

Regione dell'UMBRIA
Servizio Programmazione
Forestale, Faunistico
venatoria ed Economia
Montana



Provincia di Perugia
Servizio Programmazione
e Gestione Faunistica



Università degli Studi di
Perugia
Dipartimento di Biologia
Animale ed Ecologia



***ACCRESIMENTO, BIOLOGIA RIPRODUTTIVA E BIOLOGIA DELLA PESCA DEL
CARASSIO DORATO (Carassius auratus Linnaeus, 1758) NEL LAGO TRASIMENO***

Gruppo di lavoro

Lorenzoni M., Carosi A. Corboli M., Pedicillo G., Montanari I. - Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia dell'Università degli Studi di Perugia

Ghetti L. - Servizio Programmazione Forestale, Faunistico-venatoria ed Economia Montana – Regione dell'Umbria

Natali M. - Servizio Programmazione Ittio-Faunistica - Provincia di Perugia

Dolciami R., Mezzetti A., Biscaro Parrini A. - Centro Ittiogenico del Trasimeno - Provincia di Perugia

1. INTRODUZIONE

La fauna ittica autoctona delle acque interne italiane ha subito nel corso degli anni un progressivo impoverimento connesso al più generale degrado degli ecosistemi acquatici, soprattutto come conseguenza delle attività antropiche (Sommani, 1967). L'inquinamento e l'eutrofizzazione delle acque, le variazioni della morfologia fluviale e dei regimi idrologici, la creazione di barriere alla circolazione dei pesci sono tra i principali fattori di perturbazione per la fauna ittica. A questi elementi si deve inoltre aggiungere l'introduzione di specie esotiche, che va considerata come uno dei più importanti e meno studiati fattori di degrado degli ecosistemi acquatici (Mills *et al.*, 1993; Leach, 1995; Lodge *et al.*, 2000; Mack *et al.*, 2000). La biodiversità in genere decresce se la specie introdotta esclude una o più specie indigene; in tal modo pochi organismi, ad ampia valenza ecologica, diventano sempre più diffusi, mentre il numero delle specie indigene endemiche e a limitata distribuzione (McKinney e Lockwood, 1999) si riduce sempre di più.

L'impatto delle introduzioni è stato documentato in tutto il mondo anche se molti autori hanno commentato la difficoltà di dimostrare lo specifico ruolo delle specie esotiche sulle comunità ittiche originarie (Belkessam *et al.*, 1997; Godinho e Ferreira, 2000). Le relazioni di causa ed effetto restano spesso ipotetiche a causa della mancanza di informazioni sullo status delle specie autoctone prima dell'introduzione e per i tempi lunghi necessari a verificare l'effetto delle introduzioni stesse (Rosecchi *et al.*, 1997).

Nel lago Trasimeno, la fauna ittica è stata oggetto di manipolazioni da parte dell'uomo da lungo tempo: la carpa è stata introdotta per la prima volta nel 1710 (Stella, 1949), il persico sole, il persico reale, la gambusia ed il latterino sono stati introdotti negli anni '20 (Mearrelli *et al.*, 1990; Natali, 2002). La presenza di specie esotiche ha sicuramente causato una grave alterazione della composizione faunistica originale, modificandola in misura notevole: delle 19 specie ittiche segnalate nel lago Trasimeno ben 15 hanno origine alloctona (Moretti e Gianotti, 1966). Nella maggior parte dei casi l'introduzione delle specie alloctone ha causato forti cambiamenti nel delicato equilibrio della comunità ittica; l'estinzione della popolazione locale di rovello (*Rutilus rubilio* Bonaparte), un ciprinide una volta molto comune nel lago, può essere messa in relazione alla contemporanea massiccia diffusione del persico sole (*Lepomis gibbosus* Linnaeus), specie esotica proveniente dal Nord America (Cucchia, 2004).

Una delle tante specie acclimatate nel lago Trasimeno è il carassio dorato (*Carassius auratus* Linnaeus), specie che ha dimostrato di adattarsi molto bene alle caratteristiche ambientali del lago Trasimeno, tanto da aumentare in modo molto rapido le proprie abbondanze e diventare una delle specie dominanti la comunità ittica del lago (Mearrelli *et al.*, 1990). Le caratteristiche che

determinano l'alto potere invasivo del carassio dorato sono prima di tutto la sua grande capacità di tollerare anche condizioni ambientali estreme: sopporta, di fatto, un alto tasso di inquinamento, riesce a vivere anche in acque con una bassa percentuale di ossigeno e prospera in acque estremamente torbide; di non secondaria importanza sono l'elevato tasso di fecondità e l'ampio spettro alimentare che caratterizzano tale specie. In molte delle località in cui è stato introdotto, il carassio dorato si è rivelato in grado di interferire ampiamente con le specie autoctone preesistenti, tanto da essere considerato una specie nociva per le comunità ittiche indigene ed essere, per questo, oggetto di programmi di contenimento ed eradicazione (USGS, 2001). Nel lago Trasimeno il carassio dorato, oltre ad interagire con le specie più interessanti dal punto di vista economico, non riveste alcun interesse commerciale e le sue attuali abbondanze possono esercitare un impatto negativo sulla pesca di professione anche andando a complicare le operazioni di cattura del pesce e di raccolta delle reti.

Precedenti ricerche hanno evidenziato l'esistenza di una forte dipendenza nel lago Trasimeno tra i livelli idrologici e caratteristiche ambientali (Mearelli *et al.*, 1990; Cucchia, 2004), tanto che è possibile individuare anche nel peggioramento delle condizioni del lago, conseguenti alla crisi idrica che attualmente lo affligge, una delle cause che hanno favorito l'espansione del carassio dorato. La massiccia presenza del carassio, in un ecosistema in crisi, tende ad aumentare le condizioni di forte disagio delle altre popolazioni ittiche, in quanto possono essere esaltati gli effetti negativi della competizione interspecifica. Tutto ciò, quindi, non può che ripercuotersi negativamente sulle abbondanze di specie economicamente importanti, con conseguenze negative anche per l'esercizio della pesca di professione, che rappresenta una delle attività più importanti del comprensorio del lago. L'attuale fase di livelli bassi, destinata a perdurare o ad aggravarsi se il trend climatico in atto dovesse durare (IPCC, 2001), favorisce il deterioramento qualitativo dell'acqua del lago ed incide negativamente sulle biocenosi acquatiche, fauna ittica compresa; ciò impone di approfondire gli studi sulla dinamica del lago, sulla base dei quali sarà possibile razionalizzare la gestione dell'intero sistema lacustre. In tale contesto si inserisce questo progetto che ha appunto lo scopo di indagare alcune caratteristiche della biologia del carassio dorato al fine giungere alla formulazione di ipotesi gestionali, che possano ridurre le attuali abbondanze nel lago Trasimeno e quindi limitare gli impatti che questa specie produce sulla comunità ittica e sulle attività della pesca di professione.

Parte 1

Metodologie utilizzate

2. CARATTERISTICHE DELL'AREA INDAGATA: IL LAGO TRASIMENO

Il lago Trasimeno è situato in Umbria a circa 30 Km ad Ovest di Perugia, tra i bacini del fiume Arno e del fiume Tevere. La sua natura di lago chiuso, con bacino imbrifero molto piccolo rispetto alla superficie del lago, implica che il livello delle acque é molto variabile e strettamente legato alle condizioni meteorologiche e climatiche. La sua importanza come area umida è riconosciuta dalla comunità scientifica nazionale ed internazionale.

2.1 Morfologia

Il lago Trasimeno (Fig.2.1) è caratterizzato da una conformazione della cuvetta lacustre unica nel panorama dei laghi italiani: la superficie molto estesa dello specchio d'acqua e la scarsa profondità lo caratterizzano infatti come il maggiore lago laminare italiano. La sua superficie è pari a circa 126 km², collocandolo al 4° posto fra i laghi italiani per estensione ed al 1° fra quelli dell'Italia peninsulare. La profondità massima è di soli 6,3 m, quella media è pari a 4,72 m. Le principali caratteristiche morfologiche e idrologiche del lago e del bacino sono riassunte nella tabella 2.1.

Il bacino imbrifero si estende per una superficie di 269 km² (Carollo, 1969), appena 2 volte superiore a quella dello specchio d'acqua. L'apporto idrico è garantito da brevi corsi d'acqua a regime torrentizio che nella stagione estiva hanno portate nulle o minime. Il bacino imbrifero è impostato su litotipi a bassa permeabilità e pertanto esso può essere considerato all'incirca coincidente con il bacino idrogeologico e si può assumere con discreta approssimazione che l'acqua che si infiltra



Quota media	250 m s.l.m
Superficie del lago	126 km ²
Superficie del bacino	269 km ²
Bacino totale	395 km ²
Perimetro	53,1 km
Indice di sinuosità	1,34
Profondità massima	6,30 m
Profondità media	4,72 m
Volume lago	586 x 10 ⁶ m ³
Tempo di ricambio	24,4 anni

Tabella 2.1 Caratteristiche morfologiche del lago Trasimeno

nei sedimenti presenti nel bacino arrivi comunque al lago. Queste caratteristiche, unitamente all'intensa evapotraspirazione, spiegano la presenza di variazioni nel livello delle acque abbastanza marcate nel corso dell'anno.

2.2 Idrografia

Il lago Trasimeno è alimentato soprattutto dalle precipitazioni atmosferiche e da un immissario artificiale, il fosso dell'Anguillara, che convoglia nel lago le acque dei torrenti Moiano, Rio Maggiore, Maranzano e Tresa. E' presente un emissario, anch'esso artificiale, situato nei pressi di S.Savino, che fa confluire le acque in eccesso nel torrente Caina e quindi nel fiume Nestore (Fig.2.1). La mancanza di affluenti naturali e le variazioni stagionali della piovosità provocano nel lago forti oscillazioni di livello; a periodi in cui le rive vengono inondate, seguono periodi di magra piuttosto prolungati, come quelli che stanno caratterizzando la fase attuale. Influenzano notevolmente il livello dell'acqua anche la forte traspirazione esercitata dalla vegetazione e l'evaporazione diretta dello specchio lacustre. Le caratteristiche idrografiche del lago Trasimeno sono illustrate nella tabella 2.2 (Mearelli *et al.*, 1990).

Piovosità media (Monte del lago)	666 mm (1965-74)
Afflusso medio	$166 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ (1965-74)
Evapotraspirazione dal lago	$155 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ (1956-74)
Evapotraspirazione dal terreno	$115 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ (1956-74)
Prelievi dal lago	$6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ (1956-74)
Prelievi dalla falda	$4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ (1956-74)

Tabella 2.2 - Caratteristiche idrografiche del lago Trasimeno.

2.3 Geologia

Il lago Trasimeno è classificato come lago tettonico; la sua origine si fa risalire alle fasi distensive di formazione dell'Appennino settentrionale, che portarono alla comparsa di altri grandi laghi quaternari, come il lago Tiberino, il lago della Chiana ed il lago Val d'Arno. La formazione del lago Trasimeno si inserisce nella storia evolutiva di questi sistemi lacustri, che nel Pleistocene cominciarono a svuotarsi con l'evolversi dei sistemi fluviali del Tevere e dell'Arno.

Si distinguono tre unità del punto di vista idrogeologico (Fig.2.2):

- terreni più antichi di Monte Modino e Monte Cervarola prevalentemente impermeabili;
- sedimenti pliocenici-pleistocenici a bassa permeabilità;
- sedimenti fluvio-lacustri, più recenti.

Le arenarie di Monte Cervarola sono costituite da un flisch arenaceo con interstrati marnosi siltosi; nella zona del lago Trasimeno affiora la parte inferiore della formazione, con alla base alcuni lembi delle Marne di Pievepelago (“scisti policromi”) (Dragoni e Castellani, 2003).

I litotipi presenti nel bacino del Trasimeno sono, dal basso verso l’alto, i seguenti (Dragoni, 1982; Dragoni e Castellani, 2003):

- marne di Pievepelago: costituite prevalentemente da marne, talvolta leggermente arenacee e micacee, ma anche da argille varicolori, da arenarie risedimentate e con intercalazioni di marne siltose grigie. Vi si trovano anche, come olistostromi, lenti di “argille scagliose” e olistoliti con faune cretacee. L’età attribuita è l’Oligocene superiore-Miocene inferiore;

- arenarie di Monte Cervarola: arenarie risedimentate con abbondanti interstrati di marne siltose. Talvolta si trovano intercalate turbiditi a grana grossa in banchi più spessi, più simili al “Macigno”

s.s. In alcune zone sono state notate intercalazioni di strati calcarei a macroforaminiferi (*Lepidocyclina*, *Miogypsina*, ecc.). Nella parte superiore della formazione si ritrovano anche alcuni livelletti di selce nera. Frequenti strutture sedimentarie indicano la forte instabilità tettonica del bacino di sedimentazione. La formazione è attribuita all’Aquitaniiano-Langhiano;

- marne di Monte San Michele: marne grigio bruno siltose, argilliti rosse verdi e cineree con rare intercalazioni di strati arenacei con aspetto simile alle marne di

Pievepelago. La formazione è attribuita al Miocene inferiore-medio (Langhiano superiore - Serravalliano).

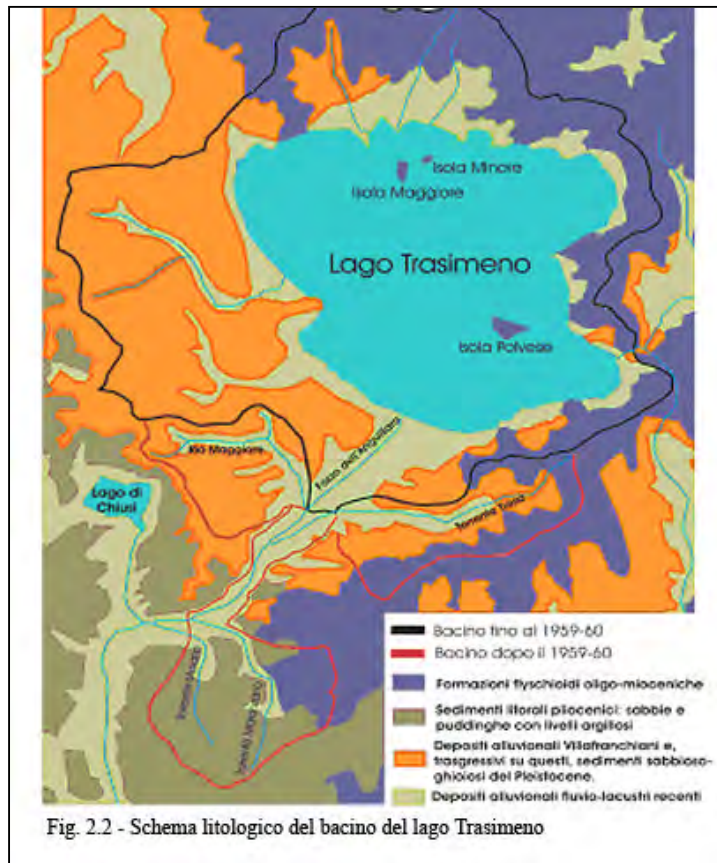


Fig. 2.2 - Schema litologico del bacino del lago Trasimeno

Sul lato occidentale, dai sedimenti quaternari, affiorano due soli piccoli lembi di calcareniti ad arenarie alternate ad argille e marne siltose con microfaune che partono dal Paleocene. Sulla posizione stratigrafica di questi lembi, di cui il più vistoso forma la rocca di Castiglione del Lago, ci sono molte incertezze; secondo i rilevatori della carta geologica ufficiale essi sarebbero il tetto della

formazione delle arenarie di Monte Cervarola e quindi potrebbero essere collegati alle marne di Monte San Michele. Secondo altri autori essi potrebbero forse rappresentare frammenti di unità subliguri (“Canetolo”) arrivati fino nella zona umbra.

La parte occidentale è formata da depositi “villafranchiani” del bacino della Val di Chiana, compresi nella zona situata tra Panicarola, Gioiella, Pozzuolo e Petignano. Essi sono costituiti da sabbie e ciottolati di facies fluvio-lacustre, localmente da livelli argillosi e ciottoli silicei, ai quali si sovrappongono più recenti depositi fluvio-lacustri con elementi provenienti dai circostanti terreni di base.

Il Quaternario medio è costituito da sedimenti sabbioso-argillosi con intercalazioni di sottili lenti ghiaiose. Il Quaternario superiore presenta depositi dello stesso tipo e un graduale passaggio ai sedimenti attuali, per lo più torrentizi, ma anche lacustri e palustri.

2.4 Storia

Il bacino del lago Trasimeno è stato profondamente modificato dalla presenza dell'uomo; già in epoca romana, esistono cronache che descrivono gli enormi danni causate dalle piene del lago e degli interventi per limitare tali danni, come la costruzione di un emissario nei pressi di San Savino. Nel 1420 venne costruito un nuovo collettore da parte di Braccio da Montone, lungo 1000 m di cui 900 m sotterranei, ma neanche questo risultò idoneo a contenere le piene del lago. Nel 1895 venne realizzato un nuovo emissario parallelo a quello medioevale, che riuscì a limitare le inondazioni dei terreni circostanti il lago impedendo l'accumulo di acqua al di sopra della sua soglia di sfioro. Le piene vennero così controllate, tuttavia durante i periodi di scarse precipitazioni il livello del lago continuava ad abbassarsi con frequenti episodi di impaludamento, talvolta molto accentuati. Negli anni 1954-56, durante uno di questi periodi di crisi idrica, il Trasimeno fu interessato da un rapido declino che lo portò ad una profondità massima di 2,98 m. L'invasione delle idrofite fin quasi al centro del lago e transitori fenomeni di anossia notturna determinarono una condizione di distrofia (Moretti, 1982); tutta la comunità ittica fu interessata da imponenti morie che modificarono i rapporti tra le singole specie; la scomparsa della rovello (*Rutilus rubilio* Bp.) e la dominanza del persico sole (*Lepomis gibbosus* L.) sono, da un punto di vista ittico, le note più significative di questo periodo.

Per contrastare l'impaludamento del lago il Ministero dei Lavori Pubblici nominò una commissione di esperti che suggerì l'ampliamento del bacino imbrifero. L'allaccio dei torrenti Tresa, Rio Maggiore, Moiano e Maranzano al fosso dell'Anguillara, immissario del lago Trasimeno, fu realizzato fra il 1959 e il 1961 (Fig.2.1); l'area complessiva dei bacini allacciati è pari

a 74,70 km² (Dragoni,1982) ed il sistema è reversibile ovvero le acque dei quattro torrenti, mediante un sistema di paratoie, possono confluire nei vecchi alvei verso il lago di Chiusi.

I lavori di ampliamento del bacino imbrifero furono completati fra il 1960 e 1961, dopo di che il livello del lago cominciò a risalire. Nel marzo 1964 si superò, dopo 20 anni, la soglia di sfioro dell'emissario; ciò determinò la regressione delle idrofite e la scomparsa dei fenomeni distrofici (Moretti, 1982). Dal 1964 al 1970 il livello del lago fu, almeno nei mesi invernali, sopra la soglia di sfioro, dal 1970 in poi il livello del lago riprese a scendere in maniera preoccupante (Defendu e Dragoni, 1978).

La situazione attuale del lago non risulta comunque migliorata: le estati sempre più calde, le scarse precipitazioni, l'aumento della vegetazione con la maggiore evapotraspirazione, insieme ai prelievi per uso agricolo hanno contribuito ad abbassare ulteriormente il livello del lago negli ultimi anni. Va aggiunto che per le sue caratteristiche morfologiche, agenti atmosferici come il vento, provocano continui rimescolamenti dell'intera massa d'acqua e la risospensione dei sedimenti di fondo, fenomeno che può causare un intenso intorbidamento dell'acqua. L'attuale fase caratterizzata dai bassi livelli, destinata a proseguire o ad aggravarsi se il trend climatico in atto dovesse durare (IPCC, 2001), oltre a creare problemi igienici e difficoltà alla navigazione, favorisce il deterioramento qualitativo dell'acqua del lago e penalizza fortemente le biocenosi presenti; ciò impone di approfondire gli studi sulla dinamica del lago, sulla base dei quali sarà possibile razionalizzare la gestione dell'intero sistema ecologico.

2.5 Vegetazione

Le precipitazioni si distribuiscono nel bacino del lago Trasimeno con un massimo autunnale ed un minimo estivo, con un andamento che è tipico delle località con clima mediterraneo. Nel complesso, la vegetazione più comune nell'intero territorio è rappresentata dal querceto caducifolio submediterraneo (Orsomando e Pedrotti, 1985). L'elenco delle specie vegetali presenti nel bacino del lago Trasimeno comprende 198 specie la cui ecologia è condizionata dalla presenza del lago (Granetti, 1965; Pedrotti ed Orsomando 1982). Alcune sono in via di estinzione per la forte riduzione del proprio habitat, soprattutto a causa della quasi completa scomparsa, a vantaggio delle attività agricole, della fascia del prato umido. Possono considerarsi litorali 153 specie, mentre 35 sono costituite da idrofite flottanti e sommerse.

Attualmente si possono individuare 4 fasce vegetazionali:

- fascia esterna, costituita dal prato umido che comprende i raggruppamenti di *Juncus articulatus* e *Holoschoenetum*, quasi completamente scomparsa;
- fascia dei prati palustri (*Magnocaricion*) con *Carix riparia* dominante;

- fascia del fragmiteto con *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* e *Typha latifolia*;
- fascia più interna con le idrofite natanti e sommerse con diverse associazioni (*Potamogeton lucentis*, *Potamogeton lucentis nymphacetosum*, *Hydrocharicetum*, *Potamogeton Ceratophylletum demersi*).

Per quanto riguarda lo specchio lacustre, si riconoscono due domini fondamentali:

- la zona pelagica, ovvero la zona di lago aperto, caratterizzata da una profondità maggiore, profilo leggermente pendente della cuvetta lacustre e scarsa vegetazione;
- la zona neritica, ovvero la zona costiera, con scarsa pendenza, bassa profondità e vegetazione molto più abbondante; tale zona è particolarmente sviluppata nella parte sud-orientale del Trasimeno, denominata la “Valle”, dove il lago ha un aspetto tipicamente palustre. Particolare importanza riveste negli equilibri naturali del lago la fascia del fragmiteto, per il ruolo di zona di rifugio e protezione che assolve per un gran numero di specie animali. Una ricerca condotta nel 1989 (Mearelli *et al.*, 1990) mette in risalto, inoltre, la funzione estremamente importante esercitata dal canneto nel contenere una buona parte dei carichi di nutrienti che provengono dal dilavamento del terreno e di quelli addotti al lago da fossi e torrenti.

Nel complesso il fragmiteto forma, tutto intorno al lago, una fascia continua di ampiezza variabile non oltrepassante in genere i 250 m, ma nella zona meridionale del lago (la "Valle"), può raggiungere ampiezze molto maggiori. L'estensione del canneto è, tuttavia, da alcuni anni in forte diminuzione in tutto il lago; le cause di tale fenomeno sono complesse e non ancora del tutto chiare (Mearelli *et al.*, 1994).

2.6 Fauna ittica

La fauna ittica del lago Trasimeno risulta attualmente costituita da 19 specie, appartenenti ad 10 famiglie diverse (Moretti e Gianotti 1966; Mearelli *et al.*, 1990; Natali, 2002; Cucchia, 2004): nella tabella 2.3 è riportato l'elenco di tali specie che vengono distinte in indigene (5 specie) ed esotiche (14 specie); tra queste la maggior parte è acclimatata tranne la carpa erbivora (Natali, 2002). La famiglia dei Ciprinidi, che conta ben 8 specie, è quella che meglio si adatta alle condizioni ambientali, idriche e trofiche del lago (Mearelli *et al.*, 1990).

La fauna ittica del lago ha subito profonde modificazioni soprattutto in tempi recenti: negli anni '60 le variazioni dei livelli idrici, le mutate condizioni di trofia, la pressione esercitata dalla pesca e l'impatto dovuto a nuove immissioni hanno contribuito a tali cambiamenti (Mearelli *et al.*, 1990; Cucchia, 2004).

Famiglia	nome scientifico	nome comune	provenienza
ESOCIDAE	<i>Esox lucius</i> L.	luccio	indigena
CYPRINIDAE	<i>Leuciscus cephalus</i> L.	cavedano	indigena
	<i>Tinca tinca</i> L.	tinca	indigena
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i> L.	scardola	indigena
	<i>Alburnus alburnus alborella</i> De Fil.	alborella	esotica
	<i>Carassius auratus</i> L.	carassio	esotica
	<i>Cyprinus carpio</i> L.	carpa	esotica
	<i>Ctenopharyngodon idellus</i> Val.	carpa erbivora	esotica
	<i>Pseudorasbora parva</i> Schl.	pseudorasbora	esotica
COBITIDAE	<i>Cobitis taenia bilineata</i> Canstr.	cobite	esotica
ICTALURIDAE	<i>Ictalurus melas</i> Raf.	pesce gatto	esotica
ANGUILLIDAE	<i>Anguilla anguilla</i> L.	anguilla	indigena
POECILIDAE	<i>Gambusia affinis holbrooki</i> Gir.	gambusia	esotica
ATHERINIDAE	<i>Atherina boyeri</i> Risso	latterino	esotica
PERCIDAE	<i>Perca fluviatilis</i> L.	persico reale	esotica
CENTRARCHIDAE	<i>Lepomis gibbosus</i> L.	persico sole	esotica
	<i>Micropterus salmoides</i> Lac.	persico trota	esotica
GOBIDAE	<i>Knipowitschia panizzai</i> Verga	ghiozzetto	esotica
	<i>Pomatoschistus canestrinii</i> Ninni	ghiozzo di canestrini	esotica

Tabella 2.3 – Specie ittiche presenti nel lago Trasimeno

3. CARATTERISTICHE DELLA SPECIE INDAGATA: IL CARASSIO DORATO

Famiglia: CYPRINIDAE

Genere: *Carassius*

Specie: *Carassius auratus* Linnaeus, 1758

Il genere *Carassius* è caratterizzato da corpo tozzo e molto sviluppato in altezza; la bocca è piccola e collocata in posizione mediana e a differenza del genere *Cyprinus* (al quale appartiene la carpa) non è munita di barbigli. I denti faringei sono molariformi, in numero di 4 e disposti in un'unica fila. La pinna dorsale è molto allungata, formata da più di 12 raggi divisi; il primo raggio completo delle pinne dorsale ed anale è spiniforme e presenta il margine posteriore dentellato. Il genere *Carassius* è diffuso in tutto il continente euro-asiatico, isole del Giappone comprese; vi appartengono soltanto due specie, che hanno caratteristiche morfologiche, biologiche ed ecologiche molto simili (Lelek, 1987): *Carassius carassius* (carassio comune), diffuso in Europa ed in Cina e *Carassius auratus* (carassio dorato), presente in Europa, Giappone e Cina, Tibet escluso. Le due specie possono essere riconosciute con difficoltà (Wheeler, 2000): *C. carassius* presenta rispetto a *C. auratus* un numero inferiore di branchiospine sul primo arco branchiale (23-25 contro 39-50) ed un numero maggiore di scaglie sulla linea laterale (30-35 contro 27-32) (Gandolfi *et al.*, 1991; Wheeler, 2000); altre caratteristiche differenziali sono rappresentate nel carassio dorato dal margine

della pinna dorsale più concavo e dal peritoneo pigmentato, spesso scuro (Lelek, 1987). Per le notevoli somiglianze, sia morfologiche che ecologiche, il carassio dorato non sempre viene considerato una specie distinta dal carassio comune (Tortonese, 1970).

In accordo con i dati fossili il genere *Carassius* si è separato dal genere *Cyprinus* da 1,7 a 5,5 milioni di anni fa (Lou *et al.*, 1999).

Si riconoscono per *C. auratus*, vista la grande varietà di ambienti in cui è diffuso, numerose sottospecie (Xie *et al.*, 2001), la cui validità sistematica non è tuttavia condivisa da tutti (Murakami *et al.*, 2001):

- *Carassius auratus auratus* diffuso nel Tonchino, in Manciuria, Cina, Corea e Taiwan; è caratterizzato da numero di squame sulla linea laterale compreso tra 26 e 31 (Berg, 1964).
- *Carassius auratus gibelio* diffuso dalla Siberia alla Germania settentrionale e al Mar Nero (Lelek, 1987); si distingue dalla forma nominale per il numero delle squame sulla linea laterale (28-32). Le popolazioni di questa sottospecie si riproducono esclusivamente per ginogenesi, essendo la riproduzione gonocorica con fertilizzazione delle uova da parte degli spermatozoi nota solo per la forma nominale (Lelek, 1987).

In Giappone sono presenti altre 4 sottospecie: *Carassius auratus cuvieri*, *Carassius auratus grandoculis*, *Carassius auratus buergei* e *Carassius auratus langsdorfi* (Murakami *et al.*, 2001; Murakami *et al.*, 2001). La possibilità di distinguere su base morfologica le varie sottospecie di *Carassius auratus* è resa molto difficile dalla variabilità della forma che caratterizza il carassio dorato, che si modifica in relazione alle caratteristiche ambientali, e dalla facilità con cui le diverse sottospecie si ibridano fra loro (Murakami *et al.*, 2001). In alcune di queste sottospecie si conoscono popolazioni caratterizzate da assetti cromosomici diversi, fra le quali le forme diploidi e triploidi sono le più comuni: per *C. a. gibelio* e *C. a. langsdorfi* si conoscono, tuttavia, anche popolazioni tetraploidi ed esaploidi. Gli individui triploidi possiedono circa 150 cromosomi, 50 in più rispetto ai diploidi; non è stato ancora del tutto accertato, ma è molto probabile che le popolazioni poliploidi si siano generate dalle diploidi mediante fenomeni di ibridazione (Murakami *et al.*, 2001; Murakami *et al.*, 2001), ai quali sono seguiti eventi di duplicazione del genoma (Lou *et al.*, 1999).

3.1 Morfologia

Il carassio dorato è un pesce di taglia media, che riesce a raggiungere anche 35-40 cm di lunghezza ed un peso di circa 1 kg, si riconosce per il corpo che tende a svilupparsi in altezza, anche se la forma, nel complesso, è mediamente slanciata, per il muso largo, tozzo e robusto (Fig.3.1). La livrea, nelle popolazioni selvatiche, è tipicamente bruno verdastro sul dorso, giallo bronzea sui fianchi, più chiara (fino a biancastra) sul ventre (Fig.3.2); si conoscono molte forme

allevate e selezionate dall'uomo dalle forme e colorazioni più varie tra le quali la più comune è la livrea rossa (pesce rosso) (Fig.3.3) (Menassè, 1974; Gandolfi *et al.* 1991). Il corpo del carassio dorato è ricoperto da scaglie di notevoli dimensioni, ciò lo distingue dalla specie affine *Carassius carassius* Linnaeus o carassio comune, che è dotato di scaglie di dimensioni più ridotte.

Nel carassio dorato la pinna dorsale ha profilo lievemente concavo, con base lunga, il terzo raggio non ramificato (il primo completo) della pinna dorsale è ossificato e dentellato nella parte posteriore. La pinna caudale è biloba con margini leggermente incavati, mentre la pinna anale è di piccole dimensioni ed ha base corta. Il

carassio dorato ha bocca terminale, piccola, priva di barbigli e leggermente inclinata verso l'alto; l'occhio è grande. In alcune varietà allevate e selezionate dall'uomo l'occhio è particolarmente ingrandito, quasi abnorme e telescopico (Menassè, 1974).

I dati meristici del carassio dorato sono i seguenti: 3-4 raggi semplici e 14-19 raggi ramificati nella pinna dorsale; 2-3 raggi



Figura 3.1 - Carassio dorato.



Figura 3.2 - Carassio dorato.



Figura 3.3 - Carassio dorato.

semplici e 5-6 raggi ramificati nella pinna anale; 28-34 squame sulla linea laterale; 5-7 squame sopra la linea laterale; 5-7 squame sotto la linea laterale; 29-31 vertebre (Berg, 1964; Lelek, 1987).

3.2 Ecologia

Il carassio dorato è originario della Cina, dove è allevato da secoli come pesce ornamentale; sembra che già nel 400 a.C. pesci di colore rosso fiamma fossero allevati in Cina (Menassè, 1974); proprio dalla Cina i primi pesci rossi furono introdotti in Europa agli inizi del 17° secolo, probabilmente ad opera dei navigatori portoghesi. E' molto difficile determinare l'areale originario del carassio dorato, ma è probabile che fosse limitato all'Asia orientale (Tortonese, 1970) e solo ad una limitata porzione dell'Europa (Lelek, 1987); oggi la diffusione della specie si è tuttavia estesa a gran parte dell'Asia centro-settentrionale e a molte regione europee (Fig.3.4), dove sono presenti popolazioni bene acclimatate. Il carassio dorato è presente anche in America settentrionale (USGS, 2001) e meridionale (Gomez *et al.*, 1997), dove è stato introdotto all'inizio del secolo dagli immigranti europei. La specie è molto adattabile ed è in grado di aumentare molto rapidamente le

proprie abbondanze; in molti casi le introduzioni avvengono a partire da esemplari allevati a scopo ornamentale (Wheeler, 2000), ma esistono molti casi documentati di immissioni involontarie avvenute mediante i ripopolamenti effettuati con giovani carpe, dalle quali i carassi sono difficilmente distinguibili (Halacka *et al.*, 2003). La

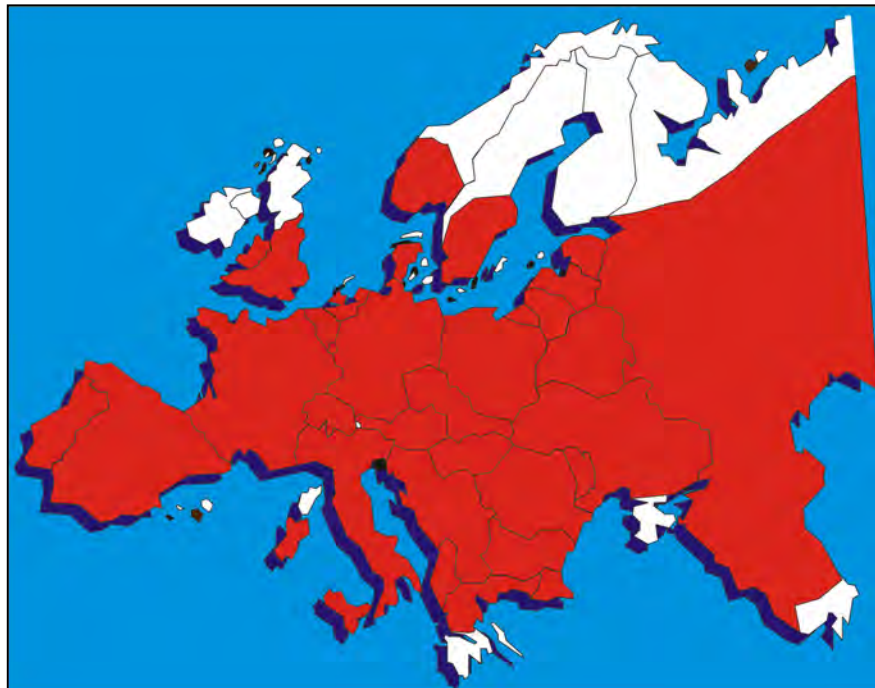


Figura 3.4 - Distribuzione in Europa del carassio dorato.

specie è anche in grado di diffondersi spontaneamente utilizzando le connessioni della rete idrografica. In Italia la distribuzione del carassio dorato è altamente frammentata e si contano, oggi, numerose popolazioni rinselvatichite.

Il carassio dorato vive nelle acque dolci: è presente nei fiumi con debole corrente e fondali fangosi, anche se predilige soprattutto le acque lentiche ricche di vegetazione (Lelek, 1987). Ha un'ampia valenza ecologica e riesce a vivere in ambienti caratterizzati da una concentrazione di

ossigeno particolarmente bassa e da tassi di inquinamento eccezionalmente elevati (Abramenko *et al.*, 1997). Il carassio dorato è presente anche in acque torbide e fondi melmosi dove si rifugia durante l'inverno; come il congenere *C. carassius* è in grado di vivere addirittura negli stagni la cui superficie rimane gelata per molto mesi l'anno ed in situazioni di pronunciata ipossia, sopportando condizioni intollerabili per la maggior parte delle altre specie ittiche (Holopainen e Pitkanen, 1985; Piironen e Holopainen, 1988). Le specie del genere *Carassius* sono infatti in grado di superare prolungati periodi di anossia grazie alla loro capacità di sfruttare il metabolismo anaerobico, quando la concentrazione di ossigeno disciolto nell'acqua si riduce (Holopainen e Pitkanen, 1985). La tensione di ossigeno critica per il metabolismo aerobico è di 2,4 mg/l a 5°C; tra 2,4 e 0,3 mg/l il carassio è in grado di utilizzare un metabolismo misto o solo anaerobico; in condizioni di completa anossia il tempo di sopravvivenza medio varia in funzione della temperatura: a 18°C il carassio è in grado di sopravvivere circa 24 ore, mentre a 2°C può resistere per alcuni mesi (Holopainen e Hyvarinen, 1985).

La dieta è di tipo onnivoro essendo costituita da piccoli invertebrati, ricercati di regola sul fondo, ma anche da una notevole quantità di piante acquatiche e detriti organici (Muus e Dahlstrom, 1967; Rongoni *et al.*, 1996); in inverno ed alle basse temperature generalmente cessa di alimentarsi. Le premesse per superare con successo lunghi periodi in assenza di alimentazione risiedono nelle riserve di carboidrati; per tale motivo le specie del genere *Carassius* accumulano in estate ed in autunno quantità di glicogeno molto abbondanti nel fegato e nei muscoli (Paszowski *et al.*, 1990). Molte di queste riserve sono utilizzate per il mantenimento invernale (circa l'80%), mentre il resto serve in primavera e all'inizio dell'estate, probabilmente per la riproduzione (Holopainen e Hyvarinen, 1985).

Il carassio dorato è molto sensibile a tutte le forme di competizione con le altre specie ittiche (Piironen e Holopainen, 1988; Paszowski *et al.*, 1990) ed i giovani sono molto vulnerabili alla predazione (Tonn *et al.*, 1991; Bronmark *et al.*, 1995), soprattutto quando sono ancora al di sotto di una certa taglia. In generale, quindi, questa specie appare caratterizzata da un'elevatissima tolleranza ai fattori abiotici, ma anche da una grande sensibilità nei riguardi delle interazioni biologiche (Tonn *et al.*, 1991). Negli ambienti in cui il carassio vive in assenza di altre specie ittiche, può raggiungere abbondanze estremamente elevate: in Russia ed in Europa centrale la densità di popolazione oscilla da 9.600 a 69.000 ind/ha (Piironen e Holopainen, 1988; Paszowski *et al.*, 1990). Nelle popolazioni più dense la mortalità invernale può raggiungere valori molto elevati, per la presenza di una competizione intraspecifica molto intensa che impedisce agli individui di accumulare riserve di glicogeno tali da permettere loro di superare l'inverno (Holopainen e Pitkanen, 1985; Piironen e Holopainen, 1988). In tali popolazioni l'accrescimento

può risultare particolarmente stentato; negli ambienti in cui sono presenti anche specie ittiche predatrici generalmente le densità raggiunte dal carassio sono minori e l'accrescimento appare più rapido (Piironen e Holopainen, 1988). È stato dimostrato che in alcuni habitat l'introduzione del carassio dorato ha comportato un impatto negativo sulle popolazioni delle specie ittiche indigene preesistenti, quali il carassio comune e la tinca (Halacka *et al.*, 2003).

Il carassio dorato è un pesce gregario, vive però in branchi generalmente ridotti che possono anche essere formati da sole femmine; durante il periodo riproduttivo vive in gruppi costituiti da altre specie affini, come la carpa (Bruno, 1987; Muus e Dahlstrom, 1967).

3.3 Biologia riproduttiva

La maturità sessuale è in genere raggiunta tra il primo ed il secondo anno di vita (Menassè, 1974), ad una lunghezza media di circa 12 cm ed un peso di 40 g (Sani *et al.*, 1999); si conoscono, tuttavia, popolazioni in cui gli individui si riproducono più tardi, a 3-4 anni (Holopainen e Pitkanen, 1985). Il periodo riproduttivo va da maggio a giugno (Kuznetsov, 2004; Gandolfi *et al.*, 1991). La longevità di solito non supera i 10 anni, anche se si conoscono esemplari che in condizioni di allevamento sono vissuti fino a 30 anni (Menassè, 1974). Esiste dimorfismo sessuale: le femmine sono mediamente più grandi dei maschi, questi ultimi presentano piccoli tubercoli nuziali sugli opercoli e sulle pinne pettorali.

Le gonadi di una femmina in riproduzione sono costituite da uova in differenti stadi di sviluppo: le mature, con la tipica colorazione giallo paglierino, coesistono con quelle che sono invece immature, di colore bianco. Le uova, quindi, vengono deposte in più riprese sulla vegetazione di fondo, quando l'acqua raggiunge la temperatura ottimale di 16-20° (Gandolfi *et al.*, 199; Kuznetsov, 2004). Le aree di frega del carassio dorato sono localizzate prevalentemente nelle aree litoranee ricche di vegetazione e riparate dai venti dominanti (Kuznetsov, 2004). Ogni femmina è in grado di produrre un numero di uova compreso tra 160.000 e 380.000 (Berg, 1964; Muus e Dahlstrom, 1967). Alcune delle uova presenti negli ovari non vengono probabilmente deposte, analogamente a quanto avviene in altri ciprinidi (Holopainen e Pitkanen, 1985). Alla temperatura di 24-25°C le uova schiudono dopo 3-4 giorni, mentre a 18°C la schiusa può richiedere sino a 7-9 giorni (Menassè, 1974). Le larve misurano circa 4-5 mm e finché non riassorbono il sacco vitellino non si alimentano e non nuotano, rimanendo attaccate alla vegetazione acquatica; l'alimentazione in genere inizia a partire dal terzo giorno successivo alla schiusa (Menassè, 1974).

La specie è in grado di riprodursi sia per fecondazione incrociata che per ginogenesi (Xie *et al.*, 2001): nel primo caso la prole sarà divisa tra maschi e femmine potenzialmente in numero uguale. Nella ginogenesi, processo per cui la cellula uovo si differenzia in un embrione senza che

avvenga la fusione tra il nucleo della cellula uovo e dello spermatozoo (Seehausen, 2004), la prole sarà costituita da sole femmine. L'assetto cromosomico delle popolazioni è in stretta relazione con la forma riproduttiva: gli individui diploidi ($2n=98-100$ cromosomi) si riproducono mediante fecondazione incrociata, mentre gli triploidi sono ginogenetici ($3n=135-146$ cromosomi) (Lou *et al.*, 1999). Le forme bisessuali ed unisessuali sono morfologicamente indistinguibili (Abramenko *et al.*, 1997). Nel processo di ginogenesi lo spermatozoo, dopo essere penetrato nell'uovo, degenera rapidamente e il suo contributo è limitato alla sola attivazione dell'uovo. Lo spermatozoo, nella riproduzione per ginogenesi, può appartenere anche a specie differenti, per cui tale forma di riproduzione diviene una forma di parassitismo sessuale (Lou *et al.*, 1999).

Gli individui ginogenetici e quelli bisessuali del carassio dorato vivono in simpatria in molte località: nella parte più orientale dell'areale di distribuzione, come nel fiume Amur che rappresenta il centro di dispersione della specie, le popolazioni sono costituite soprattutto da individui tetraploidi che si riproducono per fecondazione incrociata, mentre nella parte più occidentale della sua areale le popolazioni sono soprattutto unisessuali e composte pertanto da sole femmine ginogenetiche esaploidi (Abramenko *et al.*, 1997). Tra questi due estremi esiste un gradiente regolare nella proporzione degli individui delle forme uni e bisessuali; tuttavia durante gli ultimi 10-20 anni è stato osservato, anche nella parte più occidentale dell'areale di distribuzione della specie, un progressivo aumento della proporzione dei maschi nelle popolazioni europee del carassio dorato che è avvenuto simultaneamente al generale incremento numerico delle popolazioni (Abramenko *et al.*, 1997; Kuznetsov, 2004). Quando le due forme coesistono in condizioni ambientali stabili la forma ginogenetica prevale, mentre il contrario avviene in condizioni instabili; in condizioni di coesistenza le popolazioni bisessuali in genere sono anche composte da individui caratterizzati da un accrescimento molto più lento e stentato (nanismo) rispetto alle forme unisessuali.

La specie è in grado di ibridarsi con *Carassius carassius* e *Cyprinus carpio* (Berg, 1964; Wheeler, 2000).

4. MATERIALI E METODI

4.1 Campionamenti mediante elettroscorditore

Il campionamento è stato effettuato mediante due tipi di attrezzi: l'elettroscorditore e le reti. Il periodo di campionamento è durato un intero anno e precisamente dal febbraio 2003 al gennaio 2004. I prelievi con l'elettroscorditore sono stati effettuati mensilmente ad eccezione del mese di aprile, durante il quale hanno avuto cadenza settimanale; il totale dei prelievi effettuati con l'elettroscorditore è quindi di 15. Per il campionamento sono state scelte 6 diversi settori dislocati lungo il perimetro del lago (Tuoro, Passignano, Castiglione, isola Polvere, la Valle, Panicarola) (Fig.4.1). I campionamenti sono stati effettuati mediante natanti sui quali sono stati collocati gli

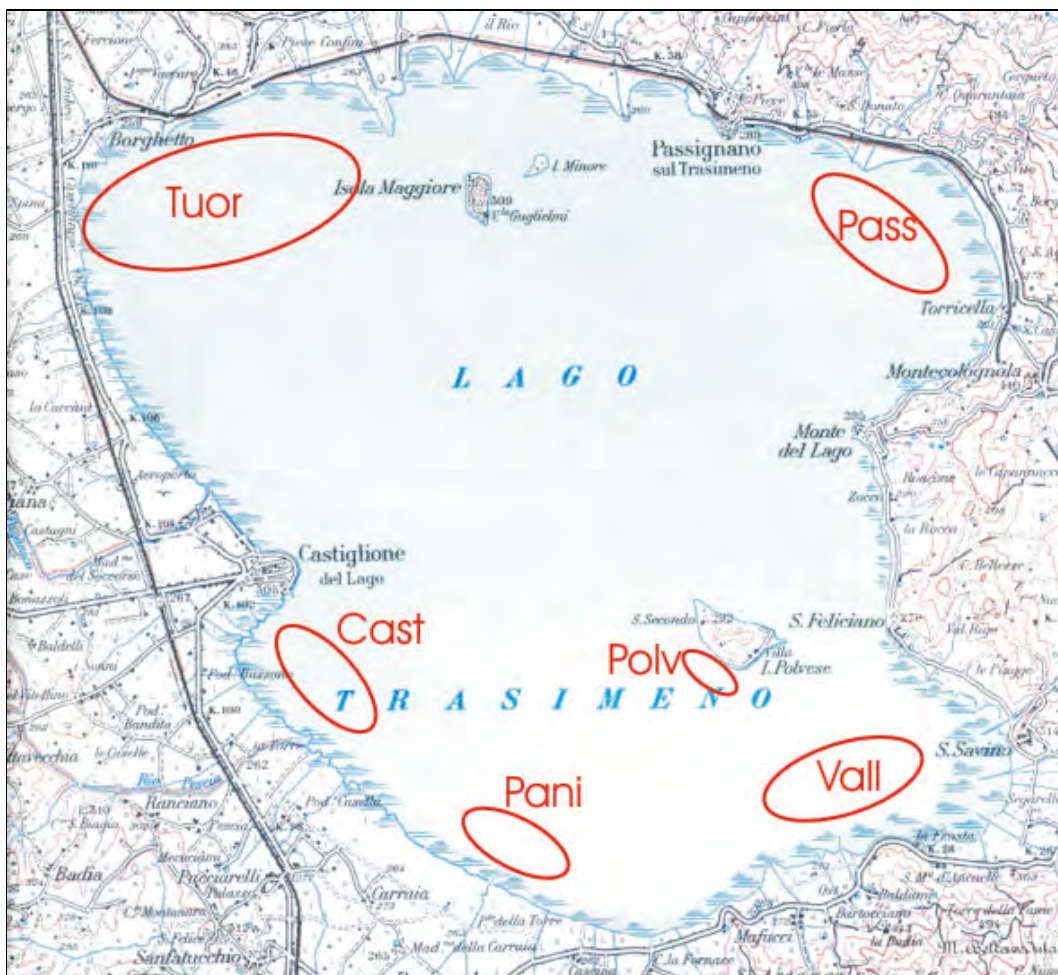


Figura 4.1 – Localizzazione delle stazioni di campionamento.

elettroscorditori (Fig.4.2), di potenza pari a 4,5 Kw ed in grado di erogare corrente continua pulsata. Durante ogni campionamento, in ciascuno dei 6 settori, sono stati esaminati un numero vario di transetti di lunghezza variabile. Uno degli scopi della ricerca è quello di determinare le condizioni più favorevoli alla cattura dei carassi dorati con l'elettroscorditore (periodi, località e parametri

ambientali) e quindi, i transetti sono stati scelti in modo da presentare caratteristiche differenziali tali da permettere i confronti voluti.

All'attività di campionamento ittico è stata associata la determinazione di alcuni parametri ambientali, ritenuti utili ai fini della caratterizzazione dei settori prescelti. I parametri chimico-fisici considerati sono stati i seguenti: temperatura dell'acqua



Figura 4.1 – Campionamento con elettrostorditore.

(°C), pH (unità di pH), conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C), ossigeno disciolto (mg/l e % V.S.), trasparenza al disco Secchi; la profondità è stata misurata all'inizio ed al termine di ogni transetto. Altri parametri ambientali rilevati sono: tipo di fondo (sabbia o limo), esistenza e tipo di vegetazione acquatica (vegetazione assente, idrofite sommerse, canneto) presenti lungo il transetto.

Per testare la risposta dei carassi dorati al trattamento elettrico, per ogni transetto è stato rilevato il numero di impulsi applicati (numero di impulsi al secondo o Hertz) e le caratteristiche dell'anodo e del catodo utilizzati. Sono stati, infatti, utilizzati anodi e catodi di forma e dimensione diversa (Fig.4.3): per quanto riguarda i catodi, è stata utilizzata una treccia di rame di 3 cm di larghezza e di lunghezza variabile o, in alternativa, una lastra di rame di 40x60 cm montata su di un supporto galleggiante (Mearelli *et al.*, 2002).



Figura 4.3 – Anodi dell'elettrostorditore.

Durante la fase di campionamento per ciascun transetto sono stati registrati anche alcuni parametri necessari per standardizzare le catture, passaggio indispensabile per poter effettuare i confronti (Degerman *et al.*, 1988; Wilberbuer e Kappenman, 1998):

- tempo: è stato registrato il tempo complessivo del campionamento;
- spazio: la lunghezza dei tratti esaminati è stata misurata mediante GPS.

I transetti indagati con l'elettrostorditore sono risultati in tal modo 93: nel mese di gennaio e di aprile non è stato possibile campionare la fauna ittica nelle stazioni di Tuoro, Castiglione, e Panicarola, per le cattive condizioni del tempo. Tutti i carassi dorati catturati sono stati sacrificati e portati in laboratorio per le successive misurazioni; gli esemplari delle altre specie ittiche sono stati determinati, contati, pesati e quindi rilasciati in acqua.

L'elettrostorditore è composto da più parti:

- un generatore di corrente (Fig.4.4),
- i dispositivi di comando e di regolazione (Fig.4.5),
- due elettrodi: l'anodo (Fig.4.6) ed il catodo (Fig.4.7).



Figura 4.4 – Elettrostorditore.



Figura 4.5 – Pannello dei comandi e delle regolazioni dell'elettrostorditore.

L'anodo viene manovrato dall'operatore ed è costituito da un'asta di materiale isolante che presenta all'estremità un anello di grandezze differenti. Il catodo è stato posizionato alla poppa dell'imbarcazione rimanendo fisso in acqua per tutto il tempo di campionamento (Fig.4.8).

L'elettrostorditore crea un campo elettrico, il pesce che si trova in tale campo è sottoposto ad una differenza di potenziale più o meno forte a seconda della sua posizione all'interno del campo: ai margini del campo elettrico il pesce si allarma e fugge; all'interno del campo la differenza di potenziale nel



Figura 4.6 – Anodo

corpo del pesce aumenta, a 0,4 volt il pesce comincia a vibrare e si muove verso l'anodo; quando si raggiunge il potenziale corporeo limite il pesce è momentaneamente paralizzato. La galvanonarcosi fa capovolgere il pesce su un fianco permettendone, così, il recupero con l'uso di retini.

Un'intensità troppo elevata od un'esposizione prolungata possono uccidere il pesce (Peduzzi e Meng, 1976). Le dimensioni del pesce e la sua posizione rispetto al campo elettrico influenzano il successo della pesca: i pesci più piccoli e quelli posizionati trasversalmente rispetto al campo elettrico avranno maggiori possibilità di fuga. I pesci più grandi tendono ad essere più vulnerabili perché, occupando una maggiore estensione del campo elettrico, sono sottoposti ad una maggiore differenza di potenziale e perché gli impulsi della corrente, che viaggiano ad onde, intersecano più volte il

loro corpo (Mearelli *et al.*, 2002). Non tutte le specie ittiche, inoltre, rispondono allo stesso modo alla presenza di elettricità nell'acqua; fra le altre cose anche le dimensioni delle squame presenti sul corpo possono determinarne la sensibilità: scaglie grosse e spesse, come quelle del carassio dorato, riducono la catturabilità nei confronti dell'elettro-pesca (Mearelli *et al.*, 2002). Un altro fattore estremamente importante per il successo della pesca elettrica è la conducibilità dell'acqua, che non deve essere né troppo ricca né troppo povera di sali; la condizione ottimale si ha quando l'acqua ed il pesce hanno la stessa conducibilità (Marconato, 1991).

Il lago Trasimeno, per l'elevato contenuto di sali nell'acqua e per l'alta conducibilità, è un ambiente che crea notevoli problemi al campionamento e rende indispensabile l'uso di un elettrostorditore sufficientemente potente, che emetta corrente pulsata (Mearelli *et al.*, 2001).



Figura 4.7 – Catodo dell'elettrostorditore.



Figura 4.8 – Catodo dell'elettrostorditore.

4.2 Campionamenti mediante reti

I campionamenti con le reti hanno avuto cadenza mensile ed in genere sono avvenuti in coincidenza con quelli effettuati con l'elettrostorditore; in totale sono stati quindi effettuati 12 prelievi ittici, realizzati con la collaborazione dei pescatori di professione della cooperativa di San Feliciano. Le reti sono state lasciate in posa 12 ore: collocate la sera nella zona adiacente al molo di San Feliciano, venivano poi rimosse la mattina successiva; sono state utilizzate due differenti tipi di rete: il tofo e le reti da posta (altana). Le altane sono state assemblate utilizzando pannelli con maglie di differente ampiezza. L'utilizzo di queste reti "multiselettive" permette un campionamento più efficiente e rappresentativo, consentendo la cattura di individui di taglia diversa (Craig *et al.*, 1986; Degerman *et al.*, 1988;. I pannelli utilizzati presentavano maglie con il lato (da nodo a nodo) (Fig.4.9) avente le seguenti dimensioni: 22 mm, 25 mm, 28 mm, 35 mm, 40 mm, 50 mm e 70 mm.

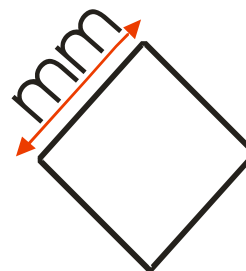


Figura 4.9 – Misura della maglia delle altane.



Figura 4.10 – Altana.

La rete da posta od altana (Fig.4.10) è composta da un unico filamento in nylon intrecciato a formare delle maglie: maglie diverse consentono la pesca di esemplari di differenti taglie (Hubert, 1996). Le altane sono dotate di due galleggianti posti all'estremità emersa che funzionano anche da segnale (Fig.4.11) e di una corda piombata all'estremità immersa, che fa in modo che la rete rimanga in posizione verticale.

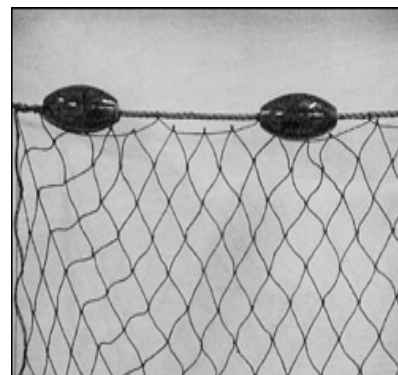


Figura 4.11 – Altana.

Il tofo (Fig.4.12) è una rete a forma di sacco costituita da maglie di piccole dimensioni, che permette una pesca meno selettiva rispetto alle altane. E' un tipico attrezzo ad "inganno" costituito da una serie di camere all'interno delle quali si trovano particolari dispositivi che indirizzano il pesce a muoversi in una sola direzione, impedendogli di retrocedere (Fig.4.13). Deve essere posizionato in acque poco profonde ed ancorato sul fondo. Le dimensioni dell'attrezzo sono le

seguenti: bocca con diametro di 1,5 m e maglia da 15 mm; ali con altezza di 2 m, lunghezza 8 m e maglia da 20 mm (Moretti e Gianotti, 1966).

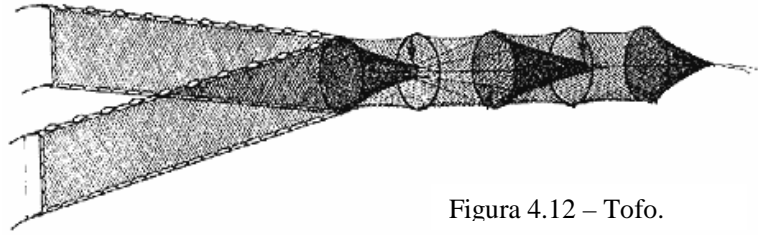


Figura 4.12 – Tofo.

Tutto il pesce catturato è stato suddiviso per stazione, attrezzo e maglia: i carassi dorati sono stati portati in laboratorio per le successive misurazioni; gli esemplari delle altre specie ittiche sono stati determinati, contati, pesati e quindi, quando possibile, rilasciati in acqua.



Figura 4.13 – Tofo.

4.3 Analisi di laboratorio

Ad ogni esemplare di carassio dorato catturato sono state effettuate le seguenti misurazioni (Anderson e Neumann, 1996) (Fig.4.14):

- LUNGHEZZA TOTALE (LT): espressa in cm e misurata dall'estremità del muso al lobo superiore della pinna caudale, con precisione di ± 1 mm.
- LUNGHEZZA STANDARD (LS); espressa in cm e misurata dall'estremità del muso all'ultima squama del peduncolo caudale, con precisione di ± 1 mm.
- PESO TOTALE (PT) espresso in g e determinato con bilancia elettronica, con precisione di ± 1 g.

Ad un numero significativo di esemplari è stato prelevato un campione di scaglie per la determinazione dell'età e per il retrocalcolo (Bagenal, 1985); la parte scelta per il prelievo è quella dorsoventrale, sopra la linea laterale e sulla verticale dell'inserzione della pinna dorsale (Devries e Frie, 1996).

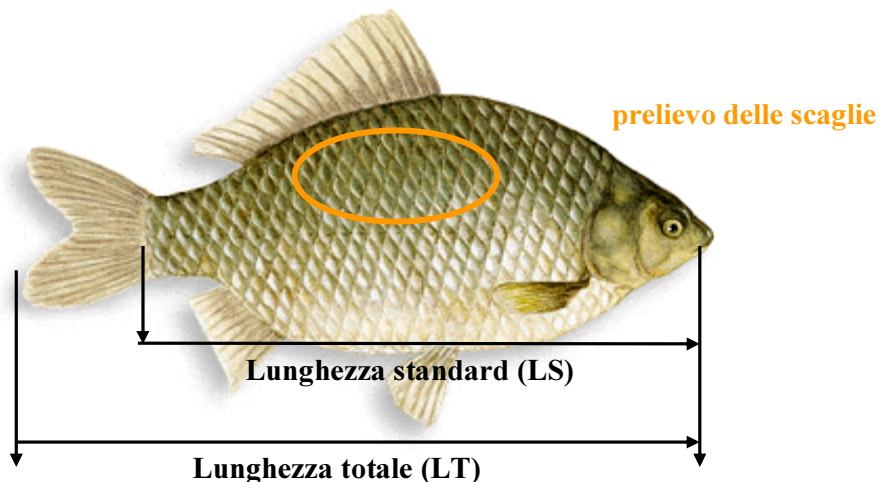


Figura 4.14 – Misure effettuate sugli esemplari catturati.

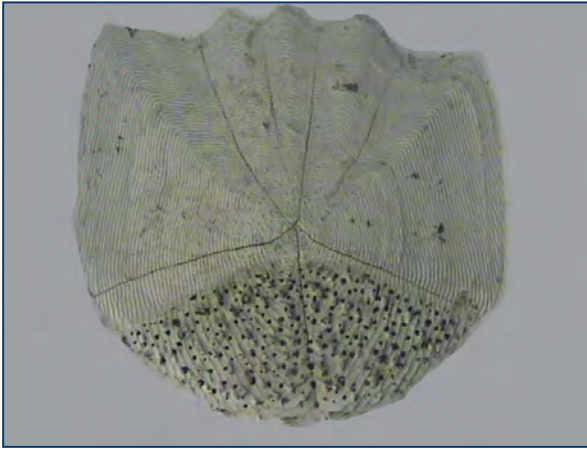


Figura 4.15 – Scaglia del carassio dorato.

La scaglia del carassio dorato, è di tipo cicloide (Fig.4.15) e presenta sulla sua superficie una fitta serie di curve concentriche, *circuli*, che si accrescono numericamente dal centro di ossificazione (*focus*) verso la periferia durante tutta la vita del pesce. I circuli si formano regolarmente: in inverno, quando la crescita dei pesci è molto lenta, a causa del metabolismo rallentato, i circuli si formano addensandosi maggiormente tra loro, così da apparire come una

banda scura, detta *annulo*. In primavera, quando la crescita avviene più velocemente, i circuli si formano sulla scaglia più radi e distanziati, in modo da apparire come una banda più chiara. Contando gli annuli è possibile risalire al numero degli inverni trascorsi dal pesce al momento della cattura e, quindi, conoscere l'età di ogni esemplare: le classi di età sono state designate come 0+, 1+, 2+, .. n+ , in cui il valore numerico si riferisce agli inverni trascorsi, mentre il segno + si riferisce all'accrescimento realizzato nei mesi successivi la formazione dell'ultimo annulo, indipendentemente dalla data di cattura. Il 31 dicembre è la data convenzionalmente utilizzata per separare una classe di età da un'altra (Bagenal, 1985). Successivamente l'età del pesce è stata espressa in anni sulla base della data di cattura dell'esemplare e del periodo riproduttivo della specie; come mese di nascita è stato scelto maggio (Gandolfi *et al.*, 1991). Ad esempio, un pesce nato nel maggio 2003 e catturato nel gennaio 2004 avrà trascorso un solo inverno: sarà quindi attribuito alla classe 1+ ed avrà un'età di 0,63 anni.

Nella determinazione dell'età il metodo scalimetrico è stato integrato con il metodo di Petersen (Bagenal, 1985). Tale metodo consiste nel costruire un istogramma di frequenza delle lunghezze del campione esaminato; ciò per individuare le classi di età ed i relativi intervalli di lunghezza che variano secondo la specie e l'ambiente, facendo corrispondere ad ogni moda (la classe a maggiore frequenza) una classe di età. Le mode sono generalmente più evidenti nelle prime classi d'età, nelle quali l'accrescimento in lunghezza è generalmente più rapido. Con questo metodo per avere una distribuzione delle frequenze utilizzabile nella determinazione dell'età è necessario misurare la lunghezza di un numero elevato di pesci per ogni popolazione e avere una piccola sovrapposizione nelle taglie dei pesci appartenenti a gruppi d'età successivi; è inoltre necessaria l'assenza di dimorfismo sessuale nell'accrescimento (Bagenal, 1985).

Per la popolazione del lago Trasimeno il metodo di Petersen è stato applicato separatamente nei due sessi e i campioni degli esemplari catturati nei vari mesi di campionamento, inoltre, sono

stati analizzati separatamente fra loro; ciò per evitare il sovrapporsi delle classi modali, conseguente all'accrescimento degli individui nel tempo.

L'accrescimento delle scaglie è proporzionale all'accrescimento del pesce e quindi la distanza dal focus dei vari anelli è proporzionale alla lunghezza del pesce, misurando tale distanza è possibile determinare a ritroso le lunghezze dell'individuo alle età precedenti, con un procedimento chiamato, appunto, retrocalcolo. Per effettuare tali analisi su di un subcampione di 53 individui sono state scelte, tramite selezione microscopica, le quattro scaglie migliori, sulle quali sono stati misurati, mediante sistema di analisi delle immagini (IAS 2000), il raggio della squama e il raggio di tutti gli anelli presenti.

Le misure rilevate sono (Bagenal, 1985):

- raggio di squama (Rs): dal centro di ossificazione al margine della squama, lungo uno dei raggi obliqui, con precisione di ± 1 micron.
- raggio dell'anello (Rn): dal centro di ossificazione, al margine inferiore dell'anello, lungo lo stesso raggio obliquo considerato per il raggio di squama, con precisione di ± 1 micron.

Su un campione di 2030 individui è stato inoltre attribuito il sesso mediante osservazione diretta delle gonadi. Le gonadi sono state estratte e pesate con bilancia elettronica di precisione. Lo stadio di maturazione degli ovari è stato valutato mediante la scala di maturazione della gonadi di Nikolsky (in Gandolfi *et al.*, 1991) (Tab.4.1).

Alle femmine con gonadi mature è stato prelevato un piccolo subcampione di uova di circa 3 g, che è stato successivamente pesato con bilancia analitica di precisione ($\pm 0,001$ g). Ciascun subcampione è stato posizionato in una piastra suddivisa in 46,75 quadrati, ognuno avente una superficie di 1 cm². Le uova, una volta pulite, sono state distribuite sulla piastra e quindi contate solo le uova mature (di colore giallo) collocate in sette

STADIO I: GONADI IMMATURE

Giovani che non hanno ancora raggiunto la maturità sessuale. Gonadi di dimensioni ridotte. Testicoli filiformi e trasparenti.

STADIO II: GONADI QUIESCENTI

Adulti che si sono riprodotti da poco tempo. Completo svuotamento delle gonadi, i gameti non hanno ancora iniziato lo sviluppo. Gonadi con forma e volume simile allo stadio precedente; ovari di colore rosa.

STADIO III: GONADI IN MATURAZIONE

Individui che stanno raggiungendo la prima maturità sessuale ed adulti già riprodottosi che si preparano a riprodursi di nuovo.

STADIO IV: GONADI MATURE

Gameti maturi e gonadi con volume ed indice gonadosomatico massimi. Testicoli di colore latteo, ovari gialli o giallo-arancio.

STADIO V: GONADI IN RIPRODUZIONE

Individui che si stanno riproducendo. I gameti fuoriescono se si esercita una lieve pressione sui fianchi.

STADIO VI: GONADI SVUOTATE

Adulti appena riprodottisi. Gonadi con pochi gameti residui.

Tabella 4.1 - Stadi di maturazione delle gonadi: analisi

quadrati selezionati a caso, seguendo le tabelle dei numeri random (Snedekor e Cochran, 1937). Dalle uova presenti nel subcampione, conoscendo il peso sia del subcampione che della totalità delle gonadi, si è risaliti al numero totale delle uova mature presenti negli ovari.

Per ciascun subcampione sono anche state scelte a caso 10 uova mature, per ognuna delle quali è stato misurato il diametro. Il conteggio delle uova del subcampione e la misura del diametro sono stati effettuati mediante microscopio ottico, collegato ad un computer dotato di software per l'analisi delle immagini (IAS2000).

4.4 Elaborazioni per l'analisi della biologia del carassio dorato

Relazione lunghezza totale – lunghezza standard

La regressione tra la lunghezza totale e la lunghezza standard può essere utile per verificare se esiste o meno una relazione significativa che lega questi due parametri e, in caso affermativo, permetterne la conversione dei valori. La relazione è in genere espressa in maniera algebrica dalla seguente formula:

$$LT = a + b *LS$$

in cui:

a = intercetta con l'asse delle ordinate;

b = pendenza della retta;

LT = lunghezza totale in cm;

LS = lunghezza standard in cm.

La relazione LT - LS è stata calcolata sia sul campione complessivo che sul campione disaggregato per sesso. Il confronto tra le relazioni trovate nei due sessi è stato effettuato mediante analisi della covarianza.

Relazione lunghezza totale- peso

La crescita nel pesce è continua ed avviene in modo proporzionale alla lunghezza ed al peso; in genere la relazione che connette i due parametri può essere espressa algebricamente dalla seguente formula (D'Ancona, 1973):

$$PT = a LT^b$$

dove:

PT = peso totale in g;

LT = lunghezza totale in cm;

a = intercetta con l'asse delle y;

b = coefficiente di regressione.

Il coefficiente di regressione esprime il tipo di accrescimento della popolazione; b può assumere valori diversi ed in particolare, quando b è:

- minore di 3, la crescita è allometrica e la lunghezza aumenta in modo più che proporzionale rispetto alle altre dimensioni: si hanno individui esili e longilinei;
- maggiore di 3, la crescita è allometrica e la lunghezza aumenta in modo meno che proporzionale rispetto alle altre dimensioni: si hanno individui corti e tozzi;
- uguale a 3 la crescita è isometrica e l'accrescimento avviene in modo perfettamente proporzionale nelle tre dimensioni dello spazio.

La relazione LT – PT è stata calcolata con il metodo dei minimi quadrati (Ricker, 1975) sul campione complessivo e sul campione disaggregato per sesso, dopo trasformazione logaritmica dei dati ($\log PT = a + b \log LT$). Per verificare l'esistenza di dimorfismo sessuale si è effettuato un confronto mediante analisi della covarianza tra le regressioni calcolate nei due sessi.

Accrescimento teorico in lunghezza

L'accrescimento teorico in lunghezza è stato calcolato mediante l'equazione di Von Bertalanffy (1938), descritto dalla formula:

$$L_t = L_\infty \{ 1 - e^{-k(t-t_0)} \}$$

dove:

L_t = lunghezza totale in cm all'età t;

L_∞ = asintoto della curva di accrescimento, rappresenta la massima taglia raggiungibile (in cm) degli individui della popolazione se si accrescessero indefinitamente;

K = velocità alla quale la curva di crescita si avvicina all'asintoto;

t_0 = età equivalente dei pesci di taglia zero.

Si è inoltre calcolato ϕ , che mette in relazione i due parametri K ed L_∞ dell'equazione di Von Bertalanffy e descrive sinteticamente l'accrescimento di una popolazione (Pauly e Munro, 1994):

$$\phi = \log K + 2 * \log L_\infty$$

Il valore di ϕ è influenzato dalle caratteristiche intrinseche delle popolazioni e dall'ambiente in cui queste vivono, permettendo così il confronto tra popolazioni diverse; più elevato è il valore di ϕ , migliore sarà l'accrescimento di una popolazione (Abella *et al.*, 1994).

L'accrescimento teorico in lunghezza è stato calcolato per il campione complessivo e per il campione disaggregato per sesso. I valori utilizzati nel calcolo delle incognite dell'equazione sono costituiti dalle lunghezze totali e dalle età dei singoli esemplari.

Accrescimento teorico in peso

L'accrescimento teorico in peso è stato calcolato mediante l'equazione di Gompertz (Ricker, 1975):

$$PT_t = P_0 e^{G(1 - e^{-gt})}$$

dove:

PT_t = peso in grammi all'età t ;

P_0 = peso all'età t_0 ;

G = tasso istantaneo di crescita;

g = tasso di diminuzione di G .

Le curve di accrescimento teorico in peso sono state realizzate per il campione complessivo e per il campione disaggregato per sesso. I valori utilizzati nel calcolo delle incognite sono costituite dai pesi e dalle età dei singoli esemplari.

Accrescimento reale in lunghezza ed in peso

L'accrescimento reale è stato analizzato calcolando i valori medi della lunghezza e del peso nel campione disaggregato per classe di età. L'analisi è stata condotta separatamente nei due sessi e per verificare l'esistenza di dimorfismo sessuale nell'accrescimento è stata effettuato un confronto mediante analisi della varianza (ANOVA).

Accrescimento invernale

Per evitare che nell'analisi dell'accrescimento reale la composizione del campione possa influenzare il risultato, è stato anche effettuato il calcolo dei valori medi di lunghezza e peso, nel campione catturato nel periodo invernale disaggregandolo per classe di età.

In inverno, infatti, l'accrescimento del carassio dorato è molto rallentato (Muus e Dahlstrom, 1967); ciò permette di aggregare i campioni mensili, senza che la variabilità degli stessi condizioni l'esito delle analisi. L'analisi è stata condotta, anche in questo caso, separatamente nei due sessi; per verificare l'esistenza di dimorfismo sessuale è stato effettuato un confronto mediante analisi della varianza (ANOVA).

Accrescimento stagionale

L'accrescimento stagionale permette di verificare se l'accrescimento di una specie ittica avviene in modo continuo durante tutto l'anno o se, al contrario, presenta dei momenti di stasi. Tale analisi, date le caratteristiche del campione è stata condotta separatamente per le classi di età 0+, 1+, 2+, 3+, 4+ ed esclusivamente per gli esemplari di sesso femminile. L'accrescimento stagionale

è stato analizzato calcolando i valori medi di lunghezza totale e peso nel campione disaggregato per stagione di campionamento. Per verificare l'esistenza di differenze statisticamente significative nel confronto fra i valori medi calcolati è stata utilizzata l'analisi della varianza (ANOVA), usando come criteri di classificazione le classi di età e le stagioni di campionamento.

Accrescimento mensile

L'accrescimento mensile permette di analizzare in dettaglio l'accrescimento di una specie ittica verificando i periodi in cui questo subisce dei rallentamenti o delle accelerazioni, se questo avviene in modo continuo durante i dodici mesi dell'anno, o se, al contrario, presenta dei momenti di stasi. Tale analisi, date le caratteristiche del campione, è stata condotta nel campione complessivo ed esclusivamente per le classi di età 2+ e 3+. L'accrescimento mensile è stato analizzato calcolando i valori medi di lunghezza totale e peso nel campione disaggregato per stagione di campionamento. Per verificare l'esistenza di differenze statisticamente significative nel confronto fra i valori medi calcolati è stata utilizzata l'analisi della varianza, usando come criteri di classificazione le classi di età e le stagioni di campionamento.

Accrescimento retrocalcolato

I parametri rilevati nell'analisi di laboratorio delle scaglie sono stati ulteriormente utilizzati per determinare la relazione corpo-scaglia, che permette di risalire alle lunghezze raggiunte da ogni esemplare alle età precedenti alla cattura. Tale analisi è stata condotta esclusivamente per il campione di sesso femminile, essendo i maschi poco numerosi.

La relazione usata è la seguente (Bagenal, 1978):

$$L_n - a = R_n / R_s (L_s - a)$$

dove:

L_n = Lunghezza relativa all'età n;

a = costante calcolata mediante retta di regressione $L_s = a + b * R_s$;

R_n = raggio dell'annulo n (distanza tra il focus e il raggio n) (in mm);

R_s = raggio totale della scaglia (distanza tra il focus e il margine della scaglia) (in mm);

LT = lunghezza totale del pesce alla cattura (in cm).

Tale equazione proposta per la prima volta da Lee (1920) e Fraser (1910) è utilizzabile solo se la relazione tra il raggio totale della scaglia (R_s) e la lunghezza del pesce (LT) è lineare, e la retta non passa per l'origine; se ciò non avviene si deve ricorrere ad equazioni diverse (Bagenal, 1978).

Nel retrocalcolo sono stati utilizzati i valori di R_s e R_n di ciascun esemplare ottenuti dalla media delle 4 scaglie osservate al microscopio ottico.

Fenomeno di Lee

Il fenomeno di Lee si verifica quando le lunghezze retrocalcolate, per un dato gruppo di età, sono più piccole quanto più grande è il pesce preso in esame (Bagenal, 1978). Al contrario si produce un “fenomeno di Lee inverso“ quando le lunghezze retrocalcolate sono maggiori quanto più grandi sono i pesci da cui vengono ricavate.

Possibili cause del fenomeno di Lee sono (Ricker, 1992):

- un uso non corretto del retrocalcolo, con sottostima dell'intercetta nella regressione fra R_s e LT ;
- un campionamento non casuale che tende a selezionare membri più grandi delle classi di età più giovani;
- la presenza di una mortalità selettiva naturale o indotta dalla pesca, che favorisce una maggiore sopravvivenza dei pesci più piccoli di un dato gruppo di età (Bagenal, 1978).

Il fenomeno di Lee inverso è generalmente causato o da una sovrastima dell'intercetta nel retrocalcolo o alla presenza di fenomeni di predazione e/o competizione fra i giovani, che causano una mortalità selettiva a sfavore degli esemplari più piccoli.

Per verificare l'esistenza del fenomeno di Lee è stato effettuato un confronto, mediante t-test, fra le lunghezze retrocalcolate raggiunte alle varie età dagli esemplari di età n rispetto al campione composto dai pesci più anziani ($n+i$).

Fattore di condizione

Il fattore di condizione permette di valutare lo stato di nutrizione di ogni singolo esemplare della popolazione esaminata, esso è stato calcolato in base alla formula di Fulton (1911):

$$K = 100 \cdot (PT/LS^3)$$

dove:

PT= peso totale;

LS = lunghezza standard.

Così calcolato K rappresenta la deviazione individuale di un ipotetico pesce ideale avente crescita isometrica (Weatherley, 1972) e permette il confronto fra individui, sessi e popolazioni diverse (Ricker, 1975). Nel calcolo del fattore di condizione il campione è stato disaggregato per sesso, per età, per stagione ed i relativi confronti sono stati effettuati mediante analisi della varianza (ANOVA).

Per meglio valutare l'influenza del ciclo riproduttivo sulla condizione del carassio il valore di K è stato calcolato anche per il peso somatico, ovvero per il peso misurato senza considerare il

contributo delle gonadi (ovari e testicoli); il fattore di condizione somatico è stato calcolato con la seguente formula:

$$Ks = 100[(PT - PG)/LS^3]$$

dove:

PT = peso totale;

PG = peso delle gonadi;

LS = lunghezza standard.

Anche per Ks sono stati effettuati confronti tra i due sessi, fra le classi di età e tra le stagioni di campionamento mediante analisi della varianza (ANOVA). Dal confronto fra l'andamento di K e Ks nei dodici mesi dell'anno è stato anche possibile trarre altre informazioni molto utili sui fattori che condizionano lo sviluppo delle gonadi e lo stato di benessere fisico degli esemplari esaminati.

Struttura per età

La struttura per età descrive il numero effettivo e le frequenze percentuali del campione disaggregato per anno di nascita; tale analisi risulta particolarmente idonea a descrivere la composizione della popolazione ed ha permesso di stimare la mortalità. La struttura per età è stata analizzata nel campione complessivo ed in quello disaggregato per sesso.

L'inizio dei campionamenti (febbraio) non è coinciso con la data convenzionalmente utilizzata per separare le classi di età (31 dicembre); questo ha comportato nel campione degli esemplari catturati la non perfetta sovrapposizione fra classi di età e generazione di appartenenza. Per tale fenomeno, infatti, il campione degli esemplari attribuiti ad un data classe di età non comprende tutti gli esemplari nati nello stesso anno e quindi appartenenti alla stessa generazione. Mediante il criterio utilizzato per l'attribuzione dell'età un esemplare nato nel maggio 2003 viene, infatti, attribuito alla classe di età 0+, se catturato prima del 31 dicembre 2003, ma alla classe 1+ se viene catturato successivamente a questa data. L'utilizzo della classe di età avrebbe distorto l'analisi della struttura di popolazione, che invece è stata effettuata sul campione disaggregato per anno di nascita.

Mortalità

Il tasso istantaneo di mortalità è stato stimato utilizzando il metodo della regressione lineare tra il logaritmo naturale del numero degli individui e l'età (Ricker, 1975). Il tasso istantaneo di mortalità (Z) è legato alla sopravvivenza (S) dalla seguente uguaglianza:

$$S = e^{-z}$$

S è a sua volta legato al tasso annuo di mortalità (A) dalla relazione:

$$A = 1-S$$

Così calcolati, i parametri S ed A risultano di particolare interesse perchè rappresentano la percentuale degli individui che mediamente muoiono (A) o sopravvivono (S) ogni anno. L'analisi della mortalità è stata condotta nel campione complessivo e nel campione disaggregato per sesso.

Nel campione considerato nell'analisi l'abbondanza delle classi più giovani è risultata sottostimata ed il calcolo del tasso istantaneo di mortalità è stato effettuato considerando esclusivamente gli individui più vecchi, partendo dalla classe di età 3+ per il campione complessivo e per le femmine e dalla 2+ per i maschi (Arlati *et al.*, 1990).

Produzione

Per il campione analizzato è stata inoltre calcolata la produzione ittica (P). Il piano di campionamento utilizzato non ha permesso di ottenere una stima dello stock di carassio dorato presente nel lago Trasimeno. I valori di abbondanza ottenuti non rappresentano una densità e quindi non permettono una valutazione della produzione complessiva della popolazione presente; l'analisi rappresenta, quindi, una stima della biomassa prodotta annualmente dal solo campione catturato nei campionamenti ed ha il senso di fornire, piuttosto che indicazioni di carattere assoluto, informazioni su quello che può essere il contributo relativo delle diverse classi di età alla produzione complessiva del lago. La produzione, così calcolata, è quindi espressa in g/anno ed è stata ottenuta applicando la seguente formula:

$$P = B \bar{B} \Delta t$$

dove \bar{B} (biomassa media) è stata calcolata:

$$\bar{B} = \frac{B_1 e^{(G-Z)\Delta t} - 1}{(G-Z)\Delta t} \text{ se } G > Z$$

$$\bar{B} = \frac{B_1 (1 - e^{-(Z-G)\Delta t})}{(Z-G)\Delta t} \text{ se } G < Z$$

Sia per il coefficiente di mortalità (Z) che per il tasso di accrescimento (G) si è applicato il modello esponenziale (Ricker, 1975):

$$Z = -(\ln N_2 - \ln N_1) / \Delta t$$

$$G = (\ln W_2 - \ln W_1) / \Delta t$$

in cui:

B_1 = biomassa al tempo t_1

N_1 e N_2 = n. di individui al tempo t_1 e t_2

W_1 e W_2 = peso medio degli individui al tempo t_1 e t_2 .

Il campionamento ha probabilmente sottostimato le abbondanze degli esemplari più giovani; per evitare, quindi, che il calcolo della produzione complessiva fosse inficiato da tale fenomeno il numero degli individui delle classi 0+ e 1+ è stato corretto sulla base dei risultati dell'analisi della mortalità; in particolare le abbondanze degli 0+ e degli 1+ sono state stimate utilizzando la regressione tra l'età e il logaritmo naturale del numero degli individui catturati (Ricker, 1975).

La produzione è stata inoltre disaggregata in funzione dell'età e calcolato il rapporto di turnover (P/B), allo scopo di evidenziare il contributo alla produzione totale delle varie classi di età e il tempo necessario alla loro sostituzione (Marconato *et al.*, 1990).

Rapporto tra i sessi

Il rapporto numerico tra i sessi è stato effettuato sul campione complessivo e sul campione disaggregato per anno di nascita, i dati sono stati analizzati sia come numeri effettivi che come percentuali.

Periodo riproduttivo

Per valutare la durata del periodo riproduttivo il campione è stato disaggregato per sesso e per stadio di maturazione delle gonadi. Sia per i maschi che per le femmine, nei dodici mesi dell'anno sono state calcolate le percentuali degli esemplari con gonadi nei vari stadi di maturazione.

Maturità sessuale

L'età di prima riproduzione è stata analizzata disaggregando il campione per sesso, per stadio di maturazione della gonadi e per classe di età; quindi è stato contato il numero degli individui con gonadi mature (IV e V stadio) per ciascuna classe di età. L'analisi è stata condotta sul campione separatamente nei due sessi.

Indice gonado-somatico (GSI)

Il GSI viene calcolato applicando la seguente formula (Ricker, 1975):

$$GSI = (PG * 100) / PT$$

dove:

PT= peso totale espresso in grammi;

PG= peso delle gonadi espresso in grammi.

Il GSI rappresenta il peso delle gonadi espresso come percentuale del peso totale; l'andamento del valore medio di tale indice durante i dodici mesi dell'anno fornisce informazioni sullo sviluppo delle gonadi in relazione al loro ciclo stagionale e fornisce indicazioni sulla durata del periodo riproduttivo.

Il calcolo del GSI è stato realizzato sul campione disaggregato per sesso, mentre l'andamento mensile è stato realizzato per le sole femmine poiché il campione maschile è risultato troppo esiguo; l'analisi del GSI disaggregata per stadio di maturità delle gonadi, al contrario, è stata realizzata per entrambi i sessi.

L'analisi della regressione lineare tra GSI e LT permette di verificare se esiste una relazione fra i due parametri. Il modello è del tipo:

$$\text{GSI} = a * \text{LT}^b$$

dove:

LT = lunghezza totale in cm.

L'analisi è stata condotta in entrambi i sessi esclusivamente per gli esemplari prossimi alla riproduzione. Il campione di sesso femminile è stato inoltre disaggregato per classe di età e per classe di lunghezza, per verificare se il GSI varia in relazione alla taglia degli esemplari. Le differenze nei valori medi del GSI sono state confrontate mediante analisi della varianza (ANOVA).

Fecondità assoluta

Le fecondità assoluta è espressa come il numero totale di uova prodotte da ogni femmina in età riproduttiva ed è calcolata come:

$$\text{N}^\circ\text{uova totali} = (\text{N}^\circ\text{uova del subcampione}/\text{peso del subcampione})/ \text{PG}$$

dove:

PG = peso delle gonadi in g.

Il campione è stato disaggregato per classe di lunghezza totale, per verificare se pesci più lunghi producano un maggior numero di uova; i valori medi sono stati confrontati mediante analisi della varianza (ANOVA).

Il campione è stato ulteriormente disaggregato per classi di età, per verificare se pesci più vecchi producano un numero di uova maggiore rispetto a quelli più giovani; i valori medi sono stati confrontati mediante analisi della varianza (ANOVA).

Sono state inoltre calcolate le regressioni fra il numero della uova e la lunghezza totale e fra il numero delle uova ed il peso; i modelli utilizzati sono i seguenti:

$$N^{\circ} \text{uova} = a * LT^b$$

dove:

LT = lunghezza totale in cm

$$N^{\circ} \text{uova} = a + b * PT$$

dove:

PT = peso totale in g.

Fecondità relativa

La fecondità relativa è espressa come il numero di uova medio prodotte dalle femmine per ogni kg di peso corporeo, ed è stata calcolata mediante la formula:

$$\text{fecondità relativa} = N^{\circ} \text{uova} / PT$$

dove:

PT = peso totale in g.

Il campione è stato disaggregato per classe di lunghezza totale, per verificare se la fecondità relativa varia in relazione alla taglia degli esemplari; le differenze sono state confrontate mediante analisi della varianza (ANOVA).

Il campione è stato poi disaggregato per classi di età al fine di stabilire se la fertilità relativa varia in relazione all'età degli esemplari; le differenze sono state confrontate mediante analisi della varianza (ANOVA).

Sono state inoltre calcolate le regressioni fra la fecondità relativa/LT e la fecondità relativa/Peso totale; i modelli utilizzati sono i seguenti:

$$\text{fecondità relativa} = a + b * LT$$

dove:

LT = lunghezza totale in cm,

$$\text{fecondità relativa} = a + b * PT$$

dove:

PT = peso totale in g.

Diametro delle uova

Il diametro è stato misurato per dieci uova scelte a caso in ogni esemplare di sesso femminile utilizzato per l'analisi delle biologia riproduttiva; è stato calcolato il valore del diametro medio delle dieci misure.

Il campione è stato disaggregato per classe di età e per classe di lunghezza, per verificare se il diametro medio delle uova varia in relazione alla taglia ed all'età degli individui; il confronto tra i valori medi è stato effettuato mediante analisi della varianza (ANOVA).

E' stato, inoltre, calcolata la regressione fra diametro delle uova e la lunghezza totale; il modello utilizzato è il seguente:

$$\delta = a + b \cdot LT$$

dove:

LT = lunghezza totale in cm.

Contributo riproduttivo

Il contributo riproduttivo di ciascuna classe di età è stato determinato sulla base dei dati derivanti dall'analisi della struttura di popolazione e della biologia riproduttiva. In particolare il calcolo è stato effettuato utilizzando, per ciascuna classe di età, le abbondanze delle femmine, le rispettive fertilità assolute medie e le percentuali degli individui in grado di riprodursi. In tal modo si è cercato di stimare il numero assoluto di uova prodotte e quindi calcolare il contributo relativo di ciascuna classe di età rispetto alle uova complessivamente prodotte dal campione esaminato.

4.5 Elaborazioni per l'analisi delle catture con l'elettrostorditore

I punti assunti come riferimento per impostare l'elaborazione delle catture effettuate con l'elettrostorditore sono i seguenti:

- determinare le abbondanze del carassio dorato nelle diverse tipologie lacustri considerate (stazioni di campionamento, periodo di campionamento e caratteristiche ambientali);
- effettuare i confronti necessari per individuare le condizioni ambientali che ottimizzano le probabilità di cattura del carassio dorato;
- effettuare i confronti necessari per individuare le migliori soluzioni tecniche (anodi e catodi di forma diversa, frequenze degli impulsi) che ottimizzano le probabilità di cattura del carassio dorato (Mearelli *et al.*, 2002).

Per la valutazione delle abbondanze delle catture (in numero e biomassa), si è fatto ricorso all'analisi delle catture per unità di sforzo (CPUE) (Ricker, 1975), premessa indispensabile per effettuare tutti i confronti sopra menzionati. La standardizzazione delle catture effettuate mediante elettrostorditore si è resa necessaria in quanto i transetti analizzati misuravano lunghezze differenti. Lo sforzo pesca è stato calcolato considerando la durata del campionamento, pertanto le catture sono state espresse come numero di individui e come biomassa catturati nell'unità di tempo (minuti) (CPUE N=ind/m; CPUE B= g/m), utilizzando le seguenti formule (Mascarenhas Alves *et al.*, 1998):

$$\text{CPUE N} = \text{N}/\text{t};$$

$$\text{CPUE B} = \text{B}/\text{t};$$

dove:

N = numero di pesci catturati;

B = biomassa in grammi (g) dei pesci catturati;

t = durata in minuti (m) del campionamento.

Per il campionamento con l'elettrostorditore le CPUE sono state stimate separatamente per ciascuna specie ittica catturata.

4.6 Elaborazioni per l'analisi della biologia della pesca del carassio dorato

Per quanto riguarda le reti le CPUE sono state calcolate separatamente per ciascuna tipologia di attrezzo impiegata: la stima delle catture per unità di sforzo è stata standardizzata sulla base del numero (CPUE N) e della biomassa degli individui calcolati (CPUE B). Per le altane lo sforzo pesca è stato calcolato considerando sia la durata della messa in posa delle reti che la superficie dei pannelli utilizzati. Pertanto per rendere possibile un confronto fra i dati, le catture sono state espresse come numero di individui catturati nell'unità di superficie e nell'unità di tempo (CPUE N=ind/m²/h) e come biomassa catturata nell'unità di superficie e nell'unità di tempo (CPUE B= g/m²/h), utilizzando le seguenti formule (Mascarenhas Alves *et al.*, 1998):

$$\text{CPUE N} = \text{N}/\text{t S};$$

$$\text{CPUE B} = \text{B}/\text{t S};$$

dove:

N = numero di pesci catturati;

B = biomassa in grammi (g) dei pesci catturati;

S = superficie (m²) della rete utilizzata;

t = tempo di posa in ore (h) della rete utilizzata.

Per il tofo il calcolo dello sforzo pesca è stato effettuato considerando esclusivamente la durata della messa in posa delle reti; pertanto in questo caso le catture sono state espresse come numero di individui e come biomassa catturati nell'unità di tempo (CPUE N=ind/h; CPUE B= g/h).

Sia per i tofi che per le altane, le CPUE sono state stimate per ciascuna specie ittica catturata.