

Corso di Laurea in Scienze Biologiche

**Differenze comportamentali tra individui di *Sparus aurata* (L., 1758) selvatici e allevati
in relazione alla predazione su
Cerastoderma glaucum (Poiret, 1789)**



Tesi di laurea di
Giancarlo Marino

Relatore
Ch.mo Prof. Antonio Mazzola

Correlatori
Dr.^{ssa} Chiara Romano
Dr. Gianluca Sarà

Corso di Laurea in Scienze Biologiche

**Differenze comportamentali tra individui di *Sparus aurata* (L., 1758) selvatici e allevati
in relazione alla predazione su
Cerastoderma glaucum (Poiret, 1789)**

Tesi di laurea di
Giancarlo Marino

Relatore
Ch.mo Prof. Antonio Mazzola

Correlatori
Dr.^{ssa} Chiara Romano
Dr. Gianluca Sarà

Anno Accademico 2003/2004

“Non chi comincia ma quel che persevera”

Nave scuola Amerigo Vespucci

INTRODUZIONE

Generalità sulla Predazione

L'evento predatorio può essere definito come:

- il metodo per mezzo del quale una popolazione trae beneficio a spese di un'altra;
- il processo ecologico durante il quale energia e materia fluiscono da una specie ad un'altra (Taylor, 1984);
- l'interazione negativa tra popolazioni in cui una attacca direttamente l'altra pur dipendendo da lei (Odum, 1988);
- il fenomeno di cattura e di uccisione delle prede da parte degli animali più grandi che consente il mantenimento dell'equilibrio biologico dell'ecosistema.

Modelli di interazione predatore-preda

Il Modello di Lotka e Volterra

Negli anni Venti del XX secolo Alfred J. Lotka e Vito Volterra proposero semplici modelli di dinamica dei predatori e delle prede che prevedevano cicli delle loro popolazioni (Ricklefs, 1978). Questi modelli utilizzavano equazioni differenziali in cui il tasso di rimozione delle prede, ossia il numero di prede che muoiono nell'unità di tempo era esprimibile come prodotto della densità della popolazione dei predatori P , della densità della popolazione delle prede N e della frequenza di cattura f , intesa come numero massimo di prede catturate, manipolate e assimilate nell'unità di tempo.

Secondo Lotka e Volterra il tasso di accrescimento della popolazione delle prede, dN/dt , è il risultato di due componenti: (1) l'accrescimento esponenziale non-limitato in assenza di predatori, rN , dove r è il tasso intrinseco di accrescimento esponenziale (la differenza tra il tasso di natalità pro capite e il tasso di mortalità pro capite), e (2) il tasso di rimozione delle prede ad opera dei predatori, fNP . Ossia:

$$dN/dt = rN - fNP.$$

Il tasso di accrescimento della popolazione dei predatori è il risultato del bilancio tra il tasso di accrescimento *pro-capite* dei predatori cfN (dove c è l'efficienza di conversione dell'alimento) e il tasso di mortalità m , costante imposta al sistema da fattori esterni quali condizioni ambientali:

$$dP/dt = cNP - mP.$$

Nel momento in cui le popolazioni del predatore e della preda raggiungono l'equilibrio ($dN/dt = 0$ e $dP/dt = 0$), $rN = fNP$ e $cfN = mP$. Si ottiene, pertanto, che all'equilibrio le abbondanze della popolazione del predatore (P_e) e della preda (N_e) siano date rispettivamente da: $P_e = r/f$ e $N_e = m/cf$, ovvero ciascuna popolazione è indipendente dall'ammontare dell'altra. Il punto in cui le curve P_e e R_e s'intersecano è detto punto di equilibrio congiunto e rappresenta l'unica combinazione stabile delle abbondanze delle due popolazioni P e N

La Risposta Funzionale

La relazione fra il tasso di consumo dell'alimento da parte di un predatore e la densità delle prede è stata definita dall'entomologo canadese C.S. Holling "risposta funzionale". I modelli di Lotka e Volterra, che impiegano una curva di risposta funzionale di tipo I, sono intrinsecamente instabili, mentre le curve di tipo II danno stabilità al sistema ad elevati valori di densità delle prede e quelle di tipo III possono produrre una regolazione stabile delle popolazioni delle prede anche a bassa densità. Questo fenomeno si verifica a causa di vari fattori, quali:

- la presenza di un numero di nascondigli sufficiente a offrire protezione alle poche prede presenti nel territorio;
- il mancato rinforzo dell'apprendimento nella ricerca, dato da una bassa probabilità di incontro della preda;
- il passaggio a fonti alternative di alimento.

Holling descrisse la stabilizzazione dei tassi di consumo da parte del predatore al crescere dell'abbondanza delle prede formulando una relazione nota come "equazione del disco" che tiene conto della densità delle prede, del tempo di ricerca e della sua efficienza (Ricklefs, 1978).

La Risposta Numerica

Secondo tale modello all'aumentare della densità della preda aumenta la popolazione dei predatori. Le popolazioni dei predatori e delle prede tendono a raggiungere dimensioni ad equilibrio costante. Fattori destabilizzanti portano tuttavia ad oscillazioni cicliche (Ricklefs, 1978). Tali fattori si possono riassumere in:

- ✓ inefficienza del predatore;
- ✓ limitazione della densità di predatori o delle prede per cause esterne alla loro relazione;
- ✓ fonti alimentari alternative per il predatore;
- ✓ rifugi dalla predazione a bassa densità di preda;
- ✓ riduzione dei tempi di risposta del predatore al variare dell'abbondanza della preda.

Il Modello di Ottimizzazione del Comportamento di Foraggiamento

La teoria più utilizzata per formulare previsioni sul comportamento predatorio di un organismo è quella dell'Optimal Foraging Theory. Essa si basa sull'assunto che grazie alla selezione naturale il comportamento degli organismi si è evoluto in maniera tale da massimizzare la differenza tra benefici e costi (Alcock, 1992). Nel caso particolare del comportamento di alimentazione, un predatore nella ricerca di cibo e nella scelta della preda tende ad aumentare al massimo il guadagno netto che da tali attività può trarre. Il predatore, pertanto, tende a comportarsi in maniera tale da massimizzare il rapporto E/T dove E è il contenuto energetico della preda e T è il tempo necessario per procurarsela. Esso comprende i tempi di ricerca, cattura e manipolazione. In base a questo modello è possibile prevedere se un predatore che incontra una preda la sceglierà oppure la ignorerà per ricercarne un'altra di una specie o di una taglia diversa. Per esempio, quando la disponibilità della preda più vantaggiosa (ossia con un maggiore rapporto E/T) sarà elevata il predatore sceglierà di cibarsi esclusivamente di essa. Egli concentrerà le sue energie ricercando le prede più vantaggiose e tenderà a scartare ed escludere quelle meno vantaggiose, indipendentemente dalla loro abbondanza. Al diminuire della disponibilità della preda

più vantaggiosa il predatore comincerà ad accettare anche le altre prede pertanto cambierà la sua strategia alimentare da *specialista* a *generalista* quando il cibo preferito sarà scarso. Viceversa, si convertirà da *generalista* a *specialista* quando esso sarà abbondante (Krebs & Davies, 1993).

Talvolta il comportamento alimentare di alcuni animali non appare efficiente e sembra che essi si comportino in maniera non conforme alle previsioni del modello di ottimizzazione attuando dei compromessi. Tali compromessi derivano dalla necessità di prendere in considerazione altri fattori, quali l' esigenza di una dieta bilanciata oppure il pericolo rappresentato dai predatori durante l'attività di alimentazione. E' possibile in tal caso costruire e saggiare modelli basati sull'ottimizzazione che tengano conto anche di questi fattori che condizionano l'attività di alimentazione degli animali.

Tali considerazioni valgono in ambiente terrestre come in ambiente acquatico, sia esso marino che di acqua dolce, anche se non esistono molti dati che ci permettano di valutare i differenti aspetti della predazione negli ecosistemi marini. Per questioni di carattere pratico è risultato comunque più semplice compiere studi sperimentali in ambienti confinati piuttosto che direttamente in campo, dove, ad esempio, può essere difficile effettuare controlli sul numero e sulla taglia delle prede (Valiela, 1984).

Comportamento predatorio dei pesci

La ricerca del cibo è uno dei principali interessi quotidiani dei pesci (Pitcher 1996). Un pesce impiega la maggior parte del suo tempo e delle sue energie per cercare cibo e nutrirsi, sempre che si presentino le condizioni ambientali idonee.

In un esperimento condotto da Thomas (1974) si osservava che la distanza lineare percorsa dai pesci varia in funzione delle prede a disposizione. In particolare lo "Spinarello dalle tre spine", *Gasterosteus aculeatus*, non soddisfatto della qualità dei vermi *Tubifex* disponibili in un'area, si spingeva più velocemente ad esplorare nuove aree alla ricerca di cibo più appetibile. Infatti, sembra che i pesci riescano a distinguere tra la diversa resa energetica della preda, probabilmente in base alla loro esperienza pregressa.

I pesci tenderebbero a massimizzare il tasso di energia guadagnata a lungo termine. Questa è intesa come rapporto tra l'incremento energetico fornito dalla preda (energia assimilata / energia spesa per la sua cattura) e tempo impiegato per la ricerca e la cattura della preda (O'Brien, 1989).

Ware (1978) teorizza una relazione tra velocità ottimale di ricerca e concentrazione di cibo, la quale è funzione della taglia degli organismi investigati. Su queste basi, è stato visto che all'aumentare della disponibilità di cibo aumenta il fabbisogno energetico e quindi la velocità di ricerca (Pitcher 1996).

Nell'equazione di Holling (1959) si propone tra l'altro di dividere il tempo totale di predazione in tempo di ricerca e tempo di manipolazione; tale accorgimento può avere un peso rilevante nello studio della predazione sui bivalvi, dove alla facilità di cattura si affiancano anche le difficoltà legate all'individuazione sul fondo e all'apertura delle valve (Pitcher, 1996).

Hart ed Ison (1991) hanno provato a verificare i modelli teorici di predazione osservando il comportamento dello Spinarello su sette differenti taglie dei crostacei isopodi appartenenti al genere *Asellus*. I due autori hanno dimostrato che lo Spinarello presentava una percentuale di accettazione della preda di piccole dimensioni (sotto i 6 mm di lunghezza) che rasentava il 100%. In aggiunta a ciò, è stato evidenziato come il pesce, una volta individuata una preda, riesca a percorrere una serie di tappe "decisionali" prima di attuare la predazione (Wootton, 1999). In particolare, ad un primo interesse che nasce dalla valutazione delle dimensioni, segue la valutazione di una serie di parametri quali il grado di pienezza dello stomaco (*i.e.* livello di sazietà) e il valore energetico massimo assimilabile. I valori vengono di volta in volta riconsiderati finché lo stimolo della fame non si placa e la ricerca del cibo si arresta.

Secondo Fretwell & Lucas (1970) il comportamento predatorio è determinato non solo dall'abbondanza di cibo e dalla sua resa energetica ma anche alla distribuzione di esso, teorizzando così una distribuzione libera ideale (IFD) secondo la quale:

1. regioni a differente distribuzione presentano una differente disponibilità da parte dei predatori;
2. l'aumento della competizione fa diminuire la disponibilità energetica;

3. una distribuzione omogenea lascia il predatore libero di potersi spostare a suo piacimento senza essere costretto a difendere la risorsa;
4. tutti gli individui scelgono le regioni di caccia che più soddisfanno il loro comportamento alimentare e da cui possono trarre i maggiori benefici;
5. l'abilità nella conquista del cibo è simile per tutti.

Il rispetto di queste condizioni è legato al fatto che alcuni pesci possono modificare il loro comportamento in base al territorio che occupano e in relazione sia alla stagione dell'anno sia al tempo di permanenza in quella regione. Da tutto ciò deriva la qualità estremamente dinamica del comportamento predatorio dei teleostei, impegnati a conciliare al meglio le loro necessità fisiologiche alla variabilità di situazioni che di volta in volta si prospettano nel corso della loro esistenza.

I modelli descritti assumono che un pesce risponda in maniera continua a certe variabili dell'ambiente (Wootton, 1999). All'interno di un dominio frequentato da un pesce, la distribuzione ed il tipo di preda variano con le stagioni ed un predatore deve costantemente modificare il proprio comportamento in maniera tale da sopravvivere (Mann, 1982). L'apprendimento permette ad un pesce predatore di adattarsi alle variazioni sistematiche dell'ambiente. Ovviamente le capacità di apprendimento richiederanno al pesce sia tempo che energia e le capacità si svilupperanno se i benefici ottenibili supereranno i costi (Orians, 1981). Incrementi dell'efficienza di alimentazione dovuti all'esperienza continuano a verificarsi anche durante la vita adulta di un pesce (Pitcher, 1996). Per esempio, è stato dimostrato che nello "Spinarello dalle cinque spine", *Spinachia spinachia*, sia la frequenza media che l'efficienza media di attacco aumentano con l'esperienza. Queste modificazioni si verificano quando al pesce si presentano i crostacei *Gammarus* e *Artemia* o un misto dei due in *trial* successivi. Quando i *trial* sono separati da meno di due giorni il tempo di manipolazione della preda diminuisce per entrambi i tipi di preda e il comportamento alimentare si semplifica e si velocizza. Nessun miglioramento invece è stato riscontrato quando le prove sperimentali sono separate da più di due giorni poiché lo spinarello dimentica le abilità apprese (Croy & Hughes, 1991).

Il comportamento dei pesci va incontro a modificazioni reversibili ed indotte dall'esperienza che gli permettono di mantenere costante l'efficienza media di alimentazione al variare della disponibilità dell'ampia gamma di prede differenti. Inoltre, è risaputo che pesci affamati imparano più velocemente rispetto a quelli parzialmente o totalmente sazi (Pitcher 1996).

In un approccio moderno "allo studio delle motivazioni" che inducono un pesce ad assumere comportamenti di predazione si possono distinguere diversi fattori interni ed esterni (Colgan, 1989). Tra i più importanti si ricordano:

1. le dimensioni relative tra predatore e preda;
2. la densità della preda;
3. i cambiamenti ontogenetici;
4. lo stato di sazietà;
5. l'importanza della preda alternativa;
6. le influenze del contesto sociale;
7. l'appetibilità, la vulnerabilità e l'accessibilità del cibo;
8. l'apprendimento individuale.

1. Il fattore dimensionale

L'importanza delle dimensioni relative tra predatore e preda è avvalorata dagli esperimenti di Dunbrack e Dill sul salmonide *Oncorhynchus kisutch* (Wootton, 1999). Esemplari di 40mm in lunghezza presentavano maggiore probabilità (rispetto ad altri di 60 e 80mm) di catturare prede inferiori al mm; mentre la tendenza si invertiva per prede di lunghezza compresa tra 2 e 5mm. D'altra parte era già stato notato in *Spinachia spinachia* un aumento esponenziale del tempo di manipolazione man mano che le dimensioni delle prede si avvicinavano al diametro della sua bocca. Ciò porta il pesce a selezionare le prede per ottimizzare il guadagno energetico quando l'evento predatorio giunge a buon fine. I pesci più grandi traggono vantaggio dal poter scegliere tra prede con un *range* di peso più ampio e vanno incontro a spese energetiche inferiori rispetto ai pesci più piccoli. Inoltre, in presenza di differenti specie di prede gli spinarelli delle diverse taglie prese in esame privilegiano sempre quelle che richiedono un costo di predazione minore.

Le maggiori dimensioni del predatore *Leformis macrochirus*, pesce d'acqua dolce presente in un piccolo lago del Michigan, favoriscono l'incontro con la preda, a sua volta funzione della densità e della lunghezza di quest'ultima. Gli andamenti di queste due variabili sono stati stimati in tre differenti mesi dell'anno e utilizzati per predire la dieta ottimale espressa in funzione delle diverse lunghezze delle prede. Le frequenze ottimali predette sono risultate perfettamente sovrapponibili alle frequenze della dieta osservata. A conferma di ciò si è riscontrata una netta diminuzione d'abbondanza delle taglie di preda preferite rispetto alle altre presenti nel lago. E' da notare come il pesce cambia le sue preferenze nutrizionali in rapporto alla resa energetica netta ricavabile nei diversi mesi (Wootton, 1999).

2. La densità della preda

L'importanza della crescita in risposta alla densità delle prede è stata messa in evidenza da Burd (Valiela, 1984). Il suo lavoro sulle aringhe del Mare del Nord, *Clupea harengus* ci rivela come la lunghezza del corpo di individui di tre anni cresce in maniera direttamente proporzionale alla densità di *Calanus*, sua primaria fonte alimentare. In tal modo è mantenuto pressoché costante il rapporto tra la biomassa di clupeidi predatori e quella di crostacei predati.

Un esperimento condotto sulla Trota iridea, *Salmo gairdneri*, quale predatore dell'amfipode *Hyallela* mostra come oltre alla densità della preda è importante la sua distribuzione spaziale: tanto più le prede risultavano essere sparpagliate sul fondo dell'acquario, quanto più era consistente l'incremento del numero delle catture (Wootton, 1999).

Così come è stato riscontrato per la Trota bruna, *Salmo trutta*, utilizzando l'equazione del disco di Holling's, il numero di prede attaccate per singolo predatore cresce in funzione della densità di queste fino ad un valore asintotico. Esso è determinato dalla condizione di sazietà che il pesce può raggiungere e dalla limitazione del tempo a disposizione per effettuare gli attacchi (Wootton, 1999).

Più di recente è stata studiata la predazione della passera pianuzza (*Platichthys flesus* L.) sui giovanili dei bivalvi *Macoma baltica* e *Bathyporeia pilosa*, in una serie di esperimenti condotti in acquario. La vulnerabilità della preda e il suo consumo

incrementarono significativamente con l'incremento della densità totale di prede disponibili. La risposta funzionale della passera di mare era di tipo III per entrambe le prede (Mattila & Bonsdorff, 1998).

3. I cambiamenti ontogenetici

Gli esperimenti di Hartmann nel Lago Costanza mettono in evidenza come alla variabilità stagionale si aggiunge un necessario cambiamento alimentare nel corso della vita dei giovani ciprinidi, i quali si nutrono di prede sempre più grandi in seguito alla loro crescita e ai conseguenti cambiamenti morfologici (Wootton, 1999).

4. Lo stato di sazietà

E' stato dimostrato che lo spinarello (*Gasterosteus aculeatus*), lasciato a digiuno per 72 h completa il suo ciclo di predazione in pochi minuti; a stomaco pieno il suo interesse per la preda diminuisce considerevolmente.

Studi sulla trota bruna sono stati compiuti da Elliot nel 1975. I suoi esemplari si saziavano dopo aver ingerito cibo per circa 15 min. e la quantità di cibo ingerito presentava variazioni in funzione della temperatura, diminuendo quando questa passava dai 15.1 ai 6.8°C. Tre anni prima lo stesso Elliot aveva messo in relazione la quantità di cibo richiesta per saziare il pesce con il grado di distensione dello stomaco. Il consumo di cibo dipendeva pertanto dalla velocità con cui lo stomaco era svuotato. A sua volta questa poteva essere descritta da un semplice modello esponenziale:

$$dS/dt = -kS$$

dove dS/dt è il tasso istantaneo di evacuazione gastrica, k una costante e S il peso dei contenuti stomacali. Pertanto una maggiore quantità di cibo nello stomaco corrisponde ad un incremento del tasso, i cui valori più alti si registravano immediatamente dopo il pasto. Anche qui si rilevava l'influenza della temperatura: il tempo necessario per eliminare il 90% dei resti di un pasto di anfipodi (*Gammarus*) passava dalla 24h a 5.2 °C alle 8h a 15.0°C. Tuttavia per temperature superiori ai 18°C, mentre il tasso di ricambio dei contenuti stomacali continuava ad aumentare, si osservava un rapido decremento del consumo di cibo, indipendentemente dalla taglia dei pesci presi in esame. Ciò ha portato alla revisione del modello nella forma:

$$dS/dt = C - kS$$

dove C rappresenta appunto il tasso di consumo.

5. Le influenze del contesto sociale

L'efficienza di cattura è fondamentale per la crescita la sopravvivenza e il successo riproduttivo di molti animali.

Pitcher (1986) mette in evidenza come il tempo impiegato nella ricerca e individuazione di cibo distribuito casualmente diminuisca all'aumentare del numero di pesci che fanno parte del banco così come riscontrata dall'autore per *Carassius auratus* e per *Phoxinus phoxinus*. In quest'ultima specie gli individui che appartengono a banchi più numerosi arrivano a spendere fino al 90% del loro tempo nelle attività di predazione, a differenza di pesci nei banchi più piccoli che impiegano solo il 5% del loro tempo poiché devono anche prestare maggiore attenzione a loro volta ai loro predatori. Minori sono le differenze tra banchi di diverse dimensioni per quanto riguarda le altre categorie comportamentali prese in esame: nuotare al centro della colonna d'acqua, nascondersi tra la vegetazione, nuotare sul fondo.

6. L'appetibilità, la vulnerabilità e l'accessibilità del cibo

L'appetibilità del cibo può dipendere dalla sua composizione chimica. La selezione del cibo più nutritivo sulla base del gusto ha innescato un meccanismo di adattamento nelle prede. Al fine di risultare quanto più disgustose ai loro predatori e quindi dissuaderli dall'attaccarle, esse hanno evoluto dei deterrenti chimici. L'importanza della difesa chimica è dimostrata per via della presenza di adattamenti strutturali negli invertebrati che non presentano alcun tipo di deterrente chimico nei confronti degli attacchi da parte dei pesci. Inoltre, tra gli invertebrati che sono solitamente nascosti in un microambiente protettivo, e quindi sono raramente esposti alla predazione, solo il 25% risulta essere tossico per i pesci.

Mentre alcune prede sfuggono alla predazione per via dei deterrenti, della bassa qualità o della taglia inappropriata, altre perfettamente adeguate non sono facilmente accessibili ai predatori. Solitamente ciò si verifica perché le prede riescono a sfuggire alla loro vista. In *Fundulus heteroclitus*, un ciprinide presente nelle coste meridionali

della penisola iberica, si osserva un netta differenza nel consumo di anfipodi a secondo dell'ambiente in cui essi si trovano. In particolare se le prede vivono nella bassa palude, dominata da una vegetazione di *Spartina alterniflora*, il pesce riesce a mangiarne in abbondanza. Nettamente inferiore è il consumo in alta palude, tra le lamine fogliari di *Spartina patens*, molto più adatta a offrire un sicuro nascondiglio. In effetti soltanto nella bassa palude è possibile per il pesce mettere in evidenza la sua superiorità di predatore, in particolare per gli individui di taglia più grossa. A conferma di ciò, nell'ambiente caratteristico di *S. alterniflora* si riscontra anche una differenza nella percentuale di anfipodi mangiati in funzione delle loro dimensioni, aspetto pressoché irrilevante in presenza di *S. patens*.

I risultati di questi esperimenti mettono in evidenza che la struttura o architettura fisica dell'habitat hanno conseguenze critiche sulla predazione, esercitando forti influenze sia sulla popolazione del predatore che della preda (Valiela, 1984).

7. L'importanza della preda alternativa

Quando si parla della ricerca ottimale di cibo da parte del predatore si è soliti concentrare l'attenzione sulla taglia della preda e sulla specie cui essa appartiene. Tuttavia un predatore in grado di alimentarsi di differenti specie, solitamente rivolge i suoi attacchi alla preda più abbondante, di cui fissa l'immagine di ricerca. Quando il numero di esemplari di quella specie scarseggia, attraverso un meccanismo detto di "switching", il predatore modifica la sua immagine di ricerca e comincia a esercitare la sua pressione selettiva su un'altra tra le sue prede alternative, tenendo sempre come termine discriminante la sua abbondanza. Lo switching comporta solitamente delle modificazioni nella tecnica di individuazione, la scelta di particolari siti dove la densità della preda al momento ricercata è più alta, nonché un'alternanza dei benefici nutrizionali (Valiela, 1984).

8 L'apprendimento individuale

L'apprendimento può influenzare il comportamento di diversi predatori. All'aumentare dell'esperienza ovvero della frequenza con cui i predatori incontrano le prede l'efficienza di ricerca può aumentare e diminuire il tempo di manipolazione.

Nei giovanili l'apprendimento gioca un ruolo rilevante ai fini della selezione tra differenti tipi di preda. Sembra che i predatori adulti siano in grado di riconoscere e valutare istantaneamente tutti i possibili tipi di prede. Ciò permettere loro di scegliere quelle che permettono di massimizzare il guadagno energetico che sperimentalmente può essere predetto attraverso modelli di dieta ottimale. Sebbene possa cambiare in qualunque momento la disponibilità o il valore trofico di specifiche prede, l'apprendimento può fornire al predatore la possibilità di apportare al suo comportamento i cambiamenti necessari a sfruttare al meglio ogni sua potenziale preda. Inoltre l'apprendimento può migliorare le capacità di riconoscimento della preda, la strategia di attacco e l'efficienza di manipolazione; modificando così il rapporto tra benefici e costi associati con il consumo di una preda precedentemente incontrata.

La selettività della preda in funzione della taglia è stata dimostrata nei salmonidi poiché essi mostrano un'innata capacità di riconoscerle. Infatti, trote e salmoni allevati in impianti di acquicoltura spostano immediatamente i loro interessi alimentari dal cibo artificiale alla preda selvatica non appena se ne presenti l'occasione. In aggiunta, se si riescono ad incorporare nella dieta artificiale le caratteristiche visuali della preda naturale, si riscontra un aumento in frequenze di cattura e ingestione di cibo.

Eggers mette in risalto l'importanza della visibilità della preda in funzione delle dimensioni, della forma, del contrasto con lo sfondo, oltre che del movimento e dell'appariscenza della livrea. Secondo lo stesso autore, per quanto riguarda il predatore risultano determinanti la sua massima distanza laterale di percezione e la sua velocità di nuoto che ci danno una misura del volume di esplorazione spaziale e quindi del tempo da impiegare nella ricerca (Wootton, 1999).

La predazione dei pesci sui bivalvi

Talvolta l'oggetto della predazione dei pesci non è la preda nella sua interezza ma una parte di essa. Ciò è quello che avviene nelle sogliole che si nutrono dei sifoni dei bivalvi (Valiela, 1984). In molti casi il mollusco sopravvive e rigenera la parte mancante.

Le prede possono rigenerare la biomassa perduta ma a volte perdere alcuni organi. La tellina (*Bivalvia*) può essere ostacolata nel suo atto riproduttivo dalla recisione dei sifoni da parte di giovani passere di mare; queste menomazioni possono portare a dimezzare la biomassa annuale di *Tellina*. Nel bivalve *Protothaca staminea* sono stati evidenziati gli effetti negativi sulla crescita dei sifoni a causa dei morsi di piccoli pesci (Peterson & Quammen, 1982).

Nel caso di *Leiostomous xanthurus* e *Trinectes maculatus* è stato visto che possono ricavare la principale sorgente di cibo dai morsi ai sifoni di *Macoma baltica* (Dame, 1996).

L'attitudine del predatore a non arrecare danni mortali alle prede può essere considerata come un meccanismo per assicurarsi nel tempo la disponibilità della fonte alimentare. Un abile predatore di bivalvi è l'orata, *Sparus aurata* che con le robuste mascelle riesce a triturare le loro valve (Pipitone *et al.* 1995).

BASE DI PARTENZA SCIENTIFICA

La ricerca sul comportamento generale e alimentare dei pesci, al pari degli aspetti prettamente biologici quali l'accrescimento, la riproduzione e il miglioramento genetico, è un elemento importante del loro benessere e quindi della loro qualità, punto cardine d'interesse commerciale dell'itticoltura.

Nei pesci possono sussistere deviazioni comportamentali pregresse dovute, per esempio, a periodi di vita trascorsi in cattività. Infatti, è probabile che l'alterazione delle condizioni naturali, se protratta per lunghi periodi di tempo, porti a selezionare soggetti con comportamento alimentare alterato rispetto agli individui della stessa specie adattati alla vita libera (Pitcher, 1996).

È ipotizzabile che in organismi riprodotti e alimentati artificialmente in cattività per diverse generazioni possa venire meno l'attitudine naturale alla predazione intesa come riconoscimento della preda naturale e capacità di cibarsene.

Pertanto interventi di riqualificazione ambientale, quali attività di ripopolamento che comportano l'uso di organismi certificati nati in cattività, devono essere preceduti da un'approfondita conoscenza della biologia, dell'ecologia e del comportamento delle specie da reintrodurre negli ambienti naturali. In particolare è necessario procedere ad uno studio delle interazioni che possono instaurarsi tra le specie allevate e quelle già presenti nell'area destinata all'acquicoltura estensiva.

Descrizione delle specie

Sparus aurata

Sparus aurata, comunemente detta orata è un pesce dal corpo ovale, oblungo e compresso, appartenente alla famiglia degli sparidi (fig. 1).



Figura 1. *Sparus aurata* in acquario ornamentale

La testa è appiattita. Sulla mandibola sono presenti denti molariformi; uno di questi, della serie posteriore, superiore ed inferiore diventa particolarmente grande negli esemplari superiori a 20cm. La colorazione del dorso è grigio argentea con strisce brune e giallastre alternate, una larga macchia nera all'origine della linea laterale continua sopra una parte dell'opercolo ed è bordata di rosso. Si distingue dalle altre specie di sparidi per la fascia dorata da cui prende il nome. Questa è molto evidente sul capo, interposta fra gli occhi, bordata da 2 bande nere, specialmente negli adulti. Una linea longitudinale nera è presente sulla pinna dorsale; la pinna caudale è grigio-verdastra con il bordo scuro. Le altre pinne sono grigio chiare (Tortonese, 1975).

Sparus aurata è demersale e frequenta le praterie di *Posidonia oceanica* e i fondi sabbiosi. I giovani arrivano fino a 30m di profondità, gli adulti fino a 150m. È una specie diffusa in tutto il bacino del



Figura 2. Distribuzione di *S. aurata* nei mari italiani e di Corsica

Mediterraneo e nell'Atlantico orientale, dalle isole Britanniche alle Isole di Capo Verde. È presente in tutti i mari italiani e nel Mar di Corsica (fig. 2).

Prettamente eurialina, l'orata abita anche le lagune e gli stagni costieri, dove generalmente migra all'inizio della primavera per rimanervi fino all'inizio dell'inverno. Poi torna in mare e per il periodo della riproduzione abita in acque più profonde. I giovani vivono in gruppo, mentre gli adulti cacciano isolati, soprattutto in estate, nelle praterie di *Zostera* e lungo le coste rocciose.

Gli esemplari di orata sono ermafroditi proterandrici; ovvero sviluppano prima gli organi maschili e poi quelli femminili. Ciò fa sì che gli individui intorno a 20-30cm siano di regola maschi, mentre quelli di taglia superiore siano femmine.

La riproduzione avviene tra ottobre e dicembre quando la temperatura dell'acqua è compresa tra 14 e 16°C. Dopo la nascita, i giovani migrano dal mare alle acque lagunari ed estuariali dove possono accrescersi rapidamente grazie alle favorevoli condizioni trofiche (Relini *et al.* 1999). Dal momento che l'orata sopporta con difficoltà le basse temperature, all'inizio dell'autunno torna in mare.

Un recente studio sull'accrescimento di *S. aurata* all'interno di gabbie galleggianti (Ciattaglia *et al.* 1994) indica che questo pesce, passa da un peso di circa 20g a più di 300g in circa 1 anno di allevamento.

Le prede degli avannotti di *Sparus aurata* sono soprattutto costituite da crostacei. In uno studio di Martinelli *et al.* (1992), condotto in zone lagunari sarde, le prede erano costituite da un 76% di Copepodi Arpacticoidi e da un 24% di Anfipodi. Questi ultimi, rinvenuti negli stomaci delle orate appartengono per il 39% alla specie *Microdeutopus grillotalpa* (Costa, 1853) e per il 44.4% a *Gammarus*. L'orata va incontro durante il proprio ciclo vitale ad un cambiamento ontogenetico della dieta poiché gli organismi si spostano da un habitus alimentare inizialmente planctivoro ad uno prettamente bentivoro (Tancioni *et al.* 2003) e preferiscono prede di dimensioni progressivamente maggiori (lunghezza standard di 23-30mm). Ravagnan (1992) descrive, per orate adulte in allevamento estensivo, una dieta costituita prevalentemente da prede bentoniche, soprattutto Molluschi Gasteropodi e Bivalvi. L'unica tra queste specie presente nei contenuti stomacali di *S. aurata* catturati nella valle Smarlacca è il bivalve

C. glaucum, che rappresenta la preda più importante nei mesi tardo-estivi (<http://www.regione.emilia-romagna.it>).

L'orata, per le sue caratteristiche di eurialità, flessibilità trofica e elevato valore commerciale, è una specie di cruciale importanza nell'economia dell'acquicoltura costiera della regione mediterranea di cui rappresenta buona parte della produzione.

Cerastoderma glaucum

Conosciuto nella cucina romagnola con il nome di "Canestrello", *Cerastoderma glaucum* è un bivalve sospensivoro, appartenente alla famiglia Cardiidae, che vive infossato nei sedimenti mobili sabbiosi e fangosi. La conchiglia del *Cerastoderma glaucum* somiglia alle specie del genere *Acanthocardia*: se ne distingue facilmente per la forma allungata in direzione antero-posteriore (fig. 3).



Figura 3. Esempari di *C. glaucum*

Il bordo posteriore è obliquo e forma un angolo arrotondato ma acuto con il margine ventrale. Sono presenti numerose costole, appiattite e lisce. La colorazione è data da fasce violette intense su un fondo bianco-beige. Sono piuttosto frequenti esemplari in cui il colore violetto si concentra in una fascia radiale che copre la zona posteriore. E' una specie bentonica molto diffusa all'interno di zone lagunari e tollera ampie variazioni di temperatura, da quelle prossime allo zero a quelle superiori ai

30°C, ed ampie variazioni di salinità. La riproduzione è esterna, i gameti sono rilasciati in acqua durante i mesi primaverili. Nei mari italiani *C. glaucum* è presente in tutta la costa sarda, nelle lagune venete, nelle coste garganiche, nel golfo di Terracina, nei laghetti di Faro e Ganzirri (ME) e nelle saline dello Stagnone (TP) in Sicilia (fig. 2).

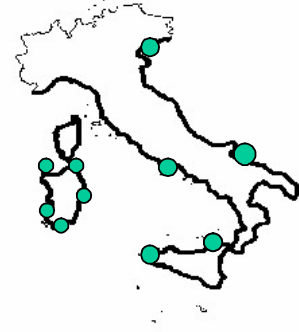


Figura 4. Distribuzione di *C. glaucum* nei mari italiani

I maggiori fattori che causano mortalità in *C. glaucum* sono la competizione intraspecifica per il cibo in ambienti dove la densità supera 2000 individui m⁻² e la competizione interspecifica con altre specie di organismi filtratori. A questi si aggiungono le fluttuazioni dei parametri ambientali quali la concentrazione di ossigeno, il contenuto organico dell'acqua e dei sedimenti e la predazione (Mc Arthur, 1998).

Vi sono tre gruppi di potenziali predatori di *Cerastoderma glaucum*:

- predatori infanuali (policheti)
- predatori epibentonici (e.g. : gamberi di acqua salata, *Sparus aurata*)
- un assortito gruppo di uccelli acquatici.

Obiettivi

Il presente lavoro si propone di affrontare la questione su basi quantitative inserendosi in un progetto più ampio dal titolo "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)" seguito dal Laboratorio di Biologia e Risorse Marine del Dipartimento di Biologia Animale dell'Università di Palermo. Tale progetto si propone di: colmare alcune carenze conoscitive riguardo all'attitudine alla predazione di specie ittiche sia selvatiche che riprodotte in cattività su organismi bentonici. In particolare i principali scopi di questa tesi sono stati:

- ✓ analizzare il comportamento di *Sparus aurata*, specie ittica comunemente seminate in ambienti salmastri, in presenza del mollusco bivalve *Cerastoderma glaucum*, una sua potenziale preda presente in questi ambienti;
- ✓ studiare il rapporto predatore-preda di esemplari allevati e selvatici di *S. aurata* nei riguardi di *C. glaucum*;
- ✓ confrontare l'attitudine alla predazione di pesci allevati e selvatici;
- ✓ registrare l'attività predatoria di individui allevati prima e dopo una fase di *training* per il riconoscimento della preda.

MATERIALI E METODI

Gli esperimenti condotti durante questo studio, la raccolta dei dati e la loro elaborazione sono stati svolti in un periodo compreso tra marzo 2002 e maggio 2004. Una prima fase dello studio è stata condotta su individui di *S. aurata* nati in cattività ed una seconda fase su orate selvatiche. In data 20/03/2002 sono stati prelevati dall'impianto di allevamento Ittica Stagnone (Contrada Birgi, Marsala, TP) 12 pesci nati in cattività di peso medio $190 \pm 10\text{g}$, mentre l'11/12/2002, sono stati pescati 26 individui di *Sparus aurata*, di peso medio $110 \pm 20\text{g}$, mediante una sciabica in prossimità dello Stagnone di Marsala (TP).

Dopo la cattura, tutti i pesci sono stati trasportati nell'acquario del Dipartimento di Biologia Animale dell'Università degli Studi di Palermo e posti in vasche di stabulazione della capacità di 500 l.

Per effettuare le nostre prove sperimentali di laboratorio, circa 300 individui di *C. glaucum* sono stati campionati all'interno delle "vasche fredde" (fig. 5) delle saline Ettore-Infersa (TP) situate sulla sponda interna dello Stagnone di Marsala (TP, Sicilia Occidentale). Tali vasche, in comunicazione con Stagnone di Marsala mediante delle bocche di entrata, sono utilizzate come bacini di raccolta dell'acqua per la tradizionale coltura del sale. Esse hanno una profondità media di 80cm ed i loro fondali sabbio-fangosi sono colonizzati da specie di molluschi generalmente legate ad ambienti salmastri quali *Cerastoderma glaucum*, *Pirenella conica*, *Abra segmentum*, *Gibula adriatica* e *Cerithium vulgatum*.

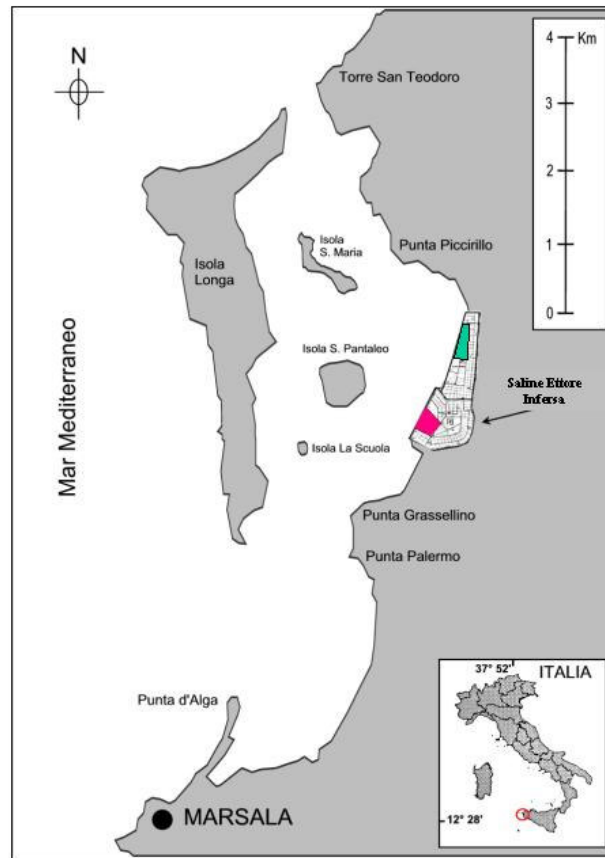


Figura 5. Area di campionamento

Gli esemplari di *C. glaucum*, di lunghezza compresa tra 20 e 30mm, sono stati prelevati a mano e con un rastrello munito di retino (Fig. 6) nei giorni 21/02/2002, 26/03/2003 e 04/04/2003.

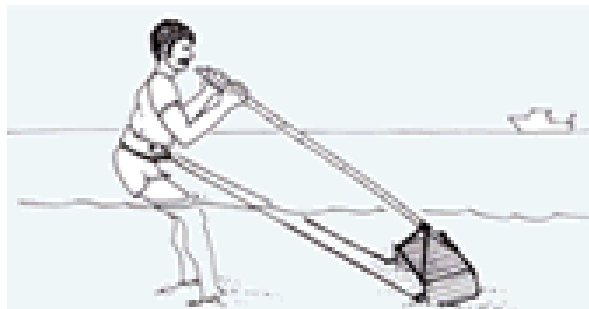


Figura 6. Raccolta di *C. glaucum* con rastrello munito di retino.

Trasportati in laboratorio, i bivalvi sono stati introdotti in una vasca di stabulazione con della sabbia sul fondo in modo da potersi infossare liberamente.

Tutti gli esperimenti condotti durante questo studio sono stati effettuati nello stabulario del Dipartimento mediante l'utilizzo di vasche sperimentali della capacità di 200L. Tutte le vasche sono state provviste di uno strato di 3 cm di sabbia, preventivamente setacciata, lavata e riposta in stufa a 200°C per 4h, ed in seguito riempite con acqua di mare.

In ogni vasca i parametri chimico-fisici quali temperatura, salinità, percentuale di ossigeno disciolto e concentrazione di nitriti sono stati costantemente monitorati:

- la temperatura, controllata giornalmente, è stata mantenuta ad un valore medio di $18 \pm 1^\circ\text{C}$, per mezzo di refrigeratori collegati alle vasche;
- la salinità è stata misurata ogni 15 giorni e le variazioni sono state corrette aggiungendo acqua distillata per mantenerla ad un valore costante di $38 \pm 1\text{‰}$;
- l'ossigeno disciolto è stato costantemente mantenuto a concentrazioni maggiori di 6 mg/l mediante pompe di aerazione;
- le concentrazioni di nitriti, monitorate ogni 15 giorni utilizzando un test colorimetrico, sono state mantenute a valori inferiori di 0.2 mg/l.

Le vasche sono state oscurate su tre pareti per eliminare fenomeni di riflessione e ridurre le influenze esterne sui pesci, la parete frontale è rimasta trasparente per permettere le osservazioni.

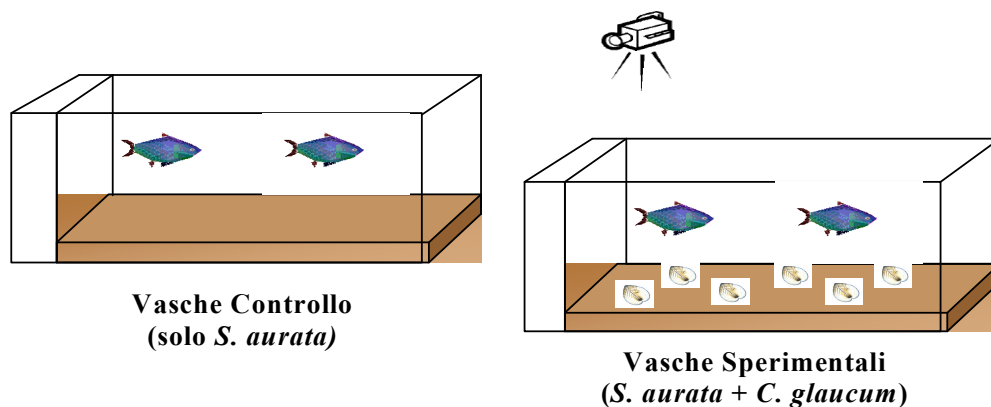
I pesci selezionati per gli esperimenti sono stati distribuiti casualmente due per vasca e successivamente sono stati lasciati indisturbati e a digiuno per una settimana.

Superata una fase di ambientamento in acquario, gli esemplari sono stati alimentati giornalmente con mangime o *Mitilus galloprovincialis* privato delle valve fino ad una settimana prima dell'inizio dell'esperimento.

In seguito le vasche sono state casualmente divise in due categorie: vasche trattamento e vasche controllo. Alla data stabilita per l'esperimento, nelle vasche trattamento sono stati immessi 15 *Cerastoderma glaucum*, vivi, di taglia mediamente

compresa tra 18 e 25 mm (medie, peso sgocciolato $5.97 \pm 1.56g$, peso secco $5.08 \pm 1.36g$) disposti sul fondo in file e righe ordinate. Contemporaneamente nelle vasche controllo è stata simulata la stessa operazione senza introdurre *C. glaucum* con lo scopo di porre i predatori nelle stesse condizioni di disturbo iniziale.

Successivamente all'introduzione in vasca di *C. glaucum* le diverse fasi del comportamento sono state registrate mediante un impianto di videoripresa a circuito chiuso, costituito da due telecamere digitali in bianco e nero e un sistema multifunzionale di videoregistrazione digitale (DR41). Ogni sessione prevedeva la ripresa di due vasche per volta, una con funzione sperimentale e l'altra di controllo (Fig. 7).



Fig

ura 7. Fase di registrazione

Durante la prima fase sono state utilizzate 4 vasche, di cui 2 sperimentali (vasca 7 e 10) e due controllo (vasca 11 e 14). Durante la seconda fase ne sono state utilizzate 8 di cui 4 sperimentali (n°. 8, 11, 12, 15) e 4 controllo (n°. 7, 9, 13, 14)

Le due tabelle seguenti (Tab. 1 e 2) riassumono il calendario delle registrazioni eseguite nella prima e seconda fase del nostro studio.

Data	Animali presenti			
	<i>S. aurata</i> + <i>C. glaucum</i>		<i>S. aurata</i>	
25/03/02		vasca 10 (10h)	vasca 11(9h)	
26/03/02	vasca 7 (5h)			vasca 14 (5h)
27/03/02	vasca 7 (6h)		vasca 11 (5h)	

Tabella 1. Calendario delle registrazioni effettuate durante la prima fase (Marzo 2002, *Cerastoderma* x *Sparus aurata* allevato; 1 densità x 1 taglia).

		Animali presenti	
Data inizio	Data fine	<i>S. aurata</i> + <i>C. glaucum</i>	<i>S. aurata</i>
27/03/2003	29/03/2003	vasca 11 (24h)	vasca 9 (24h)
29/03/2003	31/03/2003	vasca 12 (24h)	vasca 14 (24h)
31/03/2003	02/04/2003	vasca 15 (24h)	vasca 13 (24h)
02/04/2003	04/04/2003	vasca 8 (24h)	vasca 7 (24h)
10/04/2003	12/04/2003	vasca 9 (24h)	vasca 11 (24h)
12/04/2003	14/04/2003	vasca 14 (24h)	vasca 12 (24h)
15/04/2003	17/04/2003	vasca 13 (24h)	vasca 15 (24h)
17/04/2003	19/04/2003	vasca 16 (24h)	vasca 8 (24h)

Tabella 2. Calendario delle registrazioni effettuate durante la seconda fase (Marzo-Aprile 2003, *Cerastoderma* x *Sparus aurata* selvatici; 1 densità x 1 taglia).

Alla fine di ogni esperimento i *C. glaucum* sono stati recuperati dalle vasche e di essi sono state verificate la posizione finale e le condizioni vitali. Sono state inoltre misurate l'altezza, la lunghezza, lo spessore della conchiglia, il peso totale e il peso totale sgocciolato. Le componenti organiche sono state separate accuratamente per dissezione e per ciascuna di esse è stato determinato il peso umido. Poi, esse sono state poste in stufa a 105°C per 12 ore e quindi pesate per determinarne il peso secco.

In data 12/04/2002, tre *C. glaucum* aperti dall'operatore sono stati presentati ai pesci allevati di una vasca sperimentale ed una controllo ed il loro comportamento è stato registrato nelle due ore successive allo scopo di studiare se esso subiva delle modificazioni non solo nei riguardi delle prede morte ed offerte al pesce ma anche di quelle vive presenti sul fondo.

A secondo della gerarchia che si stabiliva all'interno della coppia, ad ogni pesce è stato attribuito il nome Alfa (dominante) o Beta (subordinato) seguito dal numero della vasca di appartenenza e dal trattamento (sp = sperimentale, c = controllo). Es. Alfa11sp, Beta7c, etc.

In entrambi gli anni di sperimentazione il metodo utilizzato per il campionamento del comportamento generale di *S. aurata* è stato il *Focal Sampling*, che si fonda sull'osservazione di un individuo scelto a caso per un determinato periodo e sulla registrazione di tutte le categorie di comportamento da esso assunte. La tecnica adoperata per l'analisi del comportamento generale è l'*Instantaneous Sampling* che consiste nel registrare il comportamento non di continuo ma ad intervalli di 15 minuti. Ognuno di questi intervalli di osservazione (sessione) è stato diviso in successivi brevi periodi di 10 secondi chiamati intervalli campionari. Nell'istante alla fine di ogni intervallo l'osservatore registra quale categoria comportamentale si sta verificando. Per ogni categoria comportamentale registrata è stata calcolata una frequenza percentuale. Per le osservazioni del solo comportamento alimentare (la predazione) si è fatto uso del *Behaviour* e del *Continuous sampling* che prevedono invece il rilevamento in continuo delle categorie di predazione (Martin & Bateson, 1988). L'analisi del comportamento di predazione differisce da quella adottata per il comportamento generale, sia per il metodo di acquisizione dei dati sia perché si è cercato di approfondire lo studio di quelle categorie comportamentali strettamente attinenti alla ricerca del cibo sul fondo della vasca (Perlustra Sabbia, Scava Sabbia, Becca *Cerastoderma* e Trasporta *Cerastoderma*), per ognuna delle quali è stato calcolato un tasso in termini di n° degli eventi h⁻¹.

I disegni sperimentali sono stati ideati e costruiti nel rispetto dell'indipendenza, della randomizzazione e della normalità campionaria ed i dati ottenuti sono stati

analizzati attraverso tecniche statistiche di analisi uni e multivariata (Sokal & Rohlf, 1981; Zar, 1994; Underwood, 1997).

Ai fini del presente lavoro, il piano sperimentale ha previsto l'analisi del comportamento generale di 4 pesci allevati scelti a caso uno per vasca (2 vasche trattamento e 2 vasche controllo). Ciascuno di essi è stato osservato per 9 sessioni della durata di 15 min ciascuna. Più articolato è stato lo studio dei selvatici, per i quali è stato analizzato il comportamento della totalità dei pesci presenti nelle 4 vasche sperimentali e nelle 4 di controllo. Per ogni pesce sono state analizzate 6 sessioni, replicate in due giorni. Il confronto del comportamento generale dei pesci allevati e selvatici è stato effettuato utilizzando il seguente piano sperimentale: 2 origini x 2 trattamenti x 2 vasche x 9 sessioni.

Per quanto riguarda l'analisi della predazione si è seguito un criterio analogo. I 4 pesci allevati, scelti casualmente all'interno delle 2 vasche sperimentali e delle 2 di controllo, sono stati osservati per 3 sessioni da 2 h. Tutti i pesci selvatici sono stati analizzati, distinti in alfa/beta e osservati per 3 sessioni (una per ciascuno dei tre giorni di osservazione). Anche qui una scelta random tra i Selvatici (4 pesci x 3 sessioni x 2 ore) ha permesso di confrontare i risultati con quelli degli Allevati.

I risultati ottenuti riguardanti le frequenze percentuali delle categorie comportamentali sono stati analizzati attraverso tecniche statistiche di analisi della varianza (ANOVA, Underwood, 1997).

RISULTATI

Nel nostro studio, per descrivere il comportamento generale e predatorio dei pesci, sono state identificate le categorie elencate nella seguente tabella.

CATEGORIA	DEFINIZIONE
Stazionamento sul Fondo, SF .	Il pesce si ferma per un periodo di almeno 3 secondi in prossimità del fondo della vasca anche se non tocca la sabbia.
Stazionamento in Superficie, SS .	Il pesce si ferma per un periodo di almeno 3 secondi in prossimità della superficie dell'acqua (entro i primi 10cm della colonna d'acqua).
Stazionamento a Mezz'acqua, S1/2	Il pesce si ferma non muove le pinne per un periodo di almeno tre secondi nella zona centrale della colonna d'acqua la cui profondità va da 10 a 25cm.
Nuoto Orizzontale, NO .	Il pesce nuota orizzontalmente.
Cambio di Direzione, CD .	Il pesce varia direzione di nuoto con una spinta della pinna caudale.
Salita Graduale, SG .	Il pesce effettua variazioni graduali di quota da un lato all'altro della vasca verso la superficie dell'acqua.
Discesa Graduale, DG .	Il pesce effettua variazioni graduali di quota da un lato all'altro della vasca verso il fondo della vasca.
Salita Diretta, SD .	Il pesce risale rapidamente e direttamente dal fondo alla superficie della vasca.
Discesa Diretta, DD .	Il pesce discende rapidamente e direttamente dalla superficie al fondo.
Contatto, C .	I due pesci si fermano, si avvicinano e appaiono a contatto.
Agonistico Positivo, A (+) .	Il pesce mostra un'accelerazione del suo moto diretto verso l'altro pesce allo scopo di offendere (mordere, rincorrere, urtare).
Agonistico Negativo, A (-) .	Un pesce subisce le azioni aggressive dell'altro pesce.
Perlustra Pareti, PP .	Il pesce compie movimenti ripetuti di destra-sinistra e su-giù, rimanendo in una zona ristretta molto vicina alla parete e rivolgendovi lo sguardo.
Perlustra Sabbia, PS .	Il pesce s'inclina alzando la pinna caudale verso l'alto e guarda la sabbia.
Scava Sabbia, ScS .	Il pesce smuove la superficie della sabbia con la bocca.
Becca <i>Cerastoderma</i> , BC .	Il pesce becca il fondo in prossimità del <i>Cerastoderma</i> , toccandolo.
Solleva <i>Cerastoderma</i> , SC .	Il pesce solleva per 2-3cm il <i>Cerastoderma</i> dal fondo con la bocca.
Trasporta <i>Cerastoderma</i> , TC .	Il pesce trasporta il <i>Cerastoderma</i> da un punto all'altro della vasca.

Tabella 3. Categorie comportamentali generali e di predazione di *S. aurata*.

Comportamento di *S. aurata* allevato

Nelle figure 8 e 9 sono riportate rispettivamente le frequenze percentuali delle categorie comportamentali dei pesci delle vasche 7 e 10 in presenza di *C. glaucum*. Il comportamento di tali orate presenta delle similitudini per quanto riguarda il tempo impiegato a nuotare orizzontalmente ($26.0 \pm 7.5\%$ vs $27.3 \pm 5.6\%$) e cambiare direzione ($9.8 \pm 3.3\%$ vs $12.0 \pm 5.0\%$). L'orata in vasca 7 trascorre in media il $18.0 \pm 8.7\%$ del tempo stazionando sul fondo, perlustra la sabbia con una frequenza del $2.6 \pm 2.8\%$ e staziona a mezz'acqua nel $14.5 \pm 4.8\%$ del tempo (Fig. 8). Per quanto riguarda il comportamento di perlustrazione delle pareti, l'orata in vasca 10 (Fig. 9) presenta una frequenza percentuale maggiore rispetto a quella in vasca 7 (26.4% vs 6.8%).

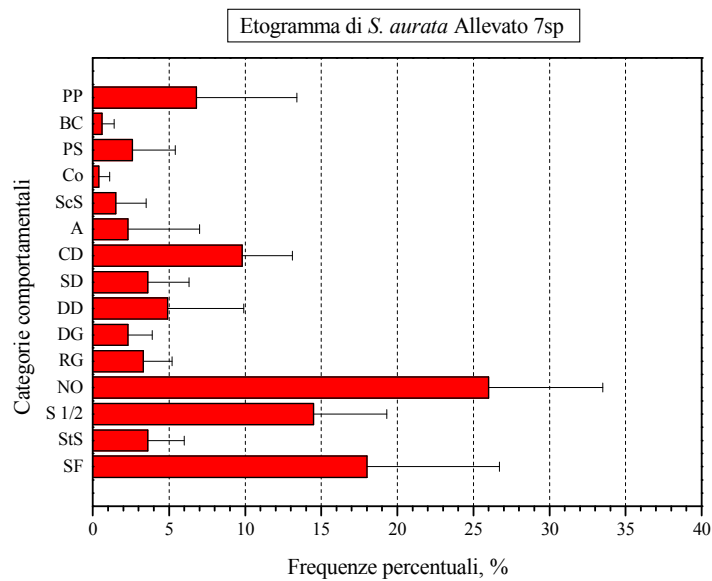


Figura 8. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali di *Sparus aurata* in vasca 7 sperimentale. (SF= Stazionamento sul Fondo, SS = Stazionamento in Superficie, S1/2 = Stazionamento Mezz'acqua, NO = Nuoto orizzontale, CD= Cambio di Direzione, SG= Salita Graduale, DG= Discesa Graduale, SD = Salita Diretta, DD =Discesa Diretta, CO = Contatto, A= Agonistico, PS= Perlustra Sabbia, ScS = Scava Sabbia, PP= Perlustra Pareti, BC = Becca *Cerastoderma*). La media \pm dev.st deriva da 18 sessioni di osservazione.

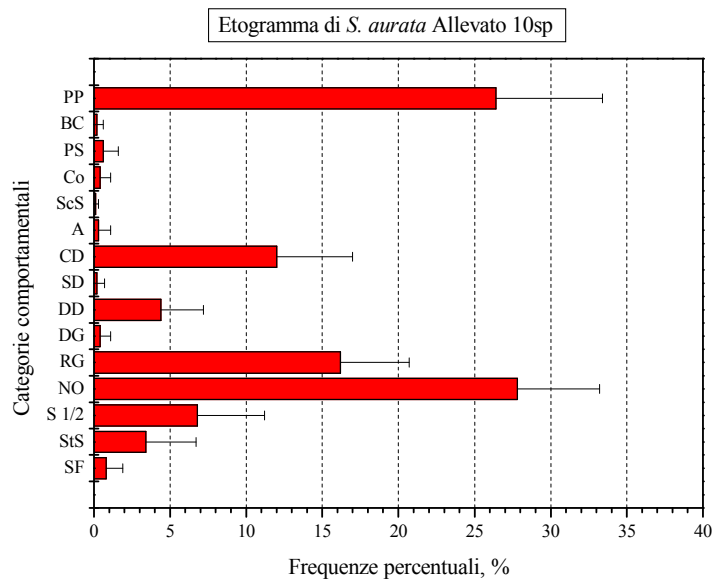


Figura 9 Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali di *Sparus aurata* in vasca 10 sperimentale. La media \pm dev.st deriva da 18 sessioni di osservazione (vedi Fig. 8 per gli acronimi).

Nelle figure 10 e 11 sono riportati gli etogrammi degli individui di *Sparus aurata* posti nelle vasche 11 e 14 senza *C. glaucum*. Entrambi i pesci impiegano la maggior parte del loro tempo nuotando orizzontalmente (con una frequenza media percentuale di 20.4 ± 1.0) e rivolgendo lo sguardo alle pareti della vasca con una frequenza media del $62.5 \pm 11.1\%$ e $45.6 \pm 9.1\%$ rispettivamente. Inoltre, essi svolgono attività legate alla ricerca di cibo sul fondo della vasca (Perlustra Sabbia + Scava Sabbia) solo per una minima parte del tempo ($0.2 \pm 0.3 \%$).

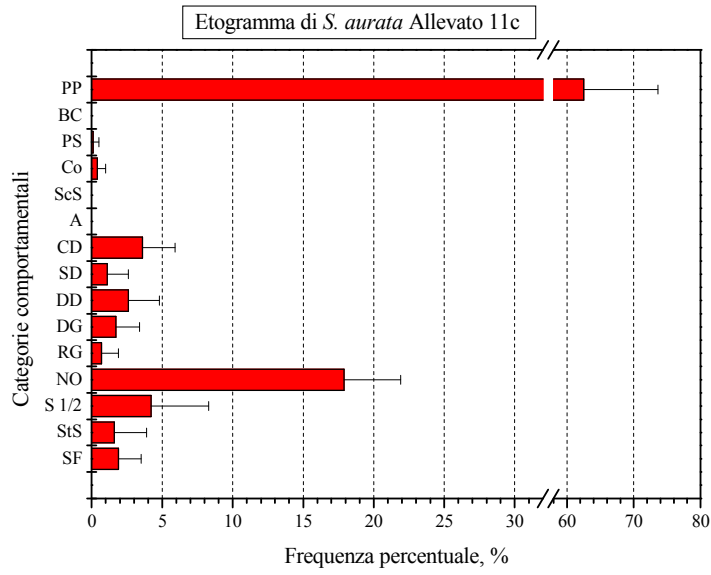


Figura 10. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali di *Sparus aurata* in vasca 11. La media \pm dev.st deriva da 18 sessioni di osservazione (vedi Fig. 8 per gli acronimi).

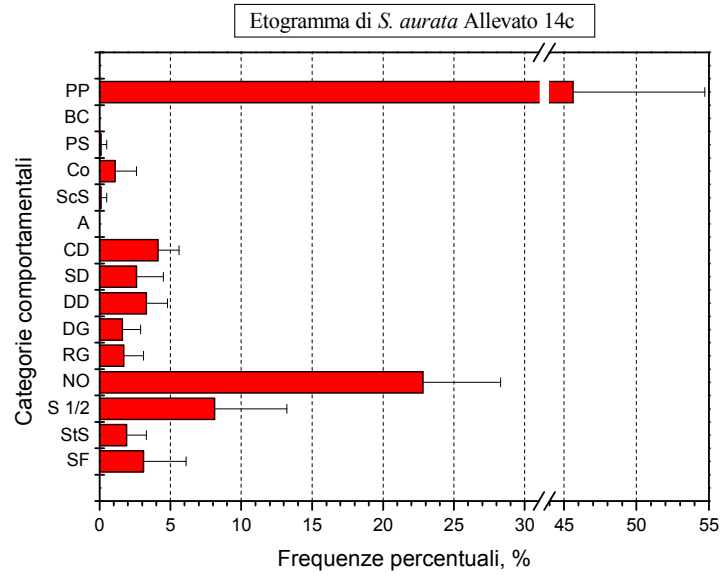


Figura 11. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali di *Sparus aurata* in vasca 14 controllo. La media \pm dev.st deriva da 18 sessioni di osservazione (vedi Fig. 8 per gli acronimi).

E' inoltre possibile notare come il comportamento delle due orate stabulate in assenza di *C. glaucum* differisce da quello delle orate in presenza del bivalve (Fig. 12). In particolare, la maggiore differenza si nota per la categoria Perlustra Pareti, con una frequenza media percentuale di $52,0 \pm 1,4$ per i pesci del trattamento controllo di $16,6 \pm 0,3$ relativa al trattamento sperimentale. Inoltre, a differenza delle orate controllo (vasche 14 e 11), le orate sperimentali (vasche 7 e 10) sembrano impiegare una quota di tempo significativamente maggiore nella ricerca del cibo sul fondo ($4,7 \pm 1,0\%$).

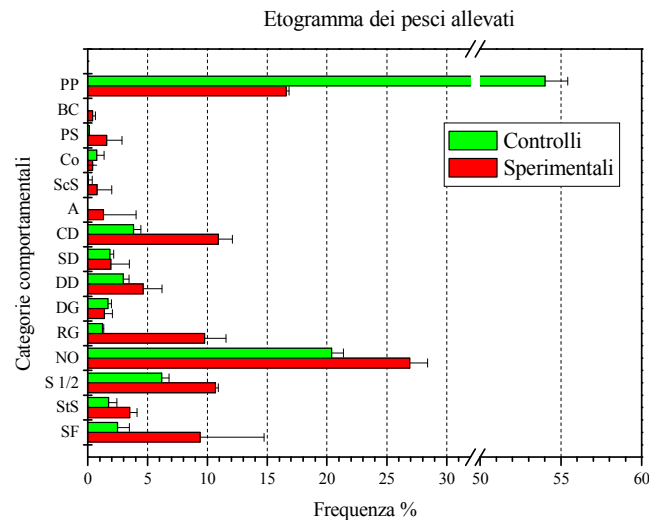


Figura 12. Confronto tra le frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali di *Sparus aurata* sperimentali e controllo. La media \pm dev.st deriva da 18 sessioni di osservazione (vedi Fig. 8 per gli acronimi).

Relativamente alla predazione, in figura 13 sono riportate le frequenze orarie medie riguardanti il confronto tra le repliche effettuate per i pesci controllo e per quelli sperimentali. I risultati mostrano che i pesci in presenza di *C. glaucum* scavano nella sabbia con una frequenza media significativamente maggiore (ANOVA, $p < 0,01$ da controllare) rispetto ai pesci delle vasche controllo ($5,7 \pm 2,7$ eventi h^{-1} vs $1,8 \pm 1,0$ eventi h^{-1}). I pesci del trattamento sperimentale attaccano *C. glaucum* compiendo in media $0,6 \pm 0,9$ beccate h^{-1} , sollevano con la bocca la preda in media $0,1 \pm 0,1$ volte in un'ora e la trasportano in un'altra zona della vasca $0,1 \pm 0,1$ volte in un'ora.

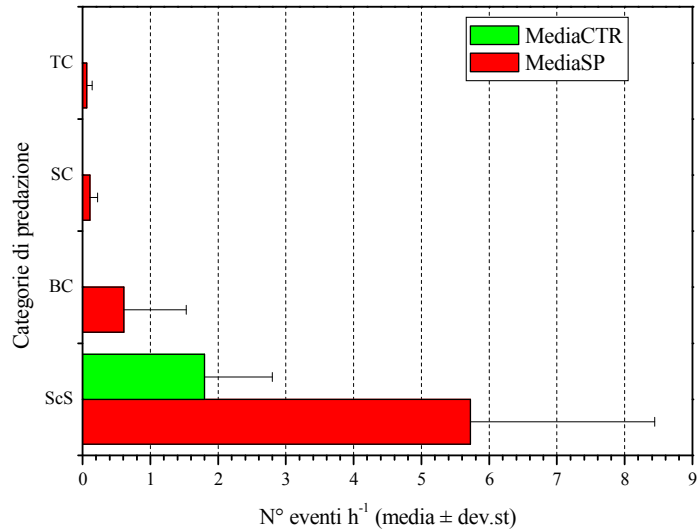


Figura 13. Frequenza oraria media delle categorie comportamentali di predazione dei trattamenti Sperimentale e Controllo. La media \pm dev.st deriva da 9 sessioni di osservazione.

Nelle figure 14 e 15 si riportano le frequenze percentuali delle categorie comportamentali delle orate di una vasca controllo e di una vasca sperimentale in presenza di *C. glaucum* aperto dall'operatore. Si nota come per entrambi i pesci diminuisce la frequenza percentuale del comportamento di perlustrazione delle pareti verticali ed aumenta il tempo impiegato nella ricerca del cibo. Il numero di attacchi e di beccate sul fondo per il pesce della vasca sperimentale aumenta da un valore medio di 8 ad uno di 36 eventi h^{-1} , mentre per l'orata in vasca controllo aumenta da 1.3 eventi h^{-1} a 78 eventi h^{-1} .

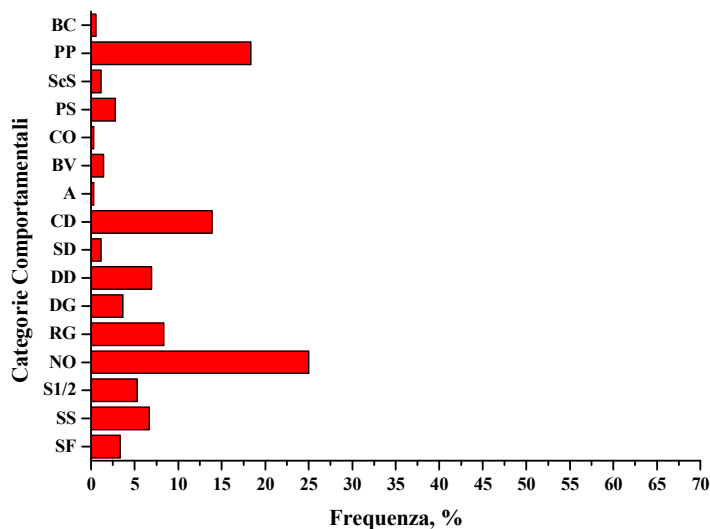


Figura 14. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali di *Sparus aurata* in vasca 10 sp dopo la presentazione di *C. glaucum* aperto dall'operatore.

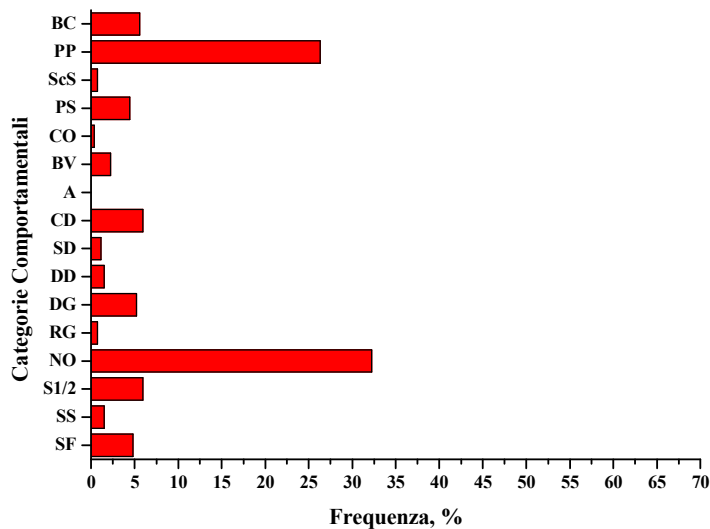


Figura 15. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali di *Sparus aurata* in vasca 14 dopo la presentazione di *C. glaucum* aperto dall'operatore.

Durante le nostre osservazioni gli individui di *Sparus aurata* allevati in cattività, non hanno mostrato e sviluppato l'abilità di rompere le valve del *C. glaucum*, eppure hanno evidenziato un comportamento influenzato dalla presenza del bivalve e significativamente differente dal comportamento dei pesci nelle vasche controllo.

Inoltre *C. glaucum* aperto dall'operatore ed introdotto in vasca è stato ingerito in pochi minuti dai pesci di entrambe le vasche. I due pesci della vasca sperimentale, che

avevano maggiore familiarità con le prede, sono stati i primi ad avvicinarsi ad esse e se ne sono cibati interamente effettuando la metà degli attacchi rispetto ai pesci delle vasche controllo (rispettivamente 40 ± 15 e 99 ± 6 attacchi);

Comportamento di *S. aurata* selvatico

In figura 16 sono riportate le frequenze percentuali delle categorie comportamentali delle orate selvatiche Alfa nelle vasche sperimentali (in presenza di *C. glaucum*). I pesci impiegano mediamente il $32,1 \pm 8,1\%$ del tempo nello Stazionamento sul Fondo, tuttavia si evidenzia un picco del $61,9 \pm 29,8\%$ per il pesce Alfa12sp. I pesci dominanti impiegano mediamente il $18,0 \pm 0,9\%$ del tempo nel Nuoto orizzontale, il $15,9 \pm 7,9\%$ in Perlustra Pareti ed inoltre il $4,9 \pm 0,8\%$ del tempo svolgendo attività legate alla ricerca del cibo sul fondo della vasca (Perlustra Sabbia + Scava Sabbia + Becca *Cerastoderma*); per queste ultime categorie la frequenza massima è stata riscontrata per il pesce Alfa15sp ($11,8 \pm 2,7\%$) e la minima per il pesce Alfa11sp ($2,4 \pm 1,0\%$).

In figura 16 sono riportate le frequenze percentuali delle categorie comportamentali delle orate selvatiche Alfa nelle vasche sperimentali (in presenza di *C. glaucum*). I pesci impiegano mediamente il $32,1 \pm 8,1\%$ del tempo nello stazionamento sul fondo, tuttavia si evidenzia un picco del $61,9 \pm 29,8\%$ per il pesce Alfa12sp. In media il $18,0 \pm 0,9\%$ del tempo è trascorso dai pesci nel Nuoto orizzontale e il $15,9 \pm 7,9\%$ in Perlustra pareti. I pesci dominanti impiegano mediamente il $4,9 \pm 0,8\%$ del tempo svolgendo attività legate alla ricerca del cibo sul fondo della vasca (Perlustra Sabbia + Scava Sabbia + Becca *Cerastoderma*); per queste ultime categorie la frequenza massima è stata riscontrata per il pesce Alfa15sp ($11,8 \pm 2,7\%$) e la minima per il pesce Alfa11sp ($2,4 \pm 1,0\%$).

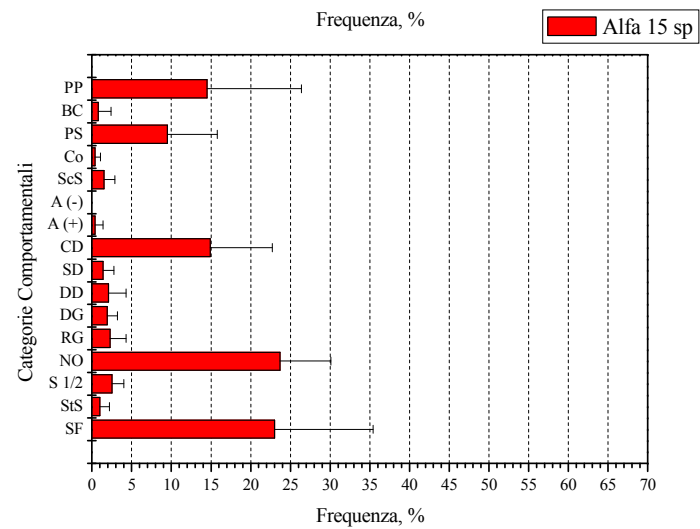
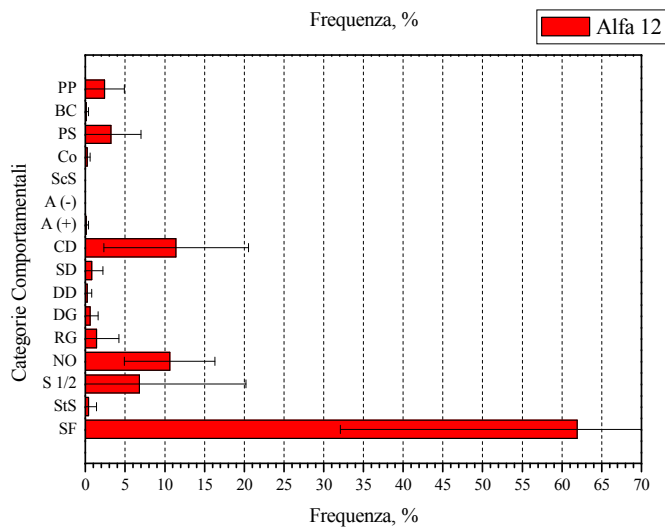
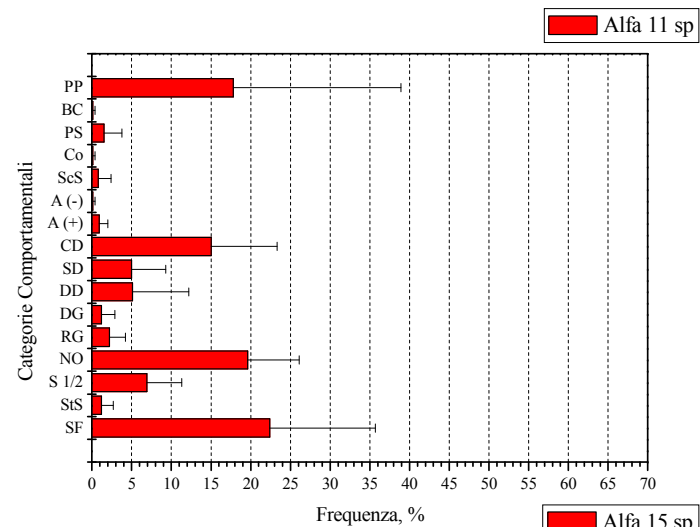
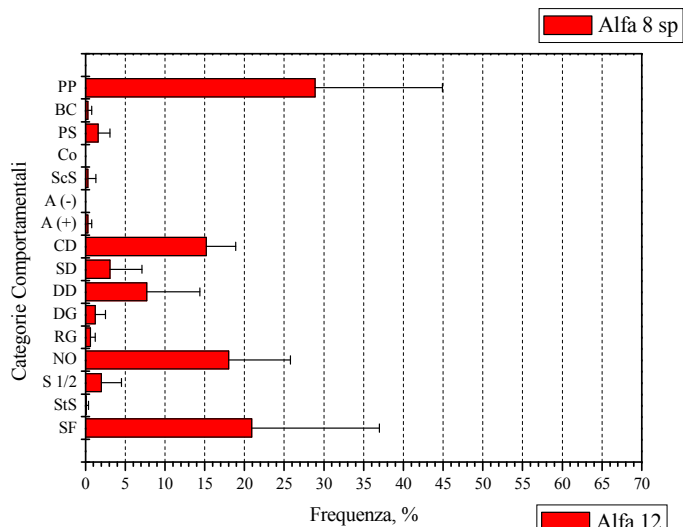
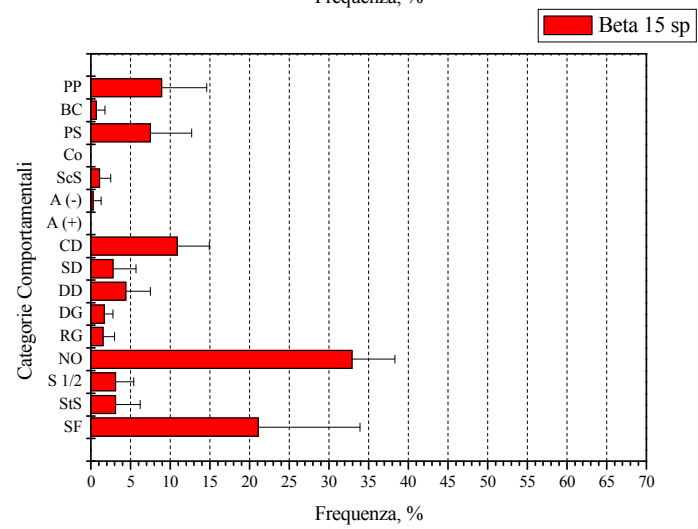
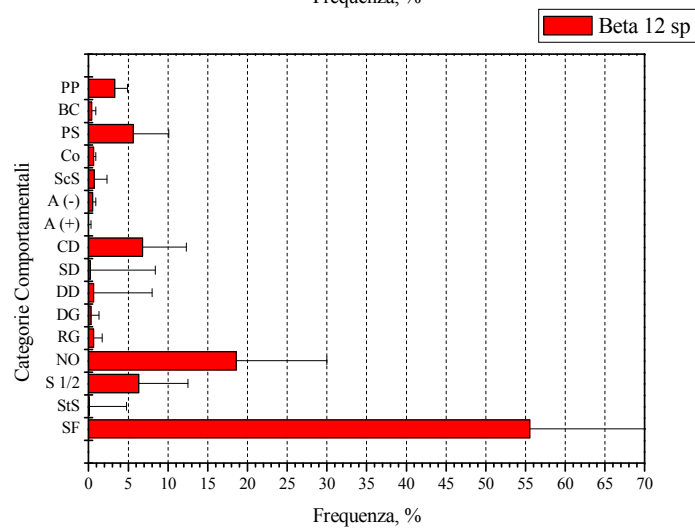
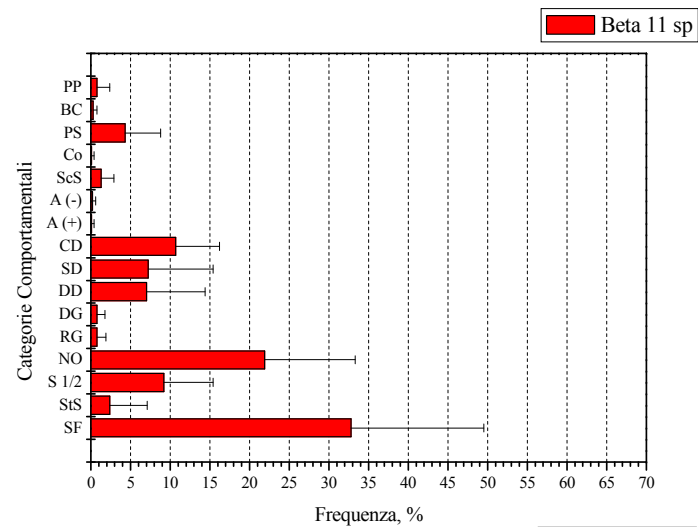
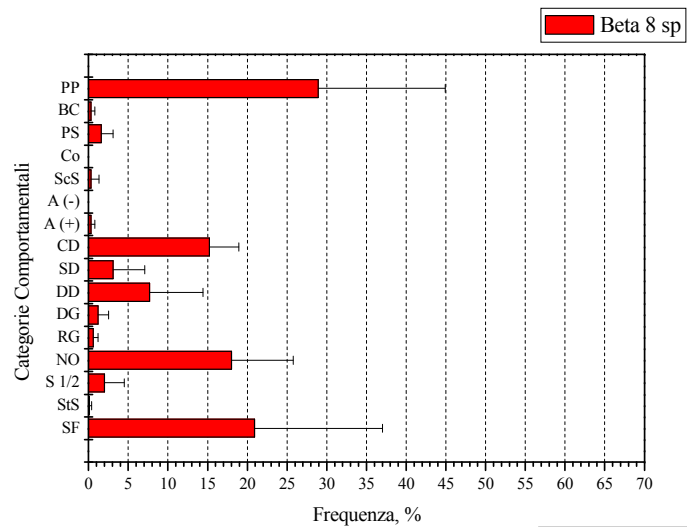


Figura 16. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali dei selvatici Alfa sp. [SF = Stazionamento sul Fondo, SS = Stazionamento in Superficie, S1/2 = Stazionamento a mezz'acqua, NO = Nuoto Orizzontale, RG= Risalita Graduale, DG = Discesa Graduale, CD = Cambio di Direzione, A(+)= Agonistico positivo, A(-)= Agonistico negativo, C = Contatto, PS = Perlustra sabbia, PP = Perlustra Pareti, DD = Discesa Diretta, SD = Salita Diretta, ScS = Scava Sabbia, BC = Becca *Cerastoderma*]. La media deriva da 12 sessioni di osservazione.

Analogamente ai pesci dominanti, per i pesci subordinati sperimentali (Beta sp) si osserva una frequenza media percentuale del $32.6 \pm 1.9\%$ nello Stazionamento sul Fondo con un massimo di $55.5 \pm 16.7\%$ registrato per il Beta12sp. Il $22.9 \pm 2.9\%$ del tempo è trascorso nel Nuoto Orizzontale e il $10.5 \pm 6.8\%$ in Perlustra Pareti anche se il Beta8sp mostra una frequenza media del $28.9 \pm 16.0\%$, significativamente più elevata (ANOVA, $p < 0.05$) rispetto alla media della categoria. Le frequenze medie dei pesci Beta relative alle categorie legate alla ricerca del cibo risultano essere non significativamente differenti rispetto agli Alfa: Perlustra Sabbia $4.8 \pm 1.7\%$ vs $4.0 \pm 2.1\%$, Scava sabbia 0.9 ± 0.3 vs $0.6 \pm 0.3\%$, Becca *Cerastoderma* 0.4 ± 0.3 vs $0.3 \pm 0.6\%$ (Fig. 17).

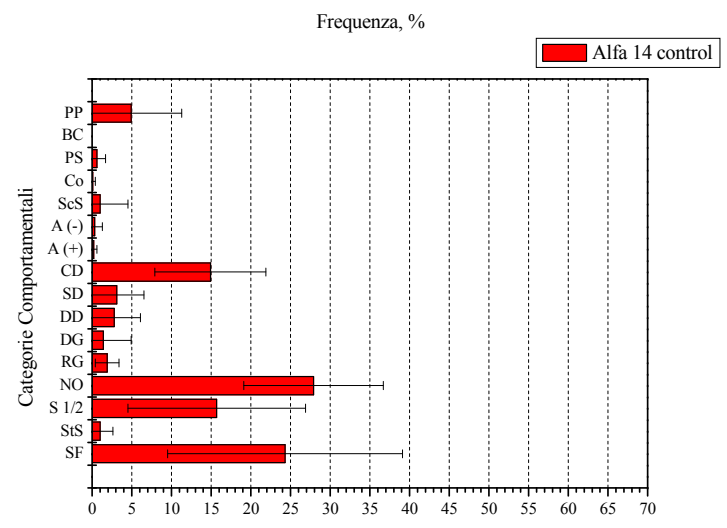
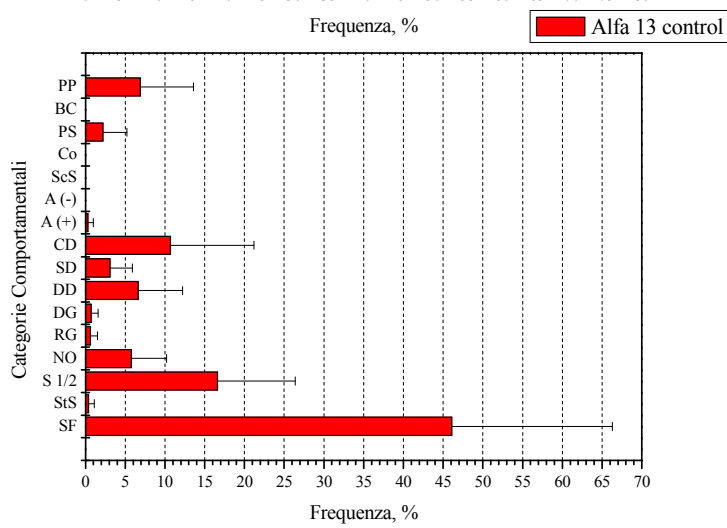
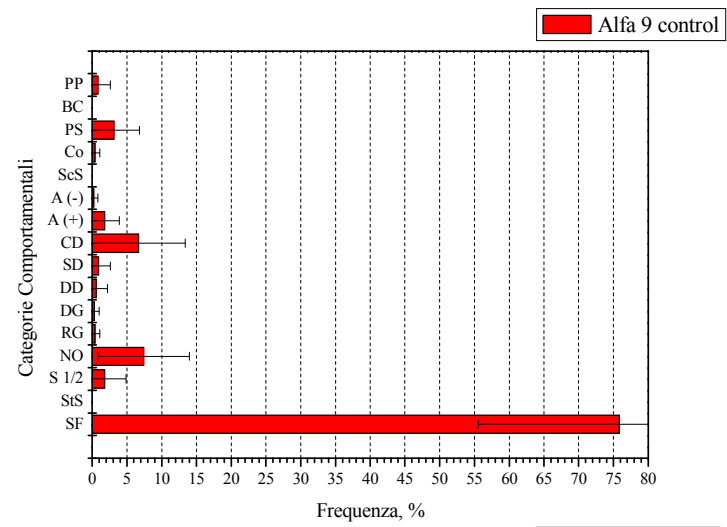
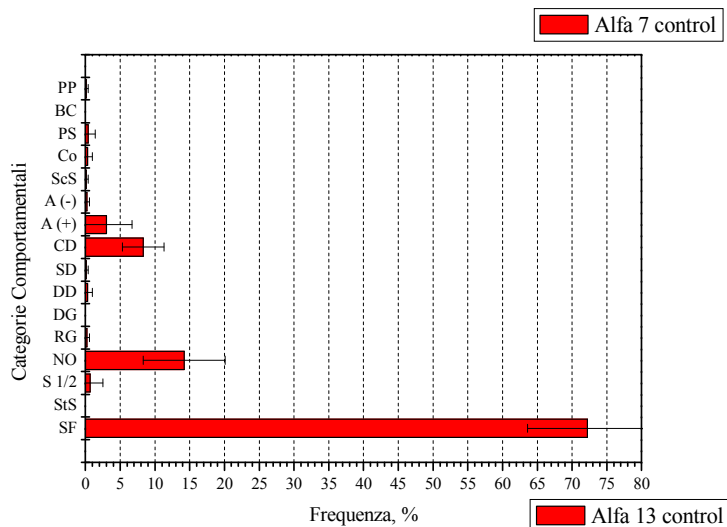
Per quanto riguarda il comportamento generale dei pesci dominanti nelle vasche controllo, in figura 18 osserviamo similitudini nel comportamento di Alfa7c e Alfa9c. Entrambi impiegano più del 70% del loro tempo stazionando sul fondo e le successive due categorie più frequenti sono Nuoto Orizzontale e Cambio di Direzione. Un comportamento diverso è riscontrato per Alfa14c, le cui attività più frequenti sono Stazionamento sul Fondo, Stazionamento a mezz'acqua, Nuoto Orizzontale e Cambio di Direzione, che in media rappresentano ciascuno il $20,0 \pm 3,7\%$. Le altre attività presenti mostrano una frequenza minore del 5%. La media delle frequenze percentuali dei selvatici Alfa controllo per le categorie legata alla ricerca del cibo sul fondo si attesta su valori piuttosto bassi: Perlustra sabbia $1,6 \pm 1,4\%$ e Scava sabbia $0,3 \pm 1,7\%$.

Per i Beta controllo si rileva che essi trascorrono almeno il 50% del loro tempo stazionando all'interno della vasca: Stazionamento sul Fondo + Stazionamento a mezz'acqua + Stazionamento in Superficie. Piuttosto costante si mantiene il cambio di direzione dei subordinati nelle quattro vasche controllo con un valore medio di $9,1 \pm 1,5\%$. Come per gli Alfa controllo, anche per i selvatici Beta controllo i valori delle categorie legate alla ricerca del cibo sul fondo sono bassi: Perlustra sabbia $1,2 \pm 1,0\%$ e Scava sabbia $0,4 \pm 0,6\%$ (Fig. 19).



ura 17. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali dei pesci selvatici Beta sp. La media deriva da 12 sessioni di osservazione (vedi Fig. 16 per gli acronimi).

F
i
g



Fig

ura 18. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali dei selvatici Alfa controllo. La media deriva da 12 sessioni di osservazione (vedi Fig. 16 per gli acronimi).

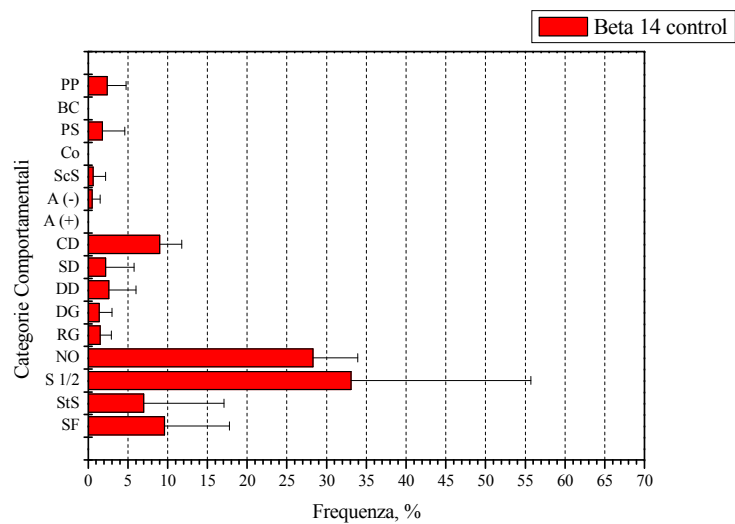
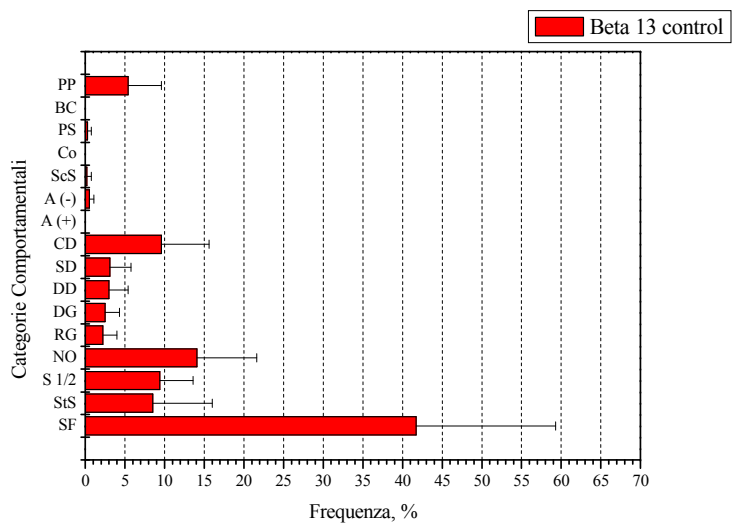
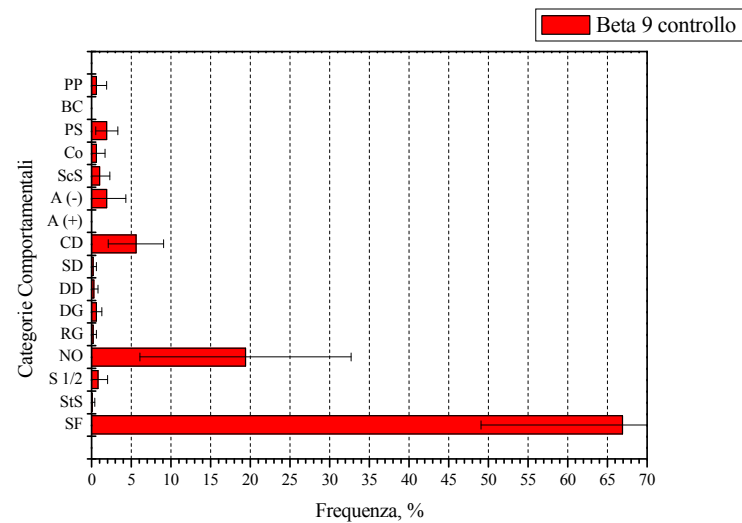
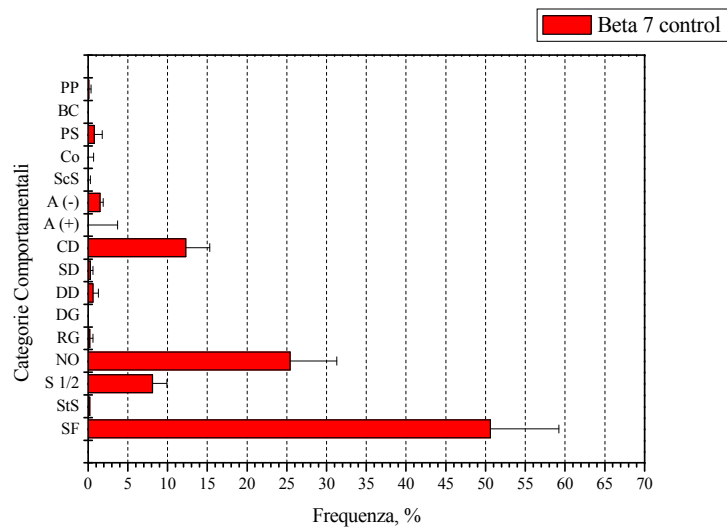


Figura 19. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali dei Beta controllo. La media deriva da 12 sessioni di osservazione (vedi Fig. 16 per gli acronimi).

Analizzando le categorie comportamentali dei trattamenti, sperimentale e controllo insieme, si evidenziano differenze significative nella frequenza della categoria comportamentale Perlustra Sabbia (ANOVA, $p < 0.05$), (Tab. 4). Infatti, i pesci del trattamento sperimentale in presenza della preda perlustrano la sabbia in maniera più intensa rispetto a quelli delle vasche controllo ($4,4 \pm 1,8$ vs $1,4 \pm 1,2\%$). Inoltre, per la categoria Stazionamento sul fondo i pesci controllo sembrano presentare delle frequenze percentuali medie più alte rispetto agli sperimentali. La variabilità individuale gioca un ruolo importante: all'interno di uno stesso trattamento (controllo o sperimentale) si evidenziano differenze individuali significative per le categorie Stazionamento in Superficie, Nuoto Orizzontale, Perlustra Pareti, Salita Diretta. Relativamente al Cambio di Direzione sono state riscontrate differenze significative tra i diversi giorni di registrazione (ANOVA, $p < 0.01$). Per quanto riguarda le categorie Stazionamento a mezz'acqua, Agonistico (+), Agonistico (-) e Contatto non vi sono differenze significative né individuali né tra i trattamenti (Fig. 20).

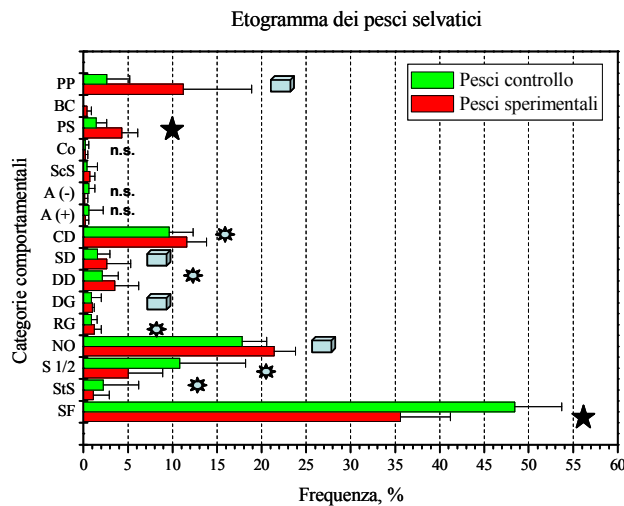


Figura 20. Frequenze percentuali medie delle categorie comportamentali dei trattamenti Sperimentale e Controllo. La media \pm dev.std deriva da 12 sessioni di osservazione (vedi Fig. 16 per gli acronimi). ★ = differenza significativa tra i trattamenti ($p < 0.01$), ⚙️ = differenza significativa tra i differenti giorni di registrazione; ☐ = differenza significativa tra le vasche sottoposte ad uno stesso trattamento ($p < 0.01$), n.s. = non significativo; (per ANOVA vedi Tab. 4).

In figura 21 è riportato in grafico il confronto dei dati relativi alla predazione dei pesci selvatici Alfa e Beta sperimentali calcolando la media del numero di eventi che si verificano nell'unità di tempo. I pesci Alfa presentano una frequenza oraria media di 6.7 ± 1.6 eventi h^{-1} per Scava Sabbia, beccano *C. glaucum* con una frequenza pari a 7.5 ± 1.1 eventi h^{-1} , lo sollevano con la bocca dalla sabbia mediamente per 1.0 ± 0.2 eventi h^{-1} e lo trasportano da un punto all'altro delle vasca in media per 0.9 ± 0.3 eventi h^{-1} . I pesci Beta scavano nella sabbia con una frequenza media di 9.9 ± 2.1 eventi h^{-1} , beccano *C. glaucum* 15.0 ± 3.2 volte nell'unità di tempo, lo sollevano mediamente per 0.9 ± 0.6 eventi h^{-1} e lo spostano da un punto all'altro delle vasca con una frequenza pari a 0.2 ± 0.3 eventi h^{-1} .

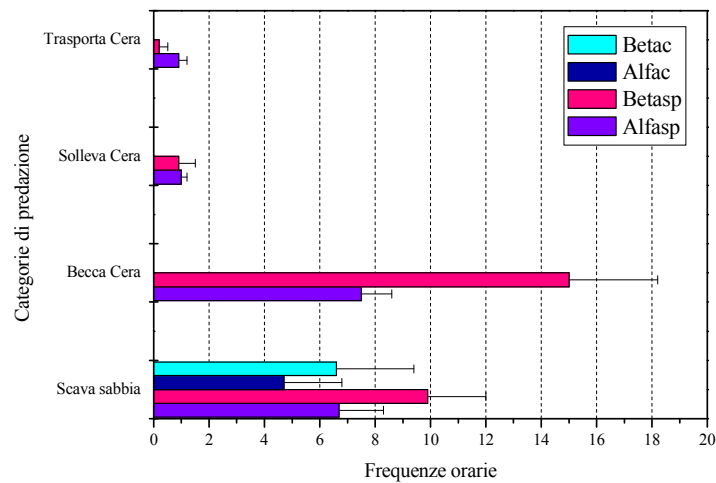


Figura 21. Frequenza oraria media delle categorie comportamentali di predazione dei pesci selvatici Alfa e Beta, espressa come n° eventi h^{-1} . La media deriva da 3 sessioni di osservazione x 4 pesci.

Confrontando i pesci selvatici delle vasche controllo con quelli delle sperimentali si rileva che i pesci sperimentali scavano con una frequenza

significativamente maggiore ($p < 0.05$) rispetto ai pesci controllo ($8.3 \pm 0.4\%$ vs $5.6 \pm 0.5\%$). Inoltre si nota che i pesci Beta scavano nella sabbia e beccano *C. glaucum* più degli alfa. Tuttavia, tale differenza non è significativa ($P > 0.05$) e non si riscontra nelle altre categorie di predazione.

Source of Variation	DF	<i>Scava Sabbia</i>			<i>Becca Cerastoderma</i>			<i>Solleva Cerastoderma</i>			<i>Trasporta Cerastoderma</i>		
		MS	F	P	MS	F	P	MS	F	P	MS	F	P
tr	1	84.01	7.31	0.035	62.37	400.16	0.0	3.19	7.91	0.031	3.52	15.36	0.008
va(tr)	6	11.50	0.55	0.763	0.16	0.84	0.547	0.40	6.80	0.000	0.23	1.00	0.442
ge	1	76.26	2.15	0.193	1.23	2.85	0.142	0.02	0.06	0.810	1.33	7.38	0.035
trXge	1	5.01	0.14	0.720	1.23	2.85	0.142	0.02	0.06	0.810	1.33	7.38	0.035
geXva(tr)	6	35.52	1.71	0.151	0.43	2.32	0.056	0.27	4.49	0.002	0.18	0.79	0.586
RES	32	20.76			0.19			0.06			0.23		
Trasformazione		nessuna			Ln(x+1)			Ln(x+1)			nessuna		
Cochran's test		ns			ns			ns			ns		

Tab. 4. Analisi della varianza sulle categorie di predazione relative al confronto Allevati vs selvatici.

Confronto Allevati vs Selvatici

Raffrontando il comportamento generale dei pesci delle due origini (Allevati e Selvatici) si rilevano differenze di frequenze medie totali per quanto riguarda le categorie di Perlustra pareti e Stazionamento sul Fondo, soprattutto relativamente ai pesci delle vasche controllo (e.g. Perlustra Pareti degli Allevati controllo $57,4 \pm 3,4\%$ vs $2.7 \pm 2.0\%$ dei Selvatici controllo). Inoltre, limitatamente ai controlli, si osservano differenze tra i Selvatici e gli Allevati nell'attività di Perlustrare la sabbia. In particolare, i Selvatici presentano una frequenza percentuale media del $0.9 \pm 0.6\%$, mentre gli Allevati si attestano su valori medi più bassi ($0.1 \pm 0.0\%$). Tuttavia le basse frequenze registrate e la proporzionalmente ampia deviazione standard dei Selvatici controllo tolgono significatività al dato. Per lo Stazionamento in

Superficie e lo Stazionamento a mezz'acqua si notano inversioni di tendenza fra i trattamenti; ovvero negli Allevati sono più alte le frequenze medie degli sperimentali mentre nei Selvatici quelle dei controlli. Simili sembrano essere le frequenze medie totali delle altre categorie comportamentali.

Per quanto riguarda la predazione, i pesci selvatici presentano frequenze orarie medie maggiori per tutte le categorie rispetto agli allevati. Inoltre, risulta essere significativa la differenza tra gli sperimentali e i controlli sia per i pesci allevati che per i selvatici. Nella fattispecie, abbiamo registrato le seguenti frequenze di Scava Sabbia per le due origini: 7.0 ± 0.5 eventi h^{-1} (Selvatici) vs 3.8 ± 1.2 eventi h^{-1} (Allevati). In media i pesci sperimentali, sia selvatici che allevati, scavano nella sabbia con una frequenza significativamente maggiore rispetto ai controlli. Le frequenze sono: $8.3 \pm 0.3\%$ vs $5.6 \pm 0.5\%$ nei Selvatici, $5.7 \pm 2.7\%$ vs $1.8 \pm 1.0\%$ negli Allevati. Per le categorie di predazione che riguardano i soli pesci sperimentali, rispettivamente selvatici e allevati, è risultato: Becca *Cerastoderma* 5.6 ± 1.5 eventi h^{-1} vs 0.3 ± 0.6 eventi h^{-1} , Solleva *Cerastoderma* 0.5 ± 0.3 eventi h^{-1} vs 0.1 ± 0.1 eventi h^{-1} , Trasporta *Cerastoderma* 0.3 ± 0.2 eventi h^{-1} vs 0.0 ± 0.1 eventi h^{-1} .

DISCUSSIONI

In bibliografia sono diversi gli esempi che riportano tentativi di ripopolamento in mare rivelatisi inefficaci a causa dell'utilizzo di individui sottoposti a lunghi periodi di dieta artificiale negli impianti di allevamento, nei quali sorgono spesso difficoltà correlate alla cattura di cibo in condizioni naturali (Mills, 1969; De Silva, 1973, Blaxter, 1975).

In ambienti artificiali, infatti, gli animali sono privati di molti degli stimoli a cui sono soggetti allo stato selvatico, e ciò può alterare il comportamento di predazione e quindi la loro sopravvivenza o il successo riproduttivo se rilasciati in natura.

Nel presente studio sono state riscontrate delle differenze significative tra il comportamento di orate selvatiche e quelle nate in cattività soprattutto per quanto riguarda la loro capacità di riconoscimento e di attacco della preda selvatica come il bivalve *C. glaucum*. Gli animali selvatici si sono dimostrati più efficienti nell'individuare ed attaccare la preda, nonostante le loro minori dimensioni rispetto ai pesci cresciuti in condizioni di cattività. I ripetitivi attacchi delle orate selvatiche si sono talvolta rivelati efficaci, causando la morte del mollusco e l'apertura delle valve, in modo da consentire al pesce di cibarsi dei suoi tessuti molli. La media di *C. glaucum* predato alla fine degli esperimenti è di 1,6 individui per vasca. Tale dato rappresenta circa il 10% delle prede disponibili. Nella vasca del pesce Beta9s sono stati rinvenute un maggior numero di prede consumate (*C. glaucum* n = 7). Ciò è verosimilmente dovuto al più rilevante numero di attacchi effettuati dal predatore ($27,2 \pm 11,1$ eventi h^{-1}) rispetto ai predatori delle altre vasche sperimentali ($14,8 \pm 5,8$ eventi h^{-1}).

Di contro i pesci allevati, decisamente meno avvezzi a cimentarsi con una preda viva, non sono mai riusciti a condurre a termine un attacco mortale, limitandosi a cibarsi solo degli esemplari di *C. glaucum* aperti dall'operatore o morti per cause non correlabili alla predazione. Tuttavia, durante tutti i nostri

esperimenti, a prescindere dal successo degli attacchi, le orate di entrambe le origini hanno impiegato una comune strategia di attacco schematizzabile con la seguente successione ordinata di eventi: perlustrare la sabbia, prendere il bivalve con la bocca, estrarlo dalla sabbia ed infine addossarlo alle pareti dell'acquario. In figura 22 è mostrata la disposizione di *C. glaucum* rispettivamente all'inizio e alla fine di uno degli esperimenti effettuati in acquario. E' ipotizzabile che tale attività comune possa essere correlata al fatto che i bivalvi addossati alle pareti della vasca possono essere più efficacemente attaccati.

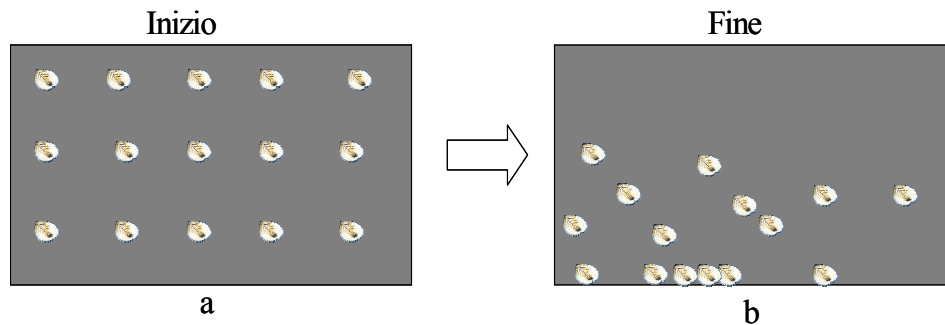


Figura 15. Disposizione del *C. glaucum* all'inizio (a) e alla fine dell'esperimento (b).
Osservazione effettuata in vasca 9 sperimentale dal 10/04/03 al 12/04/03.

In termini generali, all'interno di una stessa specie, possiamo rilevare differenze importanti nelle condizioni di vita di individui selvatici e allevati. I Selvatici sono sottoposti ad una più alta pressione selettiva a causa della competizione per le risorse alimentari, gli Allevati sono soggetti alle elevate densità di esercizio degli impianti di acquicoltura.

In conseguenza alle diverse limitazioni spaziali è stato osservato sui salmoni una netta differenza comportamentale: i Selvatici, liberi di nuotare in spazi ampi, sono molto meno aggressivi degli Allevati, stressati dalla permanenza in spazi angusti e sovraffollati (Blaxter, 1975). Per contro, dai nostri risultati non si riscontra alcuna differenza significativa nel

comportamento agonistico tra allevati e Selvatici. Ciò probabilmente può essere spiegato dal fatto che il comportamento dei pesci selvatici è stato, nel presente studio, osservato in condizioni di cattività e non direttamente in natura. Inoltre, i nostri studi hanno rilevato che i pesci selvatici controllo si sono mostrati più aggressivi in termini di una maggiore frequenza di attacchi rivolti al secondo pesce presente in vasca, rispetto ai pesci delle vasche sperimentali, sebbene le differenze non siano statisticamente significative. Questo fatto è dovuto probabilmente alla maggiore suscettibilità e competizione che conseguono alla minore disponibilità di cibo, nonché allo spostamento dell'attenzione dalla preda (in questo caso assente) al "compagno" di vasca.

Riguardo alle modificazioni comportamentali tra pesci selvatici e pesci allevati un ruolo di primo piano spetta senz'altro allo stress da sovraffollamento che influenza la morfologia e la risposta biochimica dei pesci (Blaxter, 1975).

Per quanto riguarda la morfologia, in molte specie, quali *Carassius auratus*, *Salmo trutta*, *Clupea harengus*, è stato dimostrato un aumento delle dimensioni in dipendenza del tempo trascorso in impianto. Tale aumento sembrava correlata ad una gerarchia di taglia tra i pesci. La gerarchia era evidente in presenza di un eccesso di cibo, in quanto l'alimentazione del pesce più piccolo sembrava inibita dalla presenza di individui più grandi dominanti. Esemplificativo è lo studio effettuato da Fleming (1994) sulla divergenza nei fenotipi di individui di salmoni atlantici (*Salmo salar*) selvatici, allevati sia estensivamente in mare che in impianto di piscicoltura a terra ma tutti appartenenti al medesimo stock genetico (Norvegia). Qui i pesci sono stati messi a confronto con salmoni appartenenti alla specie *Oncorhynchus kisutch*, allevati invece estensivamente in mare per diverse generazioni. I confronti hanno rivelato che i giovanili allevati presentavano la testa più piccola e i peduncoli caudali più fini, ovvero differenze che permettevano di distinguerli dai selvatici senza andare incontro ad errori. Le divergenze tra gli adulti

riguardavano soprattutto il confronto tra i salmoni allo stato selvatico e quelli della specie *O. kisutch*, e ciò portò a dedurre che le differenze fossero dovute ad una serie di cambiamenti evolutivi accumulatisi nel corso del tempo. Inoltre il mantenimento di giovanili in cattività fino all'età adulta sembrava incrementare considerevolmente le divergenze fenotipiche indotte dal mezzo in termini di diminuzione della taglia delle pinne e corpo meno allungato. La variabile densità risultava essere il fattore chiave di modificazione ambientale quale fonte di stress e competizione per il cibo. Più recentemente, studi sull'allevamento del sarago pizzuto, *Diplodus puntazzo*, in tre differenti tipologie di coltura, (Sarà M., *et al.*, 1999) hanno rivelato, a distanza di circa 8 mesi, modificazioni morfologiche significative tra pesci allevati in impianto a terra in monocultura e pesci posti in gabbie marine *off-shore* in monocultura ed in policoltura con *S. aurata*. I risultati di tale studio hanno rilevato quattro regioni del corpo interessate alle modifiche morfologiche dovute alle condizioni di allevamento: dorsale, infraopercolare, ventrale, anale.

Dal punto di vista biochimico, nelle trote brune e nei salmoni allevati sono state riscontrate basse concentrazioni di proteine e alti contenuti in grassi. Ciò è stato giudicato sorprendente in quanto i salmoni erano stati allevati con una dieta essenzialmente proteica; da ciò si assume pertanto che buona parte delle proteine siano trasformate in grassi. All'aumentare del contenuto in grassi, poiché essi sono inversamente proporzionali all'acqua, la quantità di quest'ultima tende ad abbassarsi a livelli sensibilmente inferiori a quelli dei pesci selvatici (Blaxter, 1975).

L'affollamento in vasca è certamente causa di stress ed aggressività, ma tali risposte possono essere alleviate fornendo adeguate quantità di cibo. Con cibo limitato, il pesce dominante cresce più velocemente. Inoltre, se il cibo non è distribuito uniformemente, si instaurano meccanismi di territorialità e difesa di quelle aree con maggiori risorse trofiche. Tra i giovanili del salmone atlantico, *Salmo salar*, la mancanza di cibo genera aggressività e instaura rapporti di dominanza che sembrano essere più frequenti tra gli allevati

rispetto ai selvatici, presumibilmente a causa delle maggiori interazioni sociali all'interno delle vasche. Si nota tuttavia che i comportamenti agonistici e di territorialità cessano quando la densità degli individui raggiunge livelli particolarmente elevati. In tali condizioni, la biomassa in eccesso impedisce fisicamente qualsiasi forma di ripartizione spaziale.

Un altro studio condotto sui giovanili del salmone atlantico (Reiriz *et al.*, 1998) mantenuti in vasche di allevamento e alimentati con cibo artificiale fin dallo stadio larvale, ha messo in evidenza come dopo un breve periodo di esperienza su prede vive, il tasso di consumo di larve di *Hydropsyche* incrementava considerevolmente, mentre quello dell'anfipode *Gammarus* decresceva. Nessuno di questi pesci aveva mai avuto esperienza con la preda naturale prima degli esperimenti. I risultati ottenuti sono stati avvalorati dal confronto con le preferenze alimentari di pesci selvatici della stessa specie e di età e taglia simili, rivelatesi sovrapponibili a quelle degli allevati sottoposti al processo di apprendimento. Tali osservazioni sono state effettuate previo mantenimento dei pesci a digiuno nelle vasche per ~20h. La preferenza alimentare delle ninfe dell'efemerottero *Ecdyonurus* risultava più o meno marcata a seconda dell'area di origine della popolazione. Il numero totale di prede mangiate era comunque superiore per gli individui che hanno avuto esperienza con la preda per alcuni giorni rispetto a quelli totalmente inesperti. Inoltre, i pesci con esperienza presentano frequenze superiori per la cattura seguita da ingestione della preda e inferiori per la cattura seguita da rilascio o per l'assenza di cattura. *Gammarus* è la preda più frequentemente rilasciata, probabilmente perché riconosciuta (dopo averla manipolata) come la meno appetibile. Tale scelta è in accordo con l'effettivo minor contenuto energetico della preda e con le maggiori difficoltà connesse alla digeribilità delle sue componenti esterne, nel rispetto delle predizioni della teoria della dieta ottimale (Reiriz *et al* 1998).

In un esperimento di laboratorio sono stati investigati gli effetti dell'abilità della trota bruna nel catturare e consumare prede vive (Sundström & Johnsson,

2000). A tale scopo, esemplari di grillo nero (*Gryllus desertus*) sono stati presentati a trote selvatiche e allevate in cattività ma provenienti dallo stesso fiume. E' stato osservato il comportamento dei pesci, sia in isolamento individuale che in contatto visivo ed olfattivo con un altro. Il tempo totale di consumo, quello di effettuazione del primo morso e l'efficienza di predazione sono stati monitorati. Le trote di provenienza selvatica si sono rivelate più veloci nell'attacco e nel consumo delle prede; ciò è spiegabile principalmente in relazione alla maggiore esperienza di predazione su prede vive. Si è osservato che l'inabilità dei pesci allevati a nutrirsi di prede vive può ridurre il loro successo quando rilasciati in libertà, specialmente se si trovano in competizione con i pesci selvatici residenti. Il consumo totale e la sua efficienza aumentano con il passare del tempo sia per gli Allevati che per i Selvatici. Inoltre, le trote selvatiche tendono a predare più velocemente se si trovano in contatto visivo con altri pesci piuttosto che in condizione di isolamento. Questo comportamento non è stato riscontrato negli Allevati.

Simili risultati hanno caratterizzato anche i nostri esperimenti sul comportamento di predazione. Infatti, i pesci allevati dopo aver preso familiarità con la preda, ovvero dopo aver ingerito i tessuti molli del bivalve aperto dall'operatore, hanno intensificato i tentativi di scavare nella sabbia, sollevare e beccare *C. glaucum* vivi.

CONCLUSIONI

I nostri risultati hanno evidenziato che:

- Il comportamento di *Sparus aurata*, sia allevato che selvatico, sembra essere stato condizionato dalla presenza di *Cerastoderma glaucum* in vasca. Tali differenze sembravano riscontrabili soprattutto per il comportamento legato alla ricerca di cibo sul fondo (e.g.: gli atti compiuti allo scopo di scavare nella sabbia).
- La presenza della preda non sembra influenzare i comportamenti, Agonistico, Discesa Graduale e Salita diretta e Discesa Diretta di entrambe le origini.
- Tutte le prede ritrovate morte nelle vasche sperimentali sono state mangiate dai pesci, anche se non è possibile affermare con assoluta certezza che la morte sia stata causata da atti di predazione. Tuttavia, l'elevato numero di attacchi realizzati dai pesci, soprattutto selvatici, e la successiva morte dei bivalvi inducono a considerare ragionevole l'esistenza di un nesso causa-effetto tra i due eventi.
- Per alcune categorie comportamentali come Stazionamento sul Fondo, Perlustra Pareti e Salita Diretta si è riscontrata un'elevata variabilità individuale tra i pesci all'interno di uno stesso trattamento.

In definitiva, l'attività di predazione di *S. aurata* nei riguardi di *C. glaucum* sembra non essere molto efficiente. Come indicato nei risultati, i pesci selvatici hanno beccato il bivalve con una frequenza media di $5,6 \pm 1,5$ eventi h^{-1} ed alla fine hanno mangiato in media solo 1,6 *C. glaucum* per vasca in 2 giorni, mentre gli allevati i valori scendono addirittura a $0,3 \pm 0,6$ eventi h^{-1} , non riuscendo mai ad alimentarsi di *C. glaucum*. nei 2 giorni di ciascuna replica degli esperimenti. La scarsa attività di predazione potrebbe essere dovuta alle condizioni di stress create dall'ambiente artificiale, confinato e di

dimensioni ridotte, che può avere condizionato il comportamento dei pesci. Inoltre, la taglia dei pesci esaminati disponibile per questo studio potrebbe essere risultata piccola in confronto alle dimensioni della preda (Troncale, 2003): Viceversa *C. glaucum* di dimensioni inferiori (purtroppo difficilmente reperibile in campo), possedendo delle valve più fragili, sarebbero state più vulnerabili all'attacco delle orate.

Ulteriori studi già effettuati, i cui risultati sono in fase di elaborazione, hanno avuto lo scopo di determinare la preferenza alimentare selettiva di *Sparus aurata* su prede di specie diverse e taglie variabili. Inoltre, si prevede di estendere gli esperimenti in ambiente naturale, al fine di diminuire considerevolmente le probabili deviazioni comportamentali causate dall'artefatto sperimentale, determinato dalle condizioni di laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

- Alcock, J., 1992. Etologia. Un approccio evolutivo. Zanichelli (288-359).
- Blaxter, J.H.S., 1975. Reared and wild fish: -how do they compare? *European Symposium on Marine Biology*. **1**:11-26.
- Ciattaglia, A., Belluscio A., Ardizzone G. D., 1994. Allevamento di orata (*Sparus aurata* L., 1758), in gabbie galleggianti nell'isola di Ponza. *Biol. Mar. Medit.* **1** (1): 443- 444.
- Colgan, P. W., 1989. Animal Motivation. Chapman and Hall, London. 168 pp.
- Croy, M. I., Hughes R. N., 1991. The role of learning and memory on the feeding behaviour of the fifteen-spined stickleback (*Spinachia spinachia* L., 1758). *Anim. Behav.* **41**:161-170.
- Dame, R. F., 1996. Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem approach (86-98).
- De Silva, S. S., 1973. Abundance, structure, growth and origin of inshore clupeid populations of the west coast of Scotland. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **12**: 119-144.
- Fleming, I. A., Jonsson, B., and Gross. M.R., 1994. Phenotypic divergence of sea-ranched, farmed, and wild salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **51**:2808-2824.
- Fretwell, S. D., Lucas H. L., 1970. On territorial behaviour and other factors influencing habitat distribution birds. *Acta Bioteor.* **19**:16-36.
- Hart, P. J. B., Ison, S., 1991. The influence of prey size and abundance, and predator Phenotype, on prey choice by three spine stickleback. *J. Fish Biol.* **38**:359-372.
- Hart, P. J. B., Gill A. B., 1992. Constraints on prey size selection by threespine stickleback: energy requirements and the capacity and fullness of the gut. *J. Fish Biol.* **40**:205-218.

- Holling, C. S., 1959. The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation on the European sawfly. *Can. Ent.* **91**:293-320.
- Internet, <http://www.regione.emilia-romagna.it>.
- Krebs, J. R., Davies N. B., 1993. Behavioural ecology. An Evolutionary approach. Blackwell Scientific Publications (105-168).
- Mann, R. H. K., 1982. The annual food consumption and prey preference of pike (*Esox lucius*) in the River From, Dorset. *J. Anim. Ecol.* **51**:81-95.
- Martin, P., Bateson P., 1988. Recording Methods. In: Measuring Behaviour. Cambridge University Press (Ed), Cambridge (48-69)
- Martinelli, M., Mocci A., Pagliara T.M., 1992. Differenti abitudini alimentari di stadi giovanili di *Diplodus puntazzo* (Cetti, 1777), *Sparus aurata* (L., 1758) e *Dicentrarchus labrax* (L., 1758) nella laguna di Casaraccio (Sardegna Nord-occidentale). *Biologia Marina, suppl. al Notiziario S.I.B.M.* **1**: 177-178.
- Mattila, J., Bonsdorff E., 1998. Predation by juvenile flounder (*Platichthys flesus* L.): a test of prey vulnerability, predator preference, swiching behaviour and functional response. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **227**: 221-236.
- McArthur, V. E., 1998. Predation and the survival of juvenile *Cerastoderma glaucum* Bruguière (Mollusca: bivalvia) in a coastal lagoon. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **225**: 79-97.
- Mills, D. H., 1969. The survival of hatchery-reared salmon fry in some Scottish streams. *Freshwat. Salm. Fish. Res.* **39**. 12pp.
- O'Brien, W. J., Evans, B.I. and Browman, H.I. 1989. Flexible search tactics and efficient foraging in salutory searching animals. *Oecologia* **80**:100-110.
- Odum, E. P., 1988. Basi di ecologia. Piccin editore, Padova. 544 pp.
- Orians, G. H., 1981. Foraging behaviour and the evolution of discriminatory abilities. In: Foraging Behaviour, Ecological, Ethological and Phychological

- Approaches. A. C. Kamil and T. D. Sargent Eds, Garland STPM Press, New York (389-405).
- Peterson, C. H., Quammen, M.L. 1982 Siphon nipping: its importance to small fishes and its impact on growth of the bivalve *Protothaca staminea* (Conrad) *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **63**:249-268.
- Pipitone, C., Massari F., Thomas M., 1995. I pesci delle acque costiere italiane. Epos Società Editrice.
- Sarà, M., Favalaro E., Mazzola A., 1999. Comparative morphometrics of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo* Cetti, 1777), reared in different conditions. *Aquacultural Engineering* **19**:195-209.
- Pitcher, T. J., 1996. Teleost foraging: facts and Theories. In: Chapman and Hall Eds, Behaviour of Teleost Fishes, London (253-284).
- Reiriz, L., Nicieza A.G., Brana F., 1998. Prey selections by experienced and naive juvenile Atlantic Salmon. *J. Fish Biol.* **53** (1):100-114.
- Relini, G., Bertrand, J., Zamboni, A., 1999. Sintesi delle conoscenze sulle risorse del Mediterraneo centrale (Italia e Corsica). *Biol. Mar. Medit.* **6** (1):438-442.
- Ricklfes, R., 1978. L'economia della natura. Zanichelli. 630pp.
- Rohlf, F. J., 1981. Biometry. W. H. Freeman and C., New York. 859 pp.
- Sundström, L. F., Johnsson, J.I., 2000. Experience and social environment influence the ability of young brown trout to forage on live novel prey. *Anim. Behav.* **61**:249-255.
- Tancioni L., S.Mariani, A.Maccaroni, A.Mariani, F.Massa, M.Scardi, S.Cataudella, 2003. Locality-specific variation in the feeding of *Sparus aurata* L. evidence from two Mediterranean lagoon systems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **57**:469-474.
- Taylor, R. J., 1984. Predation. Chapman and Hall, New York. 166 pp.

- Thomas, G., 1974. The influence of encountering a food object on the subsequent searching behaviour in *Gasterosteus aculeatus* L. *Anim. Behav.* **22**:941-952.
- Tortonese, E., 1975. Osteichthyes Pesci ossei. Ed. Calderini Bologna (88-90).
- Troncale, L., 2003. Studio del comportamento di predazione di *Sparus aurata* (Pisces, Sparidae) su *Cerastoderma glaucum* (Mollusca, Cardiidae). Tesi di Laurea in Scienze Ambientali (N.O.), Università degli Studi di Palermo.
- Underwood, A. J., 1997. Experiments in Ecology: Their Logical Design and Interpretation Using Analysis of Variance. Cambridge University Press. 504 pp.
- Valiela, I., 1984. Marine Ecological Processes. Springer Verlag Eds (148-171).
- Ware, D. M., 1978. Bioenergetics of Pelagic fish: Theoretical changes in swimming speed and relation with body size. *J. Fish Res. Bd. Can.* **35**:220-228.
- Wootton, R. J., Biotic interaction: I. Predation and parasitism. In: Chapman and Hall Eds. Ecology of Teleost Fishes. London, (196-215).
- Zar, J. .H, 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall Eds. 663 pp.

Ringraziamenti

Quest'ultima pagina è dedicata a tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione della mia (non ci credo ancora.) Tesi, a coloro che mi sono stati vicini e hanno appoggiato quella che considero una "impresa personale".

Voglio ringraziare in particolar modo i miei familiari, i parenti e gli amici più stretti che negli ultimi tempi, di gran lunga i più difficili, mi hanno incoraggiato e sostenuto. Senza il loro appoggio probabilmente avrei rischiato di "gettare la spugna" ad un passo dalla fine. Al riguardo sono molto grato alle Dott.sse Matina e Vitrano che sono riuscite a restituirmi grinta e motivazione, alle telefonate confortanti di Salvo e degli "sfasciallitti" dell'Accademia Scacchistica, ai numerosi Santini del Rosario di mia Nonna e ai dolci della zia Graziella, nonostante mi abbiano un tantino "appesantito".

Ringrazio il mio relatore, Prof. Antonio Mazzola, per la disponibilità e la gentilezza, ma soprattutto per avermi perdonato la "scappatella" Erasmus nel bel mezzo del lavoro di tesi! Chiaramente ringrazio anche i miei correlatori Dr. Gianluca Sarà e Dott.ssa Chiara Romano, che mi hanno seguito passo passo, mano nella mano, nella lunga e travagliata gestazione da cui è nata la mia *Creatura*.

I ringraziamenti vanno anche a tutto lo *staff* di Labiomar, nei suoi vecchi e nuovi componenti (Andrea, Antonella, Benny, Cecilia, Enzo, Giuseppe, Giusy, Letizia, Luca, Marianna, Michele, Titti...), al personale del Dipartimento, in particolare al Sig. Giuseppe Miceli, *alias* Pino, per il supporto tecnico in acquario e, *dulcis in fundo*, al Metronotte Peppe, sempre in grado di allietarci con le sue bizzarrie nel turno di guardia pomeridiano.

Grazie.Grazie.Grazie.

SOMMARIO

INTRODUZIONE.....	1
Generalità sulla Predazione	1
Modelli di interazione predatore-preda.....	1
Il Modello di Lotka e Volterra	1
La Risposta Funzionale.....	2
La Risposta Numerica.....	3
Il Modello di Ottimizzazione del Comportamento di Foraggiamento	3
Comportamento predatorio dei pesci	4
1. Il fattore dimensionale	7
2. La densità della preda	8
3. I cambiamenti ontogenetici	9
4. Lo stato di sazietà	9
5. Le influenze del contesto sociale.....	10
6. L'appetibilità, la vulnerabilità e l'accessibilità del cibo	10
7. L'importanza della preda alternativa	11
8 L'apprendimento individuale	11
La predazione dei pesci sui bivalvi	13
Base di Partenza Scientifica.....	14
Descrizione delle specie	15
Sparus aurata	15
Cerastoderma glaucum	17
OBIETTIVI	19
MATERIALI E METODI.....	20
RISULTATI.....	27
Comportamento di S. aurata allevato	28
Comportamento di S. aurata selvatico.....	34
Confronto Allevati vs Selvatici	42
DISCUSSIONI.....	44
CONCLUSIONI.....	50

BIBLIOGRAFIA.....52

RINGRAZIAMENTI.....56