Saggio scientifico originale
Ricevuto: 2009-03-24

CDU 639.2.081.7:574.6(262-18)

ANALISI DI DATI BIOACUSTICI OTTENUTI MEDIANTE ECHOSOUNDER PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPONENTE ITTICA DELL' AREA MARINA PROTETTA DI MIRAMARE

Serena DONADI & Milena TEMPESTA
Area Marina Protetta di Miramare, I-34014 Trieste, v. le Miramare 349, Italia
E-mail: serenadonadi@yahoo.it

Donatella DEL PIERO
Dipartimento Scienze della Vita, Università degli Studi di Trieste, I-34133 Trieste, Via Giorgieri 10, Italia

SINTESI

Le tecniche acustiche attive, essendo metodi non invasivi, rappresentano un valido strumento, complementare ai censimenti visivi ("visual census"), per lo studio e il monitoraggio della componente ittica all'interno di un'area marina protetta. Nel periodo compreso tra Aprile e Novembre 2006, l'utilizzo di un echosounder scientifico split-beam ha permesso di ottenere stime quantitative della distribuzione spaziale dei popolamenti ittici dell'AMP di Miramare (Golfo di Trieste, Alto Adriatico) e di individuare potenziali aree di aggregazione ittica. La zona della barriera, la zona del FAD (fish aggregating device) e la zona al limite settentrionale dell'AMP si caratterizzano per la frequenza con cui si sono rilevati elevati valori di densità ittica nel corso del periodo di campionamento. I risultati ottenuti dal presente studio costituiscono utili informazioni per la gestione e la valutazione dell'efficacia di gestione della AMP.

Parole chiave: Area Marina Protetta di Miramare, densità ittica, echosounder

ANALYSIS OF BIOACOUSTICAL DATA FROM ECHOSOUNDER SURVEYS FOR THE ASSESSMENT OF THE FISH POPULATIONS IN THE MARINE PROTECTED AREA OF MIRAMARE

ABSTRACT

Active hydroacoustic techniques are non-invasive methods for the study and monitoring of fish populations. These techniques are well-applied in marine protected areas and can be used as a complementary technique to a visual census. A split-beam echosounder was employed during the period from April to November 2006, to obtain a quantitative assessment of the spatial distribution of the fish populations in the MPA of Miramare (Gulf of Trieste, northern Adriatic Sea) and to identify potential fish-aggregating areas. High values of fish density were recorded with higher frequency in the reef zone, in the FAD zone and in the north limit core zone throughout the survey period. The results obtained from the current study provide useful information for the management and evaluation of the management effectiveness of the MPA.

Key words: Marine Protected Area of Miramare, fish density, echosounder

INTRODUZIONE

La quantificazione della componente ittica e della sua distribuzione nello spazio e nel tempo è essenziale per valutare l'efficacia dell'azione di protezione di un'area marina protetta (Pomeroy *et al.*, 2004). Ciò permette inoltre all'ente gestore di pianificare azioni e strategie gestionali delle risorse ittiche entro e fuori i confini della zona sotto tutela. L' Area Marina Protetta (AMP) di Miramare (Golfo di Trieste, Alto Adriatico) racchiude un ambiente unico per la struttura geomorfologica e la posizione geografica e rappresenta un sito fondamentale per l'elevata densità e biodiversità di specie ittiche (Costantini *et al.*, 2004). Da diversi anni la comunità ittica della AMP di Miramare viene monitorata tramite censimenti visuali ("visual census"), tecnica non invasiva di monitoraggio (AA.VV., 1999) che viene applicata in tutte le aree marine protette italiane (Vacchi & La Mesa, 1999). Fattori ambientali (scarsa visibilità, bassa temperatura, cattive condizioni meteorologiche) e fattori legati alla soggettività delle osservazioni costituiscono, però, importanti limiti a tale metodologia. L'utilizzo di tecniche acustiche attive non solo permette di operare anche quando le condizioni meteo-marine non sono ottimali per svolgere il "visual census", ma consente anche di aumentare l'estensione della zona monitorata.

La misura dell'abbondanza dei popolamenti ittici è probabilmente la più importante applicazione delle tecniche acustiche nella ricerca scientifica nel settore ittico (MacLennan, 1990). Stime quantitative possono essere ricavate mediante "echo integration", tecnica che si basa sulla stima dell'energia riflessa da un determinato volume d'acqua e che viene comunemente utilizzata per la valutazione di stock ittici d'importanza commerciale (Misund, 1997). Le metodologie acustiche forniscono stime di abbondanza indipendenti dalle attività di pesca e pertanto possono essere applicate in aree marine protette in sostituzione dei comuni metodi di campionamento che necessitano di catturare una parte o l'intero campione studiato. Sia echosounder operanti da barca che trasduttori stazionari si sono rivelati utili strumenti per la quantificazione e la valutazione della distribuzione spaziale e del comportamento dei popolamenti ittici in strutture artificiali quali piattaforme petrolifere (Stanley & Wilson, 1998; Stanley & Wilson, 2000; Soldal *et al.*, 2002) o barriere (Thorne *et al.*, 1989; Fabi & Sala, 2002; Sala *et al.*, 2007).

Lo scopo del presente studio è stato quello di valutare la distribuzione spaziale della componente ittica dell'Area Marina in diversi periodi dell'anno mediante tecniche acustiche attive non stazionarie, al fine di ottenere informazioni utili alla pianificazione di azioni e strategie di gestione delle risorse ittiche da parte dell'ente gestore. L'obiettivo principale è stato quello di mettere in evidenza potenziali aree di elevata aggregazione ittica, che potranno essere tutelate in modo particolare.

MATERIALI E METODI

Area di studio

L'Area Marina Protetta di Miramare (Golfo di Trieste, Alto Adriatico) è situata a 8 km di distanza dalla città di Trieste, in direzione Nord Ovest ed è gestita dal W.W.F. – Italia a partire dal 1986, anno di fondazione. Essa comprende un tratto di costa di circa 1500 m e si estende al largo per circa 600 m, coprendo una superficie totale di 120 ettari di mare. L'area marina protetta è suddivisa in due zone: la zona a protezione integrale (core), che copre 30 ettari e ha una massima profondità di 18 m, e la zona a protezione parziale (buffer), che invece copre i restanti 90 ettari e ha una massima profondità di circa 21 m. Nella zona a protezione integrale vige una stretta regolamentazione che vieta il prelievo di organismi viventi e di formazioni rocciose e sabbiose, impedisce la navigazione e non consente alcuna attività che possa essere contraria alle finalità di tutela e conservazione dell'area. Sono possibili solo attività di ricerca scientifica e monitoraggio, oltre ad alcune attività di fruizione regolamentate dall'Ente Gestore. Nella zona a protezione parziale, istituita nel 1995 con ordinanza della Capitaneria di Porto di Trieste, sono vietati l'ancoraggio e la pesca sotto qualsiasi forma, con l'esclusione di quella sportiva esercitata da terra. La posizione geografica e la struttura geomorfologica che quest'area presenta ne fanno un ambiente unico e rappresentativo del Golfo di Trieste. La varietà dei substrati (rocciosi, sabbiosi e pelitici) (Tempesta *et al.*, 1996), le escursioni di marea e le variazioni termoaline annue, in gran parte causate dalla bora e dalle piene dei fiumi Isonzo e Timavo, influenzano le comunità di organismi presenti nella AMP.

All'interno della zona a protezione integrale è situata una barriera artificiale la cui posa in opera risale al 1978. Su un fondale fangoso di 16–17 m, a circa 150 m dallo spigolo del castello di Miramare, è stato posizionato un tumulo di grossi tubi di cemento del vecchio acquedotto di Trieste, del diametro di 1,5 m, disposti in modo irregolare. La barriera ha lunghezza 30 m, larghezza 6 m e altezza 3 metri nel punto più alto. La sua struttura disordinata ha permesso di creare diverse situazioni favorevoli all'attecchimento di specie sessili, nonché di fungere da riparo per banchi di diverse specie ittiche (Odorico & Ciriaco, 2004). Sempre all'interno della zona a protezione integrale, a una distanza di circa 70 m dalla costa e profondità 10 m, si trova un FAD (Fish Aggregating Device). Tale struttura, messa in posa nel 1996, è una Struttura Artificiale Leggera (SAL) con funzione aggregante, costituita da tubi corrugati di polietilene disposti in modo tale da formare una sfera di 4 m di diametro, caratterizzata da un asse centrale e 8 meridiani. Attualmente, a distanza di anni dalla posa in opera, il SAL si trova posato al fondo, essendo collassato a causa del peso delle incrostazioni (Odorico, 1997).

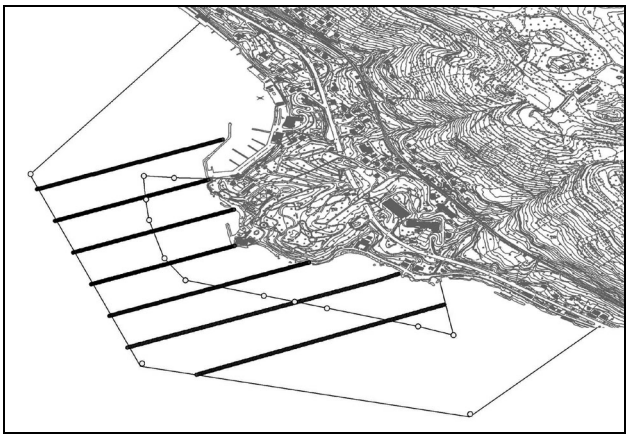

Fig. 1: Area Marina Protetta di Miramare e disegno sperimentale di campionamento.
Sl. 1: Območje Naravnega morskega rezervata Miramare in načrt vzorčenja.

Campionamenti acustici

I campionamenti acustici sono stati eseguiti mediante un echosounder Biosonics DT-X 5000 Transducer 200 kHz Split-beam. La raccolta delle coordinate geografiche da associarsi ai dati bioacustici è avvenuta grazie a un GPS Trimble TDC1. I dati acustici sono stati raccolti lungo 7 transetti paralleli equispaziati (Fig. 1), ciascuno dei quali è stato diviso in unità elementari di campionamento (EDSU – elementary distance sampling unit) di lunghezza pari a circa 10 m. Un'unità elementare di campionamento è la lunghezza della rotta entro cui le misure acustiche sono mediate per dare un unico valore che si considera rappresentativo della densità ittica al centro della EDSU (MacLennan & Simmonds, 1992). I dati acustici sono stati raccolti con cadenza circa mensile in un periodo compreso tra Aprile e Novembre 2006 e precisamente nei giorni 21.4., 18.5., 31.7., 7.8., 28.8., 1.9., 28.9., 26.10. e 9.11., per un totale di 9 uscite per ogni transetto acustico. I campionamenti sono stati effettuati in un intervallo compreso fra le 9.00 am e le 12.00 am. La raccolta dei dati acustici è stata effettuata mediante l'utilizzo del software di acquisizione Biosonics Visual Acquisition 4.02. I parametri utilizzati durante i campionamenti sono stati: "pulse width" (durata dell'impulso): 0,2 ms; frequenza di emissione: 208 kHz; "pulse per second" (numero di impulsi emessi al secondo): 4 pps; "data threshold" (valore soglia): -90 dB. Tutti i segnali al di sopra di questa soglia ricevuti dal trasduttore sono stati registrati. La velocità di crociera durante i campionamenti è stata di 2–3 nodi. Durante i campionamenti acustici una bassa velocità di crociera è importante per minimizzare possibili errori sistematici nelle stime quantitative che possono derivare dalla presenza di bolle d'aria negli strati d'acqua superficiali e dal movimento del trasduttore.

Analisi dei dati

Per l'analisi dei dati è stato utilizzato il software di analisi Biosonics Visual Analyzer versione 4.02. L'elaborazione dei dati acustici è stata divisa in diverse fasi: (1) la visualizzazione dei dati acustici e operazioni preliminari all'analisi; (2) l' analisi della "target strength"; (3) il calcolo della sezione trasversale acustica media; (4) l'echo integration e il calcolo delle densità ittiche.

In una prima fase, i dati acustici sono stati rappresentati in ecogrammi dopo aver inserito come input nel programma di analisi il coefficiente di calibrazione, ricavato secondo i metodi descritti dai protocolli della ditta costruttrice (AA.VV., 2004), un valore soglia pari a -65 dB, e i valori di temperatura e salinità della colonna d'acqua rilevati prima di ogni campionamento grazie alla sonda multiparametrica Idronaut mod. 316. I valori acquisiti dalla sonda ogni 0,1 m di profondità a partire da 0,25 m al di sotto della superficie sono stati mediati per l'intera colonna d'acqua. Sono stati esclusi dall'analisi lo strato della colonna d'acqua subito al di sopra del fondale, zona in cui lo strumento acustico non riesce a discriminare gli oggetti sonificati (MacLennan & Simmonds, 1992), e lo strato d'acqua superficiale, caratterizzato dalla presenza di bolle d'aria causate dal movimento dell'imbarcazione e da fattori meteo-marini. L'ampiezza di tali strati è stata rispettivamente di 40cm e 200 cm.

Per poter convertire l'energia acustica riflessa in densità (numero di pesci per m^2 o m^3) è necessario stimare la sezione trasversale acustica (σ) delle specie oggetto di studio. La sezione trasversale acustica e la target strength (TS) sono vie alternative per descrivere la capacità di un bersaglio di riflettere l'energia acustica ma σ è una misura lineare espressa in m^2, mentre TS è una misura logaritmica espressa in dB (MacLennan & Simmonds, 1992). Nel presente studio i valori di TS sono stati ricavati mediante misure *in situ*, data l'impossibilità di effettuare delle pescate e mancando studi pregressi sulle proprietà di riflessione acustica delle specie ittiche della AMP di Miramare. Per l'analisi della TS sono state utilizzate tutte le registrazioni effettuate nel corso dei campionamenti. Ogni registrazione è stata analizzata con appositi algoritmi del software di analisi alla ricerca di target singoli ("single target analysis"), cioè dei pesci sufficientemente lontani uno dall'altro, così da essere risolvibili acusticamente.

A questo punto, in base a tutti i valori di TS ottenuti dalla "single target analysis", si è calcolato un valore medio della sezione trasversale acustica. Per ottenere delle stime confrontabili nel tempo e nello spazio, si è utilizzato lo stesso valore di σ per convertire l'energia acustica ottenuta con il processo di echo integration. Per

ogni target singolo il valore in dB di target strength è stato convertito in m^2 secondo la formula:

$$\sigma_{bs} = 10^{TS/10}$$

Quindi, calcolando la media aritmetica dei nuovi valori, si è ottenuta una sezione trasversale acustica media pari a: $4{,}5262\times10^{-6}$ m^2. Tale valore è stato inserito nel software di analisi per convertire i valori di energia ottenuti mediante il processo di echo integration in densità ittiche. La tecnica dell'echo integration permette di calcolare l'energia proveniente da un determinato volume d'acqua. Il trasduttore converte le onde acustiche ricevute in energia elettrica. Il voltaggio generato è trasformato dalla forma analogica a quella digitale: ogni impulso emesso ("ping") risulta quindi descritto da una serie discreta di valori, chiamati "samples". Nell'echo integration ogni sample superiore ad una determinata soglia viene elevato al quadrato e sommato ai precedenti. La somma dei quadrati dei samples viene quindi divisa per il numero totale dei samples misurati e moltiplicata per parametri ambientali e di calibrazione per dare la "volume backscattering strength" (S_v), che è una misura dell'energia media riflessa dal volume d'acqua considerato. Gli algoritmi usati dal Visual Analyzer nell'echo integration calcolano S_v in termini di dB come:

$$S_v = 10 \log [\rho_c \cdot (\sum P / \sum \text{samples})$$

dove *P* sono i valori di intensità dei samples, corretti secondo la funzione 20 log R TVG ed elevati al quadrato, e ρ_c è la "system scaling constant", una costante che dipende da fattori ambientali e di calibrazione (AA.VV., 2004). Nell'analisi degli ecogrammi del presente studio, il software è stato impostato in modo tale da avere un valore di S_v per ogni unità elementare: l'energia acustica, cioè, è stata mediata su distanze pari alla lunghezza della EDSU (circa 10 m) per dare un valore unico. Mediante specifici algoritmi del software di analisi, i valori in dB di volume backscattering strength sono stati convertiti in densità di pesci per m^2 (FPUA – fish per unit area) utilizzando il valore di sezione trasversale acustica media precedentemente stimata pari a $4{,}5262\times10^{-6}$ m^2. E' importante notare che questo valore è una media calcolata su pesci di specie diverse e dimensioni diverse e per tale ragione le stime di densità devono essere considerate come indici relativi e non come misure assolute.

I dati di ogni campionamento sono stati riassunti in tabelle contenenti per ogni unità elementare (EDSU) le informazioni di latitudine e longitudine del punto iniziale e densità ittica per m^2 (FPUA). I valori di statistica descrittiva relativi a ciascun periodo di campionamento (Tab. 1) sono stati calcolati considerando le densità ittiche rilevate in tutte le EDSU di ogni transetto. La presunta non normalità della distribuzione dei dati che si può dedurre dalla statistica descrittiva è stata comunque testata con il test di Shapiro-Wilk, indicato per serie univariate di valori con $3 \leq N \leq 5000$ (Hammer *et al.*, 2008), il cui risultato ha consentito di respingere l'ipotesi nulla della distribuzione normale univariata. E' stato quindi usato il test di Kruskal-Wallis per capire se ci fossero significative differenze tra le 9 serie di dati corrispondenti ai campionamenti. Avendo a che fare con un numero molto elevato di dati relativi a diversi periodi si è deciso di procedere utilizzando tecniche di analisi statistica multivariata per poter rappresentare la struttura dei dati in uno spazio a dimensioni ridotte. La tecnica di ordinamento usata è stata l'analisi delle componenti principali (PCA). La matrice analizzata tramite PCA è formata da 435 righe che rappresentano le unità elementari (gli oggetti) e da 9 colonne che rappresentano i periodi di campionamento (le variabili), per un totale di quasi 4000 dati. L'elaborazione statistica dei dati è stata effettuata mediante il pacchetto di elaborazione statistica PAST (PAlaeontological STatistics) vers.1.78 (Hammer *et al.*, 2001).

Tab. 1: Valori di statistica descrittiva relativi alla FPUA (fish per unit area) rilevata in ogni campionamento.
Tab. 1: Opisna statistika vrednosti FPUA (fish per unit area = število rib na območno enoto), ugotovljenih v posameznih vzorčevalnih obdobjih.

	FPUA_AP	FPUA_MA	FPUA_LU	FPUA_AG07	FPUA_AG28	FPUA_SE01	FPUA_SE28	FPUA_OT	FPUA_NO
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1q	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mediana	0,11	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
3q	0,24	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,06
max	3,72	62,70	38,28	19,17	19,32	337,62	454,55	87,82	302,63
N	435	435	435	435	435	435	435	435	435
media	0,224	0,397	0,554	0,214	0,230	1,403	2,647	0,746	2,682
devst	0,3464	3,6497	2,6684	1,6007	1,6245	17,0919	27,5807	5,8090	17,5184

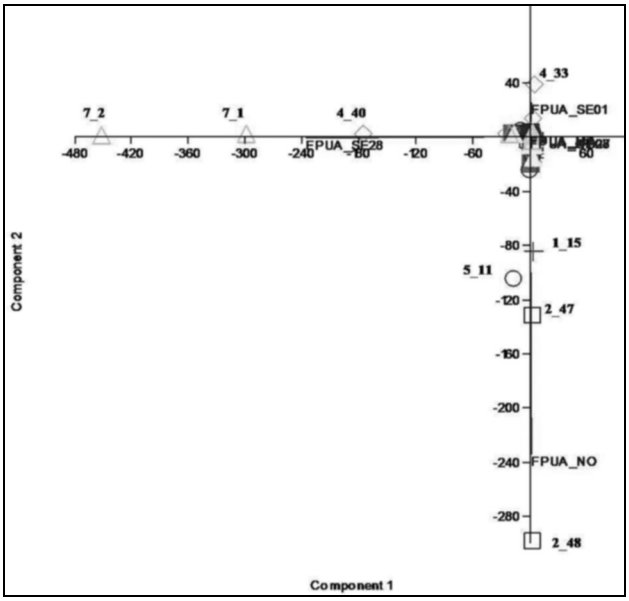

Fig. 2: Distribuzione dei valori di FPUA ottenuti dai campionamenti di Novembre 2006. Le unità elementari che si separano dalle altre nel profilo della PCA sono evidenziate con un quadrato.
Sl. 2: Razporeditev vrednosti FPUA (fish per unit area = število rib na območno enoto) novembra 2006. Osnovne enote, ločene od drugih na grafu PCA, so označene s kvadrati.

Note le coordinate geografiche associate a ciascuna unità elementare, si è deciso di rappresentare tramite il software ArcGIS 9, ArcMap vers. 9.2 i valori di densità ittica stimati in ogni mese in una mappa della AMP di Miramare, così da visualizzare e confrontare la distribuzione dei valori di FPUA lungo i transetti e facilitare l'identificazione delle unità elementari che nel diagramma della PCA si differenziano dalle altre nel contesto geografico dell'area di studio. Si è scelto di non rappresentare i valori di FPUA inferiori a 0,1 mentre i rimanenti valori sono stati discretizzati in 6 classi a ciascuna delle quali è stata associata una differente simbologia. Sono qui riportate le mappe contenenti le unità elementari poste in evidenza dalla PCA (Figg. 3, 4, 5).

RISULTATI

Dai valori di statistica descrittiva calcolati per ogni mese e riportati in tab.1 si deduce che la distribuzione dei dati è estremamente dispersa e asimmetrica. Il campo di variazione della FPUA è molto grande, ma la maggior parte dei valori si concentra vicino allo zero. Dal confronto tra le medie e le rispettive deviazioni standard si deduce quanto le densità ittiche stimate siano variabili all'interno di ogni mese. Le serie di dati del primo Settembre, del 28 Settembre e di Novembre si differenziano rispetto alle altre per la media aritmetica maggiore di 1 e i valori massimi dell'ordine delle centinaia. Anche la deviazione standard è molto alta, nell'ordine delle decine, rispetto agli altri campionamenti in cui si attesta intorno alle unità.

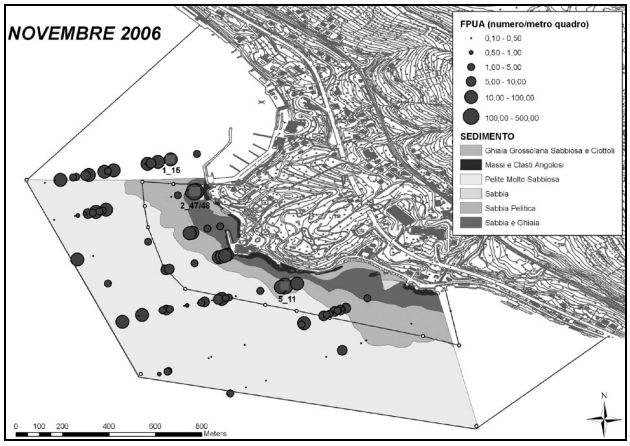

Fig. 3: Distribuzione dei valori di FPUA ottenuti dai campionamenti del primo Settembre 2006. Le unità elementari che si separano dalle altre nel profilo della PCA sono evidenziate con un quadrato.
Sl. 3: Razporeditev vrednosti FPUA 1. septembra 2006. Osnovne enote, ločene od drugih na grafu PCA, so označene s kvadrati.

La Tabella 2 riporta i valori di probabilità associati alla statistica del test di Kruskal-Wallis (che ha la stessa distribuzione del χ^2 con k-1 gradi di libertà, dove k è il numero di gruppi a confronto). In quasi tutti i casi è possibile respingere l'ipotesi nulla secondo cui i gruppi provengono dalla medesima popolazione statistica con una probabilità di commettere un errore del primo tipo inferiore al 5%. Solo in 5 dei 36 confronti effettuati non è possibile respingere l'ipotesi nulla ($\alpha = 0,05$).

Nell'analisi delle componenti principali, le prime due componenti principali sono sufficienti per descrivere il 75,36% della varianza e precisamente l'asse 1 ne condensa il 53,69%, mentre l'asse 2 il 21,67%. Nel diagramma congiunto delle variabili e degli oggetti costruito con la tecnica del biplot e basato sulle prime due componenti principali (Fig. 2), il vettore-variabile FPUA_Settembre28 è quasi parallelo al primo asse, mentre i vettori-variabile FPUA_Novembre e FPUA_Settembre01 hanno approssimativamente la stessa direzione del secondo asse.

Tab. 2: Matrice con i valori di probabilità associati alla statistica del test di Kruskal-Wallis.
Tab. 2: Matrika verjetnih vrednosti Kruskal-Wallisovega testa.

	FPUA_AP	FPUA_MA	FPUA_LU	FPUA_AG07	FPUA_AG28	FPUA_SE01	FPUA_SE28	FPUA_OT	FPUA_NO
FPUA_AP	0	8,05E-64	41,65E-29	1,05E-85	4,18E-81	1,72E-57	5,04E-42	1,45E-53	1,23E-25
FPUA_MA		0	3,02E-08	4,02E-08	1,10E-06	0,0322	8,78E-06	1,02E-08	2,75E-13
FPUA_LU			0	7,58E-26	3,26E-23	1,05E-12	0,1911	0,4528	0,0979
FPUA_AG07				0	0,5538	0,002954	4,60E-22	5,72E-33	4,24E-37
FPUA_AG28					0	0,01599	1,57E-19	1,81E-29	7,67E-34
FPUA_SE01						0	7,25E-10	5,94E-16	1,39E-20
FPUA_SE28							0	0,6173	0,005879
FPUA_OT								0	0,03543
FPUA_NO									0

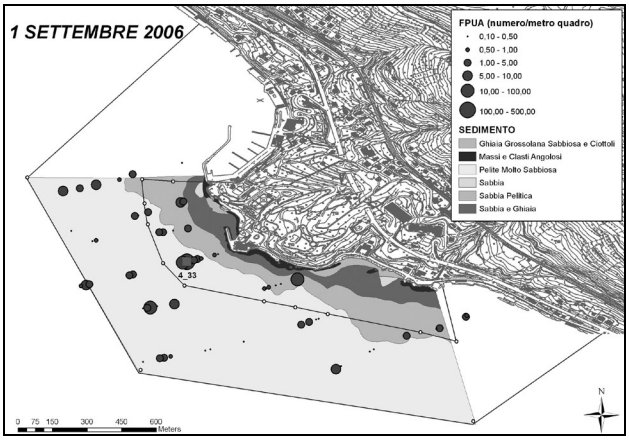

Fig. 4: Distribuzione dei valori di FPUA ottenuti dai campionamenti del 28 Settembre 2006. Le unità elementari che si separano dalle altre nel profilo della PCA sono evidenziate con un quadrato.
Sl. 4: Razporeditev vrednosti FPUA 28. septembra 2006. Osnovne enote, ločene od drugih na grafu PCA, so označene s kvadrati.

Dal diagramma è evidente che alcuni punti si separano dalla gran parte dei punti, concentrata intorno all'origine del sistema di coordinate. Essi rappresentano unità elementari caratterizzate da valori molto più elevati di densità ittica rispetto alle altre e possono essere raggruppati in tre gruppi in base alla loro posizione rispetto ai vettori-variabile: (1) le unità elementari 1 e 2 del settimo transetto e la 40 del quarto si distinguono per i valori di densità ittica rilevati nei campionamenti del 28 Settembre, (2) le unità elementari 47 e 48 del secondo transetto, la 11 del quinto transetto e la 15 del primo per i valori di densità ittica di Novembre, e (3) l'unità elementare 33 del quarto transetto per il valore rilevato il primo Settembre. I valori di densità ittica di queste unità elementari sono riportati in Tabella 3.

L'analisi degli ecogrammi corrispondenti a tali unità elementari ha evidenziato in alcuni casi importanti caratteristiche del substrato. Nel quarto transetto del primo Settembre è chiaramente visibile un grosso banco di pesce tra i 10 e i 15 m di profondità, situato per la maggior parte nell'unità elementare 33 (con densità ittica di 337,62 pesci/m^2). Il banco si trova al di sopra di una struttura sommersa che nell'ecogramma si innalza dal fondale per circa 2 m (Fig. 6). Tale struttura corrisponde alla barriera artificiale localizzata nella AMP di Miramare. Il profilo della barriera è visibile anche negli ecogrammi del quarto transetto di Luglio e del 28 Settembre (in cui si colloca l'unità elementare 40, con densità ittica di 179,28 pesci/m^2, che nella PCA si separava dalle altre EDSU) (Figg. 7, 8).

Tab. 3: Valori di FPUA delle unità elementari che si separano dalle altre nel profilo della PCA.
Tab. 3: Vrednosti FPUA osnovnih enot, ločenih od drugih na PCA grafu.

Transetto	Unità elementare	Campionamento	FPUA (pesci/m^2)
1	15	Novembre	86,94
2	47	Novembre	135,35
2	48	Novembre	302,63
4	33	1 Settembre	337,62
4	40	28 Settembre	179,28
5	11	Novembre	108,33
7	1	28 Settembre	301,71
7	2	28 Settembre	454,55

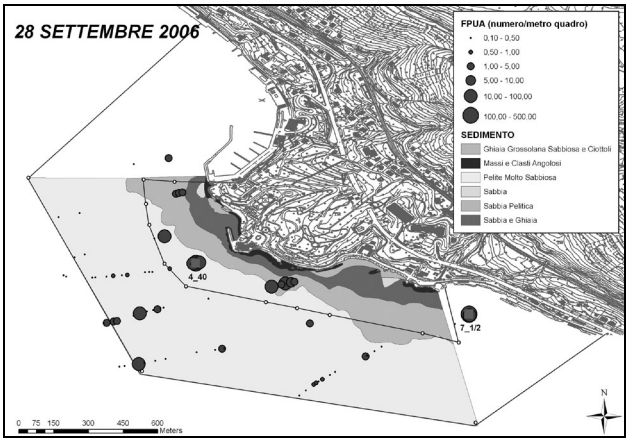

Fig. 5: Diagramma congiunto delle variabili (FPUA dei diversi periodi di campionamento) e degli oggetti (EDSU). Le variabili sono raffigurate con vettori, gli oggetti con simboli in base al transetto di appartenenza. Per alcuni oggetti è indicato il numero dell'unità elementare che rappresentano, preceduto dal numero del transetto.
Sl. 5: Ordinacijski diagram spremenljivk (FPUA iz različnih vzorčevalnih obdobij) in objektov (EDSU). Spremenljivke so prikazane z vektorji, objekti pa z različnimi simboli – v skladu s transekti, katerim pripadajo. Za nekatere objekte so podane številke transekta in EDSU.

L'analisi dell'ecogramma del quinto transetto di Novembre ha permesso di individuare un'altra peculiarità del fondale. Nell'unità elementare 11 (con densità ittica di 108,33 pesci/m^2) si osserva un banco compatto di pesce vicino al fondo, tra i 10 e i 12 m di profondità. A una distanza di circa 20–30 m da questo si trova una struttura sommersa che in fase di pre-analisi non è stata identificata come un banco di pesce per la forza dell'eco riflessa e per la forma (Fig. 9). Tale conclusione è stata avallata dal ritrovamento di una struttura dalla forma e riflessione acustica simili negli ecogrammi del quinto transetto relativi ai campionamenti del 7 e del 28 Agosto. Si tratta infatti del FAD situato all'interno della zona a protezione integrale della AMP.

L'analisi degli ecogrammi di Novembre relativi alle unità elementari 47 e 48 del secondo transetto (con densità ittica rispettivamente di 135,35 e 302,63 pesci/m^2) e 15 del primo transetto (con densità ittica di 86,94 pesci/m^2) non ha messo in evidenza particolari strutture del substrato. In corrispondenza delle suddette unità elementari, posizionate rispettivamente vicino al confine settentrionale della AMP e vicino al porticciolo di Grignano, si osservano banchi di pesce particolarmente compatti distanti un paio di metri dal fondale.

L'ecogramma del settimo transetto del 28 Settembre (Fig. 10) mostra un grosso banco di pesce a contatto con il fondo in corrispondenza delle unità elementari 1 e 2 (con densità ittica rispettivamente di 301,71 e 454,55 pesci/m^2), localizzate in prossimità del molo Sticco. Anche in questo caso, non sono evidenti particolari strutture emergenti dal substrato.

Per capire se le aree in cui si sono identificate le maggiori concentrazioni di pesce potessero essere considerate come zone di aggregazione durante tutto il periodo di campionamento, si è scelto di considerare, per ognuna delle 9 serie di dati, i valori di densità compresi in un intorno centrato sulle coordinate di latitudine e longitudine delle EDSU con i massimi valori di FPUA. Non bisogna infatti dimenticare che i dati misurati rappresentano la "fotografia acustica" di organismi in movimento, la cui posizione può variare molto in brevi intervalli di tempo. E' ragionevole perciò considerare un intorno delle EDSU caratterizzate dagli elevati valori di FPUA, che si è scelto arbitrariamente di circa 40–50 m di raggio. I valori di densità di ciascun campionamento rilevati nelle unità elementari comprese in tali intorni sono riportati nelle tabelle seguenti (Tab. 4–8).

Tab. 4: Valori di FPUA delle unità elementari corrispondenti alla zona della barriera.
Tab. 4: Vrednosti FPUA osnovnih enot v pasu grebenov.

FPUA_AP	FPUA_MA	FPUA_LU	FPUA_AG07	FPUA_AG28	FPUA_SE01	FPUA_SE28	FPUA_OT	FPUA_NO
0,71	0,00	7,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	6,24
0,23	0,17	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,06	5,65
0,14	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,01	0,01
0,12	0,00	0,86	0,00	0,00	100,38	14,98	3,12	0,02
0,03	0,00	3,08	8,18	8,32	337,62	179,28	0,04	0,01
0,07	0,00	26,49	0,00	0,00	4,09	27,67	0,00	0,00
0,00	0,00	19,08	0,00	0,00	2,81	0,00	0,00	0,00
0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	3,41	0,01	0,00	0,00
0,13	0,00	0,03	0,00	0,00	0,74	0,00	0,03	1,21

Tab. 5: Valori di FPUA delle unità elementari corrispondenti alla zona del FAD.
Tab. 5: Vrednosti FPUA osnovnih enot v pasu FAD.

FPUA_AP	FPUA_MA	FPUA_LU	FPUA_AG07	FPUA_AG28	FPUA_SE01	FPUA_SE28	FPUA_OT	FPUA_NO
0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,16	0,00	18,10
0,87	0,23	0,00	0,00	0,00	54,24	6,86	7,89	0,01
1,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,06	0,00
0,12	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	20,22	87,82	0,00
0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,59	0,01	108,33
0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,59	27,83
0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	15,98	0,01	0,00
0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 6: Valori di FPUA delle unità elementari corrispondenti alla zona al confine settentrionale della AMP.
Tab. 6: Vrednosti FPUA osnovnih enot na severni meji osrednjega pasu AMP.

FPUA_AP	FPUA_MA	FPUA_LU	FPUA_AG07	FPUA_AG28	FPUA_SE01	FPUA_SE28	FPUA_OT	FPUA_NO
1,53	0,00	3,43	19,17	19,32	0,04	3,78	0,93	0,00
0,89	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	3,33	0,46	0,00
1,43	0,00	10,65	0,00	0,00	6,23	1,92	0,00	2,58
1,27	0,00	10,99	0,00	0,00	1,14	0,00	0,22	0,00
0,51	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	5,22	135,35
0,08	0,00	0,67	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	302,63

Tab. 7: Valori di FPUA delle unità elementari corrispondenti alla zona vicino al porticciolo di Grignano.
Tab. 7: Vrednosti FPUA osnovnih enot v pasu blizu pristanišča Grignano.

FPUA_AP	FPUA_MA	FPUA_LU	FPUA_AG07	FPUA_AG28	FPUA_SE01	FPUA_SE28	FPUA_OT	FPUA_NO
0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,15	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00	0,01	0,00	0,00
0,11	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	3,61	0,00
0,19	19,51	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	86,94
0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,93	0,00	0,00
0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
0,45	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,00	0,10	0,10
0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,92

Tab. 8: Valori di FPUA delle unità elementari corrispondenti alla zona del molo Sticco.
Tab. 8: Vrednosti FPUA osnovnih enot v pasu pomola Sticco.

FPUA_AP	FPUA_MA	FPUA_LU	FPUA_AG07	FPUA_AG28	FPUA_SE01	FPUA_SE28	FPUA_OT	FPUA_NO
0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	301,71	0,00	0,00
0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	454,55	0,00	0,00
0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,82	0,00	0,35
0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00
0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	1,36	0,00	0,00	0,00
0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Dal confronto delle tabelle risulta che nell'arco del periodo di campionamento sono stati rilevati elevati valori di FPUA con frequenza maggiore nelle zone della barriera, del FAD e al confine settentrionale della AMP rispetto alle altre due zone considerate. Valori di FPUA maggiori di 10 pesci/m^2 sono stati osservati rispettivamente in 3 (zona della barriera) e in 4 (zona del FAD e zona al confine settentrionale della AMP) dei 9 campionamenti. Nella zona del molo Sticco e nella zona vicina al porticciolo di Grignano, valori così elevati sono stati rilevati solo 1 e 2 volte rispettivamente.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha permesso di evidenziare alcune importanti caratteristiche della distribuzione geografica della componente ittica della AMP di Miramare. I campionamenti effettuati hanno identificato le maggiori concentrazioni di pesce in 5 aree: la zona della barriera, la zona del FAD, la zona al confine setten-

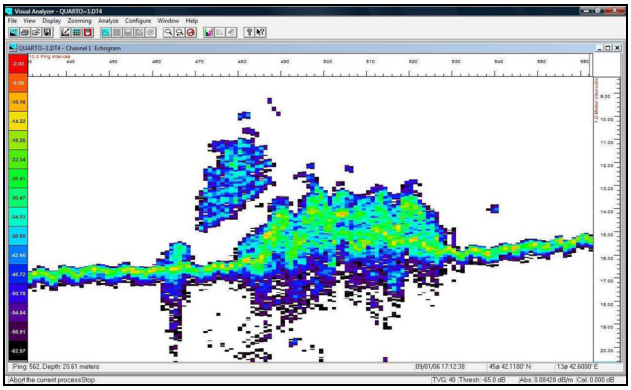

Fig. 6: Particolare dell'ecogramma relativo al quarto transetto del primo Settembre 2006 in cui si può osservare la barriera sovrastata da un banco di pesci.
Sl. 6: Detajl ehograma četrtega transekta z dne 1. septembra 2006, ki prikazuje ribjo jato nad grebenom.

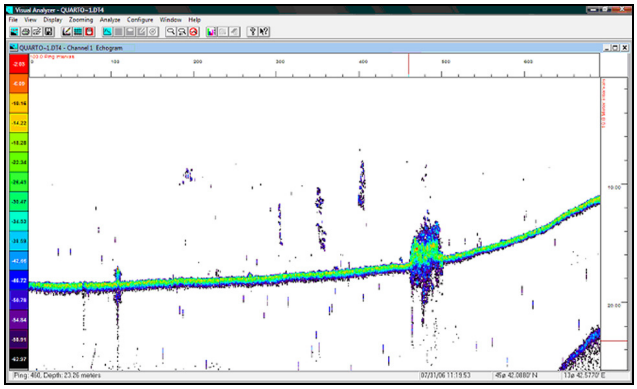

Fig. 7: Ecogramma relativo al quarto transetto di Luglio 2006.
Sl. 7: Ehogram četrtega transekta z dne 1. julija 2006.

trionale della AMP, la zona vicina al porticciolo di Grignano e la zona del molo Sticco. Dall'osservazione dei valori in Tabelle 4–8 e dal confronto visivo delle mappe sembra che la probabilità di trovare aggregazioni ittiche in prossimità della barriera, del FAD e al confine settentrionale della AMP sia maggiore rispetto agli altri siti campionati nell'area di studio. La zona vicina al porticciolo di Grignano e la zona del molo Sticco non sembrano invece costituire dei punti con un potenziale di aggregazione costante durante il periodo di campionamento.

I risultati ottenuti confermano il potenziale aggregativo di strutture artificiali quali barriere e FAD e dimostrano la validità dell'utilizzo di echosounder per lo studio dei popolamenti ittici in strutture artificiali. Sebbene tecniche acustiche attive siano state applicate con successo nel monitoraggio di piattaforme petrolifere e impianti idroelettrici (Thorne, 1994; Stanley & Wilson, 1998; Stanley & Wilson, 2000; Soldal *et al.*, 2002), pochi sono gli studi finora condotti su barriere artificiali (Thorne *et al.*, 1989; Fabi & Sala, 2002; Sala *et al.*, 2007). Dati utili alla gestione di barriere artificiali nel Mar Adriatico (Italia) provengono dagli studi idroacustici condotti da Fabi & Sala (2002) nella barriera artificiale di Senigallia. Il posizionamento di echosounder stazionari all'interno e all'esterno dell'area della barriera permise di registrare valori più elevati di biomassa ittica vicino alla struttura artificiale, mentre ad una distanza di 80 m gli effetti della barriera erano ridotti. Nel presente studio, l'acquisizione di dati è avvenuta lungo transetti mediante un echosounder in movimento e quindi la quantità di dati raccolti nell'area della barriera e del FAD è limitata. Ciò nonostante, è comunque evidente la peculiarità di queste due zone all'interno dell'area di studio.

L'importanza della barriera era già stata sottolineata da studi condotti tramite "visual census" che avevano messo a confronto la barriera artificiale della AMP e la scogliera situata al di sotto del Castello di Miramare con altri ambienti del Golfo di Trieste che, come la barriera, costituiscono siti di aggregazione ittica in aree al largo caratterizzate da substrato molle, quali il Dosso di S.ta Croce, le strutture sperimentali sotto alle mitilicolture in zona Sistiana-Villaggio del Pescatore e le piramidi presso i Filtri di Aurisina. Da tali studi risultava evidente la disparità qualitativa e quantitativa degli avvistamenti di specie ittiche effettuati nelle stazioni di Miramare con la situazione all'esterno dell'area protetta (Castellarin *et al.*, 2001). Sebbene la tecnica del "visual census" sia tra i metodi più comunemente utilizzati per la valutazione delle aggregazioni ittiche su substrati rocciosi naturali e su barriere artificiali (Charbonnel *et al.*, 1997), le condizioni ambientali e il comportamento delle diverse specie possono costituire importanti limiti: la trasparenza dell'acqua può compromettere il campionamento, mentre il comportamento di specie criptiche può ridurre la loro probabilità di incontro, portando ad una sottostima della reale abbondanza (Harmelin-Vivien *et al.*, 1985). L'utilizzo di tecniche acustiche attive rappresenta perciò un valido strumento complementare ai censimenti visivi nello studio delle barriere artificiali. In tale ottica l'echosounder potrà essere utilizzato per ottenere stime quantitative più precise della componente ittica nella barriera di ripopolamento della Riserva di Miramare e per condurre uno studio comparato delle barriere artificiali sperimentali e delle afferrature al largo presenti nel Golfo di Trieste (Odorico & Costantini, 2001).

Sebbene i monitoraggi acustici non abbiano messo in evidenza particolari caratteristiche del substrato nella zona vicino al confine settentrionale della AMP, tale area è caratterizzata da massi e rocce di modeste dimensioni (diametro inferiore a 1 m), disposti in modo eterogeneo su un fondale di sabbia e ghiaia *(pers.*

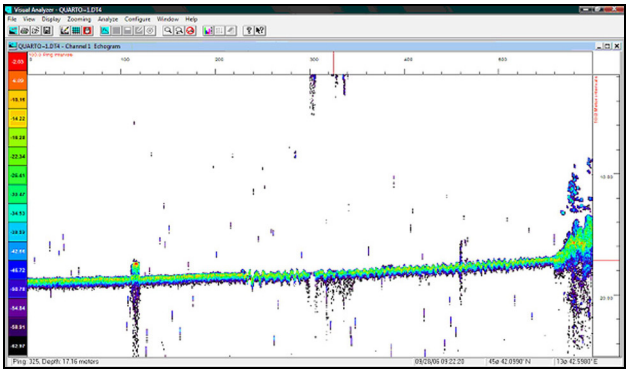

Fig. 8: Ecogramma relativo al quarto transetto del 28 Settembre 2006.
Sl. 8: Ehogram četrtega transekta z dne 28. septembra 2006.

observ.). Una gran quantità di studi dimostra che la struttura dell'habitat ha importanti conseguenze sulla distribuzione spaziale dei popolamenti ittici, sia in in ambienti rocciosi temperati (Choat & Ayling, 1987; Tupper & Boutilier, 1997; García-Charton & Pérez-Ruzafa, 2001) che tropicali (Tolimieri, 1995; Friedlander & Parrish, 1998; Holbrook *et al.*, 2000). La presenza di massi sul fondale e la vicinanza alle rocce della costa potrebbero quindi spiegare gli elevati valori di densità ittica rilevati nell'area al confine settentrionale della AMP.

Non bisogna comunque dimenticare che i dati raccolti rappresentano delle "fotografie" di una situazione puntiforme nel tempo e nello spazio. Data la brevità del periodo di campionamento, i risultati ottenuti non possono assumere carattere inferenziale, ma solo descrittivo. Per poter capire se le aree osservate siano dei punti di aggregazione ittica durante tutto l'anno o solo in determinati periodi è necessaria la raccolta di una maggior quantità di osservazioni. Lo studio sino ad ora condotto costituisce quindi un pre-survey per la pianificazione di ulteriori ricerche che potranno confermare il potenziale aggregativo delle zone della barriera, del FAD e del confine settentrionale della AMP. A tale scopo sarà utile lo studio specifico della densità ittica in tali aree target. In questa prospettiva, un importante risultato raggiunto con la presente ricerca è stata la standardizzazione di un metodo di acquisizione ed elaborazione dei dati acustici che potrà essere utilizzato come protocollo di riferimento in monitoraggi futuri, permettendo in tal modo il confronto dei dati e lo studio delle variazioni di densità ittica su scala temporale più ampia.

Poiché gli ecogrammi non forniscono sufficienti informazioni per identificare con certezza le specie sonificate, si è voluto condurre uno studio comparato delle misurazioni ricavate tramite echosounder con i dati ottenuti dai censimenti visivi. I dati di "visual census" raccolti in barriera nello stesso periodo in cui si sono svolti i campionamenti acustici mostrano valori elevati di abbondanza per cefali (Mugilidae), corvine *(Sciaena umbra)* e saraghi *(Diplodus vulgaris, D. sargus, D. puntazzo, D. annularis)* (AA.VV., 2007). Queste sono specie dalle abitudini gregarie, che vivono a limitate profondità e prediligono substrati rocciosi (ad eccezione dei cefali, che sono specie ubiquitarie). Si è perciò ipotizzato che le elevate densità rilevate in barriera fossero dovute soprattutto a cefali, corvine o saraghi. La realizzazione di censimenti visivi anche nella zona del FAD e nella zona vicino al confine settentrionale della Riserva permetterebbe di ottenere informazioni sulle specie presenti in tali aree con potenziale aggregativo. Inoltre, l'ausilio di una videocamera via cavo durante monitoraggi acustici futuri consentirà di ottenere maggiori informazioni sulle specie sonificate e sulle loro proprietà di riflessione acustica, così da facilitare il riconoscimento delle specie sulla base della tipologia dei banchi visualizzati negli ecogrammi.

Lo studio condotto ha dimostrato la validità di una metodologia di campionamento che può essere utilizzata per migliorare l'efficacia di gestione delle aree marine protette. La limitata estensione della AMP di Miramare ne facilita il controllo e la gestione rispetto ad altre aree marine protette che si estendono su superfici ben più ampie. In tale aree, l'utilizzo di tecniche acustiche attive permetterebbe di scoprire zone di aggregazione ittica che dovrebbero essere maggiormente tutelate dall'impatto antropico. Il posizionamento di campi ormeggio e ancoraggio, la creazione di zone interdette alla navigazione e la gestione del turismo e delle visite subacquee dovrebbero tener conto delle zone individuate. Le aree di aggregazione ittica, inoltre, costituendo potenziali aree di interesse per i pescatori, potrebbero rappresentare importanti punti di riferimento nella pianificazione delle strategie di controllo e sorveglianza all'interno di una AMP.

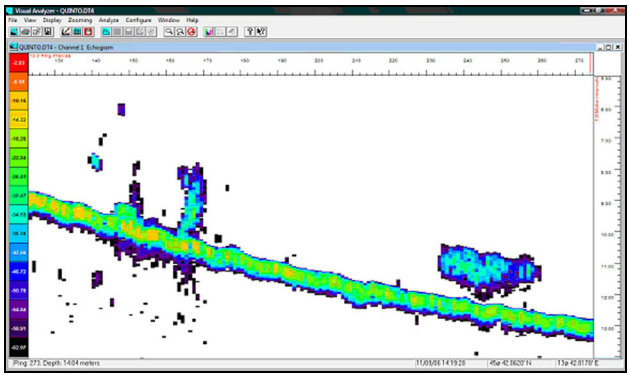

Fig. 9: Particolare dell'ecogramma relativo al quinto transetto di Novembre 2006. Sulla destra si osserva un banco di pesci, separati dal fondale, sulla sinistra la struttura del FAD.
Sl. 9: Detajl ehograma petega transekta iz novembra 2006, ki prikazuje ribjo jato (na desni) in profil FAD (na levi).

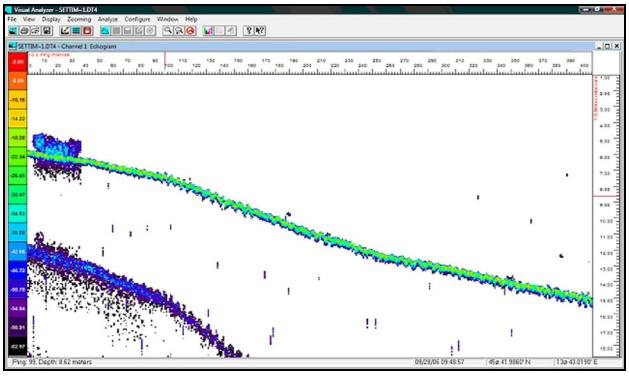

Fig. 10: Ecogramma relativo al settimo transetto del 28 Settembre 2006.
Sl. 10: Ehogram sedmega transekta z dne 28. septembra 2006.

Infine, la valutazione dell'efficacia ed efficienza della gestione delle aree protette in termini di impatti positivi o negativi che essa produce è un argomento molto sentito presso la AMP di Miramare che da anni è sito di sperimentazione della valutazione dell'efficacia all'interno di un progetto internazionale di applicazione delle linee guida del manuale IUCN NOAA WWF intitolato "How is your MPA doing – a guidebook of natural and social indicators for evaluating Marine Protected Areas Management Effectiveness" (Pomeroy *et al.*, 2004). Indici ed indicatori di misura del risultato delle azioni di gestione sono numerosi, ma vanno in ogni caso riferiti e adattati alla realtà in cui si opera. L'uso dell'echosounder per la valutazione dei popolamenti ittici all'interno dell'area protetta, grazie alla rapidità nell'acquisizione dati e alla possibilità di coprire ampie zone, e la definizione di un protocollo di analisi e interpretazione dei dati raccolti si inseriscono perfettamente quali strumenti a supporto della misurazione di alcuni indicatori biofisici dell'efficacia legati alla componente ittica.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Direttore dott. Maurizio Spoto e tutto lo staff di Miramare per aver messo a disposizione la strumentazione necessaria allo svolgimento del presente lavoro. Un ringraziamento particolare va al dott. Ciriaco, per i consigli informatici, e al dott. Vinzi , per le uscite in barca. Grazie di cuore anche al dott.Costantini per i preziosi consigli e le proficue discussioni.

ANALIZA BIOAKUSTIČNIH PODATKOV PRIDOBLJENIH Z EHOSONDERJEM ZA OCENO RIBJIH POPULACIJ V NARAVNEM MORSKEM REZERVATU MIRAMARE

Serena DONADI & Milena TEMPESTA
Area Marina Protetta di Miramare, I-34014 Trieste, v.le Miramare 349, Italia
E-mail: serenadonadi@yahoo.it

Donatella DEL PIERO
Dipartimento Scienze della Vita, Università degli Studi di Trieste, I-34133 Trieste, Via Giorgieri 10, Italia

POVZETEK

Akustične metode so neinvazivne in zato predstavljajo primerno orodje za dopolnitev opazovalnih cenzusov ("visual census") pri raziskavah in monitoringu ribjih populacij znotraj zavarovanih morskih območij. Med aprilom in novembrom 2006 so avtorji raziskovali prostorsko razporeditev ribjih populacij znotraj Naravnega morskega rezervata Miramare (Tržaški zaliv, severni Jadran), z uporabo znanstvenega ehosonderja split-beam. Tako so bili ugotovljeni potencialni predeli, kjer se ribe združujejo. Na predelu ob grebenu, FAD-a (fish aggregating device) in severne meje rezervata, je bila v vzorčevalnem obdobju ugotovljena visoka gostota ribjih populacij. Pridobljeni rezultati predstavljajo pomembno informacijo za upravljanje in oceno učinkovitosti upravljanja zavarovanega morskega rezervata.

Ključne besede: Naravni morski rezervat Miramare, ribja gostota, ehosonder

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1999): Fish visual census in Marine Protected Areas. Proceeding of the International Workshop, Ustica, Italy, 26–28 June 1997. Naturalista Sicil., XXIII (suppl.), 1–293.

AA.VV. (2004): User Guide Visual Analyzer 4. Bio-Sonics Inc., Seattle (WA).

AA.VV. (2007): Valutazione dell'impatto delle attività subacquee. Relazione interna. WWF Italia – Riserva Naturale Marina di Miramare, Trieste.

Castellarin, C., G. Visintin & R. Odorico (2001): L'ittiofauna della Riserva Naturale Marina di Miramare (Golfo di Trieste, Alto Adriatico). Annales, Ser. Hist. Nat., 11(2), 207–216.

Charbonnel, E., P. Francour & J. G. Harmelin (1997): Finfish populations assessment techniques on artificial reefs: a review in the European Union, in European Artificial Reef Research. Southampton Oceanography Center, Jensen, AC., pp. 261–277.

Choat, J. H. & A. M. Ayling (1987): The relationship between habitat structure and fish faunas on New Zealand reefs. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 110, 257– 284.

Costantini, M., E. Vinzi, M. Trazzi, V. Martinelli, S. Ciriaco & M. Spoto (2004): Distribuzione spazio temporale dei banchi di pesce nella WWF – Riserva Naturale Marina di Miramare: anni 2003–2004. Hydrores Information, 26, 14–20.

Fabi, G. & A. Sala (2002): An assessment of biomass and diel activity of fish at an artificial reef (Adriatic sea) using a stationary hydroacoustic technique. ICES J. Mar. Sci., 59, 411–420.

Friedlander, A. M. & J. D. Parrish (1998): Habitat characteristics affecting fish assemblages on a Hawaiian coral reef. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 224, 1–30.

García-Charton, J. A. & A. Pérez-Ruzafa (2001): Spatial pattern and the habitat structure of a Mediterranean reef fish local assemblage. Mar. Biol., 138, 917–934.

Hammer, Ø., D. A. T. Harper & P. D. Ryan (2001): PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontol. Electronica, 4(1).
http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

Hammer, Ø., D. A. T. Harper & P. D. Ryan (2008): PAST – PAlaeontological STatistics, ver. 1.76 Users guide. http://folk.uio.no/ohammer/past/ (2008–01)

Harmelin-Vivien, M. L., J. G. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, R. Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, R. Chevalier, J. Duclerc & G. Lasserre (1985): Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: Méthodes et problémes. Rev. Ecol. Terre & Vie, 40, 467–539.

Holbrook, S. J., G. E. Forrester & R. J. Schmitt (2000): Spatial patterns in abundance of a damselfish reflect availability of suitable habitat. Oecologia, 122, 109–120.

MacLennan, D. N. (1990): Acoustical measurement of fish abundance. J. Acoust. Soc. Am., 87, 1–15.

MacLennan, D. N. & J. Simmonds (1992): Fisheries Acoustics. Chapman & Hall, London, 325 p.

Misund, O. A. (1997): Underwater acoustics in marine fisheries and fisheries research. Rev. Fish Biol. Fish., 7, 1–34.

Odorico, R. (1997): Studio preliminare per la messa in opera di un sistema di aggregazione di specie ittiche mediante Strutture Artificiali Leggere (SAL). Relazione interna. WWF – Riserva Naturale Marina di Miramare, Trieste.

Odorico, R. & M. Costantini (2001): Linea 2.a.12: Valutazione della pescosità in zone ad elevata aggregazione ittica. Shoreline Soc. Coop. per Azienda Speciale Aries – CCIAA di Trieste, progetto Pilota sulla gestione delle zone di pesca. L.R. 11/98. WWF Italia – Riserva Naturale Marina di Miramare, Trieste.

Odorico, R. & S. Ciriaco (2004): Realizzazione di un progetto di sperimentazione sulla "valutazione e allocazione delle risorse alieutiche" (linea d'azione 5). Progetto di valorizzazione dei risultati del programma Pesca ed avvio di forme di sviluppo integrato del settore alieutica del Golfo di Trieste" (ARIES PESCA 2000–2003) finanziato nell'ambito della Misura 4.4 del Programma operativo regionale SFOP 2000–2006. WWF Italia – Riserva Naturale Marina di Miramare, Trieste.

Pomeroy, R. S., J. E. Parks & L. M. Watson (2004): How is your MPA doing? A guidebook of natural and social indicators for evaluating Marine Protected Area Management Effectiveness. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Sala, A., G. Fabi & S. Manoukian (2007): Vertical diel dynamic of fish assemblage associated with an artificial reef (Northern Adriatic Sea). Sci. Mar., 71(2), 355–364.

Soldal, A. V., I. Svellingen, T. Jorgensen & S. Lokkeborg (2002): Rigs-to-reefs in the North Sea: hydroacoustic quantification of fish in the vicinity of a "semi-cold" platform. ICES J. Mar. Sci., 59, 281–287.

Stanley, D. R. & C. A. Wilson (1998): Spatial variation in fish density at three petroleum platforms as measured with dualbeam hydroacoustics. Gulf Mex. Sci., 1, 73–82.

Stanley, D. R. & C. A. Wilson (2000): Variation in the density and species composition of fishes associated with three petroleum platforms using dual beam hydroacoustics. Fish. Res., 47, 161–172.

Tempesta, M., R. Treleani, C. Ceschia & G. Orel (1996): Proposta di mappatura dei fondi mobili della Riserva marina di Miramare tramite lo studio del macrozoobenthos. Hydrores, Anno XIII, 14, 57–62.

Thorne, R. E. (1994): Hydroacustic remote sensing for artificial habitat. Bull. Mar. Sci., 55, 897–901.

Thorne, R. E., J. B. Hedgepath & J. Campos (1989): Hydroacoustic observations of fish abundance and behavior around an artificial reef in Costa Rica. Bull. Mar. Sci., 44(2), 1071–1989.

Tolimieri, N. (1995): Effects of microhabitat characteristics on the settlement and recruitment of a coral reef fish at two spatial scales. Oecologia, 102, 52–63.

Tupper, M. & R. G. Boutilier (1997): Effects of habitat on settlement, growth, predation risk and survival of a temperate reef fish. Mar. Ecol. Prog. Ser., 151, 225–236.

Vacchi, M. & G. La Mesa (1999): Fish visual census in Italian Marine Protected Area: experience and perspectives. Naturalista Sicil., XXIII (suppl.), 105–121.