene, benzo(a)pirene, naftalene), per altri ancora suggeriscono una sostanziale stabilità (fenantrene). Anche se in tutti i campioni la sommatoria delle concentrazioni di fluorantene e pirene rappresenta costantemente la frazione percentualmente più rilevante, soltanto nel campione iniziale

(T0) questa costituisce più del 50 % del contenuto totale di IPA. In Tab. 5 sono inoltre riportati i valori percentuali di grassi totali, che appaiono sostanzialmente stabili nel tempo.

Tab. 5 - Concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nei tessuti molli di *T. philippinarum* al momento del trapianto (T0) e dopo 2, 9 e 22 giorni (T2, T9 e T22) di permanenza nel Campo Sperimentale. Dati espressi in ng/g peso secco. Nell'ultima colonna è riportata la variazione percentuale tra i campioni T22 e T0.

IPA	T0	T2	T9	T22	Variaz. % (T22-T0)
Naftalene	0,3	3,6	0,6	0,3	0
Acenafilene	0,2	0,1	0,1	0,1	-50
Acenafilene	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0
Fluorene	0,4	0,3	0,2	0,2	-50
Fenantrene	4,1	1,6	1,5	1,5	-63
Antracene	2,9	1	2,2	3,1	7
Fluorantene	16	2,7	3,8	5	-69
Pirene	12	1,4	1,9	1,5	-88
Benzo(a)antracene	1,4	1,4	1,4	1,3	-7
Crisene	2,2	1,3	1,4	1,6	-27
Benzo(b)fluorantene	2,3	1,7	0,6	0,5	-78
Benzo(k)fluorantene	2,3	1,2	1,2	0,7	-70
Benzo(a)pirene	2,1	0,9	1,9	1,2	-43
Indeno(1,2,3-cd)pirene	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0
Dibenzo(a,h)antracene	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0
Benzo(ghi)perilene	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0
IPA Totali	46,2	17,2	16,8	17	-63
Grassi totali (%)	3,7	3,3	4,1	3,9	/

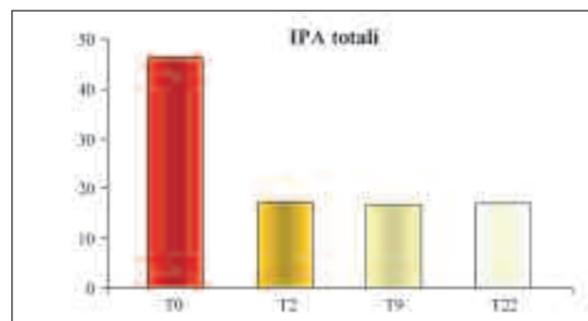


Fig. 7 - Contenuto di idrocarburi policiclici aromatici nei tessuti molli di *T. philippinarum* al momento del trapianto (T0) e dopo 2, 9 e 22 giorni (T2, T9 e T22) di permanenza nel Campo Sperimentale. Dati espressi in ng/g peso secco.

L'attività dell'enzima benzo(a)pirene idrossilasi (BPH) nella ghiandola digestiva dei campioni di vongole (**Fig. 8**) ha mostrato un decremento, passando dal valore di 0,069 u.a.f. min⁻¹ mg⁻¹ proteina del T0 a quelli di 0,045 e 0,048 u.a.f. min⁻¹ mg⁻¹ (T2 e T9 rispettivamente).

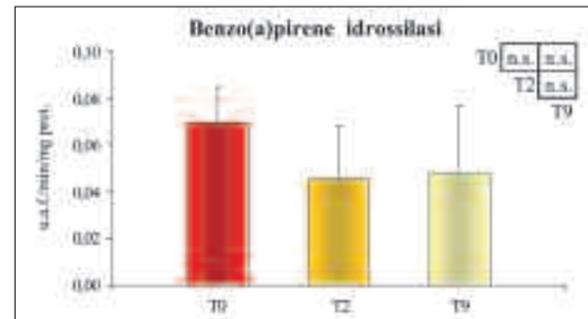


Fig. 8 - Attività dell'enzima benzo(a)pirene idrossilasi (u.a.f. min⁻¹ mg⁻¹ proteina) nella ghiandola digestiva di *T. philippinarum* al momento del trapianto (T0) e dopo 2 e 9 giorni (T2 e T9) di permanenza nel Campo Sperimentale. Dati espressi in u.a.f./min/mg proteina. Confronti statistici eseguiti con il test U di Mann-Whitney - n.s.: p>0,05 (N=5).

Il contenuto di metallotioneine (**Fig. 9**) aumenta costantemente nel tempo, da 169,54 µg/g (nel T0) a 174,02 µg/g (nel T2) e 209,03 µg/g (nel T9) mostrando differenze significative (p<0,05) rispetto al valore iniziale.

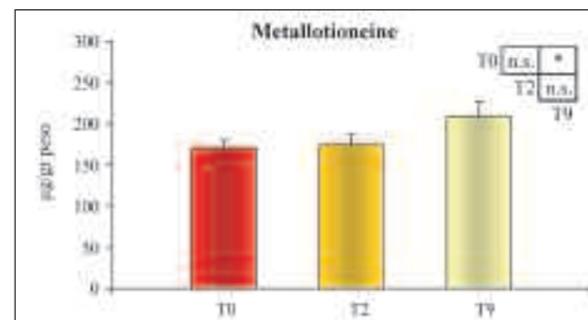


Fig. 9 - Contenuto di metallotioneine (µg/g peso umido) nella ghiandola digestiva di *T. philippinarum* al momento del trapianto (T0) e dopo 2 e 9 giorni (T2 e T9) di permanenza nel Campo Sperimentale. Dati espressi in u.a.f./min/mg proteina. Confronti statistici eseguiti con il test U di Mann-Whitney - n.s.: p>0,05; p<0,05 (N=3).

DISCUSSIONE

Mytilus galloprovincialis

Uno degli scopi di questo lavoro è stato quello di valutare gli eventuali effetti della profondità e delle variazioni di parametri idrologici quali temperatura, ossigeno, salinità sulla risposta biologica dei mitili in rapporto al variare del ciclo biologico (variabilità endogena) degli organismi. L'effetto della profondità è stato evidenziato, in particolare, solo in aprile e solo attraverso alcuni parametri biologici (indice di condizione, test di sopravvivenza in aria e lipidi neutri). È noto che l'indice di condizione risulta essere fortemente influenzato dall'interazione complessiva di una varietà di fattori ambientali quali caratteristiche trofiche, temperatura, salinità, e dalle condizioni fisiologiche degli animali, in particolare dal ciclo gametogenetico, che ne condizionano la variabilità stagionale (Lucas e Beninger, 1985; Okumus e Stirling, 1998). Le differenze osservate in aprile tra i mitili delle due profondità potrebbero essere dovute ad uno sfasamento di emissioni dei gameti, come confermato dalle osservazioni istologiche della gonade. Nel campione di superficie di aprile si osserva infatti un maggior numero di animali in fase di emissione. D'altra parte, in aprile è stata osservata anche l'unica differenza sostanziale di temperatura (oltre +3°C in superficie) tra superficie e fondo. Invece in luglio, l'assenza di differenze significative nei valori dell'indice di condizione è confermata da una maggiore uniformità della temperatura lungo la colonna d'acqua e da simili condizioni istologiche della gonade, dove prevalgono in maniera uniforme stadi di riassorbimento e di inattività. In generale, l'andamento stagionale dell'indice di condizione è quello tipico di questa specie a queste latitudini, con minimi invernali e massimi primaverili in relazione al ciclo riproduttivo e alla disponibilità trofica. I valori osservati inoltre, benché inferiori ai valori limite, 10 in inverno e 18 in estate, suggeriti per questa specie da alcuni autori (Giusti e Zhang, 2002; Orban *et al.*, 2002), mostrano comunque una buona progressione temporale, passando da un valore iniziale di 9 (campione T0) a 15,5 (in aprile, nei mitili in profondità), indicando una buona condizione fisiologica generale per tutti gli organismi monitorati (i trapiantati del Campo e i naturali della Piattaforma).

Anche la resistenza per tempi prolungati all'esposizione all'aria, valutata con il test di sopravvivenza, dipende dal ciclo riproduttivo, oltre che da parametri ambientali come la temperatura, il contenuto di ossigeno e la concentrazione di inquinanti (Eertman *et al.*, 1993). La minor capacità di sopravvivenza nel campione superficiale di aprile conferma

quindi la condizione fisiologica relativamente più stressata rispetto a quelli del fondo. La resistenza maggiore all'esposizione sub-aerea evidenziata sempre nei mitili intertidali conferma che questo parametro è molto influenzato dall'adattamento fisiologico al loro particolare tipo di habitat, in particolare in periodi del ciclo quando è assente lo stress endogeno dovuto alla riproduzione.

Anche la valutazione istochimica dei lipidi neutri nelle cellule digestive ha mostrato, in aprile, una differenza significativa tra i campioni alle due profondità, contribuendo ad evidenziare il maggior stress riproduttivo dei mitili superficiali. L'andamento stagionale registrato nei nostri campioni, con massimi primaverili e minimi estivi e autunnali, riflette la pronunciata variabilità stagionale di questo indice, evidenziata per questa specie anche in altre località (Domouhtsidou e Dimitriadis, 2001; Petrovich *et al.*, 2004; Regoli 1992). I valori significativamente più alti osservati in luglio nei mitili del Campo rispetto a quelli intertidali sembrano suggerire una possibile condizione di stress. Infatti, i lipidi neutri insaturi presenti a livello delle cellule digestive, oltre a rappresentare dal punto di vista fisiologico un'importante forma di riserva utilizzata per la crescita e la riproduzione, possono essere considerati un biomarker di esposizione, l'eccessivo accumulo di queste sostanze essendo stato associato alla presenza in ambiente di xenobiotici ed in particolare di microinquinanti organici (Marigomez e Baybay-Villacorta, 2003; Moore, 1991; Petrovich *et al.*, 2004; Viarengo e Canesi, 1991). Anche i risultati degli indici di tipo citologico da noi applicati, tempo di ritenzione del rosso neutro e frequenza di micronuclei, suggeriscono la presenza di stress antropico nell'area del Campo in luglio. Il test del rosso neutro evidenzia un aumento della fragilità delle membrane lisosomiali quando gli organismi sono sottoposti a stress di vario tipo, sia naturali (ad es. variazioni di temperatura e salinità) che antropici (Lowe *et al.*, 1995; Hauton *et al.*, 1998 e 2001; Dailianis *et al.*, 2003; Fernely *et al.*, 2000; Wedderburn *et al.*, 2000). I tempi da noi osservati sono compresi tra un minimo di 33 min nei mitili superficiali in luglio e un massimo di 99 min in quelli intertidali nello stesso mese e non presentano variazioni stagionali significative né rispetto alla profondità, né rispetto alle due aree marine prese in considerazione (Campo Sperimentale e Piattaforma), confermando precedenti studi in campo (Ringwood *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2004). Le uniche differenze significative sono state rilevate in luglio tra mitili del riferimento intertidale e quelli del Campo (entrambe le profondità). Non essendo state osservate differenze significative nei parametri ambientali monitorati (Tab. 1) è ipotizzabile che la causa del peggioramento degli

organismi del Campo sia di origine antropica, per esempio sversamenti o fuoriuscite di idrocarburi da natanti, particolarmente numerosi sottocosta nella stagione estiva, o da altri inquinanti di origine terrigena eventualmente veicolati in mare dai numerosi corsi d'acqua la cui foce è situata lungo la costa antistante. Questa ipotesi è per altro confermata anche dall'aumentata frequenza di micronuclei. Rispetto alla profondità, l'andamento di questo indice, usato in particolare nei mitili per individuare danni genetici provocati dall'esposizione ambientale ad agenti genotossici (Bolognesi *et al.*, 1996; Brunetti *et al.*, 1988; Burgeot *et al.*, 1996; Izquierdo *et al.*, 2003; Kalpaxis *et al.*, 2004; Venier *et al.*, 1997), è risultato analogo a quello del test del rosso neutro, non evidenziando differenze significative alle due profondità. I valori registrati in questo studio sono inoltre sempre relativamente bassi, se confrontati in particolare con valori riferiti in letteratura come indicativi di effetto genotossico, e anche i livelli più alti di luglio (2,3-2,5‰) sono inferiori a quelli mostrati da organismi che provengono da ambienti molto inquinati (circa 10 ‰, Burgeot *et al.*, 1996).

Tapes philippinarum

Attraverso la stabulazione di vongole trasportate nell'area del Campo Sperimentale da un'area inquinata della laguna di Venezia (Porto Marghera), è stata testata la capacità depurativa dell'ambiente marino costiero, verificando così l'eventuale possibilità di utilizzare aree marine analoghe per la stabulazione di prodotto pescato anche in zone non idonee al fine del raggiungimento delle caratteristiche merceologiche richieste per l'immissione nel mercato. Questo obiettivo è stato realizzato tramite la determinazione chimica del bioaccumulo di inquinanti nei tessuti e la valutazione di indici biologici di stress di tipo biochimico.

Il bioaccumulo di un composto chimico è il risultato dell'azione simultanea di due processi, l'assunzione e l'eliminazione che, in condizioni controllate di laboratorio, portano ad uno stato di equilibrio stazionario difficilmente raggiungibile in ambiente, dove le concentrazioni dei vari composti non sono costanti nel tempo. Le cinetiche di tali processi sono regolate da numerosi fattori che non dipendono unicamente dalla biodisponibilità del composto chimico, ma anche dalle caratteristiche fisiologiche dell'organismo e dai parametri ambientali. Per quanto riguarda i metalli pesanti in letteratura è riportato come la loro assunzione sia un processo complesso influenzato da numerosi fattori e caratterizzato da meccanismi differenti a seconda degli elementi e delle specie (Phillips, 1980; Nelson *et al.*, 1995). Dopo 22

giorni di permanenza in mare la concentrazione della maggior parte dei metalli presenti nelle vongole provenienti dall'area lagunare prospiciente la zona industriale (T0) si riduce significativamente. In particolare, Pb e Cu mostrano un decremento rispettivamente del 45% e 39%, Ni del 30%, Cd del 18% e Zn 16%. Il contenuto di As e Hg rimane pressoché invariato, mentre Cr aumenta inaspettatamente del 83%. Le concentrazioni di Cu, Zn, Hg, Cd e As, benché ridotte rispetto a quelle iniziali, risultano comunque superiori a quelle determinate in vongole del mercato provenienti presumibilmente dal nord Adriatico (Ghidini *et al.*, 2001). I livelli di Pb, Hg e Cd, unici elementi per i quali è fissato un limite di legge, rientrano comunque nei limiti prefissati sia dalla legislazione nazionale (DL 152/99 e 258/2000) che europea (direttiva CE 466/2001) (per Pb e Hg ≤ 2 e ≤ 1 mg kg⁻¹ peso umido e rispettivamente $\leq 0,5$ mg kg⁻¹ peso umido per Pb e 1 mg kg⁻¹ peso umido per Cd). Una diminuzione marcata della concentrazione totale di IPA nelle vongole (60% di decremento) è stata osservata già dopo due giorni di permanenza nel Campo. Nei giorni successivi e per tutto il periodo dell'esperimento, la concentrazione degli IPA totali si mantiene costante (17,0 ng/g circa). Il contenuto di IPA resta comunque superiore a quello misurato in vongole della stessa specie provenienti da zone meno inquinate della laguna (Nasci *et al.*, 2000) e in vongole di allevamento del delta dell'Ebro (Solè *et al.*, 2000), ma inferiore ai valori osservati in campioni di vongole filippine provenienti da mercati ittici diversi, sia veneziani sia delle coste italiane ed europee (Binelli e Provini, 2003; Da Ros *et al.*, 2005). È noto che la biodisponibilità di questi composti può essere influenzata sia dalla variabilità di parametri ambientali che da fattori endogeni; in particolare, i molluschi bivalvi, essendo organismi filtratori, sono in grado di trattenere particelle di diametro maggiore ai 4 µm (Hawkins e Bayne, 1992), e di conseguenza il bioaccumulo può essere dovuto non solo a idrocarburi disciolti nella fase acquosa (quelli a più basso peso molecolare e con solubilità maggiore) ma anche a frazioni diverse adsorbite al particolato (a più alto peso molecolare). Per esempio, è stato stimato che il fenantrene viene assorbito per l'88% attraverso le branchie, mentre il benzo(a)pirene è totalmente assorbito attraverso il particolato ingerito (Piccardo *et al.*, 2001). Nell'ambiente lagunare i fenomeni di risospensione del sedimento sono più frequenti e di maggiore entità rispetto a quelli che si possono verificare in ambiente marino (Baumard *et al.*, 1999), e questo potrebbe in parte spiegare la diminuzione dei composti IPA a più alto peso molecolare (4-6 anelli condensati, ad es. fluorantene e pirene tipicamente associati a fonti petrogeniche) osservata nelle

vongole depurate rispetto a quelle del T0. L'enzima benzo(a)pirene idrossilasi (BPH) e le metallotioneine sono biomarkers indotti nell'organismo dalla presenza ambientale di specifiche classi di inquinante (biomarker di esposizione; Livingstone, 1993). Benché non sia stato possibile monitorare l'intero periodo di detossificazione ma solo i primi 9 giorni a causa della perdita parziale degli organismi, le analisi biochimiche hanno tuttavia evidenziato che la BPH è diminuita in modo costante nel tempo seppure meno marcatamente del bioaccumulo dei microinquinanti organici, probabilmente a causa del basso livello di attività enzimatica osservato già nelle vongole del T0. L'attività enzimatica della BPH è correlata positivamente all'esposizione a idrocarburi aromatici e policlorobifenili in mitili sia in esperimenti di laboratorio che in campo (Akcha *et al.*, 2000; Nasci *et al.*, 1995; Peters e Livingstone, 2001; Porte *et al.*, 1991) anche se risposte contraddittorie, con assenza di induzione del sistema enzimatico di cui fa parte la BPH, sono state alle volte osservate (Livingstone *et al.*, 1985; Nasci *et al.*, 1989 e 2000; Porte *et al.*, 2001) probabilmente in relazione alla sua complessità funzionale e all'interazione non solo con un gran numero di inquinanti e substrati endogeni, ma anche con altri sistemi biologici (Porte *et al.*, 2001).

Le metallotioneine sono proteine non enzimatiche a basso peso molecolare e alto contenuto di cisteina coinvolte nei processi di detossificazione di metalli essenziali, come rame e zinco e non essenziali, come cadmio mercurio e argento, portando all'acquisizione di tolleranza ai metalli in organismi viventi in ambienti in cui è presente un tale tipo di contaminazione (Roesijadi, 1992). Proprio grazie alla loro inducibilità in presenza di metalli, dimostrata sia in popolazioni naturali di bivalvi sia in seguito ad esposizioni in laboratorio (Bebiano e Serafim, 1998 e 2003; Bolognesi *et al.*, 1999; Irato *et al.*, 2003; Viarengo *et al.*, 1997), sono state utilizzate come indicatori della presenza in ambiente di metalli pesanti (Domouhtsidou *et al.*, 2004; Hamza-Chaffai *et al.*, 2000; Pedersen *et al.*, 1997; Petrovic *et al.*, 2001). La concentrazione di metallotioneine da noi osservata, rimasta invariata o addirittura aumentata significativamente dopo 9 giorni, ha evidenziato una buona correlazione ($p < 0,05$) con il contenuto di Cd e Cr. Lo stesso risultato è stato osservato anche da Bebianno e Serafim (2003) in vongole raccolte in diversi siti della laguna di Ria Formosa, nelle quali si è trovata un'elevata affinità delle metallotioneine per il Cd con concentrazioni che seguono gli stessi andamenti stagionali e spaziali.

CONCLUSIONI

La risposta biologica dei mitili non ha rivelato differenze stagionali significative rispetto alle due profondità di stabulazione, concordando con la sostanziale omogeneità dei parametri idrologici monitorati lungo la colonna d'acqua. Solo in aprile, quando è stata registrata una differenza di temperatura di oltre 3°C tra le due profondità, è stato evidenziato nei mitili superficiali un probabile stress endogeno causato da emissioni di gameti più precoci. Inoltre, il confronto con i mitili intertidali ha messo in evidenza le sostanziali migliori condizioni di questi ultimi. In particolare, l'andamento dei parametri citologici nei campioni di luglio ha fatto ipotizzare la presenza di una possibile condizione ambientale sfavorevole, probabilmente di origine antropica, nell'area del Campo Sperimentale.

Le vongole, mantenute a stabulare nel Campo per un periodo di 3 settimane, hanno mostrato una buona capacità depurativa. In particolare, la concentrazione di IPA accumulati nei tessuti diminuisce già dopo 2 giorni di permanenza in mare, mentre la detossificazione dei metalli diventa evidente dopo 22 giorni tranne che per il Cr, la cui concentrazione aumenta marcatamente, e per l'As e il Hg che mostrano un leggero incremento. Le risposte dei biomarkers utilizzati seguono l'andamento dei risultati del bioaccumulo dando conferma di un loro possibile utilizzo nel monitoraggio del processo di detossificazione.

BIBLIOGRAFIA

- AKCA F., IZUELC., VENIER P., BUDZINSKI H., BURGEOT T., NARBONNE J.-F., 2000 - Enzymatic biomarker measurement and study of DNA adduct formation in benzo(a)pyrene- contaminated mussels, *Mytilus galloprovincialis*. *Aquat. Toxicol.*, **49**: 269-287.
- BANCROFT J.D., 1967 - An introduction to histochemical technique. *Butterworths*, London: 268 pp.
- BAYNE B.L., BROWN D.A., BURNS K., DIXON D.R., IVANOVICI A., LIVINGSTONE D.R., LOWE D.M., MOORE M.N., STEBBING A.R.D., WIDDOWS J., 1986 - The effects of stress and pollution on marine animals. *Prager Scientific*. pp. 375.
- BAUMARD P., BUDZINSKI H., GARRIGUES P., BURGEOT T., MICHEL X., BELLOCQ J., 1999 - Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) burden of mussels (*Mytilus sp.*) in different marine environments in relation with sediment PAH contamination, and bioavailability. *Mar. Environ. Res.*, **47** (5): 415-439.
- BEBIANNI M.J., SERAFIM M.A., 1998 - Comparison of metallothionein induction in response to cadmium in the gills of the bivalve molluscs *Mytilus galloprovincialis* and *Ruditapes decussatus*. *Sci. Tot. Environm.* **214**: 123-131.
- BEBIANNI M.J., SERAFIM M.A., 2003 - Variation of metal and metallothionein concentrations in a natural population of *Ruditapes decussatus*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **44**: 53-66.
- BINELLI A., PROVINI A., 2003 - POPs in edible clams from different Italian and European markets and possible human health risk. *Mar. Poll. Bull.*, **46**: 879-886.
- BOLOGNESI C., RABONI R., ROGGIERI P., 1996 - Genotoxicity biomarkers in *M. galloprovincialis* as indicators of marine pollutants. *Comp. Biochem. Physiol.*, **113** (C): 319-323.
- BOLOGNESI C., LANDINI E., ROGGIERI P., FABBRI R., VIARENGO A., 1999 - Genotoxicity biomarkers in the assessment of heavy metal effects in mussels: experimental studies. *Environ. Mol. Mutagen.*, **33**: 287-292.
- BRUNETTI R., MAJONE F., GOLA I., BELTRAME C., 1988 - The micronucleus test: examples of application to marine ecology. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **44**: 65-68.
- BURGEOT T., WOLL S., GALGANI F., 1996 - Evaluation of the micronucleus test on *Mytilus galloprovincialis* for monitoring applications along the French coasts. *Mar. Poll. Bull.*, **32** (1): 39-46.
- CASTRO M., SANTOS M.M., MONTEIRO N.M., VIEIRA N., 2004 - Measuring lysosomal stability as an effective tool for marine coastal environmental monitoring. *Mar. Environm. Res.*, **58**: 741-745.
- DAILIANIS S., DOMOUHTSIDOU G.P., RAFTOPOULOU E., KALOYIANNI M., DIMITRIADIS V.K., 2003 - Evaluation of neutral red retention assay, micronucleus test, acetylcholinesterase activity and a signal transduction molecule (cAMP) in tissues of *Mytilus galloprovincialis* (L.), in pollution monitoring. *Mar. Environm. Res.*, **56**: 443-470.
- DA ROS L., MENEGHETTI F., NASCI C., 2002 - Field application of lysosomal destabilisation indices in the mussel *Mytilus galloprovincialis*: biomonitoring and transplantation in the Lagoon of Venice (north-east Italy). *Mar. Environ. Res.*, **54** (3-5): 817-822.
- DA ROS L., NASCI C., MARIGOMEZ I., SOTO M., 2000 - Biomarkers and trace metals in the digestive gland of indigenous and transplanted mussels, *Mytilus galloprovincialis*, in Venice Lagoon, Italy. *Mar. Environ. Res.*, **50** (1-5): 417-423.
- DA ROS L., MOSCHINO V., MENEGHETTI F., PENZO P., PELLIZZATO M., 2005 - La qualità nell'allevamento di *Tapes philippinarum* in laguna di Venezia: proposta per un approccio biologico. In: "La filiera della vongola *Tapes philippinarum* in Italia". Franco Angeli (Ed.), *Milano*: 101-111.
- DOMOUHTSIDOU G.P., DIMITRIADIS V.K., 2001 - Lysosomal and lipid alterations in the digestive gland of mussels, *Mytilus galloprovincialis* (L.) as biomarkers of environmental stress. *Environ. Poll.*, **115**: 123-137.
- DOMOUHTSIDOU G.P., DAILIANIS S., KALOYIANNI M., DIMITRIADIS V.K., 2004 - Lysosomal membrane stability and metallothionein content in *Mytilus galloprovincialis* (L.), as biomarkers combination with trace metal concentrations. *Mar. Poll. Bull.* **48**: 572-586.
- EERTMAN R.H.M., WAGENVOORT A.J., HUMMEL H., SMAAL A.C., 1993 - "Survival in air" of the blue mussel *Mytilus edulis* L. as a sensitive response to pollution-induced environmental stress. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **170**: 179-195.
- FERNLEY P.W., MOORE M.N., LOWE D.M., DONKIN P., EVANS S., 2000 - Impact of the Sea Empress oil spill on lysosomal stability in mussel blood cells. *Mar. Environm. Res.*, **50**: 451-455.
- GHIDINI S., BATTAGLIA A., ZANARDI E., CAMPANINI G., 2001 - Elementi in traccia in molluschi e crostacei dell'alto adriatico. *Annali della Facoltà di Medicina Veterinaria. Università degli Studi di Parma* Vol. **XXI** : 225-233.
- GIUSTI L., ZHANG H., 2002 - Heavy metals and arsenic in sediments, mussels and marine water from Murano (Venice, Italy). *Environmental Geochemistry and Health*, **24**: 47-65.
- GOLDBERG E.D., 1980 - The international mussel watch. *National Academy of Science*, Washington D.C.
- HAMZA-CHAFFAI A., AMIARD J.C., PELLERIN J., JOUX L., BERTHET B., 2000 - The potential use of metallothionein in the clam *Ruditapes decussatus* as a biomarker of in situ metal exposure. *Comp. Biochem. Physiol.*, **127C**: 185-197.
- HAUTON C., HAWKINS L.E., HUTCHINSON S., 1998 - The use of the neutral red retention assay to examine the effects of temperature and salinity on haemocytes of the European flat oyster *Ostrea edulis* (L.). *Comp. Biochem. Physiol.*, **119B**: 619-623.
- HAUTON C., HAWKINS L.E., HUTCHINSON S., 2001 - Response of haemocyte lysosomes to bacterial inoculation in the oysters *Ostrea edulis* L. and *Crassostrea gigas* (Thunberg) and the scallop *Pecten maximus* (L.). *Fish & Shellfish Immunology*, **11**: 143-153.
- HAWKINS A.J.S., BAYNE B.L., 1992 - Physiological interrelations and the regulation of the production. In: The mussel *Mytilus*: ecology, physiology, genetics and culture. E. Gosling (Ed.), *Elsevier, London*: 171-222.
- ICRAM, 2001 - Metodologie analitiche di riferimento del programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino costiero (triennio 2001-2003). Cicero A.M. & Di Girolamo I. (Ed.). Roma, *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio*.
- IRATO P., SANTOVITO G., CASSINI A., PICCINI E., ALBERGONI V., 2003 - Metal accumulation and binding protein induction in *Mytilus galloprovincialis*, *Scapharca inaequalis* and *Tapes philippinarum* from the Lagoon of Venice. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **44**: 476 - 484.
- IZQUIERDO J.I., MACHADO G., AYLLON F., D'AMICO V.L., BALA L.O., VALLARINO E., ELIAS R., GARCIA-VAZQUEZ E., 2003 - Assessing pollution in coastal ecosystem: preliminary survey using the micronucleus test in the mussel *Mytilus edulis*. *Ecotoxicol. environ. Saf.*, **55**: 24-29.
- KALPAXIS D.L., THEOS C., XAPLANTERI M.A., DINOS G.P. CATSIKI A.V., LEOTSINIDIS M., 2004 - Biomonitoring of Gulf of Patras, N. Peloponnesus, Greece. Application of a biomarker suite including evaluation of translation efficiency in *Mytilus galloprovincialis* cells. *Environ. Res.*, **94**: 211-220.
- KAPLAN E.L., MEIER P., 1958 - Nonparametric estimation from incomplete observations. *J. Am. Stat. Assoc.*, **53**: 457-481.
- LIVINGSTONE D.R., 1985 - Responses of the detoxification / toxification enzyme systems of molluscs to organic pollutants and xenobiotics. *Mar. Poll. Bull.*, **16**: 158-164.
- LIVINGSTONE D.R., 1988 - Responses of microsomal nadph-cytochrome-c reductase-activity and cytochrome-p-450 in digestive glands of mytilus-edulis and littorina-littorea to environmental and experimental exposure to pollutants. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **46** (1-3): 37-43.
- LIVINGSTONE D.R., 1993 - Biotechnology and pollution monitoring: use of molecular biomarkers in the aquatic environment. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **57**: 195-211.
- LIVINGSTONE D.R., MOORE M.N., LOWE D.M., NASCI C., FARRAR S.V., 1985 - Responses of the cytochrome P-450 monooxygenase system to diesel oil in the common mussel, *Mytilus edulis* L., and the periwinkle, *Littorina littorea* L.. *Aquat. Toxic.*, **7**: 79-91.
- LIVINGSTONE D. R., NASCI C., 2000 - Biotransformation and antioxidant enzymes as potential biomarkers of contaminant exposure in goby (*Zosterisessor ophiocephalus*) and mussel (*Mytilus galloprovincialis*) from the Venice lagoon. Pagg. 357-374, in: P.Lassere and A. Marzollo (Eds.), *The Venice Lagoon ecosystem. Inputs and interactions between land and sea. Man and the Biosphere Series*. Parthenon Publishing, New York., vol. **25**: 357-373.
- LOWE D.M., 1988 - Alterations in cellular structure of *Mytilus edulis* resulting from exposure to environmental contaminants under field and experimental conditions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **46** (1-3): 91-100.
- LOWE D.M., PIPE R.K., 1994 - Contaminant induced lysosomal membrane damage in marine mussels digestive cells: an in vitro study. *Aquat. Toxicol.*, **30**: 357-365.
- LOWE D.M., SOVERCHIA C., MOORE M.N., 1995 - Lysosomal membrane response in the blood and digestive cells of mussels experimentally exposed to fluoranthene. *Aquat. Toxicol.*, **33**: 105-112.
- LUCAS A., BENINGER P.G., 1985 - The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture. *Aquaculture*, **44**: 187-200.
- MARIGOMEZ I., BAYBAY-VILLACORTA L., 2003 - Pollutant-specific and general lysosomal responses in digestive cells of mussels exposed to model organic chemicals. *Aquat. Toxicol.*, **64**: 235-257.
- MATOZZO V., DA ROS L., BALLARIN L., MENEGHETTI F., MARIN M.G., 2003 - Functional responses of haemocytes in the clam *Tapes philippinarum* from the Lagoon of Venice: fishing impact and seasonal variations. *Canad. J. Fis. Aquatic Sci.*, **60** (8): 949-958.
- MCCARTHY J.F., SHUGART L.R., 1990 - Biomarkers of environmental contamination. *Lewis Publishes, Chelsea*, USA.
- MERSCH J., BEAUVAIS M.N., NAGEL P., 1996 - Induction of micronuclei in haemocytes and gill cells of zebra mussels, *Dreissena polymorpha*, exposed to clastogens. *Mutation Research*, **371**: 47-55.
- MOORE M.N., 1985 - Cellular responses to pollutants. *Mar. Pollut. Bull.*, **16**: 134-139.
- MOORE M.N., 1991 - Environmental stress signals: cellular reactions to marine pollution. In: GRAUMANN W., DRUKKER J (Eds), *Histo- and*

cytochemistry as a tool in environmental toxicology. New York, Fisher Venlag, Stuttgart: 1-19.

MOORE M.N., LOWE D.M., 1986 - Cytological and cytochemical measurements. In: Bayne B.L., Brown D.A., Burns K., Dixon D.R., Ivanovici A., Livingstone D.R., Lowe D.M., Moore M.N., Stebbing A.R.D., Widdows J. (eds.) *The effects of stress and pollution on marine animals. Prager Scientific*. 179-204.

NASCI C., CAMPESAN G., FOSSATO V.U., DOLCI F., MENETTO A., 1989 - Hydrocarbon content and microsomal BPH and reductase activity in mussel, *Mytilus* sp., from the Venice area, North-east Italy. *Mar. Environ. Res.* **28**: 109-112.

NASCI C., DA ROS L., FOSSATO V.U., PETERS L., LIVINGSTONE D.R., 1995 - Effetti biochimici e istochimici in mitili, *Mytilus galloprovincialis*, della laguna di Venezia esposti a PCB (Aroclor 1254). S.I.T.E. Atti, **16**: 861-682.

NASCI C., DA ROS L., NESTO N., L. SPERNI B., PASSARINI F., PAVONI B., 2000 - Biochemical and histochemical responses to environmental contaminants in clam, *Tapes philippinarum*, transplanted to different polluted areas of Venice Lagoon, Italy. *Mar. Environ. Res.* **50**: 425-430.

NASCI C., NESTO N., MONTEDURO R.A., DA ROS L., 2002 - Field application of biochemical markers and a physiological index in the mussel, *Mytilus galloprovincialis*: transplantation and biomonitoring studies in the lagoon of Venice (NE Italy). *Mar. Environ. Res.*, **54** (3-5): 811-816.

NELSON W.G., BERGEN B.J., COBB D.J., 1995 - Comparison of PCB and trace-metal bioaccumulation in the blue mussel, *Mytilus edulis*, and the ribbed mussel, *Modiolus demissus*, in New Bedford Harbor, Massachusetts. *Environ. Toxicol. Chem.*, **14** (3): 513-521.

NESTO N., BERTOLDO M., NASCI C., DA ROS L., 2004 - Spatial and temporal variation of biomarkers in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the Lagoon of Venice, Italy. *Mar. Environ. Res.*, **58** (2-5): 287-291.

OKUMUS, I., STIRLING, H.P., 1998 - Seasonal variations in the meat weight, Condition Index and biochemical composition of mussels (*Mytilus edulis* L.) in suspended culture in two Scottish sea lochs. *Aquaculture*, **159**: 249-261.

ORBAN E., DI LENA G., NEVIGATO T., CASINI I., MARZETTI A., CAPRONI R., 2002 - Seasonal changes in meat content, condition index and chemical composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) cultured in two different Italian sites. *Food Chemistry*, **77**: 57-65.

PEDERSEN S.N., LUNDEBYE A.-K., DEPLEDGE M.H., 1997 - Field application of metallothionein and stress protein biomarkers in the shore crab (*Carcinus maenas*) exposed to trace metals. *Aquat. Toxicol.*, **37**: 183-200.

PETERS L.D., LIVINGSTONE D.R., 2001 - Induction of molluscan cytochrome P450 monooxygenase system as a biomarker of organic pollution in environmental monitoring. In: Biomarkers in marine organisms: a practical approach. Garrigues, Barth, Walker, Narbonne (eds.), *Elsevier Science Amsterdam*: 1-28.

PETROVIC S., OZRETIC B., KRAJNOVIC-OZRETIC M., BOBINAC D., 2001 - Lysosomal membrane stability and metallothioneins in digestive gland of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) as biomarkers in a field study. *Mar. Pollut. Bull.*, **42**: 1373-1378.

PETROVIC S., SEMENCIC L., OZRETIC B., OZRETIC M., 2004 - Seasonal variations of physiological and cellular biomarkers and their use in the biomonitoring of north Adriatic coastal waters (Croatia). *Mar. Pollut. Bull.*, **49**: 713-720.

PHILLIPS D.J.H., 1980 - Trace metal seasonality in aquatic biota. In: Quantitative aquatic biological indicators. *Applied Science Publishers Ltd, London*: 95-160.

PICCARDO M.T., CORADEGHINI R., VALERIO F., 2001 - Polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in native and caged mussels. *Mar. Pollut. Bull.*, **42**: 951-956.

PORTE C., SOLE' M., ALBAIGES, J., LIVINGSTONE D. R., 1991 - Responses of mixed-function oxygenase and antioxidant enzymes system of *Mytilus* sp. to organic pollution. *Comp. Biochem. Physiol.*, **100**: 138-186.

PORTE C., SOLE M., BORGHI V., MARTINEZ M., CHAMORRO J., TORREBLANCA A., ORTIZ M., ORBEA A., SOTO M., CAJARAVILLE M.P., 2001 - Chemical, biochemical and cellular responses in the digestive gland of the mussel *Mytilus galloprovincialis* from the Spanish Mediterranean coast. *Biomarkers*, **6** (5): 335-350.

REGOLI, F., 1992 - Lysosomal responses as a sensitive stress index in biomonitoring heavy metal pollution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **84**: 63-89.

RINGWOOD A. H., HOGUET J., KEPPLER C. J., 2002 - Seasonal variation in lysosomal destabilization in oysters, *Crassostrea virginica*. *Mar. Environ. Res.*, **54**: 793-797.

ROESIJADI, G., 1992 - Metallothioneins in metal regulation and toxicity in aquatic animals. *Aquat. Toxicol.*, **22**: 81-114.

SOKAL R. R., RHOLF F. J., 1981 - Biometry: the principals and practice of statistics in biological research, 2nd ed. *W.H. Freeman & Co, San Francisco*.

SOLE M., PORTE C., BARCELO D., ALBAIGES J., 2000 - Bivalves residue analysis for the assessment of coastal pollution in the Ebro Delta (NW Mediterranean). *Mar. Poll. Bull.*, **40**: 746-753.

UNEP, 1999 - Manual on the biomarkers recommended for the MED POL biomonitoring programme. United Nations Environment Programme, Mediterranean Action Plan, Athens, Greece: pp.36.

VENIER P., MARON S., CANOVA S., 1997 - Detection of micronuclei in gill cells and hemocytes of mussels exposed to benzo(a)pyrene. *Mut. Res.*, **390**: 33-44.

VIARENGO A., CANESI L., 1991 - Mussels as biological indicator of pollution. *Aquaculture*, **94**: 225-243.

VIARENGO A., NOTT J.A., 1993 - Mechanisms of heavy-metal cation homeostasis in marine-invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol.*, **104C** (3): 355-372.

VIARENGO A., PONZANO E., DONDERO F., FABBRI R., 1997 - A simple spectrophotometric method for metallothionein evaluation in marine organisms: an application to mediterranean and antarctic molluscs. *Mar. Environ. Res.* **44**: 69-84.

WALNE P.R., 1976 - Experiments on culture in sea of butterfish *Venerupis decussata*. *Aquaculture*, **8** (4): 371-381.

WEDDERBURN J., MCFADZEN I., SANGERÀ R. C., BEESLEY A., HEATH C., HORNSBY M., LOWE D., 2000 - The field application of cellular and physiological biomarkers, in the mussel *Mytilus edulis*, in conjunction with early life stage bioassays and adult. *Histopathology Marine Pollution Bulletin*, **40**: 257-267.

CONCLUSIONI

SANDRO BOATO^o

ROBERTO BERTAGGIA*

^o ARPAV - Direzione Area Tecnico-Scientifica - Piazzale Stazione 1 - 35131 Padova
e-mail: ats@arpa.veneto.it

* GIUNTA REGIONALE DEL VENETO - Segreteria Ambiente e Territorio - Calle Priuli Cannaregio 99 - 30121 Venezia
e-mail: serv.coord.amb@regione.veneto.it

L'Adriatico Settentrionale, pur essendo uno dei bacini fra i più studiati al mondo, resta per la sua complessità anche uno dei più problematici da gestire: la posizione geografica, la ridotta batimetria, gli ingenti apporti fluviali in relazione all'elevata urbanizzazione delle sue coste, ne determinano la grande sensibilità e l'elevata criticità. Questo bacino, già molto sfruttato da attività antropiche di vario genere quali la pesca, l'acquicoltura e le molte attività turistiche e marittime (traffici commerciali e passeggeri, diportismo, turismo nautico, ecc.), necessita di tutela e di ulteriori studi finalizzati alla comprensione dei meccanismi che lo governano, anche per poter giungere in breve tempo ad un suo utilizzo sostenibile e duraturo nel tempo.

Sono due le strade da intraprendere per raggiungere questi obiettivi: da una parte deve maturare una visione unitaria del bacino, che cioè consideri l'Adriatico come un unico ambiente che richiede di un'ampia collaborazione tra i diversi soggetti coinvolti nella sua gestione; dall'altra deve progredire lo sviluppo di ricerche multidisciplinari che coinvolgano i diversi settori dei vari interessi coinvolti.

Il presente studio, realizzato nel corso di 18 mesi nell'ambito del progetto Campo Sperimentale, ha intrapreso proprio questa seconda strada: ricerche, studi e monitoraggi si sono focalizzati, infatti, su tematiche ambientali, ecologiche ed applicative, analizzando i diversi aspetti dell'ambiente costiero alto-adriatico in relazione alle condizioni idrologiche e fitoplanctoniche, alle caratteristiche dei sedimenti, allo sviluppo dei popolamenti bentonici, all'accrescimento dei molluschi bivalvi, ecc. Oltre alla multidisciplinarietà, altro punto di forza di questo progetto è stato la capacità di "dialogo" ed interconnessione delle diverse linee di ricerca. Ciò ha permesso, attraverso sinergie e collaborazioni, numerosi riferimenti tra i diversi lavori, che hanno permesso di comprendere meglio i rapporti tra gli argomenti trattati e di giungere, infine, ad una conoscenza approfondita dell'ambiente del Campo Sperimentale.

Questo primo studio, realizzato in un'area attrezzata in mare del litorale veneto, ha permesso, inoltre, di formulare interessanti ipotesi e di proporre vari suggerimenti su possibili sviluppi futuri dei diversi argomenti di ricerca.

Infine va ricordato il valore che questi studi hanno avuto nella sperimentazione di materiali, attrezzature e tecniche di indagine. Anche se alcune linee di ricerca possono non aver presentato un immediato ed evidente risvolto pratico, pur essendo di sicuro valore scientifico e di utilità per la comprensione dell'ambiente studiato, offrono spunti particolarmente interessanti per le **applicazioni pratiche**, che potranno essere adottate sia da privati, che dalle pubbliche amministrazioni e che potranno risultare vantaggiose sia per l'ambiente costiero che per i cosiddetti "lavoratori del mare". Va in ogni modo rilevato che, benchè non tutte le tematiche di ricerca abbiano prodotto applicazioni pratiche immediate, ciò è plausibile possa avvenire in futuro, sia come naturale prosecuzione del programma di ricerca mediante l'approfondimento e la precisazione delle tematiche, che indirettamente, attraverso il suo contributo alla conoscenza dell'ambiente.

Alcuni risultati di utilità pratica, ad esempio, sono stati ottenuti dalle tematiche sviluppate dalla linea di studio che aveva come obiettivo la molluschicoltura: le diverse tipologie di strutture per la raccolta degli stadi giovanili dei bivalvi in relazione alla specie ed i "calendari di insediamento" delle diverse specie permettono lo sviluppo di conoscenze su come sia possibile raccogliere il "seme" dei vari bivalvi e utilizzarlo per ripopolamento o allevamento in impianti di acquicoltura. Tali tecniche, se adottate su ampia scala, permetterebbero di alleggerire lo sfruttamento da pesca dei banchi naturali attualmente in *overfishing* (cioè soggette ad eccessivo sforzo di pesca) e il conseguente depauperamento delle risorse. Inoltre, gli studi realizzati sulla possibilità di stabulare/depurare naturalmente in mare dei molluschi provenienti da aree considerate precluse alla raccolta, in una zona attrezzata come quella messa a punto nel Campo Sperimentale, rappresenta un altro argomento di notevole

importanza applicativa: soprattutto in una regione, come appunto il Veneto, le cui acque sono "da sempre" votate alla molluschicoltura.

Anche lo studio della colonizzazione di substrati duri artificiali nell'area del Campo ha dato dei risultati preliminari interessanti. Le conoscenze sui meccanismi di colonizzazione degli organismi bentonici in quest'area potrà, attraverso il raffronto con altre superfici solide sottomarine (come ad esempio le Tegnùe), dare informazioni utili sull'evoluzione degli affioramenti rocciosi naturali e rappresentare un sito di sperimentazione di tecniche per la valorizzazione e la difesa di ambienti così importanti sotto l'aspetto biologico e turistico.

Certamente l'esperienza acquisita con il Campo Sperimentale sul tema delle barriere artificiali, che come già detto è una novità nell'area costiera del Veneto, potrà fornire supporto tecnico scientifico a **progetti futuri** che si occupino sia di immersione di materiale inerte per ottenere delle limitate elevazioni artificiali, che di Tegnùe, di cui le barriere artificiali possono essere considerate un'estensione.

A titolo d'esempio ricordiamo il Progetto ADRI.BLU nell'ambito del Programma Interreg III A Transfrontaliero Adriatico, che vedrà coinvolte la Regione del Veneto e il Consorzio di bonifica Delta del Po Adige. Il progetto, di prossimo inizio, consisterà nell'allestimento di strutture artificiali sommerse in aree interdette alla pesca professionale nella zona costiera prospiciente la provincia di Rovigo, con l'obiettivo di incrementare la sostenibilità di pesca mediante azioni di ripristino della biodiversità e di diversificazione delle attività di pesca.

Se da una parte sono molti i punti di forza del progetto Campo Sperimentale, dall'altra non si può non accennare ad alcuni **punti di debolezza**.

Innanzitutto la progettazione esecutiva del Campo risale al 1996 e pertanto le tecnologie previste in quella fase, in particolare la tipologia delle strutture artificiali, risultano ampiamente superate. Ciò nonostante, le ricerche intraprese su tali barriere non perdono il loro valore, proprio per la particolarità dell'ambiente in cui sono state posizionate (fascia costiera, zona di foce fluviale, elevata torbidità) e di conseguenza per la novità che nell'ambito veneto rappresentano.

Un altro punto di debolezza del progetto si è dimostrato il sistema di monitoraggio "in continuo" della sonda multiparametrica, posta sotto ad una "boa" opportunamente ancorata, ed in grado di fornire in continuo, ai vari livelli batimetrici, dati chimici, fisici e biologici del mezzo idrico. I

problemi di funzionamento di questo sistema analitico si sono protratti per tutto il 2004, ed hanno, di fatto, impedito il suo completo utilizzo; nonostante ciò, l'acquisizione dei dati oceanografici è avvenuta con sistemi tradizionali durante apposite campagne di monitoraggio, e queste informazioni parziali hanno permesso di sopperire a tale carenza. Ovviamente la disponibilità di dati in continuo avrebbe consentito di avere una visione molto più precisa della situazione del Campo in qualsiasi momento del periodo di studio e quindi una maggior comprensione dei fenomeni biologici osservati.

Va ricordato che il mare è un ambiente particolarmente complesso e che attrezzature e strumenti sono soggetti ad elevata usura e deterioramento. A ciò sono da aggiungere i danni provocati da eventi calamitosi meteo-marini, quali ad esempio le mareggiate, che nel corso del periodo di studio hanno provocato più volte il danneggiamento di materiali, la rottura di strutture e la perdita di boe segnaletiche.

Pur avendo nel complesso risposto positivamente alle aspettative del progetto, la **limitata durata** delle attività di sperimentazione non ha permesso di fornire risposte complete ed esaurienti sulle varie problematiche affrontate. E' noto, infatti, che la ricerca scientifica, soprattutto quella condotta in ambienti complessi come sono le fasce costiere e che si occupano di cicli biologici, richiede serie temporali prolungate e la raccolta di dati per un periodo ben superiore a quello avuto a disposizione in questa prima esperienza del Campo Sperimentale in mare.

Sarebbe pertanto auspicabile mantenere attiva questa area attrezzata per lo studio dell'ambiente marino ancora per qualche anno, al fine di approfondire le conoscenze e disporre di un sito con caratteristiche ecologiche note nel quale proseguire gli studi iniziati, e continuare la sperimentazione di nuove strutture e metodologie che l'evoluzione tecnica e tecnologica rende oggi realizzabile.

E' su queste premesse che si inserisce il progetto di **estensione del Campo Sperimentale** previsto per il 2006, nel quale si è pensato di focalizzare l'attenzione solo su alcune linee di ricerca sviluppate nel corso della prima fase, in particolare quelle da cui ci si aspetta i maggiori risvolti applicativi. Nell'ambito del programma è prevista la continuazione di questi studi, ai quali saranno affiancate altre due nuove linee di ricerca: una che riguarda l'ecotossicologia e una seconda che svilupperà temi legati all'innovazione di substrati artificiali di diversa foggia e dimensione, oltre che l'utilizzo a pieno della boa oceanografica, nel frattempo messa a sistema e che attualmente sta fornendo già le prime serie di dati.

ARPAV
Osservatorio Alto Adriatico
Polo Regionale Veneto
Piazzale Stazione 1
35131 Padova
Italy
Tel. +39 049 8767587
Fax +39 049 8767670
e-mail: oaa@arpa.veneto.it

Maggio 2006
Stampato su carta ecologica sbiancata senza uso di cloro